



VDE

VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik

17. Branchentreff der Mess-
und Automatisierungstechnik

AUTOMATION 2016

Secure & reliable in the digital world

Mit USB-Stick



VDI-Berichte 2284

VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH



VDI/VDE-Gesellschaft
VDE Mess- und Automatisierungstechnik

17. Branchentreff der Mess-
und Automatisierungstechnik

AUTOMATION 2016

Secure & reliable in the digital world

Kongresshaus Baden-Baden, 07. und 08. Juni 2016



VDI-Berichte 2284

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

(German National Library)

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie

(German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2016

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck. Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder.

Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092284-0

Kongressleiter

Dr.-Ing. Peter Adolphs, CTO/Geschäftsführer Entwicklung & Marketing,
Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Jumar, Institutsleiter, ifak – Institut für Automation und Kommunikation e. V.,
Magdeburg

Dr.-Ing. Wilhelm Otten, Head of Business Line Process Technology & Engineering,
Evonik Technology & Infrastructure GmbH, Hanau

Programmausschuss

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Inhaber des Lehrstuhls und Instituts für Regelungstechnik,
RWTH Aachen University

Dr. rer. nat. Thomas Albers, Leiter Technik Automation,
WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG, Minden

Dr. Joachim Birk, Vice President, Executive Expert of Automation Technology,
Head of G-CoE Automation, Head of E-CoE-Process Control, BASF SE, Ludwigshafen

Prof. Dr. Christian Diedrich, Lehrstuhl für Integrierte Automation,
Institut für Automatisierungstechnik, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg

Dr.-Ing. Dagmar Dirzus, Geschäftsführerin VDI/VDE-GMA, VDI e.V., Düsseldorf

Dipl.-Ing. Heinrich Engelhard, Geschäftsführer NAMUR, Leverkusen

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple, Lehrstuhl für Prozessleittechnik, RWTH Aachen University

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay, Leiter des Instituts für Automatisierungstechnik,
Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr, Hamburg

Dr. Helmut Figalist, Leiter Technologie und Innovation, Industry Automation, Siemens AG,
Nürnberg

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Frey, Lehrstuhl für Automatisierungs- und Energiesysteme,
Universität des Saarlandes, Saarbrücken

Dr.-Ing. Stefan Gehlen, Geschäftsführer, VMT Vision Machine Technic
Bildverarbeitungssysteme GmbH, Mannheim

Dr. Martin Gerlach, Head of OSS-Operation Support,
Bayer Technology Services GmbH, Leverkusen

Dipl.-Ing. Tim Henrichs, Head of IA Business Development,
Yokogawa Deutschland GmbH, Ratingen

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Hensel, Fachbereich Automatisierung und Informatik,
Hochschule Harz, Wernigerode

Dr. Ulrich Kaiser, Direktor Technologie, Endress+Hauser Management AG, Reinach, Schweiz

Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer, Vorstandsmitglied Forschung und Entwicklung,
Samson AG, Frankfurt/Main

Dr.-Ing. Niels Kiupel, OPEX – Operational Excellence, Evonik Industries AG, Essen

Gunther Koschnick, Geschäftsführer Fachverband Automation, ZVEI e.V., Frankfurt/Main

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter, Lehrstuhlinhaber, Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS), Fakultät für Maschinenbau, Ruhr-Universität Bochum

Dipl.-Ing. Martin Müller, Leiter Business Unit I/O and Networks, Phoenix Contact Electronics GmbH, Bad Pyrmont

Dr. Thomas Paulus, Startup Industrie 4.0, KSB AG, Frankenthal

Dr. Thorsten Pötter, Head of OSS-Manufacturing IT, Bayer Technology Services GmbH, Leverkusen

Dr.-Ing. Lutz Rauchhaupt, Deputy Head of Department ICT and Automation, Senior Engineer Wireless in Automation, ifak e.V., Magdeburg

Dr.-Ing. Eckhard Roos, Leiter Prozessautomation, Festo AG & Co.KG, Esslingen/Neckar

Dipl.-Kfm. Felix Seibl, Geschäftsführer, ZVEI-FB Messtechnik und Prozessautomatisierung, ZVEI e.V., Frankfurt/Main

Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Simanski, Fachgebiet Automatisierungstechnik, Hochschule Wismar

Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas, Professur für Prozessleittechnik, Technische Universität Dresden

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich, Direktor des Instituts für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme, Universität Stuttgart

Dr. Christian Zeidler, Department Manager Software Technologies and Applications, ABB AG Forschungszentrum Deutschland, Ladenburg

Sponsoren

Wir danken unseren Sponsoren für die freundliche Unterstützung.

Goldsponsoren:

SIEMENS

www.siemens.de/chemie

Silbersponsoren:

FESTO

www.festo.com

 **PEPPERL+FUCHS**

www.pepperl-fuchs.com

Bronzesponsor:

ABB

www.abb.de

Sponsor:

 **WAGO**[®]
INNOVATIVE CONNECTIONS

www.wago.com

Veranstalter

VDI Wissensforum GmbH

Methods

Service-orientierte Architektur

<i>R. Denzer, G. Sutschet</i>	Systematische Betrachtung nichtfunktionaler Anforderungen beim Entwurf von I4.0 Service-Infrastrukturen	1
<i>T. Usländer</i>	Agiles Service-Engineering für Industrie 4.0 – Erster Schritt: Anforderungsanalyse mit Anwendungsfällen	3
<i>S. Schäfer, D. Schöttke, T. Kämpfe, D. Krönke, U. Berger, B. Tauber</i>	Flexible Erweiterung von Arbeitsräumen mit serviceorientierten Architekturen	5

Security in der Automation

<i>S. Obermeier, R. Schlegel, J. Schneider</i>	Bedrohungsmodellierung für generische Automationssystem- architekturen	7
<i>S. Windmann, O. Niggemann, H. Trsek</i>	Konzepte zur Erhöhung der IT Sicherheit in industriellen Automatisierungssystemen – Ansätze für die Feldebene	9
<i>J. Wollert</i>	Security und Echtzeit – Divergierende Anforderungen bei Industrie 4.0	11

Evaluierung von SPS-Programmen

<i>D. Bohlender, H. Simon, S. Kowalewski, S. Hauck-Stattelmann</i>	Symbolische Ausführung zum Testen von SPS-Programmen	13
<i>S. Ulewicz, S. Feldmann, B. Vogel-Heuser, S. Diehm</i>	Visualisierung und Analyseunterstützung von Zusammenhängen in SPS-Programmen zur Verbesserung der Modularität und Wiederverwendung	15
<i>G. Quirós Araya, M. Gora, J. Neidig, R. Ermler</i>	Emulation von SPS auf virtueller Zeitbasis: Eine Voraussetzung für die virtuelle Inbetriebnahme	17

Security

<i>A. Wichmann</i>	Industrial Security und Industrie 4.0: Sicherheitsanalyse von OPC UA	19
<i>M. Langfinger, S. Duque Antón, C. Lipps, A. Weinand, H. Schotten</i>	Angriffe à la carte – systematische Bewertung von Angriffsvektoren auf industrielle (Funk-)Netzwerke	21
<i>M. Birkhold, A. Neyrinck, A. Lechler, A. Verl</i>	Security aus dem Baukasten – Eine Konzeptvorstellung	23

Automatisiertes Engineering

<i>S. Rösch, D. Schütz, B. Weißenberger, X. Chen, T. Voigt, B. Vogel-Heuser</i>	Durchgängiges MES-Engineering als Grundlage für Industrie 4.0 – Modellbasierte, automatische Generierung von MES	25
<i>T. Beyer, P. Göhner</i>	Agentenbasiertes Assistenzsystem zur Entwicklung und Adaption von automatisierten Systemen am Beispiel von Aufzugsystemen	27
<i>T. Glock, M. Kern, S. Otten, E. Sax</i>	Ableitung von modellbasierten industriellen Vernetzungsarchitekturen aus dem Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema	29

Discrete Manufacturing

Automation in der Fließfertigung

<i>A. König, S. Keller</i>	Assistenzsysteme zur Integration von Produktionsanlagen der Mensch-Roboter-Kooperation in der Fahrzeugfließmontage	31
<i>R. Müller, M. Otto</i>	Automatisiertes Radadaptionssystem für effiziente Inbetriebnahme-Prozesse in der Fahrzeugfließmontage – Innovative Inbetriebnahme zukünftiger Fahrerassistenzsysteme	33
<i>U. Berger, D. T. Le, W. Zou</i>	Implementierung der Synchronisation einer mobilen Plattform an einer kontinuierlichen Fließfertigung für Montageaufgabe	35

Optimierung robotergestützter Produktionssysteme

<i>P. Stückelmaier, M. Grotjahn, C. Fräger</i>	Optimierung der Bahngenauigkeit von Industrierobotern unter Berücksichtigung elastischer Gelenkeinflüsse mittels externer Messungen	37
<i>M. Hüsing, J. Brinker, T. Mannheim, M. Wahle, B. Corves</i>	Optimierung der Performance von High-Speed-Robotern am Beispiel eines Deltaroboters	39
<i>S. Spies, B. Johnen, M. Bartelt, B. Pontai, B. Kuhlenkötter</i>	Modulare Roboter messzellen zur Hochgeschwindigkeitsqualitätsprüfung von Außenhautbauteilen in der Automobilindustrie	41

Roboter gestützte Produktion und Qualitätssicherung

<i>L. Thyssen, P. Seim, D. D. Störkle, B. Kuhlenkötter</i>	Optimierungsstrategien zur Steigerung der geometrischen Genauigkeit in der roboterbasierten inkrementellen Blechumformung	43
<i>S. Schmitz, D. Schilberg, B. Kuhlenkötter</i>	Konzeptionierung eines servogesteuerten-Roboter-Manipulators für das Handling und die Montage von Reifen und Felgen der „Losgröße 1“	45
<i>B. Schäfer, T. Engelhardt, D. Abel</i>	Automatisierte Befliegung von Windenergieanlagen mit einem Multikopter zu Inspektionszwecken – Multikopter-Prototyp mit 2D-LiDAR für 3D-Mapping und Kollisionsvermeidung sowie Vektorfeld-basierte Pfadfolgeregelung	47

Anlagenmodellierung

<i>C. Hildebrandt, X.-L. Hoang, A. Scholz, A. Fay, A. Schreiber, O. Graeser</i>	Modellierung von Aufträgen und Produktionsressourcen in flexibilisierten Produktionsumgebungen	49
<i>D. Gorecky, S. Weyer, F. Quint, M. Köster</i>	Definition einer Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen	51

<i>T. Doehring,</i> <i>D. Hasler,</i> <i>S. Kliner,</i> <i>S. Höme</i>	Generisches Modell zur verteilten Diagnose von industriellen Steuerungssystemen	53
---	---	----

Industrial Communication

<i>L. Rauchhaupt,</i> <i>D. Schulze</i>	Aspekte der Modellierung der Funkkommunikation im Kontext Industrie 4.0	55
<i>T. Stein,</i> <i>U. Konigorski,</i> <i>J. Kiesbauer,</i> <i>J. Fuchs</i>	WirelessHART als Übertragungsprotokoll für regelungs-technische Anwendungen	57
<i>S. Nsaibi,</i> <i>L. Leurs</i>	Chancen und Grenzen der Leistungssteigerung von Industrial Ethernet Systemen bei der Verwendung von Ethernet Time Sensitive Networking (TSN)	59

Innovationen in der Fertigung

<i>H. Kirchner,</i> <i>A. Pierer,</i> <i>M. Putz,</i> <i>P. Blau</i>	Entwicklung einer Kippregelung für servoelektrische Exzenterpressen mit mechanisch entkoppelten Hauptantrieben	61
<i>V. Frettlöh,</i> <i>C. Beck,</i> <i>T. Figge</i>	Entwicklung und Erprobung einer neuartigen Produktionstechnik zur vollautomatisierten Integration von RFID Technik in thermoplastische und duroplastische Bauteile	63
<i>T. Ernst,</i> <i>J. Ladiges,</i> <i>B. Hennings,</i> <i>R. Weidner,</i> <i>K. Schwake,</i> <i>A. Fay,</i> <i>J. Wulfsberg,</i> <i>R. Lammering</i>	Automatisierte, hochgenaue Fertigung und Montage an und in schwingenden Strukturen – Studie zur Untersuchung und Evaluation von Konzepten	65

Process Industries

Modularisierung in der Prozessindustrie

<i>M. Hoernicke, T. Holm, A. Haller, J. Bernshausen, D. Schulz, T. Albers, C. Kotsch, M. Maurmaier, A. Stutz, H. Bloch, S. Hensel</i>	Technologiebewertung zur Beschreibung für verfahrenstechnische Module – Ergebnisse des Namur AK 1.12.1	67
<i>A. Stutz, M. Maurmaier</i>	Module as a Device – Ergebnisse einer Studie zur Modulintegration auf Basis von FDI	69
<i>T. Holm, J. Ladiges, S. Wassilew, P. Altmann, A. Fay, L. Urbas, U. Hempen</i>	DIMA im realen Einsatz – Von der Idee zum Prototypen	71

Feldgeräte von morgen

<i>A. Tulke, M. Maiwald</i>	Technologie-Roadmap „Prozesssensoren 4.0“ – Einführung und Beispiele	73
<i>B. Rauscher, P. Adolphs</i>	Migration von industriellen Sensoren zu Industrie 4.0-Komponenten – Verbesserungs-Potenziale schon während der Evolution nutzen	75
<i>D. Großmann, S. Banerjee, J. Kiesbauer, S. Erben</i>	Predictive Maintenance auf der Basis von FDI und OPC UA	77

Operations & Optimization in der Prozessindustrie

<i>M. Krauß, J. Birk</i>	Remote Operation in der Prozessindustrie – Mehr eine Frage der Organisation als der Technik?	79
<i>M. Rautenberg, S. Schneider, M. Roth</i>	Automatisierung von Sonderszenarien in kontinuierlichen verfahrenstechnischen Prozessen	81

<i>S. Heinze, M. Graube, S. Hensel, J. Ziegler, L. Urbas</i>	Aspektororientierte HMI-Adaption als neuer Lösungsansatz für den integrierten Informations- und Interaktionsraum	83
--	--	----

Wertschöpfung aus Anlagen- und Prozessdaten

<i>T. Tauchnitz</i>	Engineering, Prozessdaten, Anlagendaten, Industrie 4.0 – alles wächst zusammen	85
<i>S. Windmann, S. Volgmann, O. Niggemann, A. Bernardi, Y. Gu, H. Pfrommer, T. Steckel, M. Krüger, T. Ross</i>	Analyse großer Datenmengen in Verarbeitungsprozessen	87
<i>H. J. Fröhlich</i>	Erhöhte Anlagenverfügbarkeit durch Messgeräteverifikation im laufenden Betrieb – Anforderungen und erste Praxiserfahrungen mit der rückführbaren online-Verifikation von Durchflussmessgeräten	89

Erste Ansätze zu Industrie 4.0 – Anwendungen in der Prozessindustrie

<i>T. Luckenbach, U. H. Hengen</i>	VHPready – Der Industriestandard für virtuelle Kraftwerke	91
<i>S. Maier</i>	Feldgeräteparametrierung im virtuellen Raum – Optimierung von Engineering und Inbetriebnahme der Feldgeräte durch die web-basierte Vorkonfiguration	93

IT-Security in der Prozessindustrie

<i>M. Runde, K.-H. Niemann, T. Steffen</i>	Automation Security – Aktuelle Best Practices und zukünftige Anforderungen in der Prozessindustrie	95
<i>A. Palmin, P. Kobes</i>	Systemintegrität als Kernelement der Industrial Security mit Blick auf Industrie 4.0	97

<i>S. Fischer, M. Floeck, V. Hensel, T. Kleinert, E. Kruschitz, T. Leifeld, M. Messner, B. Schrörs, J. Wiesner, D. Winkel</i>	„Keep it short and simple“ bei der Analyse von IT-Sicherheitsrisiken in PLT-Sicherheitssystemen	99
---	--	----

Digital World

Cyber-Security

<i>A. Pfoh</i>	The attackers can be anywhere – Results of a Honeynet project of a small town German water works	101
<i>H. Flatt, S. Schriegel, H. Trsek, H. Adamczyk, J. Jasperneite</i>	Analyse der Cyber-Sicherheit von Industrie 4.0-Technologien auf Basis des RAMI 4.0 und Identifikation von Lösungsbedarfen	103
<i>P. Semmelbauer, K. Leidl, M. Aman, L. Dörr, A. Grzempa</i>	Schwachstellen, Angriffsszenarien und Schutzmaßnahmen bei industriellen Protokollen am Beispiel Profinet IO	105

Industrie 4.0 Dienste

<i>D. Schulz, T. Goldschmidt</i>	Industrie 4.0 Dienstarchitektur – Semantische Interoperabilität in Industrie 4.0 Dienstesystemen	107
<i>F. Kretschmer, A. Lechler, A. Verl</i>	Gelbe Seiten für Industrie 4.0 – Aufbrechen statischer Produktion- strukturen mittels eines übergeordneten Verzeichnisdienstes	109
<i>J. Jürjens, N. Menz</i>	Sicherheitszertifizierung für Daten- und Software-Services in Industrie 4.0 – Aspekte der Zertifizierung im Industrial Data Space	111

Modellbasierte Planung

<i>M. Günther, P. Diekhake, A. Scholz, D. Diaz, P. Puntel Schmidt, U. Becker, A. Fay</i>	Unterstützung bei der Planung und Auslegung einer Gebäude- automation	113
<i>A. Zeller, M. Weyrich</i>	Absicherung der Rekonfigurationen von Produktionssystemen während des Betriebs · Warum Assistenzsysteme beim Testen verteilter IT-Systeme an Relevanz gewinnen	115
<i>S. Hensel, M. Graube, L. Urbas, T. Heinzerling, M. Oppelt</i>	Co-Simulation mittels OPC UA	117

OPC-UA

<i>M. Hoffmann, C. Büscher, T. Meisen, S. Jeschke</i>	Sichere und zuverlässige Integration von Multi-Agenten-Systemen und Cyber-Physischen Systemen für eine intelligente Produktion- steuerung auf Basis von OPC UA	119
<i>T. Bruckschlögl, M. Schmidt, R. Dokku, J. Becker</i>	Embedded Software und Netzwerk Sicherheit für OPC UA und hochvernetzte Anlagensysteme – Software Lizenzierung als Möglichkeit zur Zugangskontrolle und Autorisierung in OPC UA Netzwerken	121
<i>M. Schleipen, J. Pfrommer</i>	OPC UA als Basistechnologie zur Orchestrierung von Produktions- systemen – Orchestrierung von Diensten der Komponenten in Produktionssystemen mit Hilfe von OPC UA	123

Industrie 4.0: Wertschöpfungsketten und Komponenten

<i>J. Zawisza, K. Hell, H. Röpke, A. Lüder, N. Schmidt</i>	Generische Strukturierung von Produktionssystemen der Fertigungsindustrie	125
<i>T. Hadlich, C. Diedrich, T. Bangemann</i>	Planung von Wertschöpfungsketten mit I40-Komponenten	127

A. Fay, O. Drumm, R. Eckardt, G. Guterthuth, D. Krumsiek, U. Löwen, T. Makait, T. Mersch, A. Schertl, T. Schindler, M. Schleipen, S. Schröck	Durchgängigkeit in Wertschöpfungsketten von Industrie 4.0	129
---	---	-----

Digital World

Qualitätssicherung und Diagnose

S. Abele, M. Weyrich	Automatisierte Datenauswertung zur Fehlerdiagnose und Absicherungsunterstützung für Qualitätssicherungssysteme	131
M. Thron, H. Zipper, S. Magnus, S. Süß, C. Göbeler Z. Liu, C. Diedrich	Beschreibung des normalen und gestörten Verhaltens mechatronischer Komponenten für den automatisierten virtuellen Anlagentest	133
C. Paiz Gatica, M. Köster, T. Gaukster	Mehrwert aus den Maschinendaten mit Data Analytics – Ansätze zur vorausschauenden Wartung und Prozessoptimierung	135

Posterpräsentationen

S. Rösch, D. Schütz, B. Vogel-Heuser	Modellbasiertes Testen von Steuerungssoftware in der Praxis – Evaluation eines modellbasierten Testansatzes bei Anwendern in der Produktionsautomatisierung	137
L. Hundt, J. Prinz, U. Enste, S. Bukva	Leitsystemerkennung mit AutomationML und OPC UA in „Brownfield“-Projekten	139

A. Kroll, A. Dürrbaum, D. Arengas, B. Jäschke, H. Al Mawla, A. Geiger, B. Braun	μ Plant: Model factory for the automatization of networked, heterogeneous and flexibly changeable multi-product plants	141
M. Oppelt, M. Hoernicke, R. Rosen, M. Barth, L. Urbas	Simulation 2025: Simulation im Lebenszyklus industrieller Anlagen	143
P. Bidian, J. Göres, J. Röper, A. Junghanns	Verwendung virtueller Bandendeprüfstände zum frühzeitigen Erreichen des Reifegrades der Serienprüfung – Kostenoptimierung durch Nachnutzung von Simulationskomponenten aus der Entwicklung	145
M. Bartelt, A. Strahilov, B. Kuhlenkötter	Prozessüberwachung als Dienstleistungs-App auf einem Cyber-Physischen System	147
M. Dück, J. Trabert, F. Seidler, W. Silex, S. van Waasen, M. Schiek, D. Abel, E. Castelan	Regelung nicht-linear gekoppelter elektromagnetischer Aktuatoren zur aktiven Widerstandsreduktion in turbulenter Strömung	149
B.-M. Pfeiffer, C. Heck	Lebenszyklus-Management von Regelkreisen – Performance-Indikatoren für verschiedene Fahrweisen von Regelkreisen	151
N. Jazdi, M. Weyrich	Dynamische Berechnung der Zuverlässigkeit von vernetzten kooperierenden Produktionssystemen	153
E. Wagner, D. Zöller, T. Lammersen, D. Abel	Modellbasierte Regelung für den Einsatz in Umweltsimulationsanlagen	155
G. Meyer-Gauen, B. Böhm, S. Döpping, U. Hempen	MTConnect – ein Baustein des IOT – Projektspezifisch umgesetzt: WAGOs PFC-Steuerungen kommunizieren Maschinendaten gemäß MTConnect	157
H. Rudolph, D. Goergen	Security Anforderung an Safety Instrumented Systems (SIS) gemäß dem Standard IEC 61511	159

<i>P. Glogowski, M. Rieger, B. Kuhlenkötter</i>	Eigenfrequenzbestimmung eines redundanten Roboterportals zur Schwingungsminimierung in Bearbeitungsprozessen	161
<i>D. D. Störkle, P. Seim, L. Thyssen, B. Kuhlenkötter</i>	Umformung von schwer formbaren Werkstoffen unter Einsatz der konduktiven Erwärmung in der roboterbasierten inkrementellen Blechumformung	163
<i>T. Hadlich, M. Könneke</i>	AutomationML als Anlagendokumentation	165
<i>C. Wagner, F. Palm, S. Grüner</i>	Open Source Projekte als Treiber zukünftiger Entwicklungen in der Automatisierungstechnik	167
<i>M. Behlen, S. Büttner, S. Schmidt, S. Pyritz, C. Röcker</i>	Multitouch im industriellen Umfeld – Evaluierung bestehender Systeme, identifizierte Anwendungsszenarien und Handlungsempfehlungen für zukünftige Systeme	169
<i>A. Schlag, S. Süß, T. Bär, M. Vielhaber</i>	Ganzheitliche Projektierung automatisierter Montageanlagen als Grundlage von digitalen Absicherungsprozessen	171
<i>S. Höme, C. Diedrich</i>	Bewertung der QoS von IoT-Kommunikationssystemen am Beispiel von MQTT	173
<i>M. Bröcker</i>	Regelungstechnische Anwendungen im Industrie 4.0 Umfeld – Moderne Ansätze des Rapid Control Prototyping	175
<i>A. Lüder, N. Schmidt, E. Yemenicioglu</i>	Herstellerunabhängiger Austausch von Verhaltensmodellen mittels AutomationML	177
<i>S. Grüner, U. Epple</i>	Adaptive Laufzeiteigenschaften von Anwendungen in der Automation: Anforderungen und Nutzungsperspektiven	179

Systematische Betrachtung nichtfunktionaler Anforderungen beim Entwurf von I4.0 Service-Infrastrukturen

Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. **R. Denzer**, EIG, htwsaar, Saarbrücken;
Dipl.-Inform. **G. Sutschet**, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

Kurzfassung

Cyber-physische Systeme (CPS) besitzen hohe nicht-funktionale Anforderungen (NFA) in Bezug auf einen sicheren, fehlertoleranten, resilienten, effizienten, selbst-organisierenden und störungsfreien Betrieb. NFA sind daher notwendigerweise in der detaillierten Ausgestaltung und Spezifikation einer Service-Infrastruktur für CPS zu berücksichtigen – so auch auf dem Weg zu einem I4.0 Referenzmodell bzw. einer I4.0-Referenzarchitektur. Wie das sinnvoll geschehen kann, war bislang wenig Gegenstand der Forschung und Entwicklung. Klassische Referenzmodelle für Service-Architekturen aus der Informatik betrachten obige NFA bislang nicht. Ein erster Ansatz wird in der Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) lediglich in Bezug auf die Informationssicherheit (security) gemacht. NFA werden überwiegend auf so abstrahiertem Niveau beschrieben, dass sie für die konkrete Spezifikation einer Service-Infrastruktur für CPS zu abstrakt sind, um wirklich nützlich zu sein. Darüber hinaus reicht es nicht aus NFA zu postulieren, es ist vielmehr notwendig einen Brückenschlag zu antizipierten Lösungen herzustellen, welche in die Spezifikation eines Referenzmodells eingehen. Der Beitrag beschreibt einen Vorschlag aus der Forschung, wie NFA und Lösungsoptionen für NFA systematisch in die Entwicklung von Referenzmodellen einbezogen werden können, und zwar so konkret, dass sie direkt das Design der Service-Infrastruktur und das Engineering konkreter Systeme beeinflussen und testbar machen.

1. Nicht-funktionale Anforderungen an I4.0 Service-Infrastrukturen

Von Beginn an fordern die Umsetzungsempfehlungen der Plattform Industrie 4.0 [1] die Betrachtung von Referenzmodellen als Lösungsansatz für die Service-Infrastruktur von I4.0-Systemen. Dieser Artikel beleuchtet wie nicht-funktionale Anforderungen (NFA) in die Spezifikation eines Referenzmodells bzw. einer Referenzarchitektur eingehen können.

Wir beobachten, dass sowohl im Umfeld von I4.0 [2] als auch im Umfeld der Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) [3] sowie ganz generell im Umfeld des Internet of Things (IoT) [4] NFA formuliert werden („safety“, „security“, „resilience“, usw.), dass die Begrifflichkeiten aber zu abstrakt gefasst sind, als dass sie konkret in das Design einer Service-

Infrastruktur eingehen könnten. Das gleiche gilt für die I4.0-Komponente, die bisher nicht formal spezifiziert ist. Es gibt lediglich eine Übereinkunft in Form einer „Prosa-Meinung“ über einige ihrer grundlegenden Eigenschaften. Das Schachteln ([2], Seite 22 „nestability“) einer I4.0-Komponente ist z.B. nicht klar definiert: was bedeutet das Schachteln genau für die Verwaltungsschalen einer I4.0-Komponente und den Zugriff auf geschachtelte I4.0-Komponenten?

Bei der Abgrenzung zwischen Nicht-Funktionaler Anforderung (NFA) und Funktionaler Anforderung (FA) ist offensichtlich, dass FA das „was“ definieren und NFA das „wie“, auch wenn es schwer fällt eine klare Definition für beide in der Literatur von CPS zu finden. So wird z.B. der Begriff der NFA zwar in den IoT-A Dokumenten verwendet, ist aber nicht im zugehörigen Glossar definiert. Da Anforderungen aber generell jeden Architekturprozess treiben, ist es eine unschöne Situation, wenn man nicht konkret angeben kann, an welcher Stelle des Prozesses welche Anforderungen vorwiegend berücksichtigt werden sollten. Zu Beginn müsste man daher erst einmal fragen: Was ist der Unterschied zwischen einer NFA und einer FA in Bezug auf den Architekturprozess von Industrie 4.0 Systemen?

Auf der jetzigen abstrakten Ebene kann man die NFA lediglich als Ziele oder Handlungsempfehlungen begreifen. Die abstrakte Art der Beschreibung ist nicht dazu geeignet eine I4.0-Serviceinfrastruktur zu spezifizieren, welche systematisch NFA berücksichtigt, sodass die Infrastruktur auch gegen diese geprüft (getestet) werden kann.

2. Anforderungen und Referenzmodelle

Um sich dem Unterschied zwischen NFA und FA zu nähern, ist es sinnvoll, ein Beispiel eines konkreten SOA-Referenzmodells für eine Domäne zu betrachten und zu beleuchten, wie Anforderungen in den Architekturprozess eingehen. Wir verwenden hierzu ein Referenzmodell aus dem Bereich des Risk Management, das RM-OA (Reference Model of the ORCHESTRA Architecture [5]).

Zunächst ist festzuhalten, dass ein Unterschied darin besteht, ob man ein *System* oder eine SOA-Infrastruktur für eine *Systemklasse* über ein Referenzmodell spezifiziert. Letzteres wurde im ORCHESTRA-Projekt für Risikomanagement-Systeme gemacht [6]. Dabei wurden zunächst typische Anforderungen unterschiedlicher Anwendungen erhoben und harmonisiert, wobei selbstverständlich die benötigten *Funktionen* (die Elemente der Lösung des Problemraums) im Vordergrund standen. Aus diesen „funktionalen“ Anforderungen [7] wurde eine Service-Infrastruktur abgeleitet, welche diese Anforderungen befriedigt (Bild 1), was in der Regel ein iterativer Prozess ist [8]. Diese Service-Infrastruktur besteht letztlich abstrakt

Agiles Service-Engineering für Industrie 4.0

Erster Schritt: Anforderungsanalyse mit Anwendungsfällen

Dr.-Ing. **Thomas Usländer**, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

Kurzfassung

Das Ziel des Beitrags ist es, die Bedeutung eine systematischen agilen Software-Engineerings speziell für Industrie 4.0 zu verdeutlichen. Beim Engineering von Industrie 4.0 Software-Anwendungen müssen die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen von IT-Anwendern aus unterschiedlichen Disziplinen mit den Fähigkeiten einer sich entwickelnden Industrie 4.0 Dienstplattform gemäß RAMI4.0 in Einklang gebracht werden. Diese Plattformfähigkeiten werden von Software-Entwicklern und Architekten beschrieben und passen begrifflich und formal zumeist nicht mit der Sprache der Anwender zusammen. Der Beitrag beschreibt, wie diese "Lücke" mithilfe der agilen Software-Entwicklungsmethodik SERVUS geschlossen werden kann. Grundlagen der Methodik sind „user stories“ und davon abgeleitete semi-strukturierte Anwendungsfälle (use cases). SERVUS erlaubt deren Erfassung, Ablage und Vernetzung in einer Web-basierten Kollaborationsumgebung. Dort können sie innerhalb einer Fach-Community strukturiert, miteinander verlinkt, recherchiert, Schritt für Schritt verfeinert und dann später auf generische Funktionsbausteine abgebildet werden. Bei der Industrie 4.0 werden solche generischen Funktionsbausteine zukünftig als Basis- und höherwertige Plattform- und Anwendungsdienste in Industrie 4.0 Referenzarchitekturen definiert.

Abstract

This paper highlights the importance of systematic agile service engineering for Industrial Internet and Industrie 4.0 software applications. Here, the functional and non-functional requirements of IT users (mostly of engineering disciplines) need to be mapped to the capabilities of emerging service platforms. The capabilities of service platforms are usually described, structured and formalized by software architects. However, very often, their description does not fit to the language of the user. This complicates the transition from requirements analysis to system design. The paper describes how this 'gap' may be closed with help of a service-oriented analysis and design (SOAD) methodology entitled SERVUS and a corresponding Web-based collaborative tool that supports the documentation according to

the SERVUS design methodology. SERVUS denotes a Design Methodology for Information Systems based upon Service-oriented Architectures and the Modelling of Use Cases and Capabilities as Resources. It describes individual design activities interconnected by a common modelling environment combining several viewpoints of architectural reference model, e.g. the RAMI4.0 Business, Information and Functional Layers. SERVUS was successfully used in numerous collaborative and inter-disciplinary software projects.

1. Motivation

Beim Engineering von Industrie 4.0 Software-Anwendungen müssen die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen von IT-Anwendern (zumeist aus den Disziplinen des Maschinenbaus und/oder der Elektro- und Automatisierungstechnik bzw. des Fabrik- und Anlagenbaus) mit den Fähigkeiten einer sich entwickelnden Industrie 4.0 Service Plattform gemäß einer Referenzarchitektur in Einklang gebracht werden. Dabei ist zu beachten, dass es mehrere Industrie 4.0 Servicereferenzarchitekturen geben wird [1], je nach Position der Problemstellung im Betrachtungsraum des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (RAMI4.0) [8], das als Orientierung und Meta-Modell für Industrie 4.0 Systemkonzepte dient.

Die Fähigkeiten einer Industrie 4.0 Service Plattform werden derzeit von Software-Entwicklern und Architekten beschrieben, strukturiert und formalisiert. Es ist abzusehen, dass diese Fähigkeitsbeschreibungen begrifflich und formal zumeist nicht mit der Sprache der Anwender zusammen passen, was den Übergang von der Anforderungsanalyse zum Systementwurf erschwert. Der vorliegende Beitrag beschreibt, wie diese "Lücke" mithilfe der an die Industrie 4.0 angepassten agilen Software-Entwicklungsmethodik SERVUS geschlossen werden kann. Grundlagen der Methodik sind „user stories“ und davon abgeleitete semi-strukturierte Anwendungsfälle (use cases). SERVUS steht für eine „Service-oriented Analysis and Design of Requirements based upon Use Cases and Information Resources“ [2] und wurde schon in zahlreichen kollaborativen und interdisziplinären Software-Entwicklungsprojekten erfolgreich eingesetzt [4], hauptsächlich in Projekten, die den Prinzipien einer serviceorientierten Architektur (SOA) folgen.

2. Stand der Technik

2.1 Service-orientierte Analyse und Design

Es wurden in den letzten Jahren zahlreiche Methoden für die Service-orientierte Analyse und Design (SOAD) in der Literatur vorgeschlagen. Umfangreiche Übersichten und Bewertungen finden sich in [10] und [11]. Man kann sie in zwei wesentliche Klassen einteilen [12]:

Flexible Erweiterung von Arbeitsräumen mit serviceorientierten Architekturen

Stephan Schäfer, Dirk Schöttke, Thomas Kämpfe, Dietrich Krönke,
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin;

Ulrich Berger,

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg;

Bernd Tauber,

EAW Relaistechnik GmbH, Berlin

Kurzfassung

In einer Studie vom April 2015 sehen 59% der befragten Unternehmen in der Herstellung individualisierter Produkte einen der wesentlichen Technologietreiber zur vernetzten Fabrik der Zukunft [1]. Die flexible Produktion variantenreicher Produkte erfordert allerdings anpassbare und rekonfigurierbare Anlagenkomponenten. Während starre und hochproduktive Fertigungsstraßen auf hohe Stückzahlen bei gleichen Produkten ausgelegt werden, ist die flexible Fertigungszelle zur Fertigung umfassender Teilefamilien in regelloser Folge der Einzelstücke mit minimalem menschlichem Eingriff geeignet. Die zumeist mangelnde Auslastung der Zellkomponenten hat jedoch häufig sehr hohe Maschinenstundensätze zur Folge, weswegen dieses Konzept bei hohen Stückzahlen unwirtschaftlich bleibt [2]. Rekonfigurierbare Anlagen bilden zwischen den beiden zuvor genannten Anlagentypen einen Kompromiss, hin zu einer variantenreicheren Produktion bei akzeptablen Stückkosten [3].

Während bereits Maschinenkonzepte für den apparativen Wechsel einzelner Maschinenkomponenten existieren, sind konventionelle Engineering-Methoden für die Migration der Steuerungssoftware bestehender Anlagen nur eingeschränkt nutzbar, da diese häufig für individuelle Anwendungsfälle sowie proprietäre Hardware ausgelegt werden und damit zu starren Anlagenstrukturen mit einer festen Kopplung der Software an die Hardware führen.

Ziel dieses Beitrags ist es daher, für den Anwendungsfall einer Prüf- und Handling-Anlage ein Konzept für die Migration zu einer rekonfigurierbaren Anlage zu entwickeln, welches sowohl die Instrumentierung als auch das Engineering betrachtet. Exemplarisch wird hierzu der Ansatz von serviceorientierter Architektur in der Automation (SoA²) für den Teilbereich einer Bestandsanlage erläutert.

1 Einleitung

Rekonfigurierbare Produktionssysteme zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine Vielzahl verschiedener Produkte, welche sich in der Menge und in der Art der Zusammensetzung unterscheiden, produzieren können. Zu diesem Zweck werden sie aus autonomen und standardisierten Funktionseinheiten so zusammengesetzt, dass bei Bedarf deren schneller Austausch gewährleistet werden kann [4].

Ein erster Schritt für die Umsetzung eines rekonfigurierbaren Produktions- und Handlingsystems besteht in der Einführung eines Plattformspeichers zur Verwaltung der Instrumentierung. In diesem werden sowohl die derzeit nicht verwendeten realen Betriebsmittel (Komponenten), als auch deren digitale Repräsentanz anlagenübergreifend verwaltet.

Entsprechend der notwendigen Anlagenkonfiguration können die Komponenten aus dem Plattformspeicher abgerufen und in das Anlagenumfeld eingebettet werden. Eine wesentliche Herausforderung liegt in der Zielstellung einer aufwandsarmen Integration der Komponenten in das Anlagenumfeld sowie deren Parametrierung [5, 6].

2 Allgemeines Konzept

Die Methodik einer schrittweisen Migration von Systembestandteilen hin zu rekonfigurierbaren Fertigungssysteme wird anschaulich in [7, 8] erläutert. Der in [7] dargestellte Aspekt diskutiert eingrenzend nur die Anordnung bzw. die Gestaltung von Produktionsprozessen und deren räumliche Anordnung. Unberücksichtigt bleiben die erforderliche Instrumentierung und die notwendige Beschreibung und Modellierung der Prozesse.

Insbesondere im Engineering rekonfigurierbarer Anlagen bietet sich ein serviceorientierte Lösungsansatz zur Erreichung eines hohen Flexibilitätsgrades an. Dies erfordert jedoch zunächst eine detaillierte Analyse des Lösungsraumes zur Ermittlung der benötigten Freiheitsgrade. [6, 9, 10]. Die hierfür erforderliche semantische Interoperabilität setzt eine gemeinsame Wissensbasis zwischen den im Anlagenverbund beteiligten Komponenten voraus [11, 12].

Des Weiteren müssen für die Nutzung der jeweiligen Prozesse Funktionen als Dienst oder Service identifiziert und zugeordnet werden. Ein Dienst oder Service ist in diesem Zusammenhang eine Softwarekomponente, die in einem Netzwerk von anderen genutzt werden kann. Dabei wird eine sogenannte Serviceschnittstelle genutzt, welche öffentlich verfügbar und beschrieben ist. Sie sollte unabhängig von der verwendeten Programmiersprache oder Plattform sein. Im Dienst selber ist die jeweilige Implementierung gekapselt und wird nach außen hin allgemein dargestellt. Details der Umsetzung sind für andere Dienste unsichtbar,

Bedrohungsmodellierung für generische Automationssystemarchitekturen

Dr. **Sebastian Obermeier**, Dr. **Roman Schlegel**,
Dr. **Johannes Schneider**,
ABB Corporate Research, Baden, Schweiz

Kurzfassung

Die Bedeutung von Cyber-Security in der Automation hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Seit dem Bericht des deutschen Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik, in dem ein Fall aufgezeigt wurde, in dem ein Hochofen in einem Stahlwerk durch externe Manipulationen massiv beschädigt wurde, haben auch weite Teile der Bevölkerung die Bedeutung realisiert. Um die Situation allerdings realistisch einschätzen zu können, ist eine Bedrohungsmodellierung samt Analyse der potentiellen Auswirkungen der einzelnen Bedrohungen unerlässlich. In der IT gibt es einige Verfahren, die für einzelne Softwarekomponenten angewendet werden, z.B. „STRIDE“.

Industrielle Automationssysteme sind jedoch hochkomplex und umfassen typischerweise mehrere Softwaresysteme und Geräteklassen. Es ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit, auch die Gesamtarchitektur dieser Systeme umfassend zu betrachten, und nicht nur ihre einzelnen Bestandteile isoliert zu analysieren und zu schützen.

In diesem Beitrag wird ein neuartiges Verfahren für eine systemische Bedrohungsmodellierung vorgestellt, das den Fokus auf eine einfache Anwendung und übersichtliche Präsentation legt. Weiterhin war ein Ziel bei der Entwicklung des Verfahrens die Analyse von bislang nicht in Betracht gezogenen Bedrohungen sowie das automatisierte Vorschlagen von Sicherheitskomponenten zur Entschärfung dieser offenen Bedrohungen.

Zur Anwendung dieses Verfahrens wurde ein webbasiertes Softwareprogramm erstellt, welches auf einer relationalen Datenbank basiert.

1. Einleitung

Systeme zur Überwachung und Steuerung industrieller Anlagen sind komplexe, miteinander verbundene Systeme, die oftmals aus hunderten einzelner Komponenten unterschiedlichster Hersteller bestehen. Um sicherheitsrelevante Bedrohungen und die entsprechenden Gegenmaßnahmen besser zu verstehen, werden oft Methoden wie Brainstorming-Sitzungen

oder andere Arten von Besprechungen genutzt. Um allerdings ergebnisorientiert vorgehen zu können und ein wiederholbares Ergebnis zu erzeugen, ist ein systematischer Ansatz zur Erstellung eines Bedrohungsmodells sinnvoll. Das Erstellen eines solchen Bedrohungsmodells für ein Gerät oder ein ganzes System hilft, Bedrohungen besser zu verstehen und einzuschätzen.

Idealerweise erfolgt die Erstellung eines solchen Bedrohungsmodell bereits während der Entwicklungsphase eines Gerätes oder Systems, damit notwendige Änderungen frühzeitig identifiziert und die Gesamtarchitektur entsprechend angepasst werden kann. Wird ein Bedrohungsmodell für ein Gerät oder ein System erstellt, welches bereits in Betrieb ist, hilft das Resultat, Gegenmaßnahmen zu priorisieren.

Es gibt verschiedene Ansätze um ein Bedrohungsmodell zu zeugen: angriffszentrisch, Asset-zentrisch oder systemzentrisch. Diese Ansätze unterscheiden sich hauptsächlich in der Art und Weise, wie die Geräte oder Systeme untersucht werden:

- *Angriffszentrisch:* Bei diesem Ansatz wird die Sicht eines Angreifers eingenommen und evaluiert, wie dieser Angreifer das System attackieren würde.
- *Asset-zentrisch:* Hier werden zunächst die schützenswerten „Assets“ identifiziert, also Daten und Komponenten, die besonders wertvolle Informationen enthalten oder kritisch für den Gesamtbetrieb sind. Danach werden die Bedrohungen für diese Assets analysiert.
- *Systemzentrisch:* Bei diesem Ansatz wird ein Gerät oder System Komponente für Komponente analysiert, um die spezifischen Bedrohungen zu erkennen.

Unabhängig vom gewählten Ansatz ist eine weitere wichtige Entscheidung, wie das Bedrohungsmodell erstellt wird, insbesondere welche Methode und Softwareunterstützung in Form von Tools verwandt wird. Es gibt diverse unterschiedliche Tools [1], die sich grundlegend in ihrer Spezialisierung und Fokussierung unterscheiden. Einige Tools zur Bedrohungsmodellierung sind explizit zur Modellierung von Softwarekomponenten ausgelegt, während andere Tools nur bestimmte Systemtypen modellieren können. Einige Tools umfassen „mind mapping“-artige Funktionen, während andere komplexe Analysefunktionen anbieten. Insbesondere gibt es zwei Arten von Extremen: Sehr generische und sehr spezifische Tools. Generische Tools schränken das Bedrohungsmodell nicht ein, während spezifische Tools ein unterliegendes Datenmodell einsetzen, für das das Bedrohungsmodell zwingend in einer bestimmten Form erstellt werden muss.

Konzepte zur Erhöhung der IT Sicherheit in industriellen Automatisierungssystemen

Ansätze für die Feldebene

Dr.-Ing. **Stefan Windmann**, Prof. Dr. rer. nat. **Oliver Niggemann**,
Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo;
Dr.-Ing. **Henning Trsek**, rt-solutions.de GmbH, Köln

Kurzfassung

In industriellen Automatisierungssystemen zeichnet sich eine immer stärkere Vernetzung der Feldgeräte untereinander und mit Geräten auf höheren Ebenen der Automatisierungspyramide ab. Darüber hinaus werden anstelle proprietärer Feldbusprotokolle zunehmend standardisierte Netzwerkprotokolle auf der Basis des TCP/IP Kommunikations-Stacks verwendet. Durch diese Entwicklungen werden Automatisierungssysteme anfälliger gegenüber Cyberangriffen, die u.a. die Integrität und Verfügbarkeit cyber-physikalischer Produktionsprozesse bedrohen und sogar zu einer Gefährdung der Menschen führen können. In dem Beitrag werden daher Konzepte zur Erhöhung der Cyber-Sicherheit industrieller Automatisierungssysteme untersucht. Neben Standardmaßnahmen wie der Verwendung von Verschlüsselungen, kryptographischen Hashfunktionen, Identifikationsmerkmalen und zeitlichen Merkmalen werden insbesondere auch neue Methoden zur automatischen Prozessüberwachung betrachtet.

Abstract

In industrial automation systems, an increasing networking of field level devices among each other and with devices at higher levels of the automation pyramid can be observed. Furthermore, proprietary field bus protocols are progressively replaced by standardized network protocols based on the TCP/IP communication stack. These developments render automation systems more and more vulnerable with respect to cyber attacks, which threaten amongst others the integrity and availability of cyber-physical manufacturing processes, and may even lead to endangering of humans. Therefore, concepts for increasing the cyber security in industrial automation systems are investigated in this article. Besides standard methods, such as the use of encryption, cryptographic hash functions, identification features and temporal features, new methods of automatic process monitoring are considered.

1. Einleitung

Im Bereich der industriellen Produktion ist eine immer engere Verzahnung der Informationstechnologie mit der Automatisierungstechnik zu beobachten [1]. Bestrebungen wie die Smart Service Welt 2025 zielen sogar darauf ab, Anlagen und Fabriken nach dem Prinzip „Plug & Use“ über digitale Plattformen an das Internet anzuschließen [2]. Solche Entwicklungen setzen jedoch hohe Standards hinsichtlich der Cyber-Sicherheit der Anlagen voraus. Sicherheitslücken im Produktionsumfeld können drastische Auswirkungen wie den Ausfall von Produktionsanlagen, die Herstellung minderwertiger Produkte oder sogar die Gefährdung von Menschenleben zur Folge haben. Bestehende Standards und Best Practices (IEC 62443, VDI 2182, etc.) ermöglichen durch präventive Maßnahmen wie beispielsweise Netzwerksegmentierung und Security Level Management die Etablierung eines Basisschutzes, der zwingend erforderlich ist. Komplexe, nachhaltige Angriffsformen oder Angriffe von Innen können so jedoch meist nicht verhindert werden, stellen aber ebenfalls eine sehr große Bedrohung dar, beispielsweise durch die Manipulation von Steuerungs- oder Wartungsprogrammen.

Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Verbesserung der Cyber-Sicherheit auf der Feldebene industrieller Automatisierungssysteme. In Kapitel 2 werden Bedrohungsszenarien und die erforderliche Schutzfunktionalität für industrielle Automatisierungssysteme aufgezeigt. Anschließend werden in Kapitel 3 Umsetzungsempfehlungen für die Realisierung eines wirkungsvollen Schutzes gegeben. In Kapitel 4 wird darüber hinausgehend die automatische Anomalie-Erkennung für eine Anlage der industriellen Klebstoffproduktion untersucht.

2. Bedrohungsszenarien und erforderliche Schutzfunktionalität

Angriffe auf cyberphysische Systeme sind kein reines Zukunftsszenario. Im Folgenden werden einige beispielhafte Vorfälle in industriellen Anlagen in chronologischer Reihenfolge aufgezeigt, beginnend mit dem aktuellsten. Die dargestellten Angriffe wurden mit teilweise sehr großem Aufwand durchgeführt. Betroffen waren hierbei sowohl gewöhnliche Fertigungsanlagen, als auch Anlagen, die zu den kritischen Infrastrukturen gezählt werden.

Im Jahr 2014 fand ein gezielter Angriff auf ein Stahlwerk in Deutschland statt [3], bei dem die Angreifer sich zunächst mittels Social Engineering und Spear-Phishing Zugang zum Büronetz des Unternehmens verschafften und im Anschluss bis in die Produktionsnetze vordrangen. Während des Angriffs häuften sich die Ausfälle einzelner Steuerungssysteme bis hin zu dem Ausfall eines Hochofens, der eine massive Beschädigung der gesamten Anlage zur Folge hatte.

Security und Echtzeit – Divergierende Anforderungen bei Industrie 4.0

Security and Real Time – Divergent Requirements on Industry 4.0

Prof. Dr.-Ing. **Jörg Wollert**,
FH-Aachen – LFG Embedded Systems und Mechatronik, Aachen

Kurzfassung

Das Internet der Dinge und die smarte Fabrik sind allgegenwärtig bei der Diskussion rund um Industrie 4.0. Die neue Welt der digitalen Automation erscheint dynamisch, lose gekoppelt und flexibel auf alle Anforderungen reagieren zu können. Doch die Realität erfordert einen differenzierten Umgang mit den Anforderungen. Eine Steigerung der Leistung von Anlagen ist nur mit hohen und höchsten Reaktionszeiten der Automatisierungssysteme zu meistern. Im Gegenzug erfordert die Anbindung an die IT-Welt Sicherheitskonzepte nach dem Stand der Technik. Die Reaktion auf Nachrichten innerhalb weniger μsec ist technisch realisierbar, aber nicht gleichzeitig mit einer effektiven Verschlüsselung. Hier sind hierarchische Konzepte notwendig die gleichzeitig eine hohe Systemleistung und eine hohe Sicherheit ermöglichen.

Abstract

The Internet of Things and smart factories are omnipresent in the discussion around industry 4.0. The new world of digital automation promises loosely coupled systems and a most flexible answer to all requirements. But in the technical reality there are various concurrent requirements to fulfill. A significant increase of production requires a minimization of the reaction times of the automation systems. On the other hand side, the connection of the distributed components requires the IT security concepts according to the state of the art. The response to messages within a few microseconds is technically feasible, but not simultaneously with an effective encryption. That leads to hierarchical concepts to provide high performance and high security standard.

1. Einführung

Industrie 4.0 ist viel mehr als nur die technologische Verknüpfung von Fabriken und Maschinen. Durch die horizontale Verknüpfung von Wertschöpfungsnetzwerken und die vertikale Integration vernetzter Produktionssysteme werden vollkommen neue Kommunikationsanforderungen in einer noch nie da gewesenen Komplexität geschaffen. Das Internet der

Dinge und Dienste eröffnet unendliche Möglichkeiten, die jedoch sinnvoll genutzt werden müssen. Alleine die Beschränktheit des Einzelnen weist die Grenzen des Gesamtsystems auf. Eine Grenze ist das Verständnis von Echtzeitdaten. Langläufig wird Echtzeit mit „schnell“ übersetzt, was auf der einen Seite sicherlich richtig sein kann, auf der anderen Seite jedoch einen sehr relativen Wert widerspiegelt, der in unterschiedlichen Begriffswelten vollkommen verschieden interpretiert wird. Die Frage was „schnell“ ist, ist demnach kaum zu beantworten. Vergleichbar schwierig ist die Definition des Begriffs der „sicheren Kommunikation“. Man fordert nicht umsonst Kommunikationssicherheit. Doch was verbirgt sich dahinter? Geht es darum Datenverlust zu vermeiden, oder die Zuverlässigkeit zu steigern, oder die Robustheit des Systems gegen Angriffe zu gewähren. Oder geht es darum Fehler zu vermeiden und zu detektieren? Alleine diese wenigen Fragestellungen zeigen, dass „Sicher“ ein sehr deutungswürdiger Begriff ist, der nicht allgemeingültig beantwortet werden kann. Über sichere Echtzeitsysteme im Kontext Industrie 4.0 zu sprechen ist demnach selbstverständlich [1][2][3]. Was jedoch in keiner Weise klar ist, ist die Deutungshoheit. Je nach Herkunft der Betrachter werden die Begriffe so unterschiedlich verstanden, dass ein gemeinsames Verständnis quasi unmöglich ist. In den nachfolgenden Abschnitten werden aus diesem Grund die unterschiedlichen Bedeutungswelten im Zusammenhang Industrie 4.0 dargestellt und die jeweiligen Anforderungen diskutiert.

2. Infrastruktur Industrie 4.0

Mit dem RAMI 4.0 (Referenz Architektur Modell) ist in der DIN 91345 [1] das Referenzmodell für die Infrastruktur von Industrie 4.0 beschreiben. Das dreidimensionale Modell beschreibt die Lebenszyklen und die Wertekette auf der einen Achse, die hierarchischen Level der Automatisierungstechnik gemäß der Interoperabilität von Produktion und Unternehmensführung (IEC62264) sowie der Prozessindustrie (IEC61512) und auf der dritten Achse die unterschiedlichen Ebenen der Wertschöpfungskette vom Asset über die Integrations- und Kommunikationsebene bis hin zur Funktions- und Businesssebene.

Alleine diese kurze Ausführung gibt einen Einblick in die zu erwartende Komplexität. RAMI 4.0 soll eine Antwort auf alle Fragen des kooperativen Miteinanders der gesamten Protagonisten in einer Industrie 4.0-Welt geben. Es ist damit eine Spezialisierung und Ausgestaltung einer spezifischen Sicht auf das Internet der Dinge und Dienste (IoT, IoS). Aktuell formulieren mehr als 15 Branchenbereiche ihre spezifischen Anforderungen an das Referenzmodell, um spezifische Best-Practices zu entwickeln. Und hierbei sind die individuellen technischen Realisierungen noch gar nicht berücksichtigt.

Symbolische Ausführung zum Testen von SPS-Programmen

Dimitri Bohlender, M. Sc., **Hendrik Simon**, M. Sc.,
Prof. Dr.-Ing. **Stefan Kowalewski**, RWTH Aachen;
Dr. rer. nat. **Stefan Hauck-Stattelmann**,
ABB Corporate Research, Ladenburg

Kurzfassung

Für die Erstellung von Überdeckungstests ist die automatische Testfallgenerierung ein nützliches Werkzeug, den damit verbundenen Arbeitsaufwand zu begrenzen. Im Kontext von Speicherprogrammierbaren Steuerungen wird das Erstellen von Testfällen zusätzlich durch deren zyklische Ausführung erschwert, was den Einsatz von automatischen Verfahren nahelegt. In dieser Arbeit wird ein skalierendes Verfahren zur automatischen Testfallgenerierung von Programmen nach IEC-61131-3 vorgestellt. Während bestehende Ansätze eine vollständige Überdeckung garantieren, unterliegen sie oft dem Problem der Zustandsexplosion, was in nicht vertretbaren Laufzeiten resultiert. Im Gegensatz dazu basiert das hier vorgestellte Verfahren auf symbolischer Ausführung und verzichtet auf diese Garantie, was in der Praxis jedoch in gleichwertigen oder besseren Ergebnissen resultiert.

Abstract

Automatic test case generation is a common tool to lower the workload in the process of creating coverage tests. In the context of Programmable Logic Controllers, an automatic approach is especially helpful since generating test cases is often complicated due to their cyclic execution. This work presents a scaling approach for automatic test case generation for programs adhering to the IEC-61131-3 standard. Existing approaches guarantee complete coverage and thus struggle with the state space explosion problem, often rendering their runtime unacceptable. By way of contrast, we utilise symbolic execution and hence do not guarantee completeness. In practice, however, our approach yields equivalent or even better results.

1. Einleitung

Für industrielle Automatisierungslösungen werden häufig Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPSen) zur Überwachung von Prozessen, bzw. zur Ansteuerung von Maschinen eingesetzt. Die auf einer SPS laufende Software wird im zyklischen Betrieb ausgeführt. Dieser gliedert sich in das Lesen von Eingängen, welche typischerweise Sensorwerte bereitstel-

len, das Ausführen des Programms, das Schreiben von Ausgängen, welche typischerweise zu Aktuatoren verbunden sind, sowie letztlich die erneute Wiederholung des Vorgangs. Obwohl Verifikation und Analysen durch Formale Methoden bereits steigende Akzeptanz im Entwicklungsprozess erfahren, beschränkt sich der Einsatzbereich dieser noch weitgehend auf Softwaremodelle, welche eine abstraktere Sicht auf das eigentliche Programm ermöglichen. Durch diese Abstraktion entgehen einer Analyse jedoch häufig Fehler, welche erst durch Low-Level-Operationen zustande kommen.

Im Gegensatz zur Verifikation mittels Formaler Methoden ist das Testen von Software im Sicherheitsbereich vorgeschrieben. Dabei müssen Tests nicht nur funktionale Anforderungen sicherstellen, sondern auch bestimmte Überdeckungskriterien, z.B. Zweigüberdeckung, erfüllen. Die manuelle Erstellung solcher Überdeckungstests ist für größere industrielle Programme zeitaufwändig und erfordert umfassende Kenntnis des zu testenden Programms. Automatische Verfahren zur Testfallgenerierung müssen hingegen die Komplexität von industriellem Code bewältigen, um sinnvoll einsetzbar zu sein.

In dieser Arbeit wird ein Verfahren zur automatischen Testfallgenerierung, mittels einer Kombination aus symbolischer und konkreter Ausführung, vorgestellt. Im Hintergrund wird dabei der SMT-Solver Z3 [3] verwendet. Zugunsten der Skalierbarkeit wird dabei auf Vollständigkeit verzichtet, wodurch nicht garantiert ist, dass das Verfahren bei jedem zu untersuchenden Programm eine Testüberdeckung von 100% erreicht. In der Praxis konnte damit jedoch, im Gegensatz zu anderen Verfahren, eine höhere Überdeckung in signifikant kürzerer Zeit erzielt werden. Das Verfahren wurde im Rahmen des Werkzeugs ARCADE.PLC des Lehrstuhls Informatik 11 - Embedded Software an der RWTH Aachen entwickelt. In einer Fallstudie wird das hier vorgestellte Verfahren evaluiert und mit einer auf abstrakter Interpretation basierenden Technik [4] verglichen. Die Evaluation erfolgt anhand von Sicherheits-Funktionsblöcken gemäß PLCopen [2], welche von ABB implementiert wurden.

2. Verwandte Arbeiten

Symbolische Ausführung ist eine der Schlüsselkomponenten aktueller Werkzeuge zum Testen von Software. Einen Überblick über das Thema, sowie praxisrelevante Informationen dazu liefern die Autoren von [5]. Mit KLEE [6] und SAGE [7] ist es gelungen, automatisierte Werkzeuge zu schaffen, welche mittels symbolischer Ausführung kritische Sicherheitslücken in großen Projekten finden können. Beide Werkzeuge operieren auf Assembler-Ebene, wobei SAGE ausschließlich auf Windowsanwendungen operiert und KLEE auf der LLVM-Zwischendarstellung [8] aufbaut. Obwohl die Übersetzung von SPS-Software in die LLVM-Zwischendarstellung konzeptionell möglich ist, ist dies impraktikabel, da der IEC 61131-3

Visualisierung und Analyseunterstützung von Zusammenhängen in SPS-Programmen zur Verbesserung der Modularität und Wiederverwendung

S. Ulewicz, S. Feldmann, Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser,
Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme,
Technische Universität München;
Sebastian Diehm, Schneider Electric Automation GmbH,
Marktheidenfeld

Kurzfassung

Gute Modularisierung von Steuerungssoftware im Maschinen- und Anlagenbau hilft bewährten Code auch bei völlig neuen Entwicklungen wiederzuverwenden und so Zeit und Geld zu sparen. Durch die Notwendigkeit pragmatischer Anpassungen vor oder bei der Inbetriebnahme oder durch über Jahrzehnte gewachsene Strukturen gibt es oftmals in vielen Unternehmen auf diesem Gebiet Optimierungspotentiale. Um zu einer besseren Softwarestruktur zu gelangen fehlt jedoch die Werkzeugunterstützung.

In diesem Beitrag wird ein Konzept für eine graphenbasierte Programmanalyse vorgestellt, mit dessen Hilfe die Untersuchung und Verbesserung der Modularität und damit der Wiederverwendbarkeit von SPS-Programmen und den dazugehörigen Modulbibliotheken unterstützt wird. Durch Überführen der Programme und Bibliotheken in ein Abhängigkeitsmodell können effizient Algorithmen zur Errechnung von Kennwerten eingesetzt werden, um potentielle Modulkandidaten oder kritische, besonders komplexe Strukturen aufzudecken. Zur Unterstützung der manuellen, explorativen Auswertung der Strukturen wird zudem eine Visualisierung der Abhängigkeiten vorgestellt, die mit Hilfe flexibel anpassbarer Filter- und Interaktionsmöglichkeiten noch handhabbarer wird.

Anhand einiger Anwendungsbeispiele werden schließlich mögliche Einsatzszenarien des Ansatzes vorgestellt.

1. Einführung

Im Maschinen- und Anlagenbau herrscht ein hoher Kostendruck bei der Entwicklung von automatisierten Produktionssystemen. Insbesondere der Wunsch vieler Kunden nach Speziallösungen führt zu einer hohen Variantenvielfalt, sodass größere Serien der gleichen Maschine immer mehr zur Seltenheit werden. Um die Konkurrenzfähigkeit zu erhöhen, sind bei diesen Speziallösungen eine Wiederverwendung erprobter Lösungen anzustreben. In vielen Fällen ist dies jedoch gerade im Bereich der Steuerungssoftware problematisch: Häufig sind

die Steuerungsprogramme durch viele Abhängigkeiten eng verwoben, historisch gewachsen und machen eine Wiederverwendung und Anpassung schwierig – wenn nicht sogar unmöglich. Auch bei über die Jahre weiterentwickelten Modulbibliotheken können komplexe Abhängigkeiten und schwer durchschaubare Verschachtelungen entstehen. Eine unabhängige Modularisierung und stärkere Standardisierung kann hier helfen. Dafür ist eine genaue Analyse der Zusammenhänge der vorhandenen Strukturen nötig. Die Zusammenhänge im Programm und in den Modulbibliotheken sind jedoch in aktuellen Entwicklungsumgebungen nur unzureichend oder umständlich nachvollziehbar, sodass eine Analyse zu einem hochaufwändigen Unterfangen werden kann.

In diesem Beitrag wird ein Konzept für eine graphenbasierte Programmanalyse vorgestellt, welches durch Unterstützung der Analyse der Zusammenhänge in Programmen und Modulbibliotheken hilft, Potentiale in Bezug auf eine Verbesserung der Modularität und Wiederverwendung zu identifizieren. Zunächst werden Anforderungen an die Modularität in der Automatisierungstechnik (Abschnitt 2) und Werkzeuge und Forschungsarbeiten im Umfeld des Ansatzes vorgestellt (Abschnitt 3). Das Konzept selbst umfasst ein Framework für die Analyse und Visualisierung von Abhängigkeiten in IEC 61131-3 Programmen und Bibliotheken (Abschnitt 4), welches Quelltexte zunächst in ein graphenbasiertes Abhängigkeitsmodell (Abschnitt 5) umwandelt. Durch die Verwendung von Technologien des Semantic Web kann dieses Modell nach Bedarf flexibel gefiltert und automatisch auf Regelverletzungen geprüft werden (Abschnitt 6). Des Weiteren ist durch die Berechnung relevanter Codekennwerte (Abschnitt 7) ein schnelles Aufdecken besonders auffälliger Programmteile möglich. Durch grafische Darstellung können Abhängigkeiten in einem in Entwicklung befindlichen Softwarewerkzeug zusätzlich explorativ verfolgt und bewertet werden (Abschnitt 8). Anhand von Anwendungsbeispielen (Abschnitt 9) wird schließlich dargestellt, wie der Ansatz bei der Verbesserung der Modularität und Wiederverwendung helfen kann.

2. Modularität und ihre Anforderungen in der Automatisierungstechnik

Durch gute Modularisierung können bewährte Module in verschiedensten Anlagen wiederverwendet und so Zeit und Geld bei der Erstellung neuer Steuerungscode für Maschinen- und Anlagen gespart werden. Gute Modularisierung zeichnet sich dabei unter anderem durch Unabhängigkeit aus: Ist die Verwendung eines Modules an ein anderes gebunden, so verringert dies die Anzahl der Situationen, in denen das Modul eingesetzt werden kann.

Um die Modularität eines Programmes oder einer Modulbibliothek zu verbessern, können unter anderem zwei Herangehensweisen gewählt werden: Das Verbessern der Modularität vorhandener Module und die Verbesserung besonders schlecht modularisierter Codefrag-

Emulation von SPS auf virtueller Zeitbasis: Eine Voraussetzung für die virtuelle Inbetriebnahme

Dr. G. Quirós, M. Gora, Dr. J. Neidig, R. Ermiler,
Siemens AG, Nürnberg

Kurzfassung

Anlagen- und Maschinensimulationen werden zunehmend in Verbindung mit SPS-Programmen eingesetzt. Die rein softwarebasierte Simulation von automatisierten Produktionssystemen erfordert eine SPS-Emulation mit einer virtuellen Zeitbasis. Die virtuelle Zeit steuert dabei die interne Abarbeitung von SPS-Programmen und die externe Synchronisation und Kommunikation. Der Ansatz ermöglicht den gemeinsamen Einsatz von SPS-Emulation und modernen Simulationswerkzeugen.

Abstract

Plant and machine simulations are being used increasingly in connection with PLC programs. A purely software-based simulation of automated production systems requires PLC emulation with a virtual time base. The virtual time guides the internal execution of PLC programs and the external synchronization and communication. The presented approach supports the combination of PLC emulation and modern simulation tools.

1. Einleitung

Anlagen- und Maschinensimulationen werden zunehmend in verschiedenen Phasen des Anlagenlebenszyklus eingesetzt [4]. Anwendungsszenarien sind z. B. modellgestütztes Entwickeln und Testen der Automatisierungssoftware, virtuelle Inbetriebnahme, modellgestützte Planung von Prozessen und Anlagen, Simulatoren für Ausbildung und als Unterstützung für die technische Kundenbetreuung, die Betriebsoptimierung anhand von Simulationssystemen sowie Demonstrationssysteme für Projektaquisition.

Die Hauptvorteile des Einsatzes von Simulationssystemen sind Risikominderung, Kostensenkung und Schaffung neuer Anwendungen über den gesamten Lebenszyklus von Produktionsanlagen und -maschinen. Durch die Erprobung neu entwickelter Funktionen und Parametereinstellungen in Simulationsumgebungen werden Risiken (und Kosten) vermieden, die

mit realen Versuchen verbundenen sind. Die Simulation ermöglicht sogar eine Erprobung einzelner Aspekte, bevor die Anlage oder Maschine gebaut wird. Entwurfs- und Entwicklungsmannschaften, die ihre Daten austauschen und mittels Simulationen arbeiten, können ihre Aufgaben parallel und iterativ durchführen und damit die Entwicklungszeiten und -kosten für automatisierte Produktionssysteme senken. Auch Risiken der Projektabwicklung können dabei gemindert werden, wenn Fehler früher entdeckt und beseitigt werden. Letztlich ermöglicht der Einsatz von Simulationssystemen eine Reihe neuer Anwendungen wie z. B. flexible und tragbare Demonstrationssysteme, Ausbildung an Simulatoren, technische Kundenbetreuung mit Hilfe von Simulationen von Kundenanlagen und -maschinen, sowie die betriebsbegleitende Simulation für Systemdiagnose und -optimierung.

Die Simulation eines Produktionssystems wird entweder durch eine Kombination von Hardware- und Softwarekomponenten oder auf reiner Softwarebasis realisiert. Der zweite Ansatz bietet mehrere Vorteile gegenüber dem Ersten, bringt aber eine Reihe neuer Anforderungen für die SPS-Emulation mit sich. Die Erfüllung dieser Anforderungen ist technisch anspruchsvoll, und der entsprechende Lösungsansatz erfordert die Einführung einer virtuellen Zeitbasis für die SPS-Emulation.

In diesem Beitrag werden wir den Ansatz für die Zeitvirtualisierung und Synchronisation zwischen SPS-Emulation und Simulationswerkzeugen detailliert beschreiben.

2. Simulation von Produktionssystemen

Im Kontext von eingebetteten Systemen [5] wird der Begriff „software-in-the-loop“ (SiL) für eine Kopplung der Steuerungssoftware an eine Streckensimulation verwendet; analog deutet „hardware-in-the-loop“ (HiL) auf eine Anbindung zwischen der realen Hardwaresteuerung und einer echtzeitfähigen Streckensimulation hin. Darüber hinaus bezeichnet der Begriff „processor-in-the-loop“ (PiL) eine Variation von HiL, bei der die reale Hardwaresteuerung durch eine Steckplatine mit dem Zielprozessor ersetzt wird. Neulich wurde der Begriff „virtual hardware-in-the-loop“ (vHiL) geschaffen, die eine vollständige Softwarenachbildung der realen Hardwaresteuerung mit der Streckensimulation verbindet. [6]

Für die Simulation von Produktionssystemen ergeben sich heute zwei Realisierungsansätze:

1. Die Kopplung realer speicherprogrammierbarer Steuerungen an echtzeitfähige Anlagensimulationen über das reale Kommunikationssystem. Dies erfordert entsprechende Kommunikationshardware auf der Seite der Simulation, welche normalerweise auf

Industrial Security und Industrie 4.0: Sicherheitsanalyse von OPC UA

Security by Design eines modernen Industrieprotokolls auf dem Prüfstand

Dipl.-Inf. **Andre Wichmann**, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), Bonn

Kurzfassung

Der wachsende Grad an Digitalisierung und vor allem durch die von Industrie 4.0 vorangetriebene Vernetzung von Komponenten und Anlagen in der Industrie bringt einen rasanten Wandel mit sich, zu dem auch eine stärker werdende Beschäftigung mit Cyber-Sicherheit einhergeht. OPC UA ist als ein Industrieprotokoll angetreten, welches „Security by Design“ schon während der Entwicklung als Prinzip verankert hat. Im Rahmen des Projekts „Sicherheitsanalyse von OPC UA“ hat das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) die Spezifikation und die Referenzimplementierung des Kommunikations-Stacks hinsichtlich IT-Sicherheit untersucht. Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass OPC UA grundsätzlich alle Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb mitbringt, sofern es nach einer Bedrohungsanalyse der Anlage seitens des Betreibers entsprechend konfiguriert und die umgebene Infrastruktur gesamtheitlich mitbetrachtet wird.

1. Industrie 4.0 und IT-Sicherheit: Industrial Security im Wandel

Der wachsende Grad an Digitalisierung und Vernetzung sowohl einzelner Komponenten als auch ganzer Anlagen in der Industrie bringt eine rasante Veränderung und damit ein Umdenken in vielen Bereichen mit sich. Es ergeben sich große Chancen, die Produktion bei höherem Automatisierungsgrad flexibler zu gestalten, Prozesse umfassender zu überwachen und zu steuern, durch die Erfassung von mehr und detaillierteren Daten Abläufe zu optimieren und so letztendlich selbst bei steigender Qualität Kosten zu sparen.

Dieser Umbruch bringt allerdings auch Gefahren in Bereichen mit sich, welche vorher nicht unbedingt im Fokus vieler Unternehmen standen. Oft waren in der Vergangenheit Anlagen zwar schon umfassend automatisiert, aber trotzdem noch in sich abgeschlossene Systeme ohne eine Vernetzung nach außen über allgemein zugängliche Netze. Seit jedoch

Fernwartung über das Internet, Auslagerung von Diensten in die Cloud oder Vernetzung der Produktions-IT mit „klassischer“ Office-IT zum Zwecke der optimierten Ressourcenplanung stark zugenommen hat, vergrößert sich automatisch auch die Angriffsfläche für Cyber-Attacken. Hier sind nicht notwendigerweise gezielte Angriffe durch Konkurrenten oder ausländische Geheimdienste gemeint, sondern vielfach entstehen auch Kollateralschäden durch Schadsoftware, welche sich eher zufällig auf Leitsysteme oder Entwicklungsrechner in der Produktion ausbreiten und dort für Fehlfunktionen und Stillstände in der Fertigung sorgen.

Verschiedene Vorfälle wie der erfolgreiche Befall von Atomanlagen durch den Stuxnet-Wurm 2010, der Angriff auf ein deutsches Stahlwerk 2013 oder die Schadsoftware Havex, welche auch in Deutschland gezielt Industrieanlagen ausspioniert hat, aber auch die Einführung eines IT-Sicherheitsgesetzes haben eine erhöhte Sensibilisierung bei Betreibern von Produktionsanlagen und Prozesssteuerungen bewirkt. Nicht nur große Firmen, auch die in diesem Bereich vielfach erfolgreich arbeitenden kleinen und mittleren Unternehmen kümmern sich verstärkt um das Thema und versuchen, den Stand der Cyber-Sicherheit ihrer Anlagen zu verbessern. Dies ist beispielsweise an einer stark erhöhten Nachfrage nach Empfehlungen und Hilfsmitteln des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) wie dem ICS Security-Kompodium [1], dem Werkzeug „Light and Right Security (LARS) ICS“ [2] oder den Cyber-Sicherheitsempfehlungen zu speziellen Themen wie Fernwartung oder Innentäter [3] zu erkennen.

Während in diesem Bereich also eine erfreuliche Tendenz zu erkennen ist, so beschleunigt sich auf der anderen Seite die Entwicklung rasant und macht eine weitere Anpassung der IT-Sicherheitskonzepte an neue Bedrohungslagen erforderlich, kaum dass ein Bewusstsein für die grundsätzliche Gefahr überhaupt erst entstanden ist. Unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ bahnt sich eine noch radikalere Vernetzung von Anlagen und Komponenten über bisher bestehende Informationsgrenzen hinweg an. Informationen wie Daten zu Prozessabläufen oder Zuständen von Maschinen und Werkstücken werden stärker dezentralisiert und, sofern zur Optimierung der Prozessabläufe dienlich, auch außerhalb eines Unternehmens kommuniziert und verarbeitet. Hinzu kommt eine verstärkte vertikale Integration und damit einhergehend der Bedarf, einheitliche Protokolle auf allen Ebenen der Automatisierungspyramide einzusetzen, was ebenfalls neue Herausforderung bzgl. Cyber-Sicherheit schafft.

Angriffe à la carte – systematische Bewertung von Angriffsvektoren auf industrielle (Funk-)Netzwerke

M. Langfinger,

Bosch Rexroth AG, Lohr am Main;

S. Duque Antón, C. Lipps,

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH,
Kaiserslautern;

A. Weinand,

Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern;

H. Schotten,

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH,
Kaiserslautern,

Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern

Kurzfassung

Vorangetrieben durch den Wandel hin zur Industrie 4.0, erlebt die Automatisierungstechnik eine stetige Zunahme der Digitalisierung und des Vernetzungsgrades. In Folge dessen verstärkt sich jedoch auch die Notwendigkeit, potentielle Sicherheitsrisiken hinsichtlich der gewählten Vernetzungslösungen einer Produktionsanlage zu identifizieren, zu bewerten und Handlungsoptionen abzuleiten.

Der Beitrag stellt einen leichtgewichtigen Ansatz vor, der es erlaubt, bereits bestehende oder in der Planungsphase befindliche Anlagen einer systematischen Bewertung bezüglich potentieller Angriffsvektoren der eingesetzten Kommunikationsnetzwerke zu unterziehen. Die Durchführung der Methodik wird anhand eines repräsentativ ausgewählten Beispiels demonstriert.

1. Einleitung

Die Begriffe *Vierte Industrielle Revolution (Industrie 4.0)* sowie *Industrial Internet of Things (IIoT)* charakterisieren den grundlegenden Wandel innerhalb der Automatisierungstechnik, welchen diese aktuell durchläuft. Dominierten in der Vergangenheit noch weitgehend voneinander isolierte, abgeschottete Produktionsstätten, so werden gemäß der der Industrie 4.0 zugrunde liegenden Vision langfristig „[...] *dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke*“ [1] vorherrschen. Voraussetzung hierfür ist die Verschmelzung von Automatisierungstechnik (AT) und Informations-

technologie (IT) – sowohl auf Applikationsebene als auch auf Kommunikationsebene. Abhängig von den konkreten Anforderungen eines Produktionsprozesses erscheint eine heterogene Kommunikationslandschaft künftig wahrscheinlich. Bereits heute werden echtzeitkritische Prozessdaten in der Regel über ein (proprietäres) Feldbussystem mit den Feldgeräten ausgetauscht; nicht-echtzeit-kritische Daten (z. B. Qualitätsmessdaten) zur Weiterverarbeitung durch übergeordnete Systeme werden über in der IT etablierte und standardisierte Technologien (wie z. B. Ethernet) übertragen. Einer Studie [2] des Fraunhofer ESK zufolge nutzen bereits zwei Drittel der Unternehmen drahtlose Technologien zu Monitoring-, Fernzugriffs- und Steuerungszwecken. Nach der Zuverlässigkeit der Datenübertragung hat die sichere, verschlüsselte Übertragung der Daten für die Befragten hohe Priorität. Die Teilnehmer der Studie sehen den größten Handlungsbedarf darin, ein deutlich höheres Sicherheitsniveau zu erreichen.

Die zunehmende Vernetzung, insbesondere durch drahtlose Technologien, vergrößert zwangsläufig die Angriffsfläche. Entsprechend müssen Maßnahmen ergriffen werden, um ein angestrebtes Schutzniveau des Netzwerks zu erreichen oder zu halten. Bevor derartige Maßnahmen getroffen und umgesetzt werden können, müssen bestehende oder neu entstandene Risiken zunächst identifiziert und systematisch bewertet werden. Es bedarf daher einer einfachen und leichtgewichtigen Methodik, welche dies ermöglicht – sowohl bei der Konzeption einer industriellen Fertigungsanlage als auch zu deren Laufzeit.

2. Verwandte Arbeiten

Hansman und Hunt entwickeln in [3] eine vierdimensionale, erweiterbare Taxonomie zur Klassifizierung von Angriffen auf webbasierte Dienste und Büroanwendungen. Die Bewertung der Angriffe sowie die Betrachtung des Kommunikationsmediums liegen jedoch nicht im Fokus der Arbeit.

Zhu et. al klassifizieren in [4], ausgehend von verschiedenen Blickwinkeln auf SCADA-Systeme, potentielle Schwachstellen und Angriffswege. Auch in diesem Beitrag erfolgt keine Bewertung der aufgezeigten Attacken.

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) stellt mit dem IT-Grundschutz-Katalog (BSI 100-1 bis BSI 100-4) eine praxisbezogene Umsetzung der Normenreihe ISO 27000 zur Verfügung. [5] Der Katalog beschreibt eine sukzessive Vorgehensweise, mit der ein Sicherheitsniveau erreicht werden kann, welches einer „üblichen“ Bedrohungslage standhält. Die im vorliegenden Beitrag beschriebene Methodik ist dazu geeignet, die Risikoanalyse (BSI 100-3) über die elementaren Gefährdungen hinaus zu erweitern.

Security aus dem Baukasten

Eine Konzeptvorstellung

IT-Security by Modular Mechatronic Engineering Systems A Concept Introduction

Dipl.-Ing. **M. Birkhold**, Dipl.-Ing. **A. Neyrinck**, Dr.-Ing. **A. Lechler**,
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. **A. Verl**,
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen ISW, Stuttgart

Kurzfassung

Informationssicherheit gewinnt in der vernetzten Produktion zunehmend an Relevanz. Dies stellt Maschinenhersteller vor neue Herausforderungen, da bisher Experten für das Thema Informationssicherheit, insbesondere in der Automatisierungstechnik, rar sind. In der vorliegenden Veröffentlichung wird ein baukastenorientiertes Entwicklungskonzept als Grundlage zur automatischen Erkennung von Schwachstellen in Maschinen und Anlagen vorgestellt. Die Schwachstellen werden dabei als unerwünschte Funktionen der Automatisierungskomponenten des Baukastens modelliert. Aus dem Baukasten können automatisch Vorschläge für mögliche Sicherheitsmaßnahmen abgeleitet werden. Das Lösungskonzept wird anhand eines Beispiels verdeutlicht.

Abstract

Information security becomes increasingly important in the networked production environment. This poses new challenges for the machine manufacturer, because currently there are few experts on the security area of production systems. This publication presents a modular mechatronic systems engineering approach to the security topic. Vulnerabilities, whether design features which might be exploited or unintentional communication robustness issues, are modeled as unwanted features. The module set allows for automatic identification of such features as well as implementation of corresponding security features.

1. Einführung

Die Vernetzung ist ein nicht aufzuhaltender Treiber der Wirtschaftlichkeit. Dies zeigt sich nicht nur in den Firmeninfrastruktur als Ganzes, sondern auch bei einzelnen Maschinen im

Speziellen. Bisher waren Maschinen in der Umformtechnik stringent nach Prozessen getrennt. Die Umformung fand in einer Presse statt, das Fügen in einer dafür vorgesehenen Schweißanlage, dieses Paradigma wird durch Prozessintegration aufgebrochen, die Prozesse werden vernetzt. [1, 2] Die Komplexität solcher Werkzeuge schwächt jedoch die Robustheit; Störungen lassen sich nicht mehr ohne weiteres auf ihre Ursachen zurückführen. Deshalb findet, um in der Umformtechnik auch weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben, eine globale Vernetzung der Prozesse und derer Informationen statt. Es werden gezielt Daten über die Wertschöpfungskette hinweg erhoben, zu einem Gesamtzustandsabbild zusammengeführt und daraus Schlüsse zur Verbesserung der Prozessrobustheit gezogen sowie dazugehörige Maßnahmen ergriffen. [3, 4]

Hierzu werden Standardkomponenten wie PCs und Ethernet-basierte Netzwerke genutzt um bisher separate Maschinensteuerungen zu einem größeren Ganzen zu vernetzen. Dies birgt im Umkehrschluss jedoch auch die Gefahr, dass unerwünschte Zugriffe auf diese kritischen Systeme stattfinden. Maschinenbauer und Anlagenbetreiber können diese zunehmende Komplexität nicht mehr überblicken. Bisher werden Sicherheitskonzepte häufig nachträglich von Experten appliziert und in Betrieb genommen. Jedoch ist eine Wartung und insbesondere die gezielte Planung von Sicherheitsmaßnahmen ein händischer, maßgeblich von der Expertise des Mitarbeiters abhängiger Prozess. Dieser Zustand ist nicht mehr tragbar. Deshalb wird in dieser Veröffentlichung ein Konzept vorgestellt, bei dem die Applikation von Sicherheitsmaßnahmen kein Teil der nachgelagerten Entwicklung ist, sondern vielmehr als proaktiver Teil des Entwicklungsprozesses verstanden wird. Hierzu wird auf Methoden des mechatronischen Engineerings und der Modularisierung in Baukästen zurückgegriffen, damit Sicherheitsmaßnahmen nicht isoliert sondern als integrale Komponenten den jeweiligen funktionalen Modulen zugeordnet und appliziert werden.

Die Veröffentlichung gliedert sich im Folgenden in fünf Abschnitte. In Abschnitt 2 werden der Stand der Technik hinsichtlich Informationssicherheit in der Automatisierungstechnik sowie des mechatronischen Engineerings dargestellt. Aus dem Stand der Technik wird in Abschnitt 3 eine Zielsetzung bezüglich der Absicherung von Maschinen und Anlagen und ein Lösungsansatz zur Erreichung dieser vorgestellt. Der Lösungsansatz wird in Abschnitt 4 ausformuliert und anhand eines vereinfachten Beispiels aus der Umformtechnik erläutert und ausführlich diskutiert. Die Veröffentlichung schließt in Abschnitt 5 mit einer Zusammenfassung der gesamten Arbeit sowie einem Ausblick auf Folgearbeiten.

Durchgängiges MES-Engineering als Grundlage für Industrie 4.0

Modellbasierte, automatische Generierung von MES

S. Rösch, Dr.-Ing. **D. Schütz**, **B. Weißenberger**,
Xinyu Chen, Dr.-Ing. **Tobias Voigt**, Prof. Dr.-Ing. **B. Vogel-Heuser**,
Technische Universität München

Kurzfassung

Für die vertikale Integration in der Industrie 4.0 werden neue Lösungen und Modelle für den Informationsaustausch benötigt. Insbesondere fehlen Informationsmodelle für die Vernetzung der Cyber-Physischer Produktionssysteme mit höherwertigen IT-Systemen, wie bspw. Manufacturing Execution Systems (MES). In dem Beitrag wird eine Lösung für die zur durchgängigen Vernetzung von Produktionsanlagen notwendige Industrie 4.0-Schnittstelle, welche modellbasiert mit Hilfe der MES-ML beschrieben wird, vorgestellt. Der Beitrag zeigt an einem aktuellen praktischen Beispiel der Industrie 4.0 MyJoghurt wie der modellbasierte Ansatz umgesetzt werden kann.

1. Durchgängiges MES-Engineering als Grundlage für die Industrie 4.0

Die wachsende Nachfrage nach massenhaft industriell hergestellten, kundenindividuellen Produkten führt zu steigenden Anforderungen an die Flexibilität von Anlagen in der industriellen Produktion. Während die Erhöhung der Flexibilität einzelner Produktionsanlagen Gegenstand mehrerer Forschungsarbeiten ist (vgl. [1]), wird eine übergreifende, flexible Vernetzung mehrerer lokal verteilter Produktionsanlagen mit höherwertigen IT-Systemen, wie bspw. Manufacturing Execution Systems (MES), und die daraus entstehenden Möglichkeiten und Herausforderungen erst seit kurzer Zeit in aktuelleren Forschungsarbeiten, wie bspw. von [2], untersucht. Als ein vielversprechender Ansatz wird dabei in vielen Arbeiten die Integration von mehreren heterogenen Produktionssystemen und IT-Systemen in ein Netzwerk von Cyber-Physischen Produktionssystemen (CPPS), als spezialisierte Form des allgemeineren Cyber-Physischen Systeme (CPS), gesehen und untersucht. Die von [2] gezeigte agentenbasierte dynamische Rekonfiguration von verteilten vernetzten intelligenten Produktionsanlagen im Industrie 4.0-Demonstrator *MyJoghurt* [3] beschreibt die Motivation von Industrie 4.0 für eine verteilte Produktion und setzt die Ziele am Beispiel einer virtuellen Joghurtproduktion um. Der Demonstrator zeigt exemplarisch die informationstechnische Kopplung und

Vernetzung örtlich getrennter Produktionsanlagen mit Hilfe von so genannten technischen Softwareagenten (vgl. [4]). Bei diesen handelt es sich um intelligente Softwarebausteine, die als Teil der Steuerungssoftware einer Anlage (auch auf zusätzlicher Hardware) die Funktionalitäten und Daten jeweils einer am CPPS-Netzwerk teilnehmende Produktionsanlage kapseln und über eine Industrie 4.0-Schnittstelle anbieten.

Eine wesentliche Herausforderung für die Evolution von einzelnen separierten Anlagen zu CPPS-Netzwerken der Industrie 4.0 ist dabei die vollständige und durchgängige vertikale Integration der Produktionsebene mit ihren eingebetteten Systemen und der MES-Ebene [5] um wichtige Konzepte wie Diagnose im Fehlerfall und Wartbarkeit der Produktionsanlagen in einem verteilten CPPS-Netzwerk weiterhin zu unterstützen. Ein zentraler Punkt bei der Integration von unterschiedlichen Produktionsanlagen und deren Automatisierungssystemen ist dabei die Schaffung von Interoperabilitätsstandards [5], [6] zwischen den Informationsmodellen der verschiedenen Systeme (und deren Agenten) um eine Datendurchgängigkeit zwischen den jeweiligen Softwareagenten der Produktionsanlagen zu schaffen. Hier spricht man auch oft von einem (durchgängigen) Modell für Produkte, Prozesse und Ressourcen (PPR). Momentan existiert für das Informationsmodell einer Industrie 4.0-Schnittstelle noch keine einheitliche Spezifikation wodurch unterschiedliche Softwarelösungen nicht aufeinander abgestimmt sind [7] und eine flexible Vernetzung, wie sie im Rahmen der Industrie 4.0 gefordert wird, derzeit nicht möglich ist. Dies ist insbesondere für kleine und mittelständischen Unternehmen (KMU) eine Einführungsbarriere für Industrie 4.0, da übergeordnete IT-Systeme, wie bspw. MES, von Anbietern solcher Systeme kundenspezifisch und mit hohem Personalaufwand individuell projektiert und implementiert werden müssen.

Mit den Forschungsprojekten SpeziMES und AutoMES wird am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationstechnik der Technischen Universität München mit der MES-Modeling Language (MES-ML) in Zusammenarbeit mit industriellen und universitären Partnern an einer möglichen Lösung gearbeitet. Die MES-ML ist eine Modellierungssprache für die Spezifikation von technischen Prozessen und zugehöriger technischer Ressourcen und Funktionen [8]. Darauf aufbauend wurde im Projekt AutoMES basierend auf dem aktuellen „Weihenstephaner Standard“ [9] für die Verpackungstechnik und die Lebensmittelproduktion die MES-ML weiterentwickelt [10]. Durch die Schaffung einer einheitlichen Modellierungssprache mit eindeutig definierten Datenpunkten wird die Vernetzung von technischem Prozess über das Informationsmodell hin zum MES ermöglicht. Insbesondere die Generierung von MES und deren Schnittstelle zu den unterlagerten Produktionsanlagen der Lebensmittelbranche steht in besonderem Fokus des Ansatzes. Die Spezifikation hat außerdem das Potential mögliche Produktionsschritte oder Services nach außen zu propagieren wodurch die Verteilung von

Agentenbasiertes Assistenzsystem zur Entwicklung und Adaption von automatisierten Systemen am Beispiel von Aufzugssystemen

Agent-based Assistance System to Design and Adapt Industrial Automation Systems using Lift Systems as an Example

Dipl.-Ing. **T. Beyer**, Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. **P. Göhner**,
Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme,
Universität Stuttgart

Kurzfassung

Aufgrund von vielen Freiheitsgraden bei der Entwicklung von automatisierten Systemen ergibt sich eine hohe Anzahl möglicher Entwicklungsvarianten. Da die Entwicklung ein zeit-aufwendiger, iterativer Prozess ist, die Entwicklungszeiten aber aufgrund des Kostendrucks sinken müssen, kann der Ingenieur nur eine sehr begrenzte Anzahl dieser Entwicklungsvarianten berücksichtigen und entwickeln. Die Erstellung der betrachteten Entwicklungsvarianten ist daher heute stark vom Wissen und von den Erfahrungen des Ingenieurs abhängig. Dies führt bereits zu Beginn der Entwicklung zu einer Einschränkung der zu entwickelnden Varianten, ohne dass diese für andere Personen zwingend nachvollziehbar ist. In diesem Beitrag wird ein Konzept für ein agentenbasiertes Assistenzsystem vorgestellt, mit dessen Hilfe der Ingenieur alle Varianten bei der Entwicklung berücksichtigen kann. Die Grundlage für dieses Konzept bilden Komponenten, die als intelligente Planungsobjekte modelliert werden. Ein automatisiertes System wird hierbei als ein Zusammenschluss aus unterschiedlichen Komponenten wie Motor, Kabine etc. betrachtet, die unterschiedliche Funktionen wie beispielsweise Fördern erfüllen. Der Zusammenschluss aus den Komponenten erfüllt die geforderte Gesamtfunktionalität.

Abstract

Because of a large amount of degrees of freedom there are a lot of possible solutions to design an industrial automation system that fulfills the requirements given by the engineer. It is a fact that the design is a time-consuming, iterative process, but the design time should become shorter and shorter due to the globalization because the engineer can only consider a few possible solutions and often tries to modify old solutions to save time. Consequently, the

process highly depends on the knowledge and experience of the engineer and the result of the design is not necessarily transparent and the best solution. In this paper an approach is presented that supports the engineer to consider all possible solutions. Based on the modeling of components as intelligent objects a bottom-up designing is realized. The approach is based on the view that an industrial automation system is a combination of different components which fulfills the given requirements.

1. Einleitung

Die Entwicklung von automatisierten Systemen ist von sehr vielen Freiheitsgraden geprägt, wodurch sich eine hohe Anzahl an möglichen Entwicklungsvarianten ergibt. Da diese Freiheitsgrade jedoch zahlreiche Wechselwirkungen besitzen, ist die Entwicklung momentan ein zeitaufwendiger, iterativer Prozess. Dies steht jedoch im Gegensatz zu dem Zwang, die Kosten senken zu müssen, um im globalen Wettbewerb zu bestehen [1]. Um die Entwicklungszeit zu verkürzen, werden häufig bekannte Lösungen aus früheren Projekten an die nun gestellten Anforderungen angepasst, da der Ingenieur beispielsweise innerhalb der gegebenen Projektlaufzeit nicht alle zur Verfügung stehenden Informationen, wie beispielsweise spezifische Informationen über Komponenten, verarbeiten kann. Dieses Vorgehen führt allerdings nicht zwangsläufig zur besten Lösung bezogen auf die vom Kunden geforderten Anforderungen, sondern ist sehr abhängig von der Erfahrung und dem Wissen des Ingenieurs [2]. Die hohe Anzahl an Wechselwirkungen und die immer weiter steigende Informationsvielfalt führen zu einer immer höheren Komplexität [2]. Um diese beherrschen zu können, sind Assistenzsysteme zur Unterstützung für Ingenieure notwendig [3], [4], [5], die alle Varianten bei der Entwicklung berücksichtigen sowie eine Variante auswählen.

Dieser Bedarf existiert nicht nur im Bereich der Entwicklung von automatisierten Systemen, sondern ganz besonders auch bei der Anpassung dieser, da im Bereich des Anlagenengineerings die Lebenszyklen der Anlagen häufig über 25 Jahre betragen. Dies hat zur Folge, dass automatisierte Systeme im Laufe ihres Lebens einerseits immer wieder an neue Anforderungen wie neue gesetzliche Vorschriften oder eine größere Anzahl an zu befördernden Personen angepasst, andererseits technisch modernisiert werden müssen. Auch die Adaption ist stark von der Erfahrung des Ingenieurs abhängig, da zuallererst der aktuelle IST-Zustand des automatisierten Systems ermittelt werden muss [6]. Hier ist es keine Seltenheit, dass hierzu keine vollständigen digitalen Dokumente existieren [6]. Obwohl die Adaption von Anlagen als Möglichkeit angesehen wird, die Produktivität zu steigern [7], wurde diese in der Forschung bisher nicht groß betrachtet [8]. Auch bei der Adaption ist eine Unterstützung für den Ingenieur notwendig, die die zahlreichen Wechselwirkungen betrachtet und dem Ingeni-

Ableitung von modellbasierten industriellen Vernetzungsarchitekturen aus dem Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema

Dipl.-Ing. **T. Glock**, M.Sc. **M. Kern**, M.Sc. **S. Otten**,
Prof. Dr.-Ing. **Eric Sax**,
FZI Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe

Kurzfassung

Die Planung von elektronischen Kabelnetzen, die die elektronische Realisierung der Verfahrensbeschreibung (Rohrleitungs- und Instrumenten Fließschema) in industriellen Prozessanlagen repräsentieren, erfolgt heute weitgehend manuell. Zu diesen Anlagen gehören zum Beispiel Raffinerien, kunststoffherzeugende Fabriken und Lebensmittelgewerbe.

Die Anforderungen an diese Anlagen sind unterschiedlich und liegen in der Regel nur als Text vor. Um den Aufwand zu reduzieren, die Kosten zu mindern und die Qualität zu erhöhen, sind modellbasierte Ansätze und Methoden, wie sie beispielsweise bereits in der Entwicklung von Elektrik-/Elektronik-Architekturen im Automobil eingesetzt werden, eine realistische Chance. Durchgängigkeit von den Anforderungen zur Realisierung, frühe Fehlerentdeckung und –behebung während der Planung von elektronischen Kabelnetzen sowie die Wiederverwendung von Bibliothekselementen sind das Ziel. So wird in diesem Beitrag dargelegt, wie mit Hilfe von Methoden und Tools der Automobil-Entwicklung neue Methoden für die unterstützende Planung von Industrieanlagen auf Basis der Verfahrensbeschreibung abgeleitet und genutzt werden können. Dabei fokussiert dieser Beitrag eine Methode zur automatisierten Erstellung von elektronischen Kabelnetzen (Vernetzungsarchitekturen) aus der Verfahrensbeschreibung. Ein Beispiel einer Mehrtankanlage, die als ein Bestandteil in Verfahren der Lebensmittelherstellung vorzufinden ist, rundet den Beitrag ab.

Abstract

Today, the planning of electrical cable networks in industrial processing plants, is predominantly carried out manually. These plants include for example refineries, plastics producing plants and food processing industry. Each plant has unique requirements which are set out in writing. To reduce efforts and costs and to increase quality, model based approaches and methods, as used for example in the electrics/electronics architectures of automobiles, are a realistic opportunity. The goals are straightforwardness from requirements to realization, ear-

Assistenzsysteme zur Integration von Produktionsanlagen der Mensch-Roboter-Kooperation in der Fahrzeugfließmontage

Dipl.-Ing. (FH) **Alexander König**, M. Sc. **Sebastian Keller**,
BMW Group Werk Leipzig, Leipzig

Kurzfassung

Produzierende Unternehmen in Deutschland werden mit Herausforderungen wie gesteigerten Kundenanforderungen, kürzer werdenden Produktlebenszyklen sowie höheren Produktivitätsanforderungen konfrontiert. Um diesen zu begegnen, sind neue Technologien notwendig. Beispielsweise kann die Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) in der Fahrzeugfließmontage eingesetzt werden, um hohe Produktivität und notwendige Flexibilität im Produktionssystem zu erreichen. Für eine effiziente Integration dieser Technologie in den Produktionsprozess werden Planungswerkzeuge entwickelt. In diesem Bericht werden zwei rechnergestützte Systeme vorgestellt. Zum einen unterstützt ein Planungs- und Optimierungssystem den Prozessplaner bei der Generierung von Prozessketten, die hinsichtlich Kosten und Zykluszeit optimiert werden. Zum anderen wird der Planer durch einen Anlagenkonfigurator assistiert, der ein technisches Design einer MRK-Anlage nach aktuellem Stand der Technik unter Berücksichtigung notwendiger Sicherheitstechnik empfiehlt.

1. Motivation zum Einsatz einer Mensch-Roboter-Kooperation (MRK)

Deutsche Unternehmen sind vermehrt dem globalen Wettbewerb ausgesetzt [1]. Durch die Entwicklung zum Käufermarkt entsteht ein immer breiteres Produktangebot mit zahlreichen Varianten [2]. Als Folge ergeben sich Entwicklungstendenzen, wie die Verkürzung der Produktlebensdauer, der starke Anstieg der Produktvarianten und die Anpassung des Produktionssystems an unterschiedliche Mengenbedarfe im Produktionslebenszyklus. In der Fahrzeugindustrie beanspruchen Montagetätigkeiten 30 bis 50 % der Gesamtfertigungszeit. Aufgrund dessen existieren hier vielfältige Prozessverbesserungspotentiale [2]. Durch den demografischen Wandel sind Unternehmen gefordert, Produktionsstrategien für eine älter werdende Belegschaft zu entwickeln. Desweiteren werden aus Gründen der hohen Personalkosten Fertigungen in sogenannte Niedriglohnländer verlagert [2]. Unternehmen in Deutschland müssen sich der Frage stellen, wie sie den Anforderungen an individuelle Kundenwünsche und kostengünstigere Massenproduktion begegnen [1]. Hierfür sind neue Ansätze der Produktionstechnik nötig. Der Einsatz der Mensch-Roboter-Kooperation bietet innovative Mög-

lichkeiten zur Optimierung der Produktionsprozesse. Durch das Zusammenführen der Stärken von Robotertechnik, wie Präzision und hoher Handhabungslasten, mit den motorischen und sensorischen Fähigkeiten des Menschen können Zielkriterien wie Produktivität, Qualität und Ergonomie sowie Wirtschaftlichkeit positiv beeinflusst werden [3].

2. MRK in der Fahrzeugfließmontage und sicherheitsrelevante Rahmenbedingungen

Gemäß [4] ist das Montieren die Gesamtheit aller Vorgänge, die dem Zusammenbau von geo-metrisch bestimmten Körpern dienen. Die *Organisationsform* der Montage hängt von Kriterien wie dem Bewegungsablauf der Montageobjekte, den Arbeitsplätzen bzw. den Montageeinrichtungen und dem Grad der Arbeitsteilung ab [5]. Dabei werden mit Baustellenmontage, Gruppenmontage, Reihenmontage und Fließfertigung vier grundlegende Formen unterschieden. Bei der Fließmontage sind die Arbeitsplätze in Reihe angeordnet und ermöglichen einen quasikontinuierlichen Bewegungsablauf, der eine Taktung des Montageablaufs ermöglicht. In der Montage der Fahrzeugindustrie wird häufig zusätzlich zum Montageobjekt auch der Arbeitsplatz in eine Richtung mitbewegt. Diese Montageform wird als kombinierte Fließmontage beschrieben, vgl. [5], [6]. Montagen werden weiterhin hinsichtlich ihrer *Art der Automatisierung* in manuelle, halbautomatisierte (hybride) und vollautomatisierte Montage klassifiziert [2]. Die manuelle Montage ist vorwiegend für flexible Prozesse mit geringen Stückzahlen geeignet. Vollautomatische Montagesysteme werden bei hoher Produktivität und geringer Variantenvielfalt eingesetzt. Hybride Montagesysteme ordnen sich zwischen den beiden genannten Montagearten ein. Liegt dem hybriden Montagesystem zum Austausch von Informationen und Handlungen zwischen Mensch und Automatisierungsmittel ein Roboter zur Ausführung einer Aufgabe zugrunde, so bildet das System eine sogenannte Mensch-Roboter-Kooperation [7], [8]. Erledigen Werker und Roboter im hybriden Montagesystem die Arbeit zur Erfüllung einer Aufgabe gemeinsam, so handelt es sich nach [8] um eine Mensch-Roboter-Kollaboration. Dabei kommen kollaborierende Robotersysteme zum Einsatz, die für das direkte Zusammenwirken mit dem Menschen konstruiert sind [8]. Die Motivation der Unternehmen zur Automatisierung von Prozessen sind die Ausschöpfung von Rationalisierungspotenzialen, die Verbesserung der Ergonomie, die Sicherstellung der Produktqualität und die Einhaltung der Arbeitssicherheit [10], [11]. Eine fähigkeitsorientierte Prozessgestaltung der Mensch-Roboter-Kooperation vereint die Vorteile der manuellen und vollautomatischen Montage. Eine Übersicht der Technologien, die derzeit den Stand der Technik für den Einsatz der MRK in der Fahrzeugfließmontage abbildet, ist in Bild 1 dargestellt. Hierbei werden mit der Verwendung des morphologischen Kastens Kombinationen aus geeigneten Robotern, Synchronisations- und Ortsflexibilitätssystemen, Positioniersystemen

Automatisiertes Radadaptionssystem für effiziente Inbetriebnahme-Prozesse in der Fahrzeugfließmontage

Innovative Inbetriebnahme zukünftiger Fahrerassistenzsysteme

Prof. Dr.-Ing. **Rainer Müller**, M. Sc. **Marcel Otto**,
ZeMA – Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik
gemeinnützige GmbH, Saarbrücken

Kurzfassung

Die Inbetriebnahme der Sensoren und Aktoren von Fahrerassistenzsystemen im sogenannten End-of-Line der Fahrzeugendmontage ist ein signifikanter Zeit- und Kostenfaktor, bedingt durch umfangreiche Arbeiten auf den Fahrwerksgeometrieprüf- und Einstellständen. Da Fahrerassistenzsysteme im Fahrzeug in naher Zukunft weiter zunehmen werden, muss eine effiziente Inbetriebnahmestrategie entwickelt werden, um Prüfstandsüberlastungen zu vermeiden und die Prozesskosten gering zu halten. Am Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik wird innerhalb des Forschungsprojekts AutoIBN ein Lösungsansatz entwickelt, um in der Hauptmontagelinie die geometrische Fahrachse des Fahrzeugs frühzeitig zu ermitteln, da sie für die Inbetriebnahme vieler Fahrzeugsysteme maßgeblich ist. Der Prozess soll durch ein speziell entwickeltes Radadaptionssystem vollautomatisch durchgeführt werden. Diese neue Technologie ermöglicht die Inbetriebnahme der Fahrerassistenzsysteme in der Hauptmontagelinie unter Einhaltung der Linientaktzeit.

Abstract

The commissioning of the driver assistance system sensors in the end-of-line area of the vehicle assembly line is a significant time and cost factor due to the extensive scope of work on the chassis alignment test benches. Because the amount of driver assistance systems in vehicles will increase in the near future, an optimized commissioning strategy must be developed to avoid an overload of the test benches and minimize the process costs. Within this research project, an approach is developed to measure the geometrical driver axle in the continuous assembly line. This is necessary to perform the commissioning tasks. The process should be carried out fully automated using a customized wheel adaption system. This new technology allows the commissioning of the driver assistance systems in the continuous assembly line while maintaining the line cycle time.

1. Motivation und Herausforderung

Die Automobilindustrie zählt mit ca. 730.000 Beschäftigten zu den wichtigsten Industriebranchen Deutschlands und prägt somit einen großen Teil der deutschen Wirtschaft [1]. Immer häufiger verlagern deutsche Hersteller (OEM) ihre Produktionen aufgrund niedrigerer Personalkosten und einem gut ausgebauten Netz aus Automobilzulieferern ins Ausland. Dies führt zur Streichung von Arbeitsplätzen und Werksschließungen in Deutschland. [2], [3]

Damit die Technologieführerschaft am Standort Deutschland erhalten bleibt, müssen neue Strategien und Prozesse entwickelt werden, Verlagerungen von Fahrzeugproduktionen in Niedriglohnländer zu vermeiden. Um einerseits den steigenden Bedarf an Fahrzeugen zu decken, andererseits aber auch die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Konkurrenz zu erhalten, müssen die Automobilhersteller sowohl Produktivität als auch Effizienz im Herstellungsprozess verbessern. Deshalb ist es unabdingbar, die Leistungsfähigkeit in der Automobilendmontage immer weiter zu steigern.

Im Bereich der Endmontage ist die Fahrzeug-Inbetriebnahme ein wichtiger Faktor zur Sicherstellung der Produktqualität. Dazu gehören die Justage, die Parametrierung und die Funktionsprüfung der elektronischen und/oder mechanischen Fahrzeugkomponenten. Durch ständig wachsende Funktions- und Assistenzsystemumfänge der Fahrzeuge steigt auch die Anzahl und Komplexität der Inbetriebnahme-Prozesse, die im Bandende-Bereich (EOL) durchgeführt werden müssen. Da die Inbetriebnahme solcher Systeme auf den entsprechenden Prüfmitteln weniger effizient ist als die der Montagelinie, müssen hier ständig Maßnahmen getroffen werden, die Taktzeiten auf den Prüfständen zu optimieren bzw. Inbetriebnahme-Prozesse in andere Bereiche auszulagern. [4]

Der nachfolgend beschriebene Forschungsansatz verfolgt die Prüfprozessauslagerung in andere Bereiche der Fahrzeugmontage. Da auf dem Fahrwerksgeometrieprüfstand (FWS) im EOL eine Prüfprozessüberflutung stattfindet, sollen die Inbetriebnahmeprozesse der Fahrerassistenzsystem-Sensorik in die Hauptmontagelinie verlegt werden. Hierdurch lassen sich Betriebskosten und –zeit einsparen und somit die Produktion effizienter gestalten. Die Herausforderung dieses Ansatzes besteht darin, die gleichen Rahmenbedingungen in der Hauptmontagelinie herzustellen, wie sie auch auf dem FWS gegeben sind. Da für die Inbetriebnahme der Umfeldsensoriken die geometrische Fahrachse des Fahrzeugs im Montagegehänge hochgenau ermittelt werden muss, ist eine neue Technologie erforderlich, die diesen Aufgaben gewachsen ist. Diese Aufgabe soll die Radadaptionseinheit erfüllen, die in ein vollkommen automatisiertes System integriert und in der Modellfabrik am ZeMA prototypisch umgesetzt wird.

Implementierung der Synchronisation einer mobilen Plattform an einer kontinuierlichen Fließfertigung für Montageaufgabe

Prof. Dr.-Ing. **U. Berger**, M.Sc. **D.T. Le**, M.Sc. **W. Zou**,
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Cottbus

Kurzfassung

In der „Lean – Produktion“ Theorie wird der Transportprozess zwischen Arbeitsstationen als eine Vergeudung von Ressourcen bzw. einen „nicht wertschöpfenden Prozess“ definiert. Heutzutage ist die Reduzierung der „nicht wertschöpfenden Prozessen“ bereits eine dringende Anforderung beim Optimieren des Montageprozesses und richtet sich auf eine Senkung der Verluste über die Fertigungszeit, Kosten usw. während des Produktionsprozesses. Der beschriebene Ansatz stellt ein neuartiges System vor, welches die oben angesprochenen Anforderungen erfüllt und die Abarbeitung einer Montageaufgabe mittels eines mobilen Roboters während des Transportprozesses umfasst. Hierbei befindet sich das Produkt auf einem sich kontinuierlich bewegenden Förderhilfsmittel. In diesem Beitrag wird die Implementierung des ersten Schritts des Systems vorgestellt. Um die Synchronisation des Fahrerlosen Transportfahrzeugs (FTF) zum Produkt zu realisieren, wurde eine Regelstrategie erstellt. Dabei werden die Positionen des Produkts und des FTFs mittels optischen Messsystem erfasst. Ein Rechner sammelt die Positionsdaten und führt eine Datenvorverarbeitung aus. Aus Vergleich zwischen den Positionen des Produkts und FTFs ergibt sich eine Positionsabweichung. Um diese Abweichung zu minimieren, wurde ein Regelkreis mit Proportional – Integral – Derivation (PID) Regler entwickelt. Entsprechend der Abweichung wird die Geschwindigkeit des FTFs vom zentralen Rechner gesteuert.

1. Einleitung

Eine Reduzierung des nicht wertschöpfenden Prozesses ist im Montagebereich immer eine große Anforderung in Hinblick auf eine Reduzierung von Produktzeit und -kosten [1,2]. Ein großer Teil des Produktentstehungsprozesses ist der Transportprozess. In diesem Prozess wird normalerweise das Produkt zwischen Arbeitsstation transportiert, keine Montageaufgabe durchgeführt und stellt deswegen einen nicht wertschöpfenden Prozess dar. Des Weiteren ist der Automatisierungsgrad im Montagebereich unter 5% [3], aus diesem Grund sollte die Montageaufgabe der Montagelinie automatisiert werden.

Um den nicht wertschöpfenden Prozess zu reduzieren und den Automatisierungsgrad zu erhöhen, wird ein neues flexibles System entwickelt [4,5]. Der mobile Roboter besteht aus einem

Roboterarm und einem fahrerlosen Transportfahrzeug. Der mobile Roboter fährt parallel neben dem am Fließband transportierten Produkt, sodass das Produkt immer im Arbeitsraum des Roboters verbleibt. Damit lässt sich die Montageaufgabe während des Transportprozesses ausführen (Bild 1). Der Montageprozess besteht aus drei Schritten. Im ersten Schritt wird die Synchronisation des FTF zum bewegenden Produkt sichergestellt. Darauf aufbauend wird eine präzise Positionierung und Orientierung ausgeführt, sodass der Endeffektors des mobilen Roboters bzw. seiner Tool Center Point (TCP) die Bearbeitungsposition auf dem bewegenden Produkt genau erreichen kann. Den Abschluss bildet die Validierung des ausgeführten Montageschritts mit den vorgegebenen Daten aus dem CAD-System.

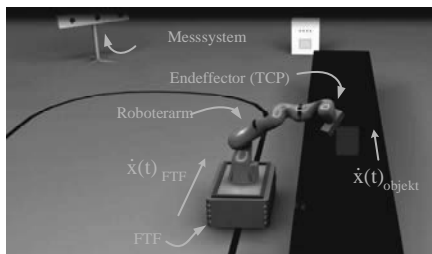


Bild 1: Simulation eines mobilen Roboters an einer kontinuierlichen Montagelinie

In der Montagelinie wird die Geschwindigkeit des transportierten Produktes als konstant angenommen, weswegen diese Geschwindigkeit als Referenzgeschwindigkeit des FTFs gesetzt wird. Die Geschwindigkeit des FTF ergibt sich als Ausgangsgröße eines Regelkreises. Das System zur Synchronisation des der Geschwindigkeit des FTFs an einem kontinuierlichen Fließband [4] mittels PID-Regelung und die Implementierung dieses Systems werden nachfolgend vorgestellt. Darüber hinaus wird der Regelkreis dargestellt, wobei die Geschwindigkeit des FTF als die Regelgröße eingestellt wird und die Eingangsgröße des Reglers die Positionsabweichung zwischen dem FTF und dem bewegenden Produkt ist.

Im diesem Beitrag wird eine Entwicklung des Systems mit Hilfe des PID Reglers präsentiert, in dem die Abweichung zwischen FTF und bewegten Objekt minimiert sowie bewertet wird.

2. Stand der Technik

Für die Durchführung der Montageaufgabe des mobilen Roboters werden in der Literatur drei Methoden diskutiert. In erster Methode wird ein industrieller Roboter auf einer Linearachse aufgestellt und die Linearachse wird parallel mit der Montagelinie montiert. Somit kann der industrielle Roboter kontinuierlicher parallel zur Montagelinie gefahren werden. In der zwei-

Optimierung der Bahngenauigkeit von Industrierobotern unter Berücksichtigung elastischer Gelenkeinflüsse mittels externer Messungen

Optimizing the path accuracy of industrial robots considering elastic joint influences by external measurements

Dipl.-Ing. (FH) **P. Stückelmaier**, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. **M. Grotjahn**,
Prof. Dr.-Ing. **C. Fräger**, University of Applied Sciences Hannover

Kurzfassung

Dieser Beitrag zeigt eine kaskadierte Methodik zur Verbesserung der abtriebseitigen Bahngenauigkeit von Industrierobotern durch Anwendung erweiterter Regelungskonzepte. Diese beinhaltet eine kinematische und dynamische Modellierung und Kalibrierung, gefolgt von einer modellbasierten Kompensation der nichtlinear verkoppelten Dynamik und die anschließende Reduktion verbleibender Bahnfehler durch iterativ lernende Verfahren (ILC). Die implementierte modellbasierte Drehmomentvorsteuerung resultiert in einer Verbesserung der Regelgüte. Externe Messungen zeigen jedoch den Einfluss von Gelenkelastizitäten als systematische Bahnfehler. Hierfür wird zusätzlich ein modellbasiertes, iterativ lernendes Regelungskonzept auf Basis externer Kameramessungen entwickelt. Die Integration zeigt signifikante Verbesserungen der Bahngenauigkeit.

Abstract

This paper presents a cascaded methodology for enhancing path accuracy of industrial robots by using advanced control schemes. This includes a kinematic and dynamic modeling and calibration, followed by a centralized model-based feedforward dynamics compensation and the subsequent reduction of remaining path error by iterative learning control (ILC). The implemented model-based feedforward torque-control shows the expected improvements of control accuracy. However, external measurements show the influence of joint elasticities as systematic path error. To further increase the accuracy a model-based iterative learning controller based on external camera measurements is designed. The integration shows significant improvements of path

1. Einleitung

Trotz steifer Bauweise werden Knickarmroboter bei hochdynamischen Applikationen vorrangig wegen Getriebeelastizitäten und -losen zu Schwingungen angeregt. Dieses führt zu stark verminderter Bahngenauigkeit. Zur regelungstechnischen Kompensation müssen diese Einflüsse abtriebseitig messtechnisch erfasst und quantitativ analysiert werden.

Die interne Robotersensorik (antriebsseitiger Winkelgeber) der meisten industriellen Manipulatoren kann die reale Bahn nicht exakt abbilden. Eine Möglichkeit zur genauen messtechnischen Erfassung hochdynamischer Trajektorien stellen leistungsfähige 3D-Kameramesssysteme dar, welche eine hochfrequente Abtastung der Tool-Center-Point (TCP)-Bahn erlauben (Bild 1).

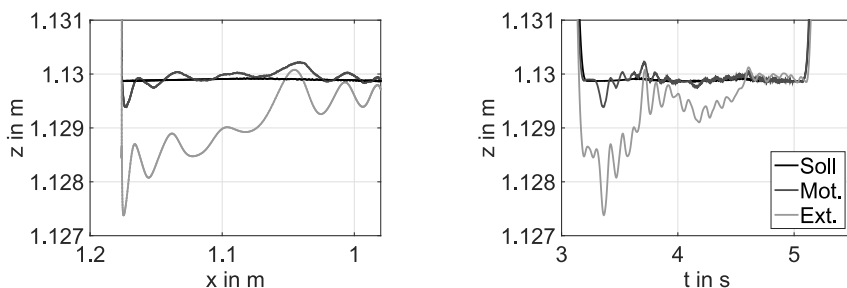


Bild 1: Vergleich von Bahnfehlern anhand von Messungen mittels interner Robotersensorik und externem Messsystem

In diesem Beitrag wird eine kaskadierte Methodik zur deutlichen Verbesserung der abtriebseitigen Bahngenauigkeit von seriellen Robotern für hochdynamische Roboterbahnen vorgestellt. Die Methodik besteht aus drei Teilschritten: einer kinematischen und dynamischen Modellierung und Kalibrierung, der Kompensation der nichtlinear verkoppelten Dynamik mittels modellbasierter Drehmomentvorsteuerung und der Reduktion verbleibender Bahnfehler durch iterativ lernende Verfahren (ILC) auf Basis externer Kameramessungen.

Die Grundlage für die hochdynamische Vermessung der TCP-Lage im Raum bildet eine Kalibrierung von Kamera und Roboterkinematik. Das inverse dynamische Modell eines seriellen Roboters kann unter Verwendung der klassischen Mechanik (z. B. [1, 2]) effizient abgeleitet werden. Die Werte der Modellparameter sind jedoch nur ungenau oder insbesondere solche, die Reibungs- oder Elastizitätseinflüsse beinhalten, komplett unbekannt. Somit verbleibt die experimentelle Identifikation als effektive Möglichkeit genaue Robotermodelle zu erhalten. Zur optimierten Systemanregung wird der Ansatz nach Swevers et al. [3] eingesetzt. Dieser erweist sich in eigenen Untersuchungen [4] aber auch in [5, 6, 7, 8, 9] als sehr robust und zuverlässig.

Die Auswahl der Versuchsplanung und deren Einfluss auf die Modellgenauigkeit wird experimentell an einem KUKA KR 6-2 Industrieroboter nach Bild 2 untersucht. Für die technische Realisierung steht eine eigens entwickelte Steuerung mit hoher Abtastrate, Drehmoment-Schnittstelle und messtechnischer Fusionierung der zur Identifikation und Validierung notwendigen Datensät-

Optimierung der Performance von High-Speed-Robotern am Beispiel eines Deltaroboters

Prof. Dr.-Ing. **M. Hüsing**, J. Brinker M.Sc., Dr.-Ing. **T. Mannheim**,
Dr.-Ing. **M. Wahle**, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. **B. Corves**,
Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik,
RWTH Aachen University, Aachen

Kurzfassung

Die Positioniergenauigkeit von Handhabungssystemen ist für den industriellen Einsatz von entscheidender Relevanz. In diesem Beitrag werden Maßnahmen zur Reduktion von Bewegungsfehlern am Beispiel des parallelen Deltaroboters diskutiert. Aufbauend auf den kinematischen Zusammenhängen werden Modelle zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens und der Systemsteifigkeit hergeleitet und schließlich für die Verbesserung der Positioniergenauigkeit eingesetzt.

Abstract

The positioning accuracy of handling systems for industrial applications is of crucial relevance. This contribution discusses measures to reduce positioning errors of a Delta parallel robot. Based on the kinematic relations, models to describe the dynamic behavior and the system stiffness are derived and finally applied for the improvement of positioning accuracy.

1. Einleitung

Hochdynamische Handhabungsaufgaben erfordern ein hohes Nutzlast-Eigengewicht-Verhältnis, eine hohe Positioniergenauigkeit sowie exzellente Steifigkeitseigenschaften. Parallelstrukturen erfüllen diese Anforderungen aufgrund ihrer Architektur mit gestellfesten Antriebseinheiten und damit geringen bewegten Massen. Der am weitesten verbreitete, kommerziell erfolgreichste Parallelroboter ist der Deltaroboter. Bedingt durch den Auslauf zahlreicher Patente und durch steigende Anforderungen, können zahlreiche Neuentwicklungen, Modifikationen und Erweiterungen der Originalsystems mit drei translatorischen Freiheitsgraden beobachtet werden [1]. Unabhängig von der Gestaltung des Systems ist die Positioniergenauigkeit für den industriellen Einsatz unter stetig wachsenden Anforderungen von entscheidender Relevanz. So kann es beispielsweise bei mangelnder Präzision bzw. bei Bewegungsfehlern zur Kollision zwischen Förderband und Endeffektor des Roboters und damit

zu erheblichen mechanischen Schäden kommen. Grundlegend kann zwischen steuerungs-externen Bewegungsfehlern, die nur durch redundante Sensorik oder externe Messtechnik erfasst werden können, und steuerungsinternen Bewegungsfehlern, die innerhalb der Steuerung als Regelfehler auftreten, unterschieden werden [2]. Steuerungsexterne Bewegungsfehler werden einerseits durch strukturelle Bauteilverformungen, die positionsabhängig und prozessbedingt zu erheblichen Verschiebungen des Endeffektors führen können, hervorgerufen. Andererseits resultieren kinematische Fehler aus fertigungsbedingten Abweichungen in den Bauteilabmessungen, Montagefehlern, Referenzierungsfehlern bzw. Sensorungenauigkeiten. Vor diesem Hintergrund werden zunächst die kinematischen Zusammenhänge und darauf aufbauend ein vollständiges inverses dynamisches Modell sowie ein Steifigkeitsmodell des Deltaroboters hergeleitet (Kap. 2). Darauf aufbauend werden Verfahren zur mechanischen Optimierung (Kap. 3.1) und kinematischen Kalibrierung (Kap. 3.2) vorgestellt. Steuerungsinterne messbare Bewegungsfehler können durch optimale Reglerauslegung (Kap. 4.1) und durch Vorsteuerungsmodelle (Kap. 4.2) reduziert werden.

Dieser Beitrag behandelt Maßnahmen zur Optimierung der Positioniergenauigkeit bzw. Reduktion von Bewegungsfehlern am Beispiel des Deltaroboters mit entsprechender Modellbildung. Die Maßnahmen wurden im Zuge eines Industrieprojektes mit einem mittelständischen Unternehmen aus der Lebensmittelindustrie am Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik erarbeitet. Aus Gründen der Geheimhaltung wird auf die Darstellung quantitativer Ergebnisse verzichtet.

2. Modellbildung

Um drei translatorische Freiheitsgrade zu erzielen, muss eine Relativrotation zwischen Gestellrahmen und Plattform kinematisch unterbunden werden. Realisiert wird dies über die drei Parallelogrammführungen des Deltaroboters, nachfolgend Unterarme genannt. Die Unterarme bestehen aus zwei parallel angeordneten Zug/Druckstangen, welche an beiden Enden über Kugelgelenke gelagert werden. In der Regel werden zwischen den Unterarmen nahe der Aufnahmen zur Erzielung der notwendigen Haltekraft Federn angebracht. Die Antriebe steuern die Rotationsbewegungen der Oberarme, welche nur einen Rotationsfreiheitsgrad besitzen. Im Gegensatz zu den Unterarmen werden die Oberarme ebenfalls auf Torsion und Biegung belastet, weshalb diese massiver ausgeführt werden müssen. Ausgangspunkt der inversen kinematischen Rechnung ist der Vektorzug zwischen dem Referenz- und dem Endeffektor-Koordinatensystem, die sog. Schließbedingung:

$$\mathbf{p} = \mathbf{l}_{1i} + \mathbf{l}_{2i} + \mathbf{a}_i - \mathbf{b}_i \quad (1)$$

Modulare Robotermesszellen zur Hochgeschwindigkeitsqualitätsprüfung von Außenhautbauteilen in der Automobilindustrie

Modular robotic measuring cells for high-speed quality testing of sheet metal components in the automotive industry

S. Spies, M.Sc., Dipl.-Inf. **B. Johnen**, Dipl.-Phys. **M. Bartelt**,
Ruhr-Universität Bochum, Bochum; Dipl.-Ing. **B. Pontai**,
Carl Zeiss Optotechnik GmbH, Neubeuern;
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **B. Kuhlentötter**, Ruhr-Universität Bochum, Bochum

Kurzfassung

Bei der Produktion von Blechaußenhautbauteilen sind sichtbare Oberflächenfehler ein entscheidendes Qualitätskriterium. Momentan erfolgt die Überprüfung auf solche Fehler stichprobenartig und zumeist nur teilautomatisiert. Der Einsatz von Robotik bei der Überprüfung ist zwar mittlerweile weitestgehend Standard, jedoch fehlen Lösungen, die eine automatisierte Überprüfung aller Bauteile ermöglichen. Dieser Beitrag beschreibt einen Lösungsansatz zur 100%-Prüfung von Blechaußenhautbauteilen innerhalb der Produktionslinie mittels modularer Robotermesszellen zur Hochgeschwindigkeitsqualitätsprüfung.

Abstract

When producing sheet metal components, visible surface defects are a decisive quality criterion. Currently the parts are carried out for review, while this review is done only for samples and usually only partially automated. Although the use of robotics for testing is common practice, there is still no solution suitable for an automatic review of all parts. To overcome this issue, this paper is presenting an approach for 100% inspection of sheet metal components within the production line by means of modular robotic measuring cells for high-speed quality testing.

1. Einleitung und Motivation

Moderne Pressen, die in der Automobilindustrie im Bereich der Blechumformung eingesetzt werden, können bis zu 160 Außenhautbauteile, wie z. B. Türbleche oder Motorhauben, pro

Minute produzieren (vgl. [1]). Sichtbare Oberflächenfehler stellen für Außenhautbauteile das entscheidende Qualitätskriterium dar. In Bild 1 sind mögliche Oberflächenfehler bei Blech- und Außenhautbauteilen dargestellt [2].

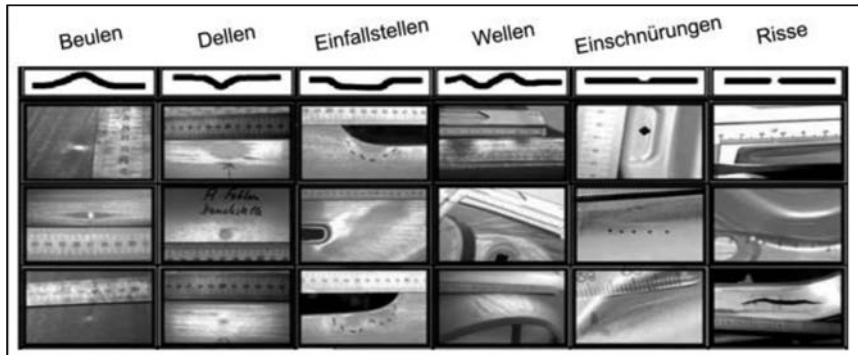


Bild 1: mögliche Oberflächenfehler [3]

Je später im Produktionsprozess ein Fehler gefunden wird, desto kostenintensiver sind die Arbeiten zur Behebung des Mangels [4]. Daher soll die Überprüfung bereits nach der Presse am Rohblech und noch vor der Montage- und Lackierungsphase erfolgen. Aufgrund der hohen Taktzeiten moderner Servopresslinien ist mit den derzeitigen technischen Mitteln allerdings nur eine stichprobenartige Überprüfung der Bauteile möglich. Einzelne Bauteile werden aus der Produktionslinie ausgeschleust und deren Oberfläche mittels Streifenlichtprojektion vermessen. Der Sensor wird dabei von einem Standard-Industrieroboter geführt. Die Messdaten werden automatisch ausgewertet und Oberflächenfehler erkannt. Die Roboterbahnen werden allerdings manuell erstellt und die Einrichtung der Messparameter für das jeweilige Bauteil individuell ausgelegt, woraus ein nicht unerheblicher Aufwand für jede neue Messeinrichtung resultiert.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst die aktuelle Praxis beim Vermessen von Blech- und Außenhautbauteilen beschrieben, anschließend werden die Anforderungen an eine automatische Messzelle analysiert und ein Konzept für die Messzelle herausgearbeitet. Zuletzt wird kurz das weitere Vorgehen bei der Entwicklung der Zelle beschrieben.

2. Industrielle Praxis

Im industriellen Umfeld eingesetzte Messsysteme bestehen derzeit hauptsächlich aus einem Standard-Industrieroboter und einem Sensor zur Oberflächenprüfung (Bild 2). Die Vermes-

Optimierungsstrategien zur Steigerung der geometrischen Genauigkeit in der roboterbasierten inkrementellen Blechumformung

Lars Thyssen M.Sc., Patrick Seim M.Sc., Denis Daniel Störkle M.Sc.,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Bernd Kuhlenkötter,**
Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS),
Bochum

Kurzfassung

Der vorliegende Aufsatz beschreibt neueste Entwicklungen im Bereich der roboterbasierten inkrementellen Blechumformung. Im Fokus stehen hierbei die aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des LPS zur Steigerung der Form- und Maßhaltigkeit sowie zur Erweiterung des Bauteilspektrums. Hierzu wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, die die Einflüsse zusätzlicher, versteifender Strukturelemente, verschiedener Bauteil-orientierungen sowie unterschiedlicher Fertigungsreihenfolgen auf die Geometrie-genauigkeit untersuchen.

Abstract

This paper describes the latest developments in the field of robot-based incremental sheet forming. The focus is on the current research and development work of the LPS to increase the geometric accuracy and to extend the scope of formable components. For this, several experiments were executed that examine the effects of additional, stiffening structural elements, different part orientations and different manufacturing sequences on the geometrical accuracy.

1. Einleitung

Zunehmende Bauteilkomplexität bei abnehmender Losgröße und kürzeren Produktentwicklungszeiten stehen im Gegensatz zur Wirtschaftlichkeit der aktuell vorhandenen Fertigungsprozesse [1, 2]. Der damit einhergehende fallende Automatisierungsgrad der Produktionsabläufe erhöht den Druck auf Hochlohnländer und weckt gleichzeitig den Ruf nach neuen, flexiblen Technologien und Verfahren. Die inkrementelle Blechumformung (IBU) stellt ein flexibles, werkstückunabhängiges Verfahren für die Herstellung von Blechbauteilen in kleinen Stückzahlen dar. Dabei entsteht die gewünschte Endkontur eines Bleches schrittweise durch wiederholte lokale Umformung. Anwendungsfelder liegen im Bereich der Kleinserien im Flugzeugbau oder in Form von kundenindividuellen Bauteilen in der Prothetik und der Ferti-

gung von Implantaten [3 bis 5]. Eine breite technologische Anwendung im Bereich der Umformung asymmetrischer Bauteile hat jedoch bisher nicht stattgefunden. Als Hauptgründe sind die Herstellung steiler Flanken sowie die erzielbare Geometriege nauigkeit zu nennen.

2. Stand der Forschung

Verfahrensstrategien

In der inkrementellen Blechumformung asymmetrischer Bauteile gibt es unterschiedliche Verfahrensvarianten (s. *Bild 2*). Für das Single Point Incremental Forming (SPIF) ohne Stützrahmen (Abbildung 1 (a) – linke Bildhälfte), welches die einfachste Verfahrensvariante des AISF darstellt, genügen für den Aufbau einer Umformeinrichtung bereits das von einer NC-Maschine geführte Umformwerkzeug und der Einspannrahmen [6 bis 9]. Insbesondere durch die große unverformte Fläche zwischen Einspannrahmen und Geometriefuß entstehen dabei allerdings große Nachgiebigkeiten, die die Form- und Maßhaltigkeit (im weiteren Verlauf zusammengefasst im Begriff der Geometriege nauigkeit) negativ beeinflussen. Daher wurden Verfahrensvarianten entwickelt, die den Umformprozess von der Rückseite des Blechs unterstützen. Dabei wird klassischer Weise zwischen dem Single Point Incremental Forming (SPIF) mit Stützrahmen (Abbildung 1 (a) – rechte Bildhälfte), bei welcher der Rahmen eine bauteil-spezifische Kontur besitzt [10] und dem Two Point Incremental Forming (TPIF) mit Teil- oder Vollpatrizie unterschieden (Abbildung 1 (b)) [11 bis 13]. Die letzte Variante ermöglicht bisher zwar die höchste Geometriege nauigkeit (wenn in den anderen Varianten keine Korrektur-strategien eingesetzt werden), erfordert aber die Fertigung einer bauteilspezifischen Form.

Um in Anlehnung an das SPIF ohne Stützrahmen rein NC-basiert beliebige Bauteilgeometrien mit einer geometrieunabhängigen Unterstützung fertigen zu können, wurde erstmals 2002 am Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS) der Ruhr-Universität Bochum das Duplex Incremental Forming (DPIF) in Form der roboterbasierten inkrementellen Blechumformung (Roboforming) entwickelt und erforscht [6, 14 bis 16]. Dabei wird der Umformprozess auf der Blechrückseite von einem weiteren NC-gesteuerten Werkzeug unterstützt. In Bezug auf die Unterstützung sind zwei Varianten zu unterscheiden. Beim DPIF mit peripherem Gegenhalter (DPIF-P, Abbildung 1 (c)) folgt das Gegenhalterwerkzeug dem Umformwerkzeug auf einer konstanten Bahn auf der Blechebene, welche die Bauteilkontur am Geometriefuß abbildet, um die Linie der Krafteinleitung zu unterstützen. Lokal begrenzt bildet das Gegenhalterwerkzeug so einen Stützrahmen nach. Beim DPIF mit lokalem Gegenhalter (DPIF-L, Abbildung 1 (d)) folgt dieser dem Umformwerkzeug direkt gegenüber auf der anderen Blechseite, sodass sich ein Umformspalt ausbildet, in dem das Blech umgeformt wird. Die beidseitige

Konzeptionierung eines servogesteuerten-Roboter-Manipulators für das Handling und die Montage von Reifen und Felgen der „Losgröße 1“

Dipl.-Ing (FH) **Sebastian Schmitz**,
Prof. Dr.-Ing **Daniel Schilberg**, Hochschule Bochum;
Univ.-Prof. Dr.-Ing **Bernd Kuhlenkötter**, Ruhr-Universität Bochum

Kurzfassung

Die automatische Montage von PKW-Reifen auf Aluminium- oder Stahlfelgen stellt eine komplizierte Handhabungsaufgabe dar. Aus dem Variantenreichtum der Radgrößen, Radbreiten, Reifengrößen, Reifenbreiten und den spezifischen Reifeneigenschaften der verschiedenen Reifenhersteller resultieren hunderte Rad-Reifenkombinationen. Für das Handling der erforderlichen Reifen und Felgen werden derzeit häufig zwei verschiedene Manipulatoren verwendet. Das Projekt „RRM“ (Vision-gestützte Roboter-Reifenmontage) [1] des Instituts für Robotik und Mechatronik beschäftigt sich mit der Optimierung von Kommissionierung und Montage von PKW-Reifen und -Felgen mit Industrierobotern. Der hier präsentierte Manipulator bewältigt sowohl das Handling von Reifen, Stahl- und Aluminiumfelgen aller gängigen Größen, als auch den Montageprozess der ersten Reifenwulst auf die Felge. Der Manipulator besitzt keinen separaten Antrieb, sondern wird durch die sechste Achse eines Standard-Industrieroboters angetrieben. Durch die Auswertung der internen Servo-Parameter des Roboters, kann eine kontinuierliche Drehmoment-Überwachung realisiert werden.

Abstract

The automatic assembly of car tires on aluminum or steel wheels represents a complicated handling task. The rich variety of wheel sizes, tire sizes and the tire specific characteristics of each manufacturer results in hundreds of tire and wheel combinations. Nowadays two different kinds of manipulators are often used to handle the required tires and rims. The project "RRM" (Vision-based robot tire mounting) [1] of the Institute of Robotics and Mechatronics deals with the optimization of consignment and assembly of car tires and rims with industrial robots. The introduced manipulator masters the handling task of tires, steel and aluminum wheels in any well-established size, as well as the assembly process of the first bead on the rim. The manipulator does not need a separate drive, it is powered by the six-axis drive of a

standard industrial robot. A continuous torque monitoring can be realized by analyzing the robots internal servo parameters.

1. RRM

Im Projekt „RRM“ (Vision-gestützte Roboter-Reifenmontage) des Instituts für Robotik und Mechatronik der Hochschule Bochum geht es um die Optimierung des Kommissionier- und Montageprozesses bei der Montage von PKW-Reifen auf Felgen. Aktuell werden in den Automobil-Werken sämtliche Prozessschritte bei der Reifenmontage noch manuell, oder von großen und komplexen Sondermaschinen, wie Reifenmontagelinien durchgeführt. Ziel des Projektes ist es, die manuellen Prozessschritte zu automatisieren und die Montagelinien durch modulare Fertigungs-/Montagezellen [1] mit Industrierobotern zu ersetzen. Ein wichtiger Teil dieser Prozesskette ist die Kommissionierung der Reifen und Felgen. Derzeit werden sowohl die Reifen, als auch die Felgen von Werkern in einer von einem HMI (Human Maschine Interface) vorgegebenen Reihenfolge auf Förderbänder aufgelegt. Dies stellt eine stark körperlich belastende Tätigkeit dar und bietet aus ergonomischer Sicht ein hohes Automatisierungspotential dar.

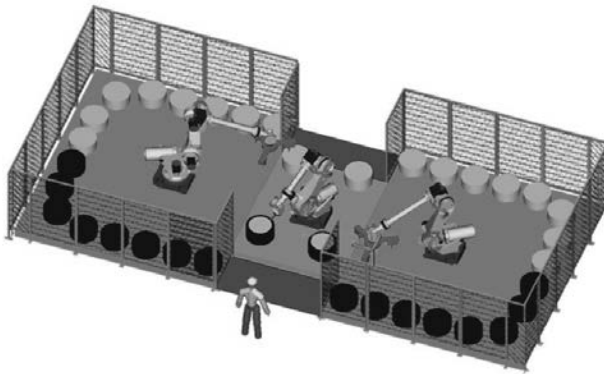


Bild 1: Simulation RRM

Nach der erfolgten Kommissionierung der Reifen und Felgen ist die Montage angeordnet. Das Anlagenkonzept sieht vor, dass der Reifen bei der Übergabe an den Montage-Roboter bereits durch den Kommissionier-Roboter vormontiert wird. Bei dieser Vormontage wird die untere Reifenwulst mit einer rotatorischen Bewegung über die Felge gedrückt. Somit muss

Automatisierte Befliegung von Windenergieanlagen mit einem Multikopter zu Inspektionszwecken

Multikopter-Prototyp mit 2D-LiDAR für 3D-Mapping und Kollisionsvermeidung sowie Vektorfeld-basierte Pfadfolgeregelung

B. Schäfer, T. Engelhardt, Prof. Dr.-Ing. D. Abel,
Institut für Regelungstechnik der RWTH Aachen

Kurzfassung

Im vorliegenden Beitrag wird die Entwicklung eines Systems zur automatisierten Befliegung einer Windenergieanlage mit einem Multikopter zu Inspektionszwecken vorgestellt. Das Konzept sieht vor, mit Hilfe eines LiDAR-Sensors durch eine initiale, dem eigentlichen Inspektionsflug vorangestellte Befliegung ein 3D-Modell der Windenergieanlage zu generieren. Dieses Modell dient der Planung des Flugpfads, der anschließend automatisch abgeflogen werden soll. Während dieses automatisierten Flugs soll der LiDAR-Sensor zusätzlich dazu dienen, die Kollision des Multikopters mit der Anlage zu vermeiden. Für die Umsetzung des Konzepts wurde ein Multikopter-Prototyp aufgebaut, der mit einem 2D-LiDAR-Sensor und einem GPS-RTK-Empfänger (Real Time Kinematic; hochgenauer Satellitennavigationsempfänger) ausgestattet ist.

Im Rahmen der Arbeit wird das Robot Operating System (ROS) eingesetzt. Dies erlaubt die Entwicklung der Algorithmen zur Signalverarbeitung und Steuerung sowie eine 3D-Simulation des Inspektionsvorgangs inklusive sämtlicher Sensorsignale. Darüber hinaus dient ROS als Systemsoftware des Prototypen im realen Betrieb.

Der Beitrag geht auf die Teilaspekte der Pfadplanung, der Vektorfeld-basierten Pfadfolgeregelung und der Kollisionsvermeidung ein. Es werden Simulationsergebnisse sowie Ergebnisse von Indoor-Tests vorgestellt.

1. Einleitung

In Deutschland existieren inzwischen über 24.000 Windenergieanlagen, die einen wesentlichen Beitrag zur Energieerzeugung aus regenerativen Quellen leisten. Etwa die Hälfte der Betriebskosten einer Windenergieanlage wird durch Wartung und Reparatur verursacht [1]. Speziell die Rotorblätter und die tragenden Teile einer Windenergieanlage verursachen je Schadensfall Ausfallzeiten von durchschnittlich vier Tagen [2]. Für den rentablen Betrieb einer Anlage ist es daher wichtig, diese Kosten sowie die aus Stillstandzeiten resultierenden

Erzeugungsausfälle zu minimieren. Durch die Befliegung einer stehenden Windenergieanlage mit einem Multikopter ist es möglich, in relativ kurzer Zeit und mit geringem Aufwand Bilddaten der Oberfläche der Anlage zu erzeugen. Dadurch könnten die zweijährigen Inspektionsintervalle verkürzt und ein kontinuierliches Monitoring der Anlage realisiert werden. So können fortschreitende Schäden in einem frühen Stadium erkannt und kapitale Schäden im Ansatz vermieden werden.

Stand der Technik hinsichtlich der visuellen Inspektion von Rotorblättern einer Windenergieanlage ist der Einsatz von Industrielletterern, die sich bei stehender Anlage an den einzelnen Blättern abseilen. Die vollständige Prüfung einer Anlage dauert mit diesem Verfahren je nach Anlagengröße mindestens drei Stunden. Alternativ werden Hubsteiger eingesetzt; dieses Verfahren wird jedoch durch die oftmals schwierige Erreichbarkeit einer Anlage eingeschränkt.

Eine relativ junge Entwicklung ist der Einsatz von Multikoptern, die eine Befliegung der Windenergieanlage und die Aufnahme von Bilddaten mit einer Kamera ermöglichen. Ein Multikopter wird von einem Piloten über eine Fernbedienung manuell gesteuert und überwacht. Die manuelle Steuerung erfordert Geschick - insbesondere, wenn in größeren Höhen (> 50 Meter) und unter Windeinfluss möglichst nah an einer Windenergieanlage geflogen werden soll. Da die durchschnittliche Nabenhöhe der installierten Anlagen stetig wächst und bei Onshore-Anlagen inzwischen mehr als 100 Meter beträgt, wird eine sichere manuelle Befliegung zunehmend schwierig. Die Befliegung von Offshore-Anlagen ist aufgrund der Umweltbedingungen (Seegang, starke Winde) noch anspruchsvoller. Technischer Standard bei kommerziell verfügbaren Multikoptern sind GPS-Empfänger, die Funktion „Position hold“ und die Möglichkeit, vordefinierte Wegpunkte abzufliegen. Aufgrund des relativ hohen Fehlers bei der Positionsbestimmung mittels GPS (5-10 Meter) sind diese Systeme nur unter Einschränkungen für die automatische Befliegung geeignet; sie ermöglichen beispielsweise den Anflug in ein Operationsgebiet, nicht jedoch die Navigation an einem Inspektionsobjekt.

Die Publikation [3] berichtet von der Gebäudeinspektion mit unterschiedlichen UAVs (Unmanned Aerial Vehicles). Schwerpunkte der Untersuchung liegen in der Erfassung von Bilddaten sowie deren Nachverarbeitung und der Ableitung von 3D-Modellen. Auf Grundlage der Erfahrungen bei der Befliegung schildern die Autoren Einschränkungen bei der GPS-basierten Navigation aufgrund von Abschattungseffekten und unterstreichen die Notwendigkeit von Kollisionsvermeidungssystemen. Ein solches System wird in Abschnitt 2.3 der vorliegenden Arbeit vorgestellt.

Ein guter Überblick über den Einsatz von UAVs in der Inspektion von Anlagen der Energiewirtschaft wird in dem Beitrag [4] gegeben. Dabei werden die in diesem Zusammenhang

Modellierung von Aufträgen und Produktionsressourcen in flexibilisierten Produktionsumgebungen

Constantin Hildebrandt, Xuan-Luu Hoang, André Scholz, Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg;
Andreas Schreiber, Olaf Graeser, Phoenix Contact GmbH & Co. KG

Kurzfassung

Bei Planung und Bau von Maschinen für Produktionssysteme wird bisher meist davon ausgegangen, dass eine einzelne Maschine in einem relativ zur Lebensdauer des gesamten Produktionssystems eher unveränderlichen Kontext betrieben wird. Unter Berücksichtigung der mit Industrie 4.0 antizipierten zunehmenden Flexibilisierung der Produktionssysteme kann diese Annahme nicht mehr getroffen werden: Zum einen wachsen die Anforderungen an die einzelne Maschine hinsichtlich ihrer eigenen Rekonfigurierbarkeit, zum anderen ist abzusehen, dass Teile des Produktionssystems, welche mit der zu bauenden Maschine durch Wertschöpfungsketten in Verbindung stehen, immer häufiger variieren können. Dieser dynamische Kontext des Produktionssystems muss daher geeignet beschrieben werden. Dies gilt einerseits während der Entwicklungsphase einer neuen Maschine, andererseits aber auch in der Betriebsphase, in der die Kontext-Informationen (zu denen auch die aktuelle Auftragssituation zählt) für die Beantwortung der Frage entscheidend sind, wann welche Maschine welchen Auftrag übernehmen sollte. In diesem Beitrag werden Ergebnisse einer Studie vorgestellt, welche sich mit der Erhebung von Anforderungen hinsichtlich der Modellierung von Funktionalität und dynamischem Kontext flexibler Produktionsressourcen befasste. Dabei wurde den Fragen der Studie einerseits grundsätzlich, andererseits an konkreten Beispielen von Fertigungssystemen von Phoenix Contact nachgegangen.

1. Einleitung

Fertigungstechnische Systeme müssen sich, aufgrund stetig steigender Dynamik im Umfeld der Produktion, immer schneller an wechselnde Umweltbedingungen anpassen [1]. Während in den letzten Jahren der Maschinen- und Anlagenbau, die Elektrotechnik und der Automobilbau ihre Produktion nach den Prinzipien der schlanken Produktion gestalteten, Flexibilität erhöhten und damit große Erfolge bei Produktivität und Lieferbereitschaft erzielt haben, steht

die Produktion im Kontext von Industrie 4.0 bereits vor dem nächsten Umbruch [2]. Unter dem Schlagwort Industrie 4.0 werden zur Berücksichtigung der stetig steigenden Dynamik des Produktionsumfeldes unter anderem Entwicklungen diskutiert, die eine Produktion mit selbst steuernden und zum Teil intelligenten Objekten gestalten. Durch diesen Ansatz sollen sich Aufträge selbstständig durch ganze Wertschöpfungsketten bewegen, ihre Bearbeitungsmaschinen (Ressourcen) buchen und ihre Auslieferung an den Kunden organisieren. Dies stellt einen Lösungsansatz zur effizienten Handhabung der stetig steigenden Dynamik zwischen Produkten, Produktionsprozessen und Ressourcen dar. Um Ressourcen und Aufträge jedoch in ein derart dynamisches Umfeld zu integrieren, ist es notwendig, den die Systeme umgebenden Kontext entsprechend der gewünschten Interaktion zwischen Auftrag und Ressourcen zu modellieren [3]. Auf diese Weise ist es möglich, die in der Betriebsphase geforderte Flexibilität der Ressource bereits zur Entwicklungszeit durch eine Modellierung des dynamischen Systemkontextes zu berücksichtigen. Dies entspricht ganz der Annahme, dass ein möglichst realitätsnahes Modell über die zukünftige Zusammensetzung des Systemkontextes der Schlüssel zur Entwicklung eines flexiblen System ist [4]. Die vorliegende Studie liefert einen Beitrag zu einer entsprechenden Modellierungstheorie. Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt auf der Darstellung von Anforderungen zur Abbildung dynamischer Systemkontexte in der fertigungstechnischen Domäne. Die Struktur des Beitrags ist wie folgt. Abschnitt 2 gibt einen Einblick in die Beschreibung von Kontext und stellt die Sicht der Studie auf Systeme und deren Systemkontexte dar. Abschnitt 3 zeigt auf, welche Anforderungen an die Modellierung der Dynamik in der Schnittmenge der Systemkontexte zwischen Produkten und Ressourcen bestehen. Der Beitrag endet in Abschnitt 4 mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2. Dynamischer Systemkontext in der Fertigungstechnik

Der Begriff „context aware computing“ entstammt der Softwareentwicklung und bezieht sich auf die Entwicklung von kontextsensitiven Softwaresystemen, welche mit Hilfe von entsprechenden Interaktionen mit ihrer Umgebung (durch Sensorik oder Kommunikation) Informationen aus ihrer Umgebung parallel zur Laufzeit entnehmen können. Dies mit dem Ziel, die Qualität eines service-orientierten Softwaresystems zu erhöhen. Ein System ist dabei im Sinne von „context aware computing“ kontextsensitiv, wenn es den Kontext nutzt, um relevante Informationen und/oder Services für den Nutzer bereit zu stellen, wobei die Relevanz von der Aufgabe des Nutzers abhängt. [5]

Definition einer Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen

Dr.-Ing. **D. Gorecky**, Dipl.-Ing. **S. Weyer**, Dipl.-Ing. **F. Quint**,
Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz GmbH,
Kaiserslautern;
Dr.-Ing. **M. Köster**, Weidmüller Interface GmbH & Co. KG, Detmold

Kurzfassung

Diese Veröffentlichung beschreibt eine Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen in der diskreten, lose verketteten Fließfertigung. Die Systemarchitektur dient als ein Lösungsmuster für die Konzeption moderner Produktionsanlagen, die sich durch mechatronische Wandelbarkeit, individualisierte Massenproduktion und inner- sowie überbetriebliche Vernetzung auszeichnen. Vervollständigt wird die Systemarchitektur durch einen Satz herstellerübergreifender Spezifikationen zu mechanischen, elektromechanischen und informationstechnischen Aspekten, die am Beispiel der Pilotanlage der *SmartFactory*^{KL} entwickelt, angewendet und demonstriert wurden.

1. Einleitung

Der Begriff Industrie 4.0 steht als Synonym für die Produktion von Morgen, die sich durch Digitalisierung der Arbeitsprozesse, zunehmende innerbetriebliche und überbetriebliche Vernetzung und Modularisierung intelligenter Maschinen, Produkte und Betriebsmittel auszeichnen [1].

Industrie 4.0 versteht sich damit als technologische Antwort auf aktuelle und sich abzeichnende global-wirtschaftliche Veränderungen, wie z.B. verkürzte Produktlebenszyklen und zunehmend kundenorientierte Wertschöpfung. Insbesondere die diskrete Fertigung steht einer stärkeren Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten und Produktvarianten gegenüber. Der Trend zu kleineren, variationsreichen Losgrößen führt klassische Produktionskonzepte rasch an die wirtschaftlichen und technologischen Grenzen. Besonders Konsumgüter stehen unter immensen Innovations- und Kostendruck, besitzen sie doch eine verhältnismäßig kurze Nutzungsdauer und müssen in vielen Varianten jederzeit verfügbar sein.

In der industriellen Praxis finden sich einige Beispiele, in denen Produkte individuell und auf Kundenzuruf gefertigt werden. Adidas [2] und Nike [3] betreiben Pilotprojekte, die die wirtschaftliche Herstellung von Sportschuhen mit personalisiertem Design anstreben. Auch innerhalb der Lebensmittelbranche erlauben es Anbieter wie z.B. myMüsli [4] kundenindividuel-

le Produktvarianten über das Internet in Auftrag zu geben. Die Automobilindustrie offeriert dem Kunden bereits heute umfangreiche Ausstattungsvarianten und Konfigurationsmöglichkeiten. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend hin zur flexiblen und kundenindividuellen Produktion noch weiter verstärken wird. Wettbewerbsvorteil hat zukünftig der Hersteller, der bedarfsorientiert für den Kunden produziert.

Die genannten Beispiele erlangen die Kundenindividualität allerdings nicht oder nur im begrenzten Maße durch den Einsatz flexibler Produktionskonzepte. Die genannten Beispielprodukte lassen sich dadurch charakterisieren, dass sie entweder auch in der Massenfertigung viele manuelle Arbeitsschritte enthalten (wie z.B. in der Schuhe- und Textilfertigung), dass nur wenige Prozessschritte zur Individualisierung erforderlich sind (wie z.B. beim Abfüllprozess zur Herstellung von Müsli) oder dass die individualisierte Massenproduktion lediglich durch starre und hochkomplexe Produktionsanlagen erzielt werden kann (wie z.B. in der Automobilproduktion).

Um angemessen auf die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen zu reagieren, werden neuartige Produktionskonzepte benötigt, die die folgenden drei Zielkriterien gleichermaßen erfüllen:

1. **Mechatronische Wandelbarkeit:** Produktionsanlagen sind im Sinne der Minimierung von Stillstandzeiten und Kostenersparnis beim Umrüsten wandlungsfähig und modular aufgebaut; lassen sich schnell und aufwandsarm in Betrieb nehmen und an neue Produktionsanforderungen adaptieren.
2. **Individualisierte Massenproduktion:** Produktionsanlagen beherrschen die wirtschaftliche Fertigung individualisierter Produkte und breitgefächerter Produktvarianten – sprich kleiner Losgrößen – zu Konditionen der Massenproduktion.
3. **Inner- und überbetriebliche Vernetzung:** Kommunikationsfähige Produkte und Produktionsanlagen lassen sich schnell und aufwandsarm an IT-Systeme anbinden und ermöglichen somit transparente Einblicke und Eingriffsmöglichkeiten in die laufenden Produktionsprozesse – Fehlfunktionen lassen sich vorhersagen, Prozesse lassen sich optimieren.

Die Systemarchitektur der *SmartFactory*^{KL} beschreibt den konzeptionellen Aufbau von wandlungsfähigen Industrie 4.0-Produktionsanlagen, die alle zuvor formulierten Zielkriterien erfüllen. Bevor die Systemarchitektur in Kapitel 3 detailliert vorgestellt wird, werden in Kapitel 2 zunächst die an sie gestellten Anforderungen hergeleitet. Vervollständigt wird die Systemarchitektur in Kapitel 4 durch einen Satz herstellerübergreifender Spezifikationen, die anhand der *SmartFactory*^{KL} Pilotanlage entwickelt und angewendet wurden [5].

Generisches Modell zur verteilten Diagnose von industriellen Steuerungssystemen

Dipl.-Ing. **T. Doehring**, Dipl.-Ing. **D. Hasler**, M.Sc. **S. Klinner**,
Dipl.-Ing. **S. Höme**, ifak e.V., Magdeburg

1. Kurzfassung

Ethernet-basierte Kommunikationssysteme in Produktionsanlagen bestehen heutzutage aus einzelnen Teilanlagen, die in einer Gesamtnetzwerkarchitektur eingebunden sind. Für die Realisierung von Echtzeitkommunikation hat sich hier die offene industrielle Feldbustechnologie PROFINET etabliert. Aufgrund des immer größer werdenden Mengengerüsts in den Anlagen und den zunehmenden Gerätefunktionen rückt eine umfassende Netzwerkanalyse und Anlagendiagnose immer mehr in den Vordergrund. Hierfür gibt es verschiedene Motivationsaspekte und Ziele, die abhängig vom Zustand der Produktionsanlagen sein können. Die damit verbundenen Herausforderungen für durchzuführende Tests und Analysen standen im Fokus eines Forschungsprojektes DIA.LYSIS*. Dieses zielt auf die Entwicklung eines modularen Frameworks für den Einsatz für die verteilte Netzwerk- und Prozessdatenanalyse und zu Diagnosezwecken ab. Im Fokus stehen Ethernet-basierte Automatisierungstechnologien und darauf aufsetzende Kommunikationsprotokolle und Dienste. Weiterhin werden typische und neue Anwendungsszenarien betrachtet, die in formalen Testfallbeschreibungen gefasst werden, mit Hilfe des Frameworks ausgeführt und so in einer Testumgebung bewertet werden können.

In diesem Beitrag soll ein abstraktes Modell für ein verteiltes Diagnosesystem gezeigt werden, welches sowohl System- als auch Anlagen-übergreifend eingesetzt werden kann. Das Diagnosesystem setzt dabei auf eine Schichtenarchitektur zur Abstraktion der einzelnen Ebenen.

Das Modell liefert ein Architekturkonzept für die bedarfsgerechte Erfassung von Statusinformationen (Monitoring, Datenakquise) in verteilten heterogenen Systemen. Dabei steht die Adaptierbarkeit auf neue Use-Cases und Veränderungen in der Anlage im Vordergrund. Dies trägt den aktuellen Trends in der Steuerungs- und Kommunikationstechnik Rechnung, welche eine schnelle, bedarfsgerechte Umkonfiguration von Anlagen anstrebt. Ein Diagnose- und Monitoring-System muss dabei die gleiche Flexibilität aufweisen, um sich nahtlos an neue Funktionen und Anwendungen adaptieren zu können.

Ziel des Modells ist die Schaffung einer übergreifenden Informationsbasis zur Aggregation aller Informationen. Diese Aggregation erlaubt die bestmögliche Entscheidungsfindung zur Realisierung von verteilter Diagnose.

* DIA.LYSIS - gefördert durch BMWi, FKZ: VF120048 , Laufzeit 07/2013 bis 12/2015

2. Einleitung

Eine verteilte Netzwerkd Diagnose in industriellen Kommunikationssystemen ist erforderlich, wenn aufgrund von auftretenden Symptomen (geräte- oder systemspezifisch) Fehlerbilder entstehen, die dann zu Problemen im Automatisierungssystem führen. Je nach Anwender kann ein solches Problem bspw. der Stillstand einer Produktionsanlage sein. Fehlerursache könnte hierbei beispielsweise ein überlasteter Link in der Netzwerk-Topologie sein. Erkennbare Symptome für einen solchen überlasteten Link können unter anderem auftretende Paketverluste und/oder erhöhte Netzlasten im Netzwerk sein. Es können somit mehrere unterschiedliche Symptome einer Fehlerursache zugeordnet werden. Eine konkrete Fehlerursache oder eine Kombination mehrerer Fehlerursachen hingegen können spezifischen Problem Bildern in industriellen Kommunikationssystemen zugeordnet werden. Die folgende Abbildung zeigt einmal exemplarisch den Zusammenhang zwischen den einzelnen Symptomen, Ursachen und Problemen.

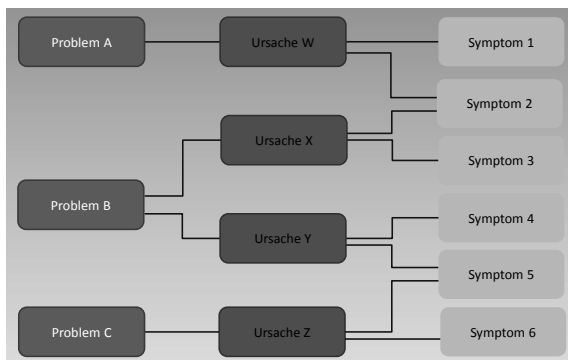


Bild 1: Zusammenhang von Problemen, Ursachen und Symptomen

Grundvoraussetzung für die Durchführung einer Diagnose ist das Vorliegen von hinreichenden Daten aus dem zu untersuchenden Netzwerk (siehe Abschnitt 3). Auf diese in einem speziellen Modell abzulegenden Daten können dann einzelne oder auch die Kombination mehrerer Testfälle, auch Diagnose-schritte genannt, angewendet werden. Jeder Diagnoseschritt durchläuft die in Abbildung 2 dargestellte Diagnoseprozesskette.

Aspekte der Modellierung der Funkkommunikation im Kontext Industrie 4.0

Dr.-Ing. L. Rauchhaupt, Dipl.-Ing. D. Schulze

Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak), Magdeburg

1 Kurzfassung

In diesem Beitrag wird die Stellung der Funkkommunikationssysteme als Subjekt und Objekt im Kontext Industrie 4.0 erörtert. Für den Einsatz mehrerer verschiedener, unabhängiger Funkanwendungen werden die relevanten Bereiche im Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) entsprechend [1] aufgezeigt. Es wird diskutiert für welche dieser Bereiche im RAMI4.0 bereits Normen vorliegen oder sich in Entwicklung befinden. Hierbei werden insbesondere auch Aktivitäten außerhalb der klassischen industriellen Kommunikation, wie bei 3rd Generation Partnership Project (3GPP) oder ETSI eingeordnet. Handlungsbedarf bei Modellierung und Normung wird aufgezeigt.

Ausgehend von Arbeiten zu einem Informationsmodell der Funkkommunikation, wird exemplarisch die Spezifikation von Diensten und Datenformaten für das Koexistenzmanagement durch einen Central Coordination Point (CCP) vorgestellt. Es werden Inhalte für Verwaltungsschalen präsentiert, die Funkkommunikationssysteme und Funkkommunikationsgeräte für ein künftiges (teil-)automatisiertes Koexistenzmanagement oder für eine flexible Quality-of-Service-orientierte Kommunikation befähigen.

Damit liefert dieser Beitrag nicht nur fachliche Orientierung für die künftige Normung, sondern soll auch Impulse geben für Hersteller von industrielle Funkkommunikationsprodukten und von Softwarewerkzeugen zu deren Engineering und Management.

2 Industrielle Funkkommunikationssysteme

Wesentliche Merkmale künftiger industrieller Produktionsanlagen sind hohe Flexibilität und starke Vernetzung aller am Produktionsprozess beteiligten Assets. Zur Beherrschung der künftigen Anforderungen an solche Prozesse ist die Virtualisierung aller an der Produktion beteiligten Objekte erforderlich. Das bedeutet aber auch, dass von der Kommunikationsinfrastruktur höhere Anforderungen bzgl. Flexibilität und Mobilität zu erfüllen sind. Damit gewinnt die drahtlose Kommunikation stärker an Bedeutung. Wegen des breiten Spektrums der Anwendungsanforderungen ist weiterhin mit einer Vielfalt an Funkkommunikationssystemen zu rechnen [2]. Die effiziente Beherrschung dieser Vielfalt und der steigenden Anforderungen

an die Funkkommunikation wird modellbasierte Methoden und Werkzeuge erfordern. Die Funkkommunikationssysteme sind damit nicht nur Mittel zum Zweck, sondern auch Objekt im Konzept Industrie 4.0 [3]. Deshalb sollen in diesem Beitrag Grundlagen zur Virtualisierung der Funkkommunikation vorgestellt und diskutiert werden.

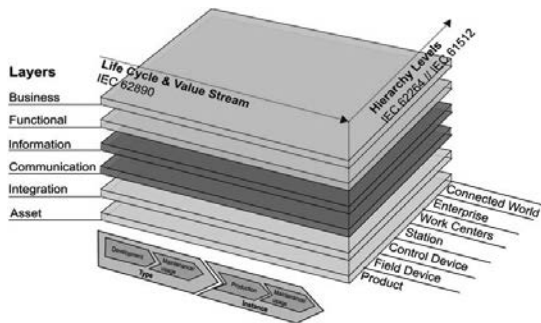


Bild 1: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 nach [4]

Im RAMI4.0 nach [4] bildet die Kommunikation eine Schicht (Layer), deren Aufgabe in erster Linie die Verbindung der Elemente der Hierarchieebenen (Hierarchy Level) ist (siehe Bild 1). Dabei durchlaufen Kommunikationssysteme die gleichen Lebenszyklen von Typ und Instanz wie andere Assets.

Auch wenn einige der nachfolgend vorgestellten Aspekte auf Kommunikationssysteme insgesamt zutreffen, konzentriert sich dieser Beitrag auf die Besonderheiten der Funkkommunikation. So sind für die Funkkommunikation spezielle Prozesse zu berücksichtigen, wie die Analyse der Funkausbreitung oder das erstmals in [6] beschriebene Koexistenzmanagement.

3 Funkkommunikationssystem als Subjekt

In diesem Abschnitt wird ein Modellansatz für die Kommunikationsschicht vorgestellt. Die Beschreibung erfolgt als Systemmodell nach [5]. Bild 3 zeigt die Systemhülle, die die Elemente des Funkkommunikationssystems sowie deren internen Relationen umschließt. Folgende Schnittstellen bestehen zur Außenwelt:

1. Schnittstelle zur Informationsschicht

Hier findet der Datenaustausch zwischen Automatisierungsanwendung und Kommunikation statt. Diese Schnittstelle ist für Dienstgütervereinbarungen für Kommunikationsdienste von Bedeutung. Sie entspricht der in [6] definierten Bezugsschnittstelle.

WirelessHART als Übertragungsprotokoll für regelungstechnische Anwendungen

T. Stein, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. **U. Konigorski**, TU-Darmstadt;
Dr.-Ing. **J. Kiesbauer**, Dr.-Ing. **J. Fuchs**, SAMSON AG, Frankfurt a. M.

Kurzfassung

Dieser Artikel beschreibt WirelessHART als Übertragungsprotokoll in Prozessregelkreisen mit dezentralen Reglern für Systeme, deren Zeitkonstanten deutlich kleiner sind als die Übertragungsintervalle der Funkübertragungsstrecke zwischen Sensoren und Aktoren. Das Verbesserungspotential von WirelessHART im Regelkreis wird herausgearbeitet und der Reglerentwurf wird am Beispiel einer Durchflussregelung veranschaulicht.

Abstract

This article focuses on the operation of WirelessHART as transmission protocol in the field of process control with decentral controllers for systems with small-time constants compared to the wireless transmission interval between sensors and actuators. The improvement potential of WirelessHART for control applications will be described and the controller design will be shown with an example of flow control.

1. Einführung in WirelessHART

Drahtlose Kommunikation in industriellen Anlagen hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Einer der am weitesten verbreiteten Standards ist IEEE 802.11.x. Auf diesem basieren alle WLAN (wireless local area networks). Ein großer Nachteil ist hierbei jedoch der Energieverbrauch aufgrund der hohen Übertragungsbandbreite dieses Funkstandards. In der Feldebene industrieller Netzwerke wird eine derart große Bandbreite, welche der IEEE 802.11.x-Standard und die darauf basierenden Protokolle zur Verfügung stellen, für die meisten Anwendungsfälle nicht benötigt. Die Hauptanforderungen liegen in diesem Anwendungsfeld auf einer zuverlässigen Übertragung der Messwerte von Sensoren oder Stellgrößen zu Aktoren, bei gleichzeitig niedrigem Energieverbrauch der Funkkomponenten. Hierdurch wird es ermöglicht, Sensoren ausschließlich mittels mobiler Energiespeicher und somit vollständig drahtlos betreiben zu können. Diese Anforderungen erfüllt der IEEE 802.15.4-Standard, welcher es ermöglicht, bis zu 250kBit/s zu übertragen, wenn alle der 16 zur Verfügung stehenden Kanäle im 2,4Ghz Frequenzband gleichzeitig für Übertragungsvorgänge genutzt werden. Der Standard IEEE-802.15.4 wird von verschiedenen Protokollen wie ZigBee, ISA100.11a und WirelessHART genutzt. In dieser Arbeit wird ausschließlich das von

der HART Communication Foundation 2007 eingeführte WirelessHART als Übertragungsprotokoll betrachtet. Es basiert auf der seit Ende der 80er Jahre existierenden drahtgebundenen HART-Übertragung [1].

Derzeit wird WirelessHART in industriellen Prozessen hauptsächlich für Monitoring und Konfigurationsaufgaben genutzt. In einigen Arbeiten, wie in [2], [3] und [4], werden Regelungen in drahtlosen Netzwerken untersucht. Insbesondere in [5] wird aufgezeigt, dass WirelessHART im Uplink-Datenverkehr deterministisches Verhalten aufweist, aber nicht bei der Downlink-Übertragung von Daten. Dies stellt jedoch an regelungstechnische Anwendungen hohe Anforderungen und diese sollen in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

2. Struktur eines WirelessHART-Netzwerks

Ein Netzwerk, welches WirelessHART als Protokoll zur Übertragung von Messwerten und Informationen nutzt, besteht aus einem Gateway, den zugehörigen Accesspoints, die in der Regel im Gateway verbaut sind, und den Netzwerkteilnehmern, den Feldgeräten. Mit dem Gateway verbunden bzw. in ihm integriert sind der Network-Manager und der Security-Manager. Die Aufgabe des Netzwerkmanagers ist es, das WirelessHART-Netzwerk zu organisieren, die für das Netzwerk notwendigen Graphen zu planen und die Zeitplanung für die Übertragung von Daten zwischen den einzelnen Feldgeräten, den Accesspoints und dem Gateway durchzuführen. Strukturell werden zwischen den einzelnen Geräten, die miteinander in Reichweite sind, drahtlose Verbindungen hergestellt. Dadurch entsteht ein vermaschtes Netzwerk, welches die Grundlage für den Netzwerkgraph aus **Bild (a)** bildet. Anhand des Netzwerkgraphen und mithilfe von Algorithmen, wie beispielsweise in [6] und [7] beschrieben, werden für das Beispielnetzwerk der Broadcast-Graph, der Uplink-Graph (**Bild (b)**) und schließlich die Downlink-Graphen (c) zu jedem Feldgerät erstellt. Anhand dieser Graphen und der Information darüber, bei welchem Gerät der Burstmodus aktiviert ist und in welchem Intervall

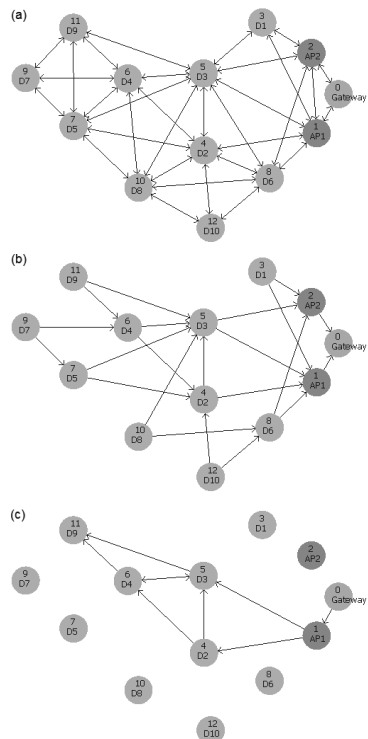


Bild 1: (a) Netzwerkgraph
(b) Uplink-Graph
(c) Downlink-Graph zu Node D9

Chancen und Grenzen der Leistungssteigerung von Industrial Ethernet Systemen bei der Verwendung von Ethernet Time Sensitive Networking (TSN)

Dipl.-Ing. **S. Nsaibi**, Prof. Dr.-Ing. **L. Leurs**,
Bosch Rexroth AG, Lohr am Main

Kurzfassung

Aktuell wird in der IEEE Standardisierung Time Sensitive Networking (TSN) als zukünftiger Standard für Ethernet definiert. Als größter Abnehmer von kabelgebundenen Komponenten zeichnet sich die Automobilindustrie ab, bedingt durch die notwendige Vernetzung von Komponenten für autonomes Fahren. Die Eigenschaften von TSN sind höchste Echtzeitfähigkeit, ausbalancierte Priorisierung und sehr gute Nutzung der Bandbreite. Dadurch ermöglicht TSN die Konvergenz aller Datenströme in einem Netzwerk. Der zu erwartende günstige Preis und die langfristige Verfügbarkeit der TSN-Chips machen diese Technologie für den Einsatz in Fertigungs- und Prozessindustrie sehr attraktiv.

Echtzeitfähige Netzwerke sind nichts neues, aber dass der Ethernet-Standard in höchstem Maße echtzeitfähig wird, kann viele Innovationen nach sich ziehen. In diesem Beitrag soll das Thema systematisch und unabhängig von den Industrial Ethernet Organisationen aufgearbeitet werden und dem Leser eine Beurteilung für seinen Einsatzbereich ermöglicht werden.

1. Einleitung

Entsprechend der Einteilung der Industrial-Ethernet (IE) Systeme in drei Echtzeitklassen [4] werden in diesem Beitrag die einzelnen TSN Standards auf die jeweilige Nutzbarkeit untersucht. Für Nutzung von TSN Hardware wird dann zwischen Endgeräten und Infrastrukturkomponenten unterschieden. Eine Erweiterung der Funktionalität eines existierenden IE-Systems durch die neu verfügbaren TSN-Mechanismen ist erforderlich. Hier können sich in Bezug auf die Aufwärtskompatibilität deutliche Einschränkungen ergeben. Der Beitrag dient dazu Klarheit für die Anwendungsmöglichkeiten von TSN in der Industrie zu schaffen. Chancen bestehen in Klasse 1 Industrial-Ethernet Systemen in Bezug auf Erweiterung der Echtzeitfähigkeiten ohne Technologiebruch. Auch OPC UA will mit Publisher/Subscriber Modell auf TSN setzen, um für die Maschine-zu-Maschine Kommunikation notwendige Echtzeitfähigkeit zu erreichen. Aber auch für einige Klasse 2 / 3 Echtzeitsysteme [4] in der Nutzung

günstiger TSN-HW. Grenzen lassen sich aufzeigen bei Klasse 3 Systemen in der Verbesserung der Echtzeitfähigkeit und in Bezug auf einer sanften Migration.

2. TSN als zukünftiger Ethernet Standard

Im Kern ist Standard-Ethernet, wie es in IEEE 802.3 und 802.1 am Anfang definiert wurde, weder deterministisch noch echtzeitfähig (CSMA/CD). Auf den ersten Blick also scheinbar ungeeignet für Automatisierungsaufgaben, bei denen es auf ein planbares Zeitverhalten und garantierte Reaktionszeiten auf Ereignisse ankommt. Dennoch hat sich Ethernet als universelle Kommunikationstechnologie auch in der Industrieautomation durchgesetzt [3]. Um Echtzeit zu erreichen, haben sich spezielle Ethernet-basierte Systeme (Industrial Ethernet) etabliert, die teilweise nicht IEEE konform sind (Sektion 3).

Innerhalb eines Ethernet-Netzwerks können zeitkritische und nicht zeitkritische Pakete gleichzeitig versendet werden, was oft zu hoher Latenz und somit unberechenbarer Jitter führt. Deswegen priorisiert Ethernet die Datenströme. Zeitkritische Telegramme werden nach dem IEEE 802.1 Q Standard höher priorisiert und somit früher versendet als nicht zeitkritische. Priorisierter Datenverkehr wird üblicherweise Best-Effort (BE) genannt. Dennoch ist das nicht die beste Lösung für manche Industrie-Anwendungen (Motion-Control), die harte Echtzeitfähigkeit benötigen (Jitter $\ll \mu\text{s}$). Diese definieren Ethernet-basierte aber nicht-IEEE konforme Lösungen und sind deswegen inkompatibel mit einander.

Derzeit definiert die IEEE TSN-Arbeitsgruppe Protokolle, damit das Standard-Ethernet die höchste Stufe von Echtzeitfähigkeit (Hard Real Time HRT) erreicht. Dabei ist der Fokus auf einer hohen Zeitsynchronisationsgenauigkeit und einem hohen Determinismus-Grad.

2.1 TSN-Standards

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die TSN-Standards.

Entwicklung einer Kippregelung für servoelektrische Exzenterpressen mit mechanisch entkoppelten Hauptantrieben

Dipl.-Ing. **H. Kirchner**, Technische Universität Chemnitz;
Dipl.-Ing. **A. Pierer**, Prof. Dr.-Ing. **M. Putz**, Dipl.-Ing. **P. Blau**,
Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik,
Chemnitz

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit stellt eine erweiterte Reglerstruktur für eine Servoexzenterpresse mit mechanisch entkoppelten Hauptantrieben vor. Durch diese Entkopplung ist eine aktive Kippungskompensation des Pressenstößels während des Arbeitshubs möglich. Die Arbeit gibt zunächst einen Überblick über Servopressentechnik und stellt den für die experimentellen Untersuchungen verwendeten Pressenversuchsstand vor. Herausfordernd für die Lageregelung der Hauptantriebe ist die Mehrdeutigkeit des Lageistwertes des Stößels aufgrund der Totpunkte des Exzentertriebes. Als Lösungsansatz zur Aufhebung der Mehrdeutigkeit wird die Regelung der Hauptantriebe auf Basis eines neuen Konzepts, dem „kumulierten Hub“, beschrieben, welcher eine eindeutige Zuordnung der Stößelposition zur rotatorischen Lage der Hauptantriebe ermöglicht. Neben dem simulationsbasierten Entwurf der erweiterten Reglerstruktur anhand eines mechatronischen Pressenmodells in MatLab/Simulink wird deren Implementierung in eine industrieübliche Bewegungssteuerung vorgestellt.

1. Einleitung und Motivation

In der blechverarbeitenden Industrie führen zunehmende Bauteilvielfalt und Kostendruck zu stetig steigenden Anforderungen an die eingesetzte Pressentechnik hinsichtlich Produktivität, Flexibilität und Energieeffizienz. Insbesondere bei hohen Presskräften und Hubzahlen kommen Exzenterpressen zum Einsatz. Das Nutzungspotential von servoelektrischen Direktantrieben (Torque-Motoren) für Exzenterpressen wird erst seit wenigen Jahren erschlossen. Vorteilhaft gegenüber klassischen Antriebskonzepten ist dabei die erhöhte Dynamik und flexible Gestaltung der realisierbaren Bewegungsabläufe sowie die gesteigerte Steifigkeit des Antriebsstranges durch Wegfall von Getriebeelementen. Das Fraunhofer IWU und die Technische Universität Chemnitz forschen derzeit gemeinsam an Antriebskonzepten und Regelungsalgorithmen für eine neuartige Servoexzenterpresse mit mechanisch entkoppelten

Hauptantrieben. Durch die Entkopplung der Hauptantriebe können Stößelverkipnungen, welche z.B. durch asymmetrische Krafteinleitungen über das Umformwerkzeug verursacht werden, von einer Kippungskompensation aktiv ausgeglichen werden. Sowohl die nichtlineare Übertragungsfunktion des Exzentertriebes im Antriebsstrang als auch die Uneindeutigkeit der mit Lineargebern erfassten Stößelposition im Bereich der Totpunkte sind dabei für die Auslegung der Reglerstruktur einzubeziehen. Die vorliegende Arbeit stellt dazu einen erweiterten Ansatz zur Kippregelung auf Basis eines neuen Konzepts, dem sogenannten „kumulierten Hub“, vor.

2. Servopressentechnik

Pressen werden nach den Arten der Energie- und Krafteinleitung in den Umformprozess wie folgt klassifiziert [1]:

1. weggebundene Pressen: Die Kinematik des Hauptgetriebes bestimmt den Weg des Pressenstößels über ein nichtlineares mechanisches Übertragungsglied (z.B. Exzenter, Kniehebel oder Kurvenscheibe) während des Pressenhubes. Durch das variable Übersetzungsverhältnis ist die maximal verfügbare Presskraft während des Hubes nicht konstant.
2. kraftgebundene Pressen: Die Kraft, das Drehmoment oder der Druck des Hauptantriebes wird permanent über eine mechanische oder hydraulische Übertragungsglied mit konstantem Übersetzungsverhältnis in den Umformprozess übertragen. Dadurch kann die Presskraft hublageunabhängig eingestellt werden.
3. energiegebundene Pressen: Ein in einem Energiespeicher enthaltener Energiebetrag wird vollständig während des Pressenhubes in mechanische und thermische Arbeit umgesetzt.

Die klassische Exzenterpresse mit Schwungradantrieb ordnet sich dabei in die Klasse der weggebundenen Maschinen ein. Dabei stellt sich entsprechend der Übertragungsfunktion der Exzenterwelle ein spezifisches Stößelweg-Zeit-Profil in Abhängigkeit des Kurbelwinkels ein. Die verfügbare Presskraft variiert über den Kurbelwinkel und erreicht im unteren Totpunkt ihren Maximalwert. Durch die rasante Entwicklung der Servo- und speziell der Torquemotoren in den letzten Jahren ist es nunmehr möglich, die Schwungmasse und den konstant drehenden Asynchronmotor durch einen oder mehrere mechanisch gekoppelte Servoantriebe zu ersetzen und dadurch sehr steife Antriebsstrukturen mit besseren dynamischen Eigenschaften zu realisieren [2, 3]. Die Antriebsregelung kann dabei das Drehmoment- und Bewegungsprofil der Hauptantriebe exakt einstellen.

Entwicklung und Erprobung einer neuartigen Produktions- technik zur vollautomatisierten Integration von RFID Technik in thermoplastische und duroplastische Bauteile

Development and proving of a new production technique for a fully automatic integration of RFID technology into plastic parts of thermoplastic and duroplastic material

M.Sc. **Vanessa Frettlöh**, B.Eng. **Christopher Beck**,
Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH, Lüdenscheid;
B.Eng. **Tom Figge**, Fachhochschule Südwestfalen, Iserlohn

Kurzfassung

Die Integration von RFID Transpondern in Kunststoffbauteile ermöglicht die Speicherung von produktspezifischen Daten, Informationen zum Herstellungsprozess oder Handlungshinweisen. Unter der Zuhilfenahme eines geeigneten Lesegerätes – bei NFC-fähigen Transpondern ist auch ein dafür ausgerüstetes Smartphone nutzbar – können die Daten ausgelesen und die Produkte somit zurückverfolgt, sowie die relevanten Informationen zum Produkt oder im Fall von Verpackungen zum Inhalt abgerufen werden. Die aufwendige Integration der RFID Tags in die Produkte wird jedoch für niedrigpreisige Massenartikel nur durch eine automatisierte Prozessführung aufgrund der Reduktion der Produktionsstückkosten attraktiv. Im Folgenden wird dargestellt, wie die RFID Tags gezielt hinsichtlich Bauform und Stabilität an die im Spritzgießprozess herrschenden Bedingungen angepasst wurden. Durch diverse Vor- und Spritzgießversuche, unter anderem an einem Demonstratorwerkzeug mit veränderlicher RFID Tag Fixierung, wurde die Belastungsfähigkeit der Tags erprobt und erste Konstruktions- und Handlungshinweise für die Integration der Transponder in Kunststoffbauteile erarbeitet, die dann in weiteren Versuchen verifiziert werden.

Abstract

Integration of RFID transponder into plastic parts enables the storage of product specific data, information about the production process or recommendations on possible actions. A suitable reader, in the case of NFC capable transponders also a mobile phone which is able to read the data, can be used to gather the information. In addition to that the corresponding products could be traced and the relevant information to identify the products, in the case of packaging information about the respective content could be retrieved. The elaborate inte-

gration of the RFID tags into the products becomes only attractive for low cost mass products due to an automated process management and the resulting reduction of piece costs. In the following it will be presented how the RFID tags were adapted concerning their design and stability to the conditions during the injection moulding process. Via diverse preliminary and injection moulding tests, amongst others with a demonstration tool with variable RFID fixing, the carrying capacity of the tags was proved and primal construction notes and recommendations on possible actions for the integration of the transponders into the plastic parts were developed, which will be verified in further experiments.

1. Einleitung

In Zeiten von „Industrie 4.0“, in denen die Vernetzung der Fertigung zunehmend an Bedeutung gewinnt, sind Technologien mit denen die produzierten Teile zurückverfolgt, Prozessschritte rückwirkend abgerufen und nachvollzogen, sowie einem Produkt zusätzliche Informationen zugewiesen werden können, von enormem wirtschaftlichen und technologischen Interesse. Die Nutzung der RFID Technologie (**R**adio **F**requenz **I**dentifikation) ermöglicht all dies und befindet sich deshalb bereits jetzt im Fokus vieler Anwender. Allerdings werden die RFID Transponder nach dem aktuellen Stand der Technik manuell oder allenfalls halbautomatisch in die Produkte integriert oder auf sie aufgebracht, wodurch die Herstellungskosten der Produkte um ein Maß steigen, welches den Einsatz der Technik in Einmalartikeln und niedrigpreisigen Massenartikeln unattraktiv macht. Zudem sind die RFID Tags sämtlichen Umweltbedingungen ausgesetzt und deshalb für den langfristigen Einsatz ungeeignet.

Die im Rahmen des durch das BMWi geförderten Projektes „RFID-Umspritzung“ erstmalige Entwicklung einer innovativen Technik zur vollautomatisierten Integration von RFID Transpondern in Massenartikel aus Kunststoff soll hier Abhilfe schaffen. Die Produktionsstückkosten sollen gesenkt und eine mediendichte Einkapselung der RFID Transponder und damit deren Schutz vor äußeren Einflüssen und Abrasion ermöglicht werden.

2. Möglichkeiten der RFID Technik

Die Ausstattung von Kunststoffbauteilen mit RFID Tags ermöglicht unter anderem die Speicherung von Bauteil spezifischen Prozessdaten online während des Herstellungsprozesses. Die Bauteile können so später zurückverfolgt und der entsprechenden Charge zugeordnet werden. Zudem stellen die integrierten RFID Tags ein Sicherheitsmerkmal für die Bauteile dar. Neben prozessspezifischen Daten können auch andere Informationen auf dem Chip hinterlegt und mit einem entsprechenden Lesegerät wieder abgerufen werden. Beispielsweise könnten RFID Tags in Deckeln von Medikamentenflaschen Auskunft über Art und Häufig-

Automatisierte, hochgenaue Fertigung und Montage an und in schwingenden Strukturen

Studie zur Untersuchung und Evaluation von Konzepten

Dipl.-Ing. **T. Ernst**, M.Sc. **J. Ladiges**, Dr.-Ing. **B. Hennings**,
Dr.-Ing. **R. Weidner**, Dipl.-Ing. **K. Schwake**, Prof. Dr.-Ing. **A. Fay**,
Prof. Dr.-Ing. **J. Wulfsberg**, Prof. Dr.-Ing. **R. Lammering**,
Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg

Einleitung

Trotz der Bestrebungen, den Automatisierungsgrad in Produktionsstätten in Hochlohnländern weiter zu steigern, ist ein großer Anteil an Tätigkeiten insbesondere in der Luftfahrtindustrie nach wie vor manuell auszuführen [1]. Dies liegt daran, dass die Automatisierungslösung entweder ökonomisch nicht sinnvoll erscheint oder aber aus technischen Gründen nicht bzw. nur schwer zu realisieren ist. Besonders anspruchsvoll ist das Automatisieren von Prozessen sowohl an Strukturen, Elementen oder Produkten mit großen Abmessungen und geringen Steifigkeiten, wie sie in Form von Strukturen aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) in zunehmendem Maße eingesetzt werden. Diese geraten leicht ins Schwingen und leiten die eingeleiteten Schwingungen gut weiter, wodurch der Einsatz von Industrierobotern erschwert wird, da sie nicht dazu qualifiziert sind, die Dynamik der Strukturen zu erfassen und darauf in Echtzeit zu reagieren. Des Weiteren sind sie häufig zu steif sowie zu träge und unflexibel, um Schwingungen größerer Amplituden in allen sechs Freiheitsgraden kompensieren zu können.

Eine besonders anspruchsvolle und komplexe Anwendung, die im Fokus dieses Beitrags steht, stellt die Prüfung von Strukturbauteilen bspw. von Luftfahrzeugen und Windkraftanlagen durch Lambwellen dar. Erschwert wird diese Aufgabe durch Schwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden, die aufgrund von Bearbeitungsprozessen oder Umwelteinflüssen eingeleitet wurden. Eine ähnliche Problematik zeigt sich aber auch bei filigranen Fertigungs- und Montageprozessen.

Im Rahmen dieses Beitrags werden zunächst Ergebnisse einer Versuchsreihe zur Detektion von Schwingungen vorgestellt. Dazu wurde ein CFK-Strukturelement (Abmessungen ca. 2 x 2 m) im Frequenzbereich anzunehmender Störungen (1 bis 50 Hz) bei unterschiedlichen Amplituden (ca. 0,2 bis 2 mm) definiert angeregt und die dabei aufgetretenen Schwingungen

wurden an verschiedenen Punkten der CFK-Struktur gemessen. Darauf aufbauend wird erläutert, wie eine Strukturüberwachung flexibel und trotz schwingenden Bauteils realisiert werden kann. Abschließend werden erste Konzepte für Handhabungsgeräte aufgezeigt und hinsichtlich der Eignung, d. h. insbesondere zur Kompensation von Schwingungen und Störungen, bewertet. Der Fokus hierbei liegt vor allem auf Konzepten mit Standardindustrierobotern, die durch Kinematikelemente erweitert werden.

1. Schwingungsmessung

Stand der Technik

Häufig wird zur Messung von Schwingungen die Beschleunigungsmessung eingesetzt, da entsprechende Sensorik aufgrund ihrer kompakten und leichten Bauform das Messobjekt wenig beeinflusst [2]. Sie hat jedoch den Nachteil, mit dem Messobjekt mechanisch gekoppelt sein zu müssen. Weiterhin ist es für einen späteren Ausgleich der Schwingungen entscheidend, den Weg aus der Messung exakt bestimmen zu können; weshalb z. B. Integrationsfehler vermieden werden sollten.

Daher bieten sich insbesondere optische Wegmessverfahren an. Diese können in Distanzen von wenigen Millimetern bis hin zu Metern zum Messobjekt eingesetzt werden und bieten gleichzeitig eine hohe Messgenauigkeit [3]. Sie basieren meist auf dem Einsatz von Lasern und, unter anderem, Triangulationsverfahren [4]. Jedoch können sie nur Änderungen normal (d. h. senkrecht) zur Struktur aufnehmen (siehe Bild 1, vgl. [4]) weshalb sie nur eingeschränkt für die Schwingungsmessung großer Strukturen einsetzbar sind. Kameras als weitere optische Messmethode können durch die Verschiebung von Bildpunkten Bewegungen senkrecht zur Normalen der Blickrichtung detektieren [5]. Dabei kann entweder die Verschiebung des gesamten Bildes oder einiger spezifischer Bildpunkte (Features) ausgewertet werden. Durch Ausnutzung z. B. des Speckle-Effektes können auch Bewegungen auf glatten und wenig strukturierten Oberflächen erkannt werden [6]. Bewegungen normal zur Kamera können im Vergleich zu Laser-basierten Systemen nur ungenügend aufgelöst werden, insbesondere bei wenig strukturierten Objekten [7].

Versuchsaufbau

Da optische Messmethoden im Vergleich zu anderen Messmethoden für den eingangs motivierten Anwendungsfall als am besten geeignet erscheinen, für sich genommen aber nicht hinzunehmende Nachteile aufweisen, soll mit dem in Bild 1 gezeigten Versuchsaufbau un-

Technologiebewertung zur Beschreibung für verfahrens-technische Module – Ergebnisse des Namur AK 1.12.1

Dipl.-Ing.(FH) **Mario Hoernicke**, Dr. rer.-nat. **Dirk Schulz**,
ABB Forschungszentrum, Ladenburg;
Dipl.-Ing.(FH) **Axel Haller**, ABB Automation GmbH, Mannheim;
Dipl.-Ing. **Thomas Holm**, Dr. **Thomas Albers**,
Wago Kontakttechnik, Minden;
Dr.-Ing. **Jens Bernshausen**, Invite GmbH, Leverkusen;
Dipl.-Ing.(FH) **Christoph Kotsch**, HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl;
Dr. **Mathias Maurmaier**, M.Sc. **Andreas Stutz**,
SIEMENS AG, Karlsruhe;
M.Sc. **Henry Bloch**, Helmut-Schmidt Universität, Hamburg;
Dipl.-Ing. **Stephan Hensel**, Technische Universität Dresden

Kurzfassung

Im Januar 2015 beschlossen der Namur-Arbeitskreis 1.12 „Automatisierung modularer Anlagen“ und die ZVEI Arbeitsgruppe „Modulare Automation“ gemeinsam an einer Spezifikation einer herstellernerutralen Beschreibung von Modulen zu arbeiten. Hierzu wurden mehrere Unterarbeitskreise gegründet. Vorangegangen war eine erfolgreiche Demonstration modularer Automatisierungstechnik auf der Namur Hauptsitzung 2014. Als Ergebnis der Kooperation wird die Auswahl von formalen Beschreibungssprachen für Modulbeschreibungen, bekannt als Namur-MTP (Module-Type-Package) erwartet, welche die Ergebnisse aus den anderen Arbeitsgruppen abbilden. Es sind Ergebnisse entstanden die in diesem Beitrag diskutiert werden.

1 Motivation

Die chemische und pharmazeutische Industrie zählt zu den bedeutendsten industriellen Branchen des Landes [1] und Deutschland ist weltweit der größte Exporteur chemischer Erzeugnisse [2]. Sie steht dabei in einem starken globalen Wettbewerb [3]. Die internationalen Mitbewerber verfügen teilweise über günstigere Kostenstrukturen und holen technologisch auf. In der Fein- und Spezialchemie sowie der pharmazeutischen Industrie entstehen aus diesem Grund zunehmend Produktionskapazitäten in den Schwellenländern. Um die hiesige Produktion in diesem Umfeld bestehen zu lassen, müssen Anforderungen, wie die schnelle Entwicklung von kundenspezifischen Produkten (teilweise in Kleinserien) erfüllt werden. Diese Produkte müssen schnell am Markt verfügbar sein und deren Produktion muss unter ho-

her Energieeffizienz und Ressourcenschonung stattfinden. Hervorgerufen durch diese Anforderungen entwickelt die chemische und pharmazeutische Industrie derzeit flexible Modularisierungskonzepte für ihre Prozessanlagen.

Neben um bis zu 40% verkürzten Produkteinführungszeiten und effizienterem Engineering der Verfahrenstechnik werden in [4] weitere Potentiale der modularen Anlagen, wie z.B. ein um 30% geringerer Energieverbrauch, 20% geringere Betriebskosten und 40% geringere Investitionsausgaben beschrieben. Die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit flexibler modularer Anlagen kommt noch stärker zum Tragen, je unsicherer und schwankender die Absatzmärkte sind [5]. Der größte Nutzen wird dabei durch die gewonnene Flexibilität der Anlage generiert. Hierdurch können kundenspezifische Produkthanpassungen auf Wunsch sehr flexibel und schnell durch den Austausch einzelner Module durchgeführt werden. Die im Zukunftsprojekt Industrie 4.0 vielfach beschriebene Losgröße 1 zu den Kostenstrukturen der Massenproduktion [6] ist dadurch auch in der Prozessindustrie erreichbar. Auch für branchenspezifische Problemstellungen, wie z.B. die Einhaltung hoher Qualitätsanforderungen bei der Produktion von Pharmawirkstoffen, bietet die modulare Produktionsanlage eine aussichtsreiche Perspektive [7].

Für modulare verfahrenstechnische Anlagen bietet die Automatisierungstechnik noch keine geeignete technische Unterstützung. Dies ist eines der Ergebnisse mehrerer Fallstudien, die z.B. durch öffentlich geförderte Projekte wie F3 (fast, flexible, future) Factory [8] (EU, FP7) erarbeitet wurden. Dabei wurde aufgezeigt, dass Modularisierung a) möglich und b) gewinnbringend für die Prozessindustrie ist, jedoch im Bereich der Automatisierungstechnik erheblicher Handlungsbedarf besteht. Diese Problematik wurde zusätzlich in der VDI Studie „Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie – Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0“ [9] beschrieben. So heißt es: „Ziel weiterer Entwicklungen ist das Erreichen einer „Plug & Produce“-Fähigkeit der Container und Module, die wesentlich für die flexible und kosteneffiziente Nutzung der Modularisierung ist [...] Es fehlen Standards beziehungsweise Vereinbarungen für die Schnittstellen zur Integration von Modulen in ein Prozessleitsystem.“

Daraus ergeben sich für die Automatisierungs- und Prozessleittechnik der Prozessführungsebene (PFE), neue Herausforderungen sowohl hinsichtlich der technologischen Lösung für Prozessleitsysteme als auch hinsichtlich der Arbeitsteilung zwischen Verfahrenstechnik, Modullieferanten und Anlagenbauer und des wachsenden Lieferumfangs und damit benötigter Assistenzfunktionen für die Modullieferanten. Die Anforderungen wurden von der Namur kürzlich in der Namur-Empfehlung 148 [10] formuliert. Nun sollen in Kooperation von An-

Module as a Device

Ergebnisse einer Studie zur Modulintegration auf Basis von FDI

M.Sc. **Andreas Stutz**, Dr. **Mathias Maurmaier**, Siemens AG, Karlsruhe

Kurzfassung

In verfahrenstechnischen Anlagen werden immer häufiger Module mit eigener Automatisierung eingesetzt, da sie mehr Flexibilität versprechen. In diesem Beitrag wird eine Studie vorgestellt, deren Ziel die Untersuchung und konzeptionelle Übertragung von Geräteintegrationstechniken wie Field Device Integration (FDI) auf die Integration ganzer Anlagenmodule in eine Anlage war. Dabei wird ein Ansatz zur Beschreibung und Integration von Modulen unter den Rahmenbedingungen heutiger Geräteintegrationstechnologien vorgestellt. Diese Bedingung garantiert die Sicherstellung des vorhandenen Know-hows und bietet auch für die Feldgeräte-Integration weiteres Verbesserungspotential. Der Ausgangspunkt ist eine Gegenüberstellung der abstrakten Architekturen von Feldgeräten und Modulen und eine Analyse der für die Modulintegration relevanten Ebenen. Darauf aufbauend werden die für die Integration zur Verfügung stehenden Mechanismen dargestellt und verfügbare Beschreibungsmöglichkeiten diskutiert. Ein Vergleich zwischen einem etablierten Geräteintegrationsprozess mit einem entsprechenden Modulintegrationsprozess auf Basis dieses Ansatzes zeigt, dass beide Prozesse große Ähnlichkeiten aufweisen. Außerdem zeigt die Studie, dass der Geräteintegrationsprozess mit den Erweiterungen des Modulintegrationsprozesses verbessert werden kann, was zu einer Optimierung des Anlagenengineerings führt, unabhängig davon, ob eine modulare oder konventionelle Anlagenstrategie gewählt wurde.

1. Einleitung

Aus Sicht der verfahrenstechnischen Industrie ist die Motivation für den Aufbau einer Produktionsanlage aus einzelnen Anlagenmodulen vielfältig. Durch den Gewinn an Flexibilität können Anlagen schneller modifiziert und durch Numbering-Up kann die Produktionsleistung erhöht werden. Dies ermöglicht es dem Anlagenbetreiber, schneller auf veränderte Marktsituationen zu reagieren.

Die Integration vorgefertigter Module mit eigener Automatisierung in die Gesamtanlage stellt Herausforderungen an die Mechanik, die Verrohrung, die Verfahrenstechnik und die Automatisierungstechnik. Die Herausforderungen für die Automatisierungstechnik werden seit etwa zwei Jahren in mehreren Arbeitsgruppen des ZVEI und der Namur unter dem Überbegriff „Modulare Automatisierung“ diskutiert. Ziel dieser Arbeitskreise ist es, ein herstellerübergreifendes Konzept zur Integration von Modulen in Systeme der Prozessführungsebene zu erarbeiten. [Haller15]

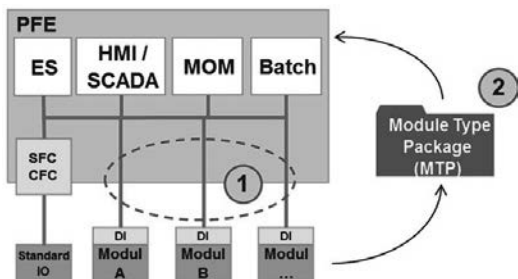


Bild 1: Modulintegration in die Prozessführungsebene

Wie aus Bild 1 ersichtlich, sind hierbei zwei Aspekte von besonderer Bedeutung: Erstens müssen die Schnittstellen zwischen den Systemen der Prozessführungsebene und den Modulen realisiert werden.

Der zweite Aspekt des Integrationskonzepts ist die maschinenlesbare Beschreibung des zu integrierenden Moduls. In dieser Modulbeschreibung, oftmals Module Type Package genannt, sind all diejenigen Informationen enthalten, welche zur Integration von Modulen in die Prozessführungsebene benötigt werden. Diese Informationen werden in verschiedenen Facetten zusammengefasst. So enthält eine Modulbeschreibung einzelne Facetten mit Informationen, welche zur funktionalen Integration, zur Integration in das übergeordnete HMI und zur Integration in ein Diagnose- und Alarmsystem erforderlich sind.

Aus Sicht des Engineerings der Automatisierung wird der Entwicklungsprozess in zwei globale Phasen aufgesplittet. Im Module Automation Engineering entwickelt der Modulhersteller

DIMA im realen Einsatz

Von der Idee zum Prototypen

Thomas Holm, Ulrich Hempfen, Wago Kontakttechnik, Minden;
Jan Ladiges, Alexander Fay, Helmut-Schmidt Universität Hamburg;
Sachari Wassilew, Paul Altmann, Leon Urbas,
Technische Universität Dresden

Kurzfassung

Mit dem NAMUR-MTP wurde die Basis geschaffen, Module weitestgehend automatisiert in eine Prozessführungsebene zu integrieren. Im MTP (Modul Type Package) werden dazu alle Informationen abgebildet, die für eine effiziente und fehlerfreie Integration benötigt werden. Der Arbeitsstand des NAMUR-MTP wurde von den Autoren auf Anwendbarkeit überprüft. Dazu wurde ein Anlagendemonstrator aufgebaut, und die darin befindlichen Module wurden mit Hilfe ihrer MTPs in ein Prozessleitsystem integriert. Der Beitrag schildert den Engineering-Prozess und beschreibt die dabei zum Einsatz gekommenen Software-Werkzeuge sowie die dabei gewonnenen Erfahrungen und schließt ab mit der Beschreibung aktueller Herausforderungen als Roadmap für die nächsten Schritte.

1. Dezentrale Intelligenz für modulare Anlagen (DIMA)

In immer turbulenteren und kurzlebigeren Märkten, die überdies durch das Individualisierungsbestreben der Endverbraucher geprägt sind, ist die Wandlungsfähigkeit von Produktionsanlagen eine zunehmend wichtige Eigenschaft. Diese Eigenschaft, mit einem Produkt schnell Marktreife zu erreichen und entsprechende Marktsegmente besetzen zu können, wird zukünftig große Auswirkungen auf die Konkurrenzfähigkeit von Unternehmen haben [1]. Die Modularisierung von Produktionsanlagen gilt als ein entscheidender Befähiger für eine flexible und wandlungsfähige Produktion [2]. Modularisierung und die damit erwünschte Wandlungsfähigkeit innerhalb von Produktionsstrukturen stellen allerdings erhebliche Anforderungen an das Automatisierungssystem der Anlage [3]. Verändert sich das Funktionspektrum einer Produktionsanlage, zum Beispiel durch Hinzufügen, Entnahme oder Austausch von Modulen, soll das Automatisierungssystem der Anlage schnell auf die neue physikalische und funktionale Struktur anzupassen sein. In diesem Zusammenhang wird häufig von „Plug-and-Play“ bzw. „Plug and Produce“ gesprochen. Ziel des „Plug and Produce“ ist, die weitestgehend funktional unabhängigen Module über eine standardisierte Schnittstelle so zu beschreiben, dass manuelle Eingriffe während oder nach einem Wandlungsprozess

der Produktionsanlage so gering wie möglich ausfallen [4]. Die bisher vorgeschlagenen Beschreibungs- und Modellierungsansätze, die ein „Plug and Produce“ ermöglichen könnten, entsprechen nicht ausreichend den Erfordernissen von Prozessanlagen und/oder haben noch nicht den Weg in die Standardisierung gefunden.

Mit der DIMA-Methodik, die WAGO zur Namur-Hauptsitzung 2014 vorgestellt hat [5], könnte sich dies ändern. DIMA ist eine herstellerunabhängige Methodik zur Befähigung modularer Automatisierungsstrukturen. Zentrales Element ist das Modul Type Package (MTP) [6]. Das MTP enthält alle Informationen eines Moduls, die für dessen Integration in eine Prozessführungsebene (PFE), zum Beispiel in ein Prozessleitsystem, benötigt werden. Diese Information umfasst neben den Bedienbildern auch die eigenen verfahrenstechnischen Funktionen, die das Modul in Form von Diensten anbietet. Der einzige verbleibende manuelle Aufwand während der Integration eines Moduls in die PFE besteht im Import des MTP und der Orchestrierung der Dienste des Moduls zu einer sinnvollen Abfolge, die dem Gesamtprozess entspricht. Durch die geringe Anzahl an manuellen Tätigkeiten kann die DIMA-Methodik als ein wertvoller Schritt in Richtung „Plug-and-Produce“ gesehen werden.

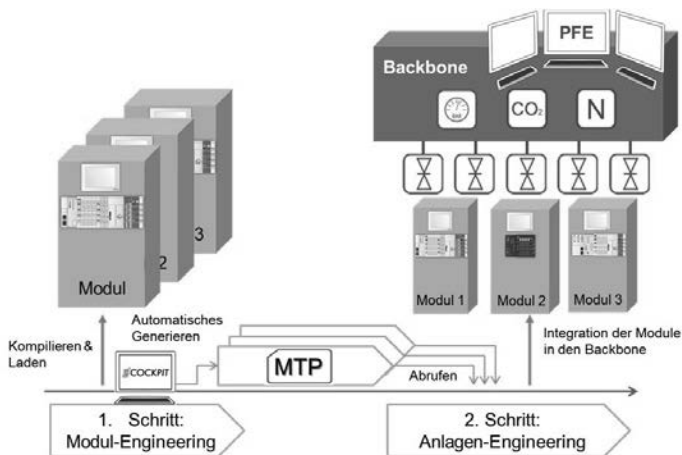


Bild 1: Anlagen-Projekt-unabhängiges (links) und Anlagen-Projekt-bezogenes (rechts) Engineering

Die Idee des DIMA-Ansatzes sieht unter anderem vor, dass das Modul-Engineering zeitlich vor dem eigentlichen Planungsprozess der Anlage (Anlagen-Engineering) durchgeführt wird. Das projektbezogene Anlagen-Engineering kann damit, durch Nutzung des MTP, signifikant verkürzt werden. Bild 1 verdeutlicht den Workflow graphisch.

Technologie-Roadmap „Prozesssensoren 4.0“ – Einführung und Beispiele

Technology-Roadmap “process-sensors 4.0” – introduction and examples

Dr. rer. nat. **Albert Tulke**,
Bayer Technology Services GmbH, Dormagen;
Dr. rer. nat. **Michael Maiwald**,
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Kurzfassung

Inhalt des Vortrags sind die Einführung und Erläuterung der Ziele und Inhalte der Technologie-Roadmap „Prozesssensoren 4.0“, welche von der NAMUR im November 2015 veröffentlicht wurde. Dazu werden Beispiele von aktuellen und zukünftigen Anwendungen erläutert.

Derzeit finden gravierende Veränderungen im Umfeld der Informations- und Kommunikationstechnik statt, die eine große Chance für die optimierte Prozessführung und Wertschöpfung mit darauf abgestimmten vernetzt kommunizierenden Sensoren bieten. Diese Art „smarter“ Sensoren stellen Dienste innerhalb eines Netzwerks bereit und nutzen Informationen daraus. Dadurch ergibt sich aktuell die Notwendigkeit, die Anforderungen an Prozesssensoren sowie an deren Kommunikationsfähigkeiten detaillierter zu beschreiben.

Vernetzte Sensoren sind die Voraussetzung für die Realisierung von Cyberphysischen Produktionssystemen (CPPS) und zukünftiger Automatisierungskonzepte für die Prozessindustrie.

Wesentliche Ziele der Roadmap sind das Zusammenbringen von Technologie- und Marktsicht, Analyse und Priorisierung des (zukünftigen) Informationsbedarfs in verfahrenstechnischen Prozessen, das Erarbeiten von Entwicklungszielen für neue Sensorik sowie das Aufzeigen möglicher Lösungsansätze und ihres Realisierungszeitraums. Darüber hinaus liefert sie Perspektiven für Forschungs- und Entwicklungsförderung und gibt Ansätze für die Normungsarbeit.

Abstract

Content of the paper is to introduce and explain the objectives and contents of the technology-roadmap "process-sensors 4.0", which was released by the NAMUR in November 2015. For that some examples of current and future applications are discussed.

Currently, major changes in the field of information and communication technology will take place, offering a great opportunity for the optimized process management and value with coordinated networked communicating sensors. These kind of "smart" sensors provide services within a network and use information from it. This causes a current need to describe the requirements for process sensors as well as their communication skills more detailed. Networked sensors are a prerequisite for the realization of Cyber Physical Production Systems (CPPS) and future automation concepts for process industry.

The main objectives of the technology-roadmap are bringing together the view of technology and market, analysis and prioritization of the (future) information needs in industrial processes, the elaboration of development goals for new sensors and pointing out possible solutions and their implementation period. Furthermore, it provides prospects for promotion of research and development as well as approaches for standardization work.

1. Motivation

Derzeit finden gravierende Veränderungen im Umfeld der Informations- und Kommunikationstechnik statt, die eine große Chance für die optimierte Prozessführung und Wertschöpfung mit darauf abgestimmten vernetzt kommunizierenden Sensoren bieten. Diese Art „smarter“ Sensoren stellen Dienste innerhalb eines Netzwerks bereit und nutzen Informationen daraus. Dadurch ergibt sich aktuell die Notwendigkeit, die Anforderungen an Prozesssensoren sowie an deren Kommunikationsfähigkeiten detaillierter zu beschreiben.

Vernetzte Sensoren sind die Voraussetzung für die Realisierung von Cyberphysischen Produktionssystemen (CPPS) und zukünftiger Automatisierungskonzepte für die Prozessindustrie.

Wesentliche Ziele der Roadmap sind das Zusammenbringen von Technologie- und Marktsicht, Analyse und Priorisierung des (zukünftigen) Informationsbedarfs in verfahrenstechnischen Prozessen, das Erarbeiten von Entwicklungszielen für neue Sensorik sowie das Aufzeigen möglicher Lösungsansätze und ihres Realisierungszeitraums.

Migration von industriellen Sensoren zu Industrie 4.0-Komponenten

Verbesserungs-Potenziale schon während der Evolution nutzen

Dipl.-Ing. **B. Rauscher**, Dr.-Ing. **P. Adolphs**,
Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim

Kurzfassung

Zu Industrie 4.0 existiert inzwischen reichlich Lesestoff, aus unterschiedlichen Blickwinkeln werden Anwendungsbezüge hergestellt und die vorgeschlagenen Modelle und Standards diskutiert.

Die Grundbausteine von Industrie 4.0-Systemen werden in der Literatur Industrie4.0-Komponenten genannt. Die von diesen Bausteinen geforderten Eigenschaften eröffnen neue und zusätzliche Möglichkeiten, auch dann wenn man sich (noch) nicht in einer durchgängigen I4.0-Umgebung bewegt.

Betrachtungen zur Vorgehensweise beim Ausbau von bestehenden Automatisierungsgeräten zu Industrie 4.0-Komponenten erscheinen ausgesprochen lohnend, weil die in herkömmlichen Systemen durch die Verdrahtung festgelegten Kommunikationswege ergänzt und zur Bereitstellung zusätzlicher Informationen genutzt werden können.

In diesem Beitrag werden die Merkmale von Industrie4.0-Komponenten sowie deren Einordnung in das Referenzarchitekturmodell RAMI4.0 behandelt und besonders auf die Identifikations- und Kommunikationsfähigkeiten eingegangen. Anschließend wird aufgezeigt, wie aus einem Standard-Industriesensor mit einer über das IO-Link Protokoll angebundenen Verwaltungsschale eine I4.0-Komponente gebildet werden kann.

Referenzarchitekturmodell RAMI4.0

Das von der Plattform Industrie 4.0 entwickelte Referenzarchitekturmodell I4.0 („RAMI4.0“) ermöglicht die Einordnung aller Elemente von Industrie 4.0 in ein dreidimensionales Koordinatensystem und hilft dabei, den Überblick auch über komplexe Zusammenhänge zu behalten [1].

Abweichend von anderen Darstellungen ist es bei diesem Architekturmodell durch die drei Dimensionen möglich, beteiligte Gegenstände und ihre Daten über ihren kompletten Lebenszyklus zusammenhängend einzuordnen.

Die Achse „Life Cycle and Value Stream“ teilt sich in die zwei Bereiche „Type“ und „Instance“ auf. „Type“ beinhaltet neben der in „Development“ angesiedelten Konstruktion, also im übertragenen Sinne das Zeichnen des Bauplans oder der Blaupause für eine Komponente unter „Maintenance/Usage“ auch deren prototypische Umsetzung mit Test, Zertifizierungen, Zulassungen usw..

Der Bereich „Instance“ beschreibt dann die einzelnen physikalischen Ausführungen dieses Typs, seine Instanzen, die unter „Production“ erst hergestellt und in „Maintenance/Usage“ ihrerseits wieder benutzt werden.

In den verschiedenen Phasen von „Life Cycle and Value Stream“ kann eine Komponente in unterschiedlichen Hierarchie-Ebenen und Funktions-Leveln präsent sein. In allen Phasen der Wertschöpfungskette entstehen verschiedenste Daten zu einer Komponente, die elektronisch lesbar abgelegt und bereitgestellt werden müssen.

Wesentliche Merkmale von I4.0-Komponenten im Gegensatz zu klassischen Anlagenteilen sind die Identifikations- und Kommunikations-Fähigkeiten sowie das Vorhandensein einer

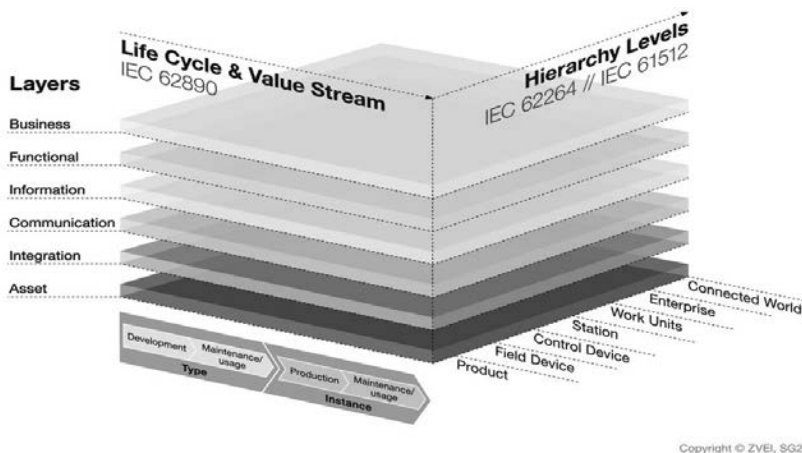


Bild 1: Referenzarchitekturmodell 4.0

sog. Verwaltungsschale. Diese enthält eine virtuelle Repräsentanz der Komponente sowie Informationen zu deren Status und alle im Lebenszyklus entstandenen Daten.

Predictive Maintenance auf der Basis von FDI und OPC UA

Prof. Dr.-Ing. **Daniel Großmann**, M.Sc. **Suprateek Banerjee**,
Technische Hochschule Ingolstadt;
Dr.-Ing. **Jörg Kiesbauer**, Dipl.-Ing. **Stefan Erben**,
SAMSON AG, Frankfurt

Kurzfassung

Im Industrie 4.0 Kontext spielt die Vernetzung von Komponenten in einem Industrial Internet of Things eine zentrale Rolle. Im Sinne eines Cyber-Physical-Systems werden dabei die realen Entitäten z.B. eines Automatisierungssystems der Prozessindustrie virtuell abgebildet. Aufbauend auf diesem virtuellen Zwilling lassen sich dann verschiedene Dienste und Anwendungen umsetzen.

Diese Struktur spiegelt sich in Field Device Integration wider: Die realen Feldgeräte der Anlage werden in einem FDI Server virtuell repräsentiert. Über eine offene OPC UA Schnittstelle können Dienste und Anwendungen auf die virtuellen Repräsentanten zugreifen um ihre Applikationslogik auszuführen.

Dieser Beitrag beschreibt ausgehend von einer Problemanalyse, wie sich die spezifizierten Mechanismen von FDI nutzen lassen, um Predictive Maintenance Szenarien zu realisieren. Anhand eines konkreten Beispiels (Stellungsregler für Ventile) wird dann die prinzipielle Lösung entwickelt und mit den von FDI zur Verfügung gestellten Mechanismen verglichen. Abgerundet wird der Beitrag durch einen Demonstrator, der das Beispiel prototypisch umsetzt.

1. Predictive Maintenance

Sensoren und Aktoren bilden die Basis einer jeden automatisierten Produktion. Ihre fehlerfreie Funktion ist unerlässlich für den wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage. Ausfälle können zu Produktionsstillständen führen und damit Kosten verursachen. Um dies zu verhindern, werden die Bestandteile einer Anlage einem vordefinierten Wartungsplan folgend überprüft und ggf. instandgehalten. Dieses Vorgehen erzeugt allerdings wiederum teils unnötige Kosten, da Gerätschaften gewartet werden, obwohl ihr Zustand dies nicht erfordert. Wünschenswert ist vielmehr die vorausschauende Instandhaltung, also der Blick in die Zukunft, der verrät, wann mit einem Ausfall zu rechnen ist und der es erlaubt, die notwendigen Wartungsarbeiten so zu planen, dass diese beispielsweise während eines ohnehin geplanten

Anlagenstillstandes erfolgen können. Grundlage dafür ist die Aufzeichnung und gerätespezifische Auswertung von Feldgerätedaten.

Da Ventile in einer Anlage zu den neuralgischen Punkten zählen ermöglicht das Werkzeug TROVIS SOLUTION der Firma SAMSON bereits heute durch Abbildung der Messstellenhistorie eine Langzeitbetrachtung der Mess- und Prozessdaten, so dass Veränderungen in der Anlage detektiert werden. Mittels weiterer Auswertung der Daten ist es nicht nur möglich, das einzelne Ventil zu optimieren, sondern auch eine genauere Betrachtung der gesamten Regelstrecke durchzuführen. Auf diese Weise kann die Regelgüte einer Regelstrecke verbessert und die Anlagen-Performance gesteigert werden. TROVIS SOLUTION kann also eingesetzt werden zur vorausschauenden Wartung und Erkennung von Fehlerzuständen, Dokumentation der Messstellenhistorie und letztendlich zur Optimierung der Anlagenleistung.

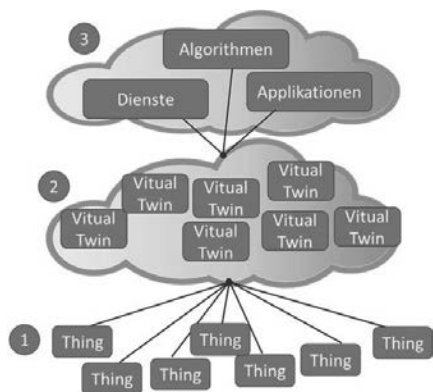


Bild 1: Cyber-Physisches System

Im Sinne von Industrie 4.0 kann Predictive Maintenance ein Dienst (Service) in einem Cyber-Physischen System bzw. im Industrial Internet of Things [1][2]. Hinter beiden Begriffen steht der Ansatz, Entitäten der realen Welt (1, Things, physische Komponenten) über einen virtuellen Zwilling zu repräsentieren (2, Internet, Cyber). Anwendungen und Dienste, wie beispielsweise Predictive Maintenance, greifen dann für ihre Umsetzung auf die virtuellen Repräsentanten zu, z.B. um deren Informationen zu Vernetzen oder um deren Dienste zu

überlagerten Diensten zu orchestrieren (Bild 1).

2. Das Problem

Um Predictive Maintenance Services wie TROVIS SOLUTION einzusetzen ist der Zugang zu Geräteinformation notwendig. TROVIS SOLUTION liest die Stellungsregler-Daten aller verbundenen Stellventile aus, analysiert und speichert sie in einer Datenbank. Dieser Zugang ist häufig nur über proprietäre Leitsystemschnittstellen möglich. Dies führt zu einem hohen wiederkehrenden Aufwand, da Leitsystem-spezifische Kopplungen zur Predictive Maintenance Logik zu implementieren sind. Ändert sich die Leitsystemschnittstelle, z.B. aufgrund eines Versionswechsels, muss die Kopplung nachgezogen werden, was wiederum Aufwand verursacht. Bietet das Leitsystem keinen Zugang oder ist dieser zu eingeschränkt, bleibt noch die

Remote Operation in der Prozessindustrie – Mehr eine Frage der Organisation als der Technik?

Dr. Michael Krauß, Dr.-Ing. Joachim Birk, BASF SE, Ludwigshafen

Kurzfassung

Das Gesamtkonzept Remote Operation kennt viele Facetten angefangen von gemeinsamen Messwarten und Remote Support, über nacht- oder wochenendfreien Betrieb, bis hin zu fortschrittlichen Anlagen, in denen niemand im Normalfall vor Ort ist. Auf der technischen Seite sind hier entsprechende Lösungen für Anlagenautomatisierung, Mensch-Maschine-Schnittstellen und Anlagenüberwachungstechnologien erforderlich. Betrachtet man Remote Operation im Kontext technischer Innovation, wird klar, dass es das passende Gegenstück zu Diskussionen rund um Synergien verschiedener Technologien auf operativer Seite ist. Neben den technischen Herausforderungen ist Remote Operation und das damit verbundene Change Management eine signifikante Aufgabe und erfordert einen bedachten und transparenten Umgang mit vorhandenen Lösungen. Um Remote Operation zum Erfolg zu verhelfen, müssen Projekte ganzheitlich, konsequent und strategisch durchdacht angegangen werden.

1. Einführung zum Thema Remote Operation

Remote Operation ist ein vielfältig verwendeter Begriff, unter dem im Allgemeinen mehrere Konzepte zum Betreiben technischer Einrichtungen und Anlagen wie nachtschichtfreier Betrieb, wochenendfreier Betrieb oder anderweitig optimierte Arten subsummiert werden. Innerhalb all dieser Konzepte kann man im Wesentlichen drei Stufen von Remote Operation unterscheiden: Die erste kann als eine intensivierte Form des bereits breit etablierten Remote Monitorings verstanden werden, bei dem eine Bedienmannschaft vor Ort Unterstützung von global oder regional zentralisierten Experten erfährt. Erst in der zweiten Stufe greifen die dezentralisierten Kräfte auch steuernd in die Anlage ein: Hier ist die Remote Steuerung allerdings noch additiv und sichert beispielsweise eine durch Höherautomatisierung erreichte temporäre lokale Überwachungsfreiheit ab. Erst auf der dritten Stufe ist die Steuerung aus der Ferne der Regelfall und die Tätigkeiten vor Ort sind auf Aspekte wie Wartung und Instandhaltung fokussiert. Diese drei Stufen sowie weitere Aspekte werden ebenfalls in einer kommenden NAMUR Empfehlung des AK 4.20 „Remote Operation“ enthalten sein [1]. Die sich aus vorgenannten Konzepten ergebenden technischen Anforderungen und Unterstützungsmöglichkeiten kann man wiederum in drei Kategorien einteilen: Beiträge zur Auto-

matisierung des Prozesses, dem typischen PLT Kerngebiet der letzten Jahrzehnte, Beiträge zur Darstellung und Handhabung der Anlage, wie Bediengrafiken, Alarm Management oder Tablets, als den Innovationsthemen der letzten Jahre, und Beiträge zur Überwachung der Anlagenintegrität. Dem letzten Feld werden Technologien wie elektronische Nase, Anlagenüberwachung mittels Kamera (z.B. auf Leckagen, auch mit Infrarot) oder der akustischen Überwachung des Normalbetriebs, zugerechnet. Dieses Feld befindet sich in weiten Teilen erst im Aufbau und die Adaption vorhandener Produkte für den Einsatz in der Prozessindustrie wird eine Aufgabe der nächsten Jahre sein [2].

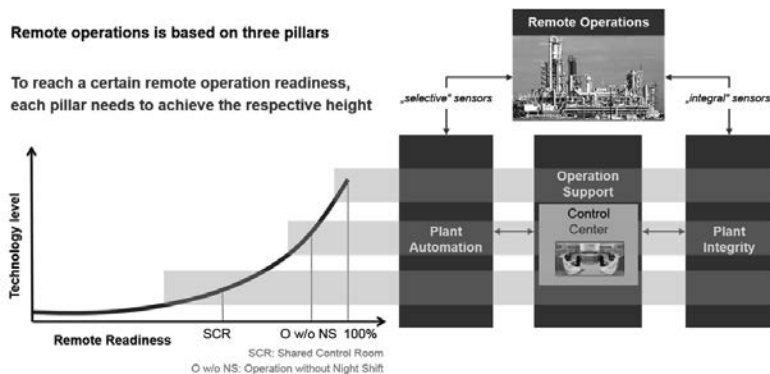


Bild 1: Remote Operation - Tiefen und Technologien

Die Kombination beider Dimensionen, also der Tiefe von Remote Operation Ansätzen und unterschiedlichen Technologie-Enablern, ist in Abbildung 1 dargestellt. Die linke Kurve zeigt den überproportional ansteigenden Grad an Technologieeinsatz, der zur Erreichung von gemeinsamen Kontrollräumen, nachtschichtlosem Betrieb oder im Extremfall 100% Remote Operation erforderlich ist. Dieser Technologiegrad muss einheitlich in den Säulen Anlagenautomatisierung, Operation Support und Anlagenintegrität erreicht werden. Die Nichterfüllung in einer der Säulen bedeutet die Nichtumsetzbarkeit des Konzepts, während die Übererfüllung von Anforderungen zu wirtschaftlich suboptimalen Realisierung führt.

Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist es jedoch weniger die technischen Herausforderungen noch einmal im Detail zu beleuchten, sondern es soll verstärkt um die weichen Faktoren so wie eine Einordnung in die aktuelle Innovationskultur gehen.

Die folgenden drei Kapitel beleuchten unterschiedliche Aspekte bezüglich Bedeutung und Umsetzung von Remote Operation in der Prozessindustrie und tragen jeweils eine entspre-

Automatisierung von Sonderszenarien in kontinuierlichen verfahrenstechnischen Prozessen

M.Sc. **Marcel Rautenberg**, Dr.-Ing. **Stefan Schneider**,
Dr.-Ing. **Matthias Roth**, BASF SE, Ludwigshafen

Kurzfassung

Der Betrieb von kontinuierlichen verfahrenstechnischen Prozessen umfasst neben der kontinuierlichen Produktion eine Reihe von Sonderszenarien, wie beispielsweise das An- und Abfahren von Anlagen(-teilen). Im Vergleich zum kontinuierlichen Produktionsbetrieb handelt es sich hierbei um diskontinuierliche Vorgänge, die aufgrund hoher Prozesskomplexität und eines fehlenden systematischen Ansatzes zur Automatisierung in erster Linie manuell vom Bedienpersonal durchgeführt werden. Vorteile einer stärkeren Automatisierung von Sonderszenarien sind die Steigerung der Anlagenverfügbarkeit und –sicherheit durch die Standardisierung von Anlagenfahrweisen und die Reduktion des Bedienaufwandes. In diesem Beitrag soll ein neues Implementierungskonzept basierend auf den Modellen und Begriffen des ersten ISA-106 Technical Reports vorgestellt werden, das den Entwurf automatisierter Ablaufsteuerungen für typische, komplexe Sonderszenarien in kontinuierlichen Prozessen ermöglicht. Die Ziele dieser Vorgehensweise sind eine Reduktion der Komplexität und ein verbessertes Life-Cycle Management durch die Wiederverwendbarkeit modularer Ablaufsteuerungen, sowie eine erhöhte Transparenz für den Bediener. Das Konzept wird in diesem Beitrag beispielhaft an einem realitätsnahen, verfahrenstechnischen Prozess angewendet. Es wird untersucht, welche Vorteile eine solche Vorgehensweise hat und welche Aspekte in der Praxis zu berücksichtigen sind.

1. Einleitung

Eine kontinuierliche verfahrenstechnische Anlage befindet sich den überwiegenden Teil der Zeit im kontinuierlichen Produktionszustand. Darüber hinaus gibt es diskontinuierliche Sonderszenarien. Je nach Prozess und Szenario können diese oft (stündlich, täglich, wöchentlich) bis sehr selten auftreten (jährlich und seltener). Typische Beispiele sind An- und Abfahrvorgänge von Anlagen und Anlagenteilen, Wartungs-/Reinigungsvorgänge und Störungen, wie beispielsweise dem Ausfall von mechanischem Equipment. Während der Optimierung des Normalzustandes viel Aufmerksamkeit zukommt und es hier fortschrittliche Automatisierungs- und Regelungskonzepte gibt (beispielsweise modellprädiktive Regelungen), werden nur vereinzelt, jeweils sehr individuelle Automatisierungslösungen für Sonderszenarien umgesetzt. Bisher ist stattdessen meist der Anlagenfahrer gefragt, der nach Betriebsanweisung,

Checkliste und eigenem Erfahrungsschatz die Anlage in diesen Situationen von Hand bedient. Die Gründe für einen geringen Grad an Automatisierung der Sonderszenarien sind vielfältig. Neben mangelnder Basisautomatisierung, der Seltenheit und der komplexen Dynamik vieler dieser Vorgänge, ist der Hauptgrund der Mangel eines systematischen Entwurfsansatzes zur Automatisierung. Gleichzeitig hat eine Automatisierung eine Vielzahl von Vorteilen. Sie kann die Vorgänge Standardisieren und damit in vielen Fällen schneller durchführen. Weiterhin werden Fehlbedienungen vermieden. Dies hat Vorteile für die Anlagenverfügbarkeit und die Sicherheit. Zudem wird der Bediener durch die Automatisierung entlastet, wodurch er sich mehr auf die Überwachung und Optimierung der Anlage konzentrieren kann.

Diskontinuierliche Vorgänge in verfahrenstechnischen Prozessen können softwareseitig durch Ablaufsteuerungen automatisiert werden. Im Bereich der Batch-Prozesse ist die Automatisierung mit Ablaufsteuerungen sehr weit verbreitet und standardisiert [1]. Für kontinuierliche Anlagen hat die ISA-106 mit dem ersten Technical Report [2] einen ersten Schritt mit vergleichbarer Zielsetzung gemacht, indem sie Modelle und Begriffe definiert hat. Ein wichtiger Aspekt für die Praxis ist hier der Vorschlag, bei der Automatisierung modularisiert und zustandsbasiert vorzugehen.

In diesem Beitrag wird die praktische Umsetzung der Vorschläge aus dem ISA-106 Technical Report anhand eines verfahrenstechnischen Beispielprozesses zur Herstellung von Cumol thematisiert. Es wird vorgestellt, wie der Prozess hierarchisch in Module aufgeteilt werden kann und wie dies die Basis für eine weitreichende Automatisierung komplexer, anlagenweiter Sonderszenarien durch Prozeduren in Form von Ablaufsteuerungen legt. Weiterhin wird gezeigt, wie mithilfe von Zustandsautomaten die Transparenz für den Bediener erhöht wird und diese für eine zustandsbasierte Steuerung der automatisierten Prozeduren eingesetzt werden können. Der Fokus des Beitrags liegt auf einem heuristischen Entwurfskonzept und den praktischen Aspekten hinsichtlich der Implementierung in aktuellen Prozessleitsystemen (PLS).

2. Beispielprozess und Zielsetzung der Automatisierung

Prozessbeschreibung

Als Beispielprozess wird die Produktion von Cumol betrachtet. Der Prozess ist in Bild 1 schematisch dargestellt. In einem von zwei parallelen Reaktoren C100A/B reagieren Propen und Benzol zu Cumol und Nebenprodukten, vorrangig Diisopropylbenzol. Benzol wird im Überschuss gefahren, so dass Propen möglichst vollständig umgesetzt wird. Von den paral-

Aspektororientierte HMI-Adaption als neuer Lösungsansatz für den integrierten Informations- und Interaktionsraum

Dipl.-Ing. **S. Heinze**, Dipl.-Ing. **M. Graube**, Dipl.-Ing. **S. Hensel**,
Dipl.-Ing. **J. Ziegler**, Prof. Dr.-Ing. habil. **L. Urbas**,
Technische Universität Dresden, Dresden

Kurzfassung

Der kollaborativen Auftragsbearbeitung kommt in modernen Produktionsanlagen eine stetig wachsende Bedeutung zu. Eine fragmentierte, proprietäre und hochspezialisierte Software-Landschaft hemmt diese Kollaboration erheblich. Isolierte, technologisch oder semantisch inkompatible Informationsräume erschweren die Nutzung der vorhandenen Informationen über die Anlage. Konzeptuell und gestalterisch inkonsistente oder gar inkompatible, nicht interoperable Benutzungsschnittstellen (HMI) erschweren die Interaktion mit den Software-Werkzeugen und den Personen in der Anlage. Ein integrierter Informations- und Interaktionsraum kann diese Hemmnisse beseitigen und wesentlich zur Wirtschaftlichkeit der Produktion beitragen [1]. In diesem Beitrag wird ein Software-Werkzeug zur kollaborativen, auftragsbezogenen Zusammenarbeit bei der Inbetriebnahme, dem Betrieb und der Instandhaltung vorgestellt, welches einen gemeinsamen Zugriff aller beteiligten Personen auf einen integrierten, semantisch vernetzten Informationsraum [1] ermöglicht und somit einen integrierten Interaktionsraum schafft. Die Anwendung implementiert dabei ein adaptives HMI, welches sich automatisch zur Laufzeit an die Erfordernisse der benutzenden Person in ihrem konkreten Nutzungskontext anpasst. Dabei kommen zum einen die Konzepte und Technologien des Responsive Web Design zum Einsatz, um die Anwendung automatisch zur Laufzeit an unterschiedliche Geräteklassen und -größen anzupassen [2]. Zum anderen wird der Ansatz der aspektorientierten HMI-Adaption verfolgt, um die prinzipiell einheitliche Benutzungsschnittstelle an verschiedene Faktoren jenseits des verwendeten Endgeräts anzupassen [3]. Je nach Rolle, Aufgabe, Arbeitsort und Endgerät benötigen die benutzenden Personen unterschiedliche Sichten auf den gemeinsamen Informationsraum und unterschiedliche Informationen über die anderen beteiligten Personen. Auch die bisherige Interaktion mit dem Informationsraum gibt wesentliche Hinweise auf den aktuellen Informationsbedarf. Aus diesen Faktoren können verschiedene relevante Aspekte abgeleitet und für die HMI-Adaption genutzt werden. Somit wird die konkrete Informationsdarbietung für

die aktuelle Aufgabe optimiert, ohne dass sich die Grundstruktur oder das Interaktionskonzept verändert. Alle Personen nutzen dieselbe Anwendung, es ist nur eine Code-Basis zu pflegen.

1. Einführung

Der Weg von industriellen Applikationen ist immer mehr ein Weg aus dem Büro in die Lager und Fabriken bis hin zu den chemischen bzw. prozesstechnischen Anlagen. Dabei tritt als Hauptfokuspunkt der neuen Anwendungen zunehmend das möglichst übergangsfreie Wechseln zwischen verschiedenen Endgeräten (beispielsweise Desktop-PCs, Tablets, Smartphones und Wearables) zur Erfüllung von Arbeitsaufgaben sowie das Unterstützen von schneller und ortonabhängiger Kollaboration verschiedener Mitarbeiter hervor.

Benötigt wird so eine hochflexible, dynamische und adaptive Benutzeroberfläche, um die Funktionalität eines solchen Systems passend einsetzen zu können. Unumgänglich ist dabei eine Funktionsintegration ab der Informationsebene bis hin zur Interaktionsebene.

Heutige Systeme sind stark heterogen und hochkomplex aufgebaut, bedingt durch unterschiedliche Einsatzgebiete und Aufgabenkontexte sowie deren besondere Anforderungen an Performance, Verfügbarkeit, funktionale Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit. Die Nutzung von bekannter, oft genutzter und gut beherrschter frei verfügbarer Software anstatt proprietärer Plattformen und Softwarelösungen kann verspricht hier einen deutlichen Vorteil.

Die zunehmende Entwicklungsgeschwindigkeit von Informations- und Kommunikationstechnologien stellt besondere Anforderungen an die Verfügbarkeit und langfristige Nutzbarkeit eines solchen Systems. Durch den Einsatz von kontinuierlich entwickelten und weltweit verfügbaren Standardtechnologien mit einem expliziten Evolutionsgedanken bei der Entwicklung können diese Anforderungen erfüllt werden. Standardtechnologien im WorldWideWeb sind dabei unter anderem Semantic Web und Responsive Web Design Technologien.

Die Komponente des geräteübergreifenden Interaktionsdesigns [4] als auch die Ermöglichung von neuen Kollaborationsmöglichkeiten [5] waren bereits Teil von Untersuchungen. Eine Einbindung in einen integrierten Informations- und Interaktionsraum fand allerdings noch nicht statt.

In dem Beitrag gezeigt, wie durch aspektorientierte HMI-Adaption ein einziges Anwendungsprogramm derart anpassbar gestaltet werden kann, dass es verschiedene Personen in verschiedenen Rollen an verschiedenen Orten mit verschiedenen Endgeräten gleichzeitig nutzen können um komplexe Aufgaben kollaborativ in einem gemeinsamen

Engineering, Prozessdaten, Anlagendaten, Industrie 4.0 – alles wächst zusammen

Dr.-Ing. **Thomas Tauchnitz**,
Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, Frankfurt

Kurzfassung

Dieser Beitrag stellt zunächst sieben "Use Cases" für die Anwendung von Industrie 4.0 im Bereich der Prozessautomatisierung vor. Anschließend werden Aktivitäten zur Standardisierung von Schnittstellen und Modularisierung sowie IT Security für Automatisierungssysteme präsentiert.

Abstract

This paper presents seven use cases for Industry 4.0 in process industry. After that activities for interface standardization, modularization and Automation IT Security are presented.

1. Überschrift

Von Industrie 4.0 wird viel geschrieben, für manche ungeduldigen Kollegen sogar schon zu viel und zu lange. Zugegeben, manches wird unter „Industrie 4.0“ angepriesen, was in Wirklichkeit höchstens „Industrie 3.x“ ist – handgefertigte Sonderlösungen mit hohem Engineeringaufwand beispielsweise. Aber Industrie 4.0 steht für eine industrielle Revolution – daran werden wir 50 Jahre lang arbeiten müssen!

Um zu zeigen, welche Erwartungen der Autor mit Industrie 4.0 verbindet, werden im Kapitel 2 zunächst anhand von sieben Anwendungsfälle (engl. Use Cases) gezeigt, welche großen Möglichkeiten die Grundidee von Industrie 4.0 für die Prozessindustrie bringen kann.

Anschließend werden in Kapitel 3 einige Entwicklungen vorgestellt, die im Zusammenhang mit Industrie 4.0 stehen und Wegbereiter (engl.: Enabler) dafür sind. Denn ohne Schnittstellen, Standard und Modulares Denken ist kein Wissensaustausch möglich. Es geht um:

- Standardisierte Schnittstellen zwischen Engineering-Werkzeugen,
- Modulare Automatisierung, und
- IT Security im Bereich der Automatisierung.

Hier wächst eine Infrastruktur heran, die es erlaubt, längst entworfene Konzepte endlich schnell und kostengünstig umzusetzen und damit für die Prozessindustrie zu nutzen. Einer-

seits geht es um das „Zusammenwachsen“ bisher unabhängiger Daten, andererseits um das „zusammen Wachsen“ der Branche.

2. Use Cases für Industrie 4.0

Inzwischen gibt es gute Konzepte für die Realisierung von Industrie 4.0. In diesem Beitrag soll aus Sicht der Prozessindustrie „Appetit gemacht“ werden für den Einsatz von Industrie 4.0. Im Grund geht es um

- Zusammenführen von vorhandenen, aber noch nicht zugreifbaren Daten
- Standardisierung von Beschreibungen, um Daten austauschen zu können
- Automatische Nutzung von Wissen, das bisher hohen manuellen Aufwand erforderte.

2.1 Use Case „Plug and Play für Feldgeräte“

Dieser Use Case wurde bereits auf der NAMUR-Hauptsitzung 2012 präsentiert, sogar schon als Beispiel „Industrie 4.0“, und in [1] veröffentlicht. Grundidee ist, den Wechsel eines Feldgerätes mittels „sowieso“ vorhandenen Wissens quasi automatisiert durchzuführen. Dem neuen Gerät muss manuell der Einbauort zugewiesen werden, der Rest sollte automatisch erfolgen:

- Prüfung, ob das Gerät für die PLT-Stelle geeignet ist, durch Abgleich der Gerätedaten (aus dem Internet) mit den Anforderungen im PLT-Stellenblatt
- Übernahme der Parameter vom Vorgängermodell (aus dem CAE-Tool)
- Laden der benötigten Feldbusversion für das Gerät (aus dem Internet)
- Anstoßen des Selbsttests des Gerätes
- Laden des Formulars für die Erstkalibrierung auf den Tablet-PC des Handwerkers (aus dem firmeneigenen CAE- oder ERP-Werkzeug)
- Laden der Einbauanleitung auf den Tablet-PC des Handwerkers (aus dem Internet)

Dieses einfache Beispiel zeigt, dass die erforderlichen Daten sowieso vorhanden sind. Allerdings sind sie mangels Schnittstellen nicht zugreifbar, und so bleibt dem Handwerker nur die „Monkeywork“ (so bezeichnen Informatiker triviale Tätigkeiten), aus verschiedenen Systemen Daten zusammenzusuchen und manuell einzugeben.

2.2 Use Case „Konsistente und aktuelle Dokumentation“

Heute gibt es in jeder Anlage zwei wichtige Datenbanken mit PLT-Stellen-Know how:

- Das CAE-Tool, das die R&I-Schemata und die Spezifikationsblätter enthält, verwaltet die PLT-Stellen
- Das PLS-Engineering-Tool verwendet die gleichen PLT-Stellen.

Analyse großer Datenmengen in Verarbeitungsprozessen

Dr.-Ing. Dipl.-Inf. **Stefan Windmann**, M.Sc. **Sören Volgmann**,
Prof. Dr. rer. nat. **Oliver Niggemann**, Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo;
Dr. **Ansgar Bernardi**, M.Sc. **Ying Gu**, DFKI GmbH, Kaiserslautern;
Dipl.-Ing. **Holger Pfrommer**,
Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH, Hattersheim;
Dipl.-Ing. **Thilo Steckel**,
CLAAS E-Systems KGaA mbH & Co. KG, Gütersloh;
Dr. **Michael Krüger**,
Tönsmeier Entsorgungswirtschaft GmbH & Co. KG, Porta Westfalica;
Dr. **Thomas Ross**, Bayer Technology Services GmbH, Leverkusen

Kurzfassung

Die zunehmende Komplexität industrieller und landwirtschaftlicher Verarbeitungsprozesse und die ständig wachsenden Datenmengen führen dazu, dass Probleme und Fehler im Prozessablauf oft zu spät erkannt werden. Als Lösungsansatz wird im vorgestellten Projekt ein selbstlernendes Assistenzsystem entwickelt, das komplexe Verarbeitungsprozesse analysiert und Fehler, Anomalien und Optimierungsbedarf automatisch erkennt. Das entwickelte Assistenzsystem ermöglicht die Datenerfassung, die Prozessüberwachung sowie die automatische Erkennung und Analyse von Anomalien in industriellen und landwirtschaftlichen Verarbeitungsprozessen. Die Evaluierung wird in drei Anwendungsfeldern durchgeführt: Große Destillationskolonnen, landwirtschaftliche Verarbeitungsprozesse und große Sortieranlagen der Ressourcenwirtschaft. In dem Beitrag werden die für diese Anwendungsfelder entwickelten Infrastrukturen zur Datenerfassung, die entwickelten Algorithmen sowie erste experimentelle Ergebnisse vorgestellt.

Abstract

The increasing complexity of industrial and agricultural manufacturing processes and the continuously growing amount of data have the impact that problems and faults in the processes are often detected too late. In this project, a self-learning assistance system is developed to cope with these challenges by automatic detection of failures, anomalies and the need for optimization. The developed assistance system accomplishes data acquisition, process monitoring and anomaly detection in industrial and agricultural manufacturing process-

es. Evaluation is conducted in three application cases: Large distillation columns, agricultural manufacturing processes and large-scaled sorting plants. In this paper, the developed infrastructures for data acquisition are described as well as the developed algorithms and initial evaluation results.

1. Einleitung

Die zunehmende Komplexität von Verarbeitungsprozessen und ein ständig wachsendes Datenaufkommen führen in vielen Fällen zu einer Überforderung des Anlagenpersonals in Hinblick auf die Prozessüberwachung, Datenanalyse und Fehlererkennung. Aus diesen Gründen werden Probleme und Fehler oft zu spät erkannt, Wartungsintervalle kürzer als notwendig gewählt und Optimierungspotential nicht ausreichend ausgenutzt. In Hinblick auf die Datenerfassung, Prozessüberwachung und Anomalie-Erkennung sind insbesondere folgende Probleme zu lösen:

- Datenerfassung: Daten in industriellen und landwirtschaftlichen Anwendungen werden oftmals verteilt, ohne ausreichende Zeitsynchronisation und ohne eine Definition der Semantik gespeichert.
- Prozessüberwachung und Anomalie-Erkennung: Die Datenmenge sowie Echtzeitanforderungen machen eine manuelle Analyse, die beispielsweise auf den angezeigten Signalen basiert, oftmals nicht möglich, selbst wenn die Daten bereits integriert, zeitsynchronisiert und mit Semantik angereichert sind. Für diese Problemstellungen existieren bereits Lösungsansätze, solche Ansätze werden in der industriellen Praxis jedoch nicht häufig verwendet, da sie für große Datenaufkommen bislang noch nicht geeignet sind.

In dem vorgestellten Projekt wird ein intelligentes Assistenzsystem entwickelt, um diese Herausforderungen zu lösen (siehe **Bild 1**).

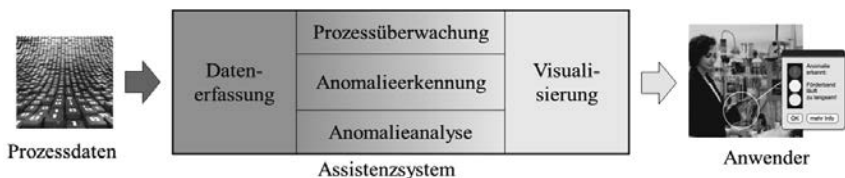


Bild 1: Analyse der Verarbeitungsprozesse

Das entwickelte Assistenzsystem ermöglicht es, die verfügbaren Informationen zu analysieren und Anomalien zu erkennen. Die Integration des Assistenzsystems in verschiedene Verarbeitungsprozesse wird durch geeignete Ansätze zur Datenerfassung und flexible Metho-

Erhöhte Anlagenverfügbarkeit durch Messgeräteverifikation im laufenden Betrieb

Anforderungen und erste Praxiserfahrungen mit der rückführbaren online-Verifikation von Durchflussmessgeräten

Increased plant availability through field device verification directly in the process

Prerequisites and first practical experience with traceable online verification of flowmeters

Dipl.-Ing. **Hans Joachim Fröhlich**,
Endress+Hauser Flowtec AG, Reinach, Schweiz

Kurzfassung

Sind die Voraussetzungen im technischen Konzept der Messgeräte sowie in der Feldkommunikation geschaffen, werden rückführbare Prüfungen bei minimiertem Aufwand ohne Prozessunterbrechung möglich.

Abstract

Once the ground is prepared in the technical concept of measuring devices, and regarding field communication, traceable verification can be achieved with minimal effort, and without interrupting the process.

1. Einführung: Von der Selbstdiagnose zur bedarfsgerechten, internen Verifikation

Betreiber von verfahrenstechnischen Anlagen sind durch verschiedene Normen zur Prüfung ihrer Feldgeräte gehalten: zum einen verpflichtet schon die ISO 9001 zur regelmässigen Kalibrierung oder Verifikation von Messmitteln im Betrieb [3]. Zum anderen fallen Messstellen abhängig von ihrem Zweck unter spezielle Regelungen, etwa in Anwendungen mit Sicherheitsfunktion, oder wenn sie zur Produkt- bzw. Medienabrechnung herangezogen werden. Eine solche wiederkehrende Prüfung bzw. Prüfung auf Anforderung stellt nicht nur Zeitaufwand und Kosten dar, gewöhnlich kommt auch der Messbetrieb zum Erliegen, was eine Unterbrechung des Prozesses bedeuten kann.

Durch gezielt erweiterte Testabdeckung hat die Fähigkeit zur permanenten Selbstdiagnose die Verlässlichkeit aktueller Prozesssensoren stark verbessert und die Notwendigkeit zur wiederkehrenden Prüfung, etwa durch Kalibrieren, deutlich reduziert. Wesentlich getrieben wurde diese Entwicklung in den vergangenen Jahren durch die Umsetzung internationaler Normen zur Funktionalen Sicherheit, welche quantitative Methoden zur Risikoabwehr im Rahmen sicherheitstechnischer Einrichtungen vorgeben. Diese Normen stellen auf die Funktionszuverlässigkeit beteiligter Systemkomponenten im Betrieb ab. Naheliegend ist der Ansatz, die somit im Gerät hinterlegte Diagnosefunktion auch für die oben genannte Prüfung auf Anforderung zu nutzen. Um von einer internen Prüfung zu sprechen, muss das Feldgerät nicht nur einen geführten Prüfablauf, sondern auch die Möglichkeit bieten, unter Angabe von Geräteidentität und Betriebsstundenzähler eine eindeutige Bewertung zu dokumentieren.

Wird eine solche Prüffunktion nun in einem Messgerät realisiert, ist darüber hinaus zu fordern, dass der Messbetrieb allenfalls kurzzeitig unterbrochen wird und dem Leitsystem bei Verwendung eines geeigneten Kommunikationsprotokolls sowohl der Tatbestand einer Funktionsprüfung anzubieten ist, etwa gem. Namur-Empfehlung 107 [2], wie auch die Ausgabe des letzten gültigen Messwert verfügbar zu halten ist. Unter diesen Bedingungen kann die Prüfung nicht nur beliebig angefordert werden, es entfällt auch die Notwendigkeit, den Prozess oder Messbetrieb zu unterbrechen.

Wird die ins Messgerät integrierte Verifikation darüber hinaus rückführbar gestaltet, kann die Prüfung bedarfsgerecht erfolgen, was zur Verlängerung von Kalibrierintervallen und damit zu Kosteneinsparungen genutzt werden kann. Hierzu bedarf es zusätzlicher, unabhängiger Referenzen im Gerät. Dies erlaubt einen permanenten Vergleich der nun redundant vorhandenen Referenzen über die gesamte Nutzungsdauer des Feldgeräts.

Die Ermittlung geeigneter Prüfzyklen hierfür wird in den folgenden Abschnitten behandelt. Mit Blick auf das Thema Industrie 4.0 wird die Betrachtung schliesslich durch beispielhaft diskutierte Wege zum automatisierten Betrieb der Verifikationsfunktion sowie zur Behandlung der Prüfergebnisse erweitert. Dabei wird auf entsprechende Erfahrungen mit Durchflussmessgeräten für die Prozessindustrie eingegangen.

2. Funktionale Sicherheit: Wiederkehrende Prüfung von Schutzeinrichtungen als betriebliches Optimierungsproblem

Internationale Normen zur Funktionalen Sicherheit wie die IEC 61508 i.V.m. IEC 61511 [1] geben dem Betreiber einer verfahrenstechnischen Anlage umfangreiche Anleitung bzgl. Planung, Einrichtung und Betrieb von Schutzeinrichtungen zur Abwehr von Risiken für Mensch, Anlagen und Umwelt. Wird die Schutzfunktion mit automatisierten Systemen erzielt, ist eine

VHPready – Der Industriestandard für virtuelle Kraftwerke

Dr.-Ing. **Thomas Luckenbach**, Fraunhofer-Institut FOKUS, Berlin;
Dipl.-Ing. **Ulrich H. Hemen**, WAGO Kontakttechnik, Minden

Kurzfassung

Virtuelle Kraftwerke gelten als erfolgversprechender Lösungsansatz, um erneuerbare Energien, intelligente Verbraucher und innovative Speichersysteme ökonomisch sinnvoll in die bestehende Energieversorgung zu integrieren und mit den Energiemärkten zu verknüpfen. Durch die intelligente Steuerung dezentraler Energieanlagen und die Möglichkeit der Speicherung elektrischer Energie in Form von Wärme bieten virtuelle Kraftwerke vielfältige Möglichkeiten zum Ausgleich zwischen der schwankenden Energienachfrage in öffentlichen Netzen und der volatilen Verfügbarkeit erneuerbarer Energien.

1. Anlagen-Vernetzung

Vor Jahren war das Internet einmal ein kleines Netzwerk, eine Anwendung für wenige, spezielle Nutzer. Um weitere Netze anzubinden, entstanden mit der Zeit kompatible Standards wie TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) oder HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Sie waren Auslöser für eine schnelle Verbreitung des Internets. Das Smart Grid befindet sich auf einem ähnlichen Weg. Immer mehr dezentrale Energieerzeugungsanlagen, Speicher und Verbraucher werden zusammengeschlossen. So entsteht ein intelligentes Netz, in dem Stromangebot und -verbrauch flexibel aufeinander abgestimmt werden können. Die von Windrädern oder Photovoltaikanlagen erzeugten Kapazitäten müssen ins Stromnetz, vor allem in die Mittel und Niederspannungsnetze, integriert werden. Die Volatilität der erneuerbaren Energien kann Auswirkungen auf die Frequenz im Netz haben: Es wird instabil, Erzeuger und Mittelspannungsschaltanlagen schalten sich ab und es kann zum Netzausfall kommen.

Die Integration dezentraler Energieerzeuger in virtuelle Kraftwerke mit einer zentralen Kraftwerkssteuerung ist hierbei ein vielversprechender Lösungsansatz. Als hersteller- und betreiberübergreifende Technologie hat sich mit VHPready (Virtual Heat and Power Ready) in kurzer Zeit ein neuer Kommunikationsstandard etabliert, welcher auf Basis verschiedener Inter-

net-Protokoll (TCP/IP, TLS, SNTP/NTP) sowie der IEC 61850 und IEC 60870 Fernwirkprotokolle agiert und die Anforderungen für die Vernetzung dezentraler Energieanlagen im virtuellen Kraftwerk abdeckt.

So können zum Beispiel moderne Heizungssysteme wie KWK-Anlagen, Wärmepumpen, etc. aber auch Erzeuger wie Windkraftanlagen, Solaranlagen, Biosgasanlagen, steuerbare Lasten und Speichersysteme durch die Erweiterung mit einer VHPready konformen Kommunikationsschnittstelle in die öffentliche Stromversorgung eingebunden werden und dadurch einen volkswirtschaftlich und ökologisch wichtigen Beitrag zum Umbau des zentralen Energienetzes in ein zukunftsweisendes dezentrales Netz leisten. Überschüssige, regenerativ erzeugte, Energie wird durch Wärmepumpen dem Netz entnommen, in thermische Energie umgewandelt und gespeichert. Fehlender Windstrom wird durch die Generatoren in KWK-Anlagen ausgeglichen.

Virtuelle Kraftwerke bieten einen Zusatznutzen für den Anlagenbetreiber: Durch die Integration in ein virtuelles Kraftwerk und die dadurch gegebenen Energievermarktungsmöglichkeiten kann sich eine Anlageninvestition schneller amortisieren. Aus dem Blickwinkel der Automatisierung ist das wesentliche Element eines virtuellen Kraftwerkes eine bidirektionale Fernwirkanwendung mit überlagerter Prozessführungsebene (PFE), die hier als zentrale Leitwarte bzw. Kraftwerkssteuerung (KWS) ausgeprägt ist.

2. De-facto-Standardisierung

Aufbauend auf ersten Betriebserfahrung des Energieversorgers Vattenfall mit einer frühen Version des Kommunikationsstandards VHPready wurde das Industrieforum VHPready Anfang 2014 in der Rechtsform eines Vereins gegründet. Ziel des Vereins war und ist der Aufbau einer branchen- und herstellerübergreifenden Plattform zur Entwicklung eines globalen Standards für Virtuelle Kraftwerke. Die Anzahl der Mitgliedsunternehmen ist von 14 auf derzeit 44 (Stand März 2016) gewachsen, und mit der im Dezember 2015 verabschiedeten Version VHPready 4.0 liegt nun erstmals eine vom Industrieforum erarbeitete und von allen Mitgliedsunternehmen unterstützte Spezifikation zur Integration heterogener, dezentraler Energieanlagen in Virtuelle Kraftwerke vor, siehe Abbildung 1.

Feldgeräteparametrierung im virtuellen Raum

Optimierung von Engineering und Inbetriebnahme der Feldgeräte durch die web-basierte Vorkonfiguration

Dipl.-Ing. Univ. **Stefan Maier**,
Endress+Hauser GmbH+Co. KG, Maulburg

Kurzfassung

Die Inbetriebnahme von Feldgeräten stellt während der Entstehungsphase einer Anlage einen aufwendigen und kostenintensiven Punkt dar. Ebenfalls sind Fehler bei der Parametrierung häufig die Ursache für langwierige Inbetriebnahme-Phasen.

Die Feldgeräteparametrierung im virtuellen Raum erspart diese zeitaufwendige Parametrierung bei der Inbetriebnahme der Feldgeräte auf der Anlage und verhindert Eingabefehler der Messstellenspezifikation im Feldgerät vor Ort. Dabei werden während der Engineering-Phase virtuelle Instanzen von individuell konfigurierten Feldgeräten angelegt und dann entsprechend parametriert. Während der Geräteproduktion wird die Parametrierung vom Gerätehersteller in das jeweilige Feldgerät übertragen.

Erreicht wird das durch die Bereitstellung einer Server-Lösung durch den Gerätehersteller. Der Anlagenplaner kann über ein Web-Frontend Instanzen der von ihm geplanten Geräte parametrieren. Die Abbildung mehrerer hundert Parameter ist möglich. Entsprechend der Menüstruktur der Feldgeräte kann aber auch nur auf die wesentlichen Parameter fokussiert werden. Oft liegen bei Projekten zwischen der Feldgerätebestellung und deren Lieferung einige Monate. Der Wunsch des Anlagenplaners besteht darin, auch in diesem Zeitraum Anpassungen an der bereits bestellten Parametrierung vornehmen zu können. Durch die direkte Zugriffsmöglichkeit auf die Datenbank des Geräteherstellers wird das bis kurz vor der eigentlichen Produktion der Feldgeräte möglich.

1. Ausgangssituation

Eine wichtige Phase beim Bau einer verfahrenstechnischen Anlage ist die Engineering-Phase. Hier wird unter anderem die Anlage geplant, die Assets werden spezifiziert und z. B. die Feldgeräte zur Messung prozessrelevanter Größen wie Druck, Temperatur oder Füllstand beim entsprechenden Lieferanten anhand der erstellten Spezifikationen bestellt. Weiterhin wird die Auslegung der Automatisierungslösung durchgeführt. Parallel zum Bau der Anlage werden die Steuer- und Regelstrategien erarbeitet und die Steuerungen programmiert. Oft steht zu diesem Zeitpunkt auch schon eine Grundkonfiguration für jedes Feldgerät, wie zum Beispiel die Messstellenkennzeichnung, die Messspanne, die Dämpfung, das Verhalten im Fehlerfall und Anwendungsparameter zur Verfügung. Um bei der Inbetriebnahme kostbare Zeit sparen zu können, werden dem Lieferanten diese Grundkonfigurationen oft im Rahmen des Bestellprozesses der Feldgeräte mitgeteilt. Die Gerätehersteller parametrieren dann das Feldgerät entsprechend der Spezifikationen im Rahmen der Gerätemontage für den Endkunden vor. Auf der Anlage muss das Feldgerät nur noch montiert und verkabelt werden. Für eine Erstinbetriebnahme ist das Feldgerät dann bereits parametriert.

Zur Übermittlung der Gerätespezifikationen vom Anlagenplaner zum Gerätelieferanten bieten Feldgerätehersteller hierfür z.B. Formblätter in Papierform an. Diese sind auszufüllen und den Lieferanten bei der Gerätebestellung zu übergeben. Eine andere Variante ist die Verwendung von Excel-Templates. Hier werden die Daten in eine Excel-Vorlage eingegeben und die Excel-Datei übergeben.

Beide Varianten haben grundlegende Schwächen. Zum einen werden während der Auslegung der Automatisierungslösung öfters Änderungen vorgenommen. Diese können sich auch auf die Grundkonfiguration der Feldgeräte auswirken. Das Änderungsmanagement hin zum Gerätelieferanten ist sehr zeitaufwendig und fehleranfällig. Zum anderen können Abhängigkeiten zwischen Parametern innerhalb eines Feldgerätes nicht abgebildet werden, z.B. Bereichsgrenzen in Abhängigkeit vom gewählten Sensor. Das hat die Konsequenz, dass bei der Bestellung ggf. inkonsistente Grundkonfigurationsdaten vorliegen. Im ungünstigsten Fall wird der Fehler erst auf der Werkbank des Geräteherstellers festgestellt und die Produktion kann ohne Kundenrücksprache nicht abgeschlossen werden, was zu erheblichen Störungen im Produktionsablauf führt.

Automation Security – Aktuelle Best Practices und zukünftige Anforderungen in der Prozessindustrie

Automation Security – Current Best Practices and Future Requirements in Process Automation

Dr.-Ing. **Markus Runde**, Dr.-Ing. **Thomas Steffen**, BASF, Ludwigshafen;
Prof. Dr.-Ing **Karl-Heinz Niemann**, Hochschule Hannover, Hannover

Kurzfassung

Zahlreiche unterschiedliche IT-Schutzmaßnahmen kommen in der Automatisierungstechnik zum Einsatz, um der gegenwärtigen steigenden Bedrohungssituation gerecht zu werden. Dieser Beitrag zeigt sowohl die aktuellen als auch zukünftigen Anforderungen an Schutzmaßnahmen für die IT-Sicherheit von Automatisierungssystemen. Derzeit etablierte Best Practices sollen zeigen, wie den aktuellen Anforderungen Rechnung getragen werden kann. Technologische Trends erfordern zukünftig jedoch neue Lösungen, die ebenfalls aufgezeigt werden.

Abstract

Several different IT security measures are in use to take the current increasing threat situation into account. This paper shows current and future requirements regarding IT security measures for automation systems. Best practices in this paper show, how these requirements can be met by using the available solutions. However, technological trends require for new solutions, which are also presented.

1. Einleitung

Während frühere IT-Security-Vorfälle in Produktionsanlagen häufig als „Kollateralschäden“ herkömmlicher Schadsoftware zu klassifizieren waren, mehren sich seit einiger Zeit Meldungen, die gezielte Angriffsmuster auf Produktionsanlagen erkennen lassen. So wurde ein Hochofen [1] genauso Opfer eines Angriffs, wie das Automatisierungssystem einer Bohrinsel [2]. Spezialisierte Schadsoftware die sich z. B. gegen OPC-Server [3] richtet, ist mittlerweile Realität. Mit der Dokumentation über die Operation „Duststorm“ [4] wird klar, dass sich Angriffe nun auch gezielt gegen Unternehmen bestimmter Industriezweige richten, wie z. B. Energieerzeugung, Öl und Gas sowie den Finanz- und den Transportsektor.

Um dieser geänderten Bedrohungssituation gerecht zu werden, ist der Schutz gegenwärtiger Automatisierungssysteme und insbesondere der Schutz künftiger Systeme zu betrachten und notwendige Verbesserungen sind aufzuzeigen. Der Beitrag zeigt zunächst die aktuellen Schutzkonzepte und beschreibt, ausgehend von den aktuellen Anforderungen, gegenwärtige „Best-Practice-Ansätze“. Ausgehend von den zur Zeit erkennbaren Veränderungen in der Bedrohungslage und den Strukturänderungen im Kontext von Industrie 4.0 werden Anforderungen an künftige Konzepte und daraus abgeleitete künftige Schutzmaßnahmen definiert und näher beschrieben.

2. Anforderungen heute und in Zukunft

Die heutige Vorgehensweise in Bezug auf die IT-Sicherheit von Automatisierungssystemen (Automation Security) ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kommunikationssysteme im Automatisierungsbereich in der Regel über keine integrierten IT-Sicherheitsfunktionen verfügen. Dies bedeutet:

- Der Zugang zum Automatisierungsnetzwerk unterliegt seitens der verwendeten Kommunikationsprotokolle und seitens der Implementierungen in den Geräten keinen Begrenzungen. Bei physischem Zugang zum Netzwerk ist somit auch für einen Angreifer eine uneingeschränkte Teilnahme an der Kommunikation möglich. Einige Ansätze in den beschriebenen Best-Practice-Beispielen werden zeigen, dass auch heute schon mit bestehender Technik ein grundlegender Schutz möglich ist.
- Die Kommunikation im Automatisierungsbereich erfolgt im Sinne der IT-Sicherheit ungesichert und unverschlüsselt. Die Authentizität (und ggf. Vertraulichkeit) der übertragenen Information ist nicht gegeben. Angreifer können gefälschte Nachrichten in das Kommunikationssystem einschleusen.

Die Verwendung einer ungesicherten Kommunikation ist damit zu begründen, dass die Kommunikation in der Mess- / Steuerungs- und Regelungsebene zum einen Echtzeitanforderungen genügen muss, zum anderen bestehen hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit des Automatisierungssystems. Hierbei besteht die Sorge, dass IT-Sicherheitsmaßnahmen die Verfügbarkeit und das Echtzeitverhalten der Anlage reduzieren könnten und dass der Aufwand für den Betrieb einer integrierten Sicherheitslösung unverhältnismäßig ist. Zudem ist diese Vorgehensweise historisch gewachsen.

Die heutigen Anforderungen fokussieren sich daher im Wesentlichen auf eine Abschottung (z. B. Perimeterschutz) des Systems in Kombination mit weiteren Schutzmaßnahmen (z. B. Überwachung des Netzwerkverkehrs) im Sinne einer Defense in Depth Strategie wie sie z. B. in [5] beschrieben ist. Darüber hinaus besteht die Anforderung einen Unternehmensprozess zur Beherrschung der IT-Sicherheit im Automatisierungsbereich zu etablieren. Ein Vorgehensmodell hierfür ist z. B. in [6] beschrieben.

Systemintegrität als Kernelement der Industrial Security mit Blick auf Industrie 4.0

Dipl.-Math. Anna Palmin, Dr.-Ing. Pierre Kobes,
Siemens AG, Karlsruhe

Kurzfassung

Um Industrieanlagen umfassend vor Cyber-Angriffen von innen und außen zu schützen, muss auf allen Ebenen gleichzeitig angesetzt werden – von der Betriebs- bis zur Feldebene, von der Zutrittskontrolle bis zum Kopierschutz. Zu diesem Zweck wird eine tiefengestaffelte Verteidigung – „Defense in Depth“ – als übergreifendes Schutzkonzept nach den Empfehlungen der Norm IEC 62443 [4-8], dem führenden Standard für Security in der industriellen Automatisierung, genutzt [1]. Ein wichtiger Beitrag zur tiefengestaffelten Verteidigung wird durch die Mechanismen zur Gewährleistung der Systemintegrität als ein wichtiges Schutzziel und eines der wesentlichen Kernelemente der Industrial Security geleistet. Dabei versteht man unter der Systemintegrität im Kontext der Industrial Security den Schutz eines (in der Regel aus diversen Einzelkomponenten, beispielsweise Geräten und Applikationen zusammengesetzten) Systems gegen unbemerkte, unautorisierte Veränderungen. Wie durch eine individuelle (beispielsweise gemäß der Richtlinie VDI/VDE 2182 durchgeführte) Schutzbedarfsermittlung anschaulich gezeigt werden kann, hat dieses Schutzziel bereits aus heutiger Sicht für viele Komponenten, Systeme und Anlagen einen hohen Stellenwert. Einer der wesentlichen Gründe dafür besteht darin, dass die Systemintegrität eine notwendige Voraussetzung für die Sicherstellung einer optimalen Verfügbarkeit und der Resilienz von industriellen Anlagen ist. Unter anderem aus diesem Grund wird die Systemintegrität als Schutzziel samt den entsprechenden Anforderungen in dem obengenannten internationalen Standard IEC 62443 mehrfach adressiert. Zur Sicherstellung und Erhöhung der Systemintegrität im Kontext einer industriellen Anlage tragen verschiedene, sorgfältig aufeinander abgestimmte, zuverlässige und möglichst rückwirkungsfreie Mechanismen und Maßnahmen, beispielsweise für den Manipulationsschutz, Know-how-Schutz, den Zugriffsschutz, die Systemhärtung sowie für die proaktive Erkennung von Angriffen und Abweichungen, bei.

Im Hinblick auf die Anforderungen von Industrie 4.0, insbesondere auf die Megatrends Dezentralisierung, Big Data, Cloud-Computing und das „Internet der Dinge und Dienste“ und damit verbundene zunehmende Verteilung und Intelligenz von Komponenten und Systemen wird die Systemintegrität weiterhin immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Der vorliegende Beitrag beginnt mit einem Überblick über die Struktur und die Inhalte der Norm IEC 62443, einschließlich der in dieser Norm eingeführten Security-Levels als Mittel zur Differenzierung der Fähigkeiten eines Systems und der in einer Automatisierungslösung umgesetzten Maßnahmen in ihrer Wirkung. Danach wird der Begriff „Systemintegrität“ erläutert, sowie eine Übersicht der sich mittlerweile gut bewährten funktionalen, technischen Mechanismen und Maßnahmen zur Gewährleistung der Systemintegrität vorgestellt. Anschließend wird auf die Anforderungen der IEC 62443 hinsichtlich des sogenannten Echtheits- bzw. Originalitätsnachweises und der sogenannten Public-Key-Infrastruktur, die im Kontext der Systemintegrität von Bedeutung sind, eingegangen. Die beiden darauffolgenden Abschnitte befassen sich mit diversen Aspekten der proaktiven Erkennung von Angriffen und Abweichungen sowie mit der sogenannten Rückwirkungsfreiheit. Der Beitrag endet mit einem Ausblick auf die künftigen Herausforderungen, bei dem insbesondere auf die sogenannten Schutzlevels zur Gesamtbewertung der Security-Funktionalitäten und Prozesse im Rahmen eines ganzheitlichen Schutzkonzepts eingegangen wird.

1. Einleitung und Motivation

Schlagzeilen über Industrial Security finden sich mittlerweile auf den Titelseiten und in den Nachrichten, wobei unter Industrial Security der Schutz durch Maßnahmen der IT-Sicherheit gegen unberechtigte Zugriffe im Umfeld der industriellen Automatisierung verstanden wird. Meldungen über Hacker-Angriffe sind bereits an der Tagesordnung und man kommt nicht umhin, sich der Tatsache zu stellen, dass von Jahr zu Jahr immer mehr Schwachstellen aufgedeckt werden. 1996 gab es erst eine Handvoll Meldungen über bekannt gewordene Sicherheitslücken, und diese Zahl stieg bis in die letzten Jahre nahezu exponentiell auf mehrere Tausend an. Die Dunkelziffer der tatsächlich vorhandenen Schwachstellen liegt wohl noch um ein Vielfaches höher [2].

Offene Kommunikation, eine zunehmende Vernetzung von Produktionssystemen und der Einsatz von Standardsystemen und -protokollen bergen nicht nur enorme Chancen, sondern auch große Risiken im Hinblick auf Sicherheitsaspekte, die durch die Etablierung der Megatrends Digitalisierung, Big Data, Cloud-Computing und des „Internet der Dinge und Dienste“ weiter steigen. Um Industrieanlagen umfassend vor Cyber-Angriffen von innen und außen zu schützen, muss auf allen Ebenen gleichzeitig angesetzt werden – von der Betriebs- bis zur Feldebene, von der Zutrittskontrolle bis zum Kopierschutz. Zu diesem Zweck wird eine tiefengestaffelte Verteidigung – „Defense in Depth“ – als übergreifendes Schutzkonzept nach den Empfehlungen der Norm IEC 62443 (siehe [04] bis [08]), dem führenden Standard für Security in der industriellen Automatisierung, genutzt [1].

„Keep it short and simple“ bei der Analyse von IT-Sicherheitsrisiken in PLT-Sicherheitssystemen

Dr.-Ing. **S. Fischer**, Dr.-Ing. **T. Kleinert**, BASF SE, Ludwigshafen;
Dr.-Ing. **M. Floeck**, **E. Kruschitz**, anapur AG, Frankenthal;
V. Hensel, **J. Wiesner**, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn;
T. Leifeld, TU Kaiserslautern;
M. Messner, Wacker Chemie AG, München;
Dr.-Ing. **B. Schrörs**, Bayer AG, Leverkusen;
D. Winkel, Bayer AG, Dormagen

Kurzfassung

Der vorliegende Aufsatz beschreibt die Entwicklungsschritte hin zu einem Verfahren, mit dem die IT-Sicherheit von PLT-Sicherheitssystemen in der Prozessindustrie schnell und einfach analysiert werden kann. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Vernetzungsgrades industrieller Steuerungssysteme auf der einen und immer neuen Angriffsmethoden auf der anderen Seite gewinnt diese Thematik auch bei regionalen und internationalen Standardisierungsgremien immer mehr an Bedeutung. Für die Prozessindustrie relevante Normen wie die IEC 61511 (Funktionale Sicherheit) und IEC 62443 (IT-Security) fordern heute explizit die Betrachtung von IT-Sicherheitsrisiken. Allerdings fehlt es an praktikablen und mit nicht zu großem Aufwand anwendbaren Verfahren, um die IT-Sicherheit eines PLT-Sicherheitssystems zu analysieren. Diese Lücke adressiert der vorgestellte Ansatz.

1. Einführung

In der Prozessindustrie kommt seit Ende der sechziger Jahre Prozessleittechnik (PLT) in Form von Betriebs- und Überwachungseinrichtungen zum Einsatz. Ebenso ist es schon lange üblich, programmierbare elektronische sicherheitstechnische Systeme (safety instrumented systems, SIS) zum Zwecke des Schutzes von Mensch und Umwelt zu betreiben. Heute, im Zeitalter vernetzter Systeme, kann jedoch das SIS selbst Ziel eines Cyberangriffs werden und dann unter Umständen seine Sicherheitsfunktion nicht mehr ausüben.

Bis in die neunziger Jahre orientierte man sich bei der Implementierung von SISs an firmeninternen Richtlinien und regionalen Vorschriften und Normen der Staaten, in denen die Anlagen betrieben wurden. 1998 erschien erstmals die internationale Normenreihe IEC 61508 [1],

die Verfahrensweisen für die Produktentwicklung, die organisatorischen Strukturen beim Hersteller und die Dokumentation dieser Prozesse beschreibt. Mit der IEC 61511 „Funktionale Sicherheit - Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie“ [2]-[3] wurden die Anforderungen speziell für die Prozessindustrie weiter präzisiert. In deren neuer Version (Ed. 2.0) wird nun explizit eine Risikoanalyse des SIS in Hinblick auf Cyber Security gefordert.

Eine weitere, vergleichsweise neue Normenreihe, die IEC 62443 „Industrielle Kommunikationsnetze - IT-Sicherheit für Netze und Systeme“ [4], adressiert gezielt diese neue Form der Gefährdung und geht im Detail auf die Cyber Security von Steuerungssystemen ein. Derzeit sind allerdings noch nicht alle Teile der Normenreihe als endgültige Fassung verfügbar. Die einzelnen Teile der Norm sind in vier Gruppen zusammengefasst, die sowohl organisatorisch-administrative als auch technisch-konzeptionelle Aspekte abdecken.

Es ist zu erwarten, dass in naher Zukunft die Anforderungen an die Betreiber von SISs dahingehend erweitert werden (z.B. durch IEC 61511 Ed. 2), dass Risikoanalysen in Anlehnung an einschlägige Standards im Bereich Cyber Security (IEC 62443, ISO 27001 [5], BSI ICS Security Kompendium [6]-[7]) durchgeführt werden müssen und Anlagen entsprechend dem Stand der Technik gegen Cyberangriffe zu sichern sind. Allerdings sind bisher keine allgemein akzeptierten oder kodifizierten Verfahrensanweisungen entwickelt worden, die die Thematik vollständig erfassen und gleichzeitig mit überschaubarem Aufwand zu belastbaren und regulatorischen Ansprüchen genügenden Resultaten führen.

Ziel des vorliegenden Aufsatzes ist es daher, den Entwicklungsprozess hin zu einem Verfahren für eine strukturierte und zuverlässige IT-Sicherheitsanalyse in PLT-Sicherheitssystemen vorzustellen. Eine Anforderung an das zu entwickelnde Verfahren ist, dass es durch eine strukturierte und verständliche Vorgehensweise von Ingenieuren und Technikern ohne explizite IT-Sicherheit-Kenntnisse mit einem Zeitaufwand von rund einem Tag durchgeführt werden kann. Dieses Verfahren wird gerade im Rahmen der ad-hoc-Arbeitsgruppe „Security for Safety“ des NAMUR-Arbeitskreises 4.18 „Automation Security“ entwickelt. Die NAMUR-Empfehlung befindet sich noch im Entstehungsprozess, so dass einige Teilergebnisse schon endgültig vorliegen und andere noch vorläufigen Charakter haben.

2. Allgemeine Beschreibung der Vorgehensweise

Die Entwicklung des Verfahrens erfolgt in mehreren Schritten. Diese Schritte müssen vor der erstmaligen Anwendung des Verfahrens einmalig durchgeführt werden und bilden die Grundlage für das zu erarbeitende Risikoanalyseverfahren. In Anlehnung an die

The attackers can be anywhere – Results of a Honeynet project of a small town German water works

In an eight-month honeynet project, TÜV SÜD recorded over 60,000 attempts to break into a virtual water infrastructure

Dr. rer. nat. **Armin Pfoh**, TÜV SÜD AG, München

Abstract

The honeynet combined real hard- and software with a simulated environment of a small-scale water works. Attacks were launched from servers all over the world, sometimes using spoofed IP addresses. TÜV SÜD's honeynet project proved that targeted attacks on infrastructures and production facilities are no longer isolated events.

Industry 4.0 presents companies with the challenging task of having to reconsider their security policy from the bottom up. Increasing digitization and interconnectivity makes infrastructures and industrial facilities more vulnerable and opens up new “opportunities” for possible misuse – from espionage to sabotage. TÜV SÜD used a high-interaction honeynet to gain new insights which will benefit companies of all industries.

1. Detailed analysis of attempted access and attacks

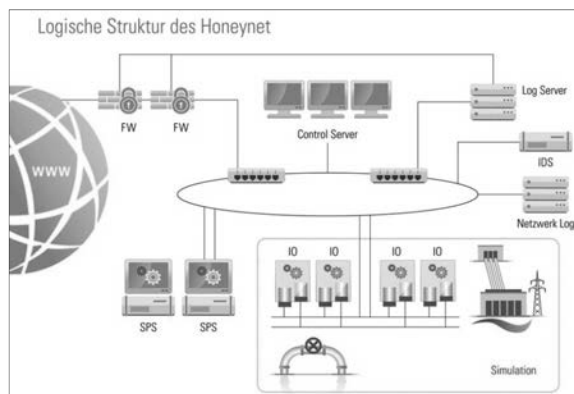


Fig 1: Structure of the virtual water works

A honeynet is a decoy network designed to attract attacks, allowing detailed analysis of the access and attack methods to be conducted. For this project, TÜV SÜD simulated the network of a water works in a small German town. To do so, we established a high-interaction honeynet, which combined real hard- and software with a virtual environment. The security measures corresponded to the current levels found in industry. To ensure a realistic system structure and authentic security precautions, TÜV SÜD's experts worked with representatives from the utilities sector during development and implementation.

The honeynet was deployed on the Internet for a total period of eight months. The first access attempt happened virtually at the same time to its "going live". Throughout the duration of the project, TÜV SÜD's experts recorded over 60,000 access attempts from over 150 countries. This proved that even relatively insignificant infrastructures are attracting attention and are being investigated on the Internet. The top 3 countries in terms of access were China, the USA and South Korea. However, the IP address is no reliable indicator of the actual origin of an attacker. In addition, some of the access attempts were made via hidden or spoofed IP addresses.

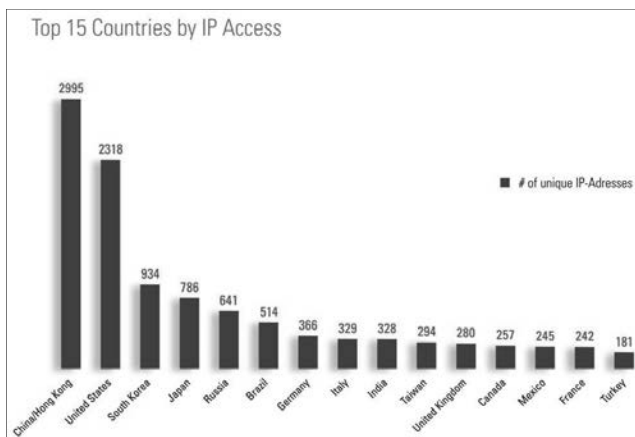


Fig 2: Access attempts by country as identified by the last corresponding IP address

Another interesting finding was that access was conducted not only via the standard protocols of office IT, but also via industrial protocols such as Modbus TCP or S7Comm. While the number of access attempts via industrial protocols was clearly smaller, they too

Analyse der Cyber-Sicherheit von Industrie 4.0-Technologien auf Basis des RAMI 4.0 und Identifikation von Lösungsbedarfen

Dr.-Ing. **Holger Flatt**, M.Sc. **Sebastian Schriegel**,
Prof. Dr.-Ing. **Jürgen Jasperneite**, Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo;
Dr.-Ing. **Henning Trsek**, rt-solutions.de, Köln;
Dipl.-Ing. **Heiko Adamczyk**, Knick Elektronische Messgeräte
GmbH Co. KG, Berlin

Kurzfassung

Die vollständige Digitalisierung der industriellen Produktion und die entstehende neue Qualität an Informationstransparenz sind die Grundlage für die Mehrwerte Effektivität, Qualität und Individualität. Diesem Mehrwertpotential stehen Gefahren der Cyber-Sicherheit entgegen: Jede Steigerung der Digitalisierung, Informationstransparenz und Standardisierung macht Produktionsanlagen angreifbarer. Das Referenz Architektur Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0) ermöglicht die Abbildung aller Instanzen einer Industrie 4.0-Anwendung über den gesamten Lebenszyklus und kann so bei der Analyse der Cyber-Sicherheit von Industrie 4.0-Technologien unterstützen. In diesem Beitrag wird am Beispiel einer Cloud-basierten Produktionsüberwachung das Vorgehensmodel einer Cyber-Sicherheitsanalyse anhand RAMI 4.0 und der Richtlinie VDI/VDE 2182 gezeigt. Das Vorgehen unterstützt bei der Identifikation von Schutzbedarfen spezifischer Applikationen und ermöglicht die Risiko-basierte Auswahl von Gegenmaßnahmen zur Absicherung.

Abstract

The exhaustive digitalization of the economy, and to be more specific, of industrial production systems results in a new quality of information transparency. This is the basis for added values in terms of effectiveness, quality, and individuality. However, these added values also result in an increased exposure to Cyber-Security threats, due to the increased digitalization, information transparency and standardization. The architecture reference model Industry 4.0 (RAMI 4.0) allows to represent all instances of an Industry 4.0 application along the life-cycle and can be used to analyze the Cyber-Security of Industry 4.0 applications. In this work, the procedural model for a Cyber-Security analysis based on RAMI 4.0 and the VDI/VDE guideline 2182 is exemplarily shown for the use case of a Cloud-based monitoring of the produc-

tion. The derived procedure supports the identification of protection demands and allows a risk-based selection of suitable countermeasures.

1. Einleitung

Industrie 4.0 beschreibt die digitale Vernetzung von Menschen, Produkten und Maschinen sowie die darauf aufbauende intelligente Datenverarbeitung, neue digitale Mehrwertdienste und Geschäftsprozesse.

Um eine Standardisierung zu ermöglichen, wurden in den letzten Jahren die Referenzarchitekturmodelle Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [1] und IIC IIRA entwickelt [2].

Die mit den Modellen entstehende neue Qualität an Informationstransparenz und digitaler Öffnung physikalischer Systeme [3] (z.B. Produktionsmaschinen) wirft vielfältige Fragen der Cyber-Sicherheit [4] wie z.B. Verhinderung von Prozessmanipulation oder -stilllegung durch Cyber-Angriffe [5], Know-how Schutz/ Produktschutz oder informationelle Selbstbestimmung auf.

Während das Thema IT-Sicherheit beim IIRA-Modell eine höhere Bedeutung einnimmt wird es im RAMI 4.0 nur peripher adressiert. Insbesondere ist bisher nicht vorgesehen, Sicherheitsbewertungen anhand des RAMI 4.0 durchzuführen.

In diesem Beitrag wird daher eine ausgewählte Industrie 4.0-Technologie aus der SmartFactoryOWL¹ am Beispiel Cloud-basierter Services auf Gefahrenpotentiale (konkrete Bedrohungen, Schwachstellen) analysiert. Die einzelnen Analyseergebnisse werden zunächst auf Basis des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (RAMI 4.0) strukturiert [1].

Die identifizierten und RAMI 4.0-strukturierten Angriffs- bzw. Risikoszenarien (Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadenshöhe) werden bestehenden Lösungsansätzen und Best-Practices [6] [7] [8], wie z.B. Security-by-Design, Cyber-Security-Konzepte und –Architekturen (Verschlüsselung, Kryptografie, Virens Scanner, Signaturscanner, IKT-Anomalieerkennung/ IDS [9], IT-Forensik [10]) sowie erforderlichen organisatorischen Maßnahmen (Process-Product-People) auf Basis der VDI/VDE Richtlinie 2182 [8] analysiert und bewertet. Nicht gedeckte Lösungsbedarfe werden identifiziert. Ziel ist zukünftig eine ganzheitliche Betrachtung der Cyber-Sicherheit von Industrie 4.0-Produktionsstandorten zu ermöglichen.

Der Beitrag gliedert sich wie folgt: Abschnitt 2 stellt zunächst das RAMI 4.0 und die damit verbundenen Aspekte in Bezug auf IT-Security vor. Im dritten Abschnitt erfolgt eine Vorstellung der SmartFactoryOWL und eines Cloud-basierten Services, welcher als Use Case im Rahmen des Beitrages untersucht wird. Auf Basis dieses Use Cases erfolgt im 4. Abschnitt

¹ www.smartfactory-owl.de

Schwachstellen, Angriffsszenarien und Schutzmaßnahmen bei industriellen Protokollen am Beispiel Profinet IO

**Peter Semmelbauer, Karl Leidl, Martin Aman,
Laurin Dörr, Andreas Grzempa,**
Institut ProtectIT an der TH Deggendorf, Deggendorf

Kurzfassung

Der Einsatz bewährter, Ethernet-basierter Technologien in der Automatisierungstechnik bringt viele Vorteile, aber birgt auch Gefahren. Angriffsszenarien auf das Office-Netzwerk eines Unternehmens, lassen sich nun auch für Angriffe auf die Automationsebene nutzen. Doch in industriellen Netzwerken spielt das Thema Security noch immer eine untergeordnete Rolle.

Dieses Paper gibt einen Überblick über existierende Schwachstellen in MAC-Layer-Protokollen, die z. B. auch Profinet IO nutzt. Es werden Man-in-the-Middle- und Denial-of-Service-Angriffe vorgeführt, die eine architekturbedingte Schwachstelle in Ethernet Switches nutzen. Dabei wird gezeigt, dass die MAC-Adressierung als alleiniges Authentifizierungskriterium erhebliche Sicherheitsrisiken birgt.

Abschließend werden Handlungsempfehlungen für Schutzmaßnahmen gegeben, um die präsentierten Angriffe zu erkennen und abwehren zu können.

Abstract

The introduction of well known, Ethernet-based technologies in automation control systems includes many advantages but also involves risks. This means that attack scenarios on "classic" IT networks of a company can also be utilized for attacks at the automation level. But in industrial networks IT security still is considered as low priority topic.

This paper provides an overview of existing vulnerabilities in MAC layer protocols that are also used by e.g., Profinet IO. A Man-in-the-Middle and a Denial-of-Service attack based on an architectural vulnerability in Ethernet switches are shown. It is demonstrated that MAC addressing as the sole criteria for authentication possesses significant security risks.

Finally, this paper describes possible protection measures to prevent these attacks.

1. Einleitung

Die Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb von Produktionsanlagen haben sich in den letzten Jahren stark verändert. Industrielle Steuerungen waren zum größten Teil Systeme,

die in geschlossenen Umgebungen ohne Verbindung nach außen operierten. Der Fokus lag bei der funktionalen Sicherheit (engl. Safety). Safety bedeutet, dass zu jedem Zeitpunkt die Systemfunktionen unter allen Umständen gemäß Vorgabe funktionieren. Zufällige Fehler im laufenden Betrieb müssen erkannt und beherrschbar gemacht werden, indem der Übergang in einen als sicher definierten Zustand gewährleistet wird. Vorrangiges Ziel ist die Unversehrtheit von Mensch und Umwelt [1].

Doch durch die Verknüpfung der vormals von der Umgebung abgeschotteten Systeme mit Informationstechnologie (IT), müssen auch Schutzaspekte dieses Bereichs berücksichtigt werden, um die Sicherheit weiterhin gewährleisten zu können.

Aufgabe der IT ist die Verarbeitung, Lagerung und Übertragung von Informationen. Dabei stellen Informationen schützenswerte Güter dar. Aus diesem Grund müssen IT-Systeme sowohl vor unbeabsichtigten, als auch vor beabsichtigten Fehlern oder Angriffen geschützt werden.

Der Schutz vor vorsätzlichen Angriffen lässt sich unter dem Begriff IT-Sicherheit (engl. IT-Security) zusammenfassen. Zum Erreichen bzw. Einhalten der IT-Sicherheit werden Schutzziele definiert. Grundlegende Ziele sind Vertraulichkeit (Daten können nur von autorisierten Benutzern gelesen bzw. modifiziert werden), Integrität (Daten können nicht unbemerkt durch Unberechtigte manipuliert werden) und Verfügbarkeit (Daten können zum definierten Zeitpunkt genutzt werden).

Bei den klassischen IT-Systemen steht Vertraulichkeit an oberster Stelle. Bei industriellen Systemen hingegen haben Verfügbarkeit und Integrität die höchste Priorität. Abhängig vom Anwendungsfall können sich die Prioritäten jedoch auch verschieben oder andere (speziellere) Ziele eine Rolle spielen.

Zur Durchsetzung der Schutzziele sind verschiedene Maßnahmen notwendig. Ein wichtiges Mittel sind Standardisierungen, die geeignete Mechanismen zum Schutz von IT-Systemen definieren.

In der klassischen IT bietet die ISO/IEC 27001 einen systematischen Ansatz, um potentielle Risiken zu minimieren und Informationssicherheit zu gewährleisten.

Mit dem Einzug der IT in die industrielle Automatisierung gewann diese Norm auch dort an Bedeutung. Eine abgeleitete Maßnahme auf technischer Ebene ist die strikte logische und physikalische Trennung des Produktions- vom Office-Netzwerk [2].

Doch die kontinuierlich zunehmende Vernetzung und die Einbettung industrieller Steuerungsanlagen in das Internet der Dinge, erfordern neue und effizientere Lösungen.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wurde von der IEC die Norm 62443 spezifiziert. Die darin beschriebenen Maßnahmen sollen u. a. die Informationssicherheit in industri-

Industrie 4.0 Dienstarchitektur

Semantische Interoperabilität in Industrie 4.0 Dienstesystemen

Industrie 4.0 Service Architecture

Semantic Interoperability in Industrie 4.0 Service Systems

Dr. Dirk Schulz, Dr.-Ing. Thomas Goldschmidt,
ABB Corporate Research Deutschland, Ladenburg

Kurzfassung

Die bei Industrie 4.0 angestrebte *Selbstorganisation der Produktion* wird im Wesentlichen ermöglicht durch ein im Kern normiertes *Dienstesystem*. Dieses benötigen dabei einen Grad von Interoperabilität zwischen Dienstesystemteilnehmern, der tatsächlich *Plug and Produce* ermöglicht. Die Haupterwartungen an ein solches Dienstesystem liegen daher beim einfachen Auffinden (Erforschungsmechanismen) und Verstehen von Daten (maschinenlesbare Semantik). Die Dienstarchitektur dient sowohl als Basis für die Implementierung der sogenannten *Verwaltungsschale* als auch der Industrie-4.0-konformen Kommunikation. Die zugrundeliegende Dienstarchitektur beschreibt dabei die statische Grundstruktur der Daten (das Industrie 4.0 Informations-Meta-Modell), die interaktiven Zugriffsschnittstellen zur Erforschung und Änderung der Daten (die Industrie 4.0 Informations-Dienste) sowie die Adressierung von Diensten in einem Dienstesystem. Auf Basis dieser Architektur können höherwertige Dienste zur Organisation der Produktion und Handhabung der Produkte (die Industrie 4.0 Anwendungsdienste), aber auch zur Selbstverwaltung der Ressourcen/Assets des Automatisierungssystems (Industrie 4.0 Plattformdienste) *technologieunabhängig und interoperabel* erstellt werden.

Abstract

A key-enabler for the *self-organization of production systems* proclaimed by the Industrie 4.0 is a standardized core *service system*. This requires a certain degree of interoperability between participants of the service system that allows to perform *Plug and Produce* on top of it. The main expectations regarding such a service system are therefore to allow for easy discovery as well as machine readable semantics of data. The service architecture serves as the basis for implementing the so-called *Asset Administration Shell* as well as Industrie 4.0 compliant communication. The underlying service architecture needs to describe the static

base structure of data (the Industrie 4.0 Information Meta-Model), the interactive access interfaces for browsing and modifying data (the Industrie 4.0 Information Services) as well as addressing of services within their service system. Based on this architecture high-level services for organizing the actual production and handling of products (the Industrie 4.0 Application Services), as well as the self-organization of resources and assets in the automation system (the Industrie 4.0 Platform Services) can be created in a *technology-independent and interoperable way*.

1. Introduction

Many key advantages of future Industrie 4.0 systems such as self-organization of production systems can only be achieved by achieving a certain degree of interoperability between the involved service system participants. Therefore, basic functionality such as discovery of services as well as semantic understandability of data need to rely on a common definition of how service shall interact in an Industrie 4.0 system. Additionally, production related and application specific services require a common basis in order to be interoperable.

The GMA 7.21 committee is currently working on defining this service architecture for Industrie 4.0. This paper presents an intermediate state of the discussions of a sub-group within the GMA 7.21 committee and while not being final provides a sound basis for discussion and future efforts regarding standardization.

In this paper we describe the relation of the service architecture to already publicly announced artifacts of the Industrie 4.0 such as the Reference Architecture Model Industrie 4.0 [1] as well as the Asset Administration Shell [2]. Additionally, we define a service architecture hierarchy which distinguishes between atomic services for data access (information services) and higher-level services such as platform (for the self-configuration of the Industrie 4.0 systems themselves) as well as application services (functional services). In order to build up a common understanding of the terms and artifacts defined for the service architecture we provide a more formal overview on the same in the form of a domain model. Finally, we also describe the main building blocks of the service architecture, the Information Services, the Industrie 4.0 Information Meta-Model and an approach for addressing and identifying services and data.

The remainder of this paper is structured as follows. Section 2 describes the relation of the service architecture to the AAS and Section 3 provides an overview on the service hierarchy and maps current terms into a domain model. The core Information Services are defined in Section 4. Finally, Section 5 concludes and outlines planned future work.

Gelbe Seiten für Industrie 4.0

Aufbrechen statischer Produktionsstrukturen mittels eines übergeordneten Verzeichnisdienstes

Dipl.-Ing. **F. Kretschmer**, Dr.-Ing. **A. Lechler**,
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. **A. Verl**,
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart, Stuttgart

Kurzfassung

Steigende Komplexität von Fertigungsprozessen und wandlungsfähige Produktionsnetzwerke erfordern eine bessere Vernetzung und Semantiken zum Austausch produktionsrelevanter Daten und Parameter über Anlagen, Montagelinien oder sogar Standorte hinweg. Insbesondere die steigende Modularisierung und Dezentralisierung im Kontext von Industrie 4.0 sowie die engere Verknüpfung von Informationstechnologie (IT) mit klassischen steuerungstechnischen Aufgaben erfordert neue Konzepte und Schnittstellen, welche zur Laufzeit nutzbar sind und erweitert werden können. Schwerpunkte und Herausforderungen liegen hierbei auf der unterlagerten Kommunikation sowie einer Abbildung von Funktionen und Fähigkeiten in Informationsmodellen. Basierend auf dem Kommunikationsstandard OPC Unified Architecture stellen die Gelben Seiten für Industrie 4.0 einen Verzeichnisdienst zur Verfügung, um das klassische Produktionsparadigma aus statischen Schnittstellen und Verbindungen aufzubrechen und Daten in einem übergeordneten Verzeichnisdienst dynamisch zur Verfügung zu stellen. Hierbei liegt der Fokus auf der Datenbereitstellung der Produktionsfunktionen einer Anlage für weitere Anlagen innerhalb eines Netzwerks.

Abstract

The rising complexity of manufacturing processes and versatile production networks require improved networking and semantics to exchange production relevant data and parameters over machines, assembly lines or even production sites. Especially the increasing modularization and decentralization in the context of industry 4.0, as well as the linking of information technology (IT) with common machine control engineering tasks require new concepts and interfaces, which are useable and can be extended during runtime. The emphasis and challenges are at the underlying communication as well as the transformation of functions and functionality in information models. Based on the communication standard OPC Unified Ar-

chitecture this paper presents the approach of Yellow Pages for industry 4.0 as a directory service to break the common production paradigm consisting of static interfaces and connections. The data is dynamically provided in a superior directory service as production functionality of one machine and can be used of each machine within a network.

1. Einleitung

Im Zuge der Hightech-Strategie Industrie 4.0 hat sich ein Trend zur weitreichenden Vernetzung, Dezentralisierung und Modularisierung von industriellen Anwendungen und Softwarelösungen aus der Informationstechnologie (IT) entwickelt. Insbesondere industrielle Anwendungen sind jedoch geprägt von statischen und proprietären Strukturen, welche eine nachträgliche Vernetzung nur in Verbindung mit hohen Aufwänden und möglichen Ausfallzeiten zur Nachrüstung zulassen. Dieser Beitrag stellt im Folgenden die Lösung „Gelbe Seiten für Industrie 4.0“ des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart vor, welche sich aus Defiziten bzgl. der Beherrschbarkeit von Industrie 4.0 Applikationen entwickelt hat. In den nachfolgenden Absätzen werden der Stand der Technik hinsichtlich des Kommunikationsprotokolls OPC UA, die zugrundeliegenden öffentlichen Forschungsprojekte *pICASSO* und *ARENA2036: ForschFab* sowie die Gelbe Seiten für Industrie 4.0 beschrieben.

2. Stand der Technik

Das kontinuierliche Wachstum an IT-Systemen und Softwareentwicklungen in der Steuerungstechnik ermöglicht in der Zwischenzeit die homogene Nutzung von Netzwerktechnologie für die Kommunikation im industriellen Umfeld. Im Folgenden wird der Stand der Technik hinsichtlich eines Machine-2-Machine Protokolls basierend auf Internet Protocol-Kommunikation (IP) erläutert.

OPC UA

Die OPC Unified Architecture (OPC UA) ist ein industrielles Kommunikationsprotokoll für den Datenaustausch und die Verbindung von Produktionsmaschinen und –anlagen, wie beispielsweise Bedienelementen und Steuerungen. OPC UA folgt dem Client-Server Modell, wobei ein OPC UA Server Daten bereitstellt, welche durch einen OPC UA Client konsumiert werden können. Die Architektur wird in der der plattformunabhängigen Normenreihe IEC 62541 definiert. Der Kommunikationsstack von OPC UA ermöglicht eine plattformunabhängige, skalierbare, abgesicherte und performante Kommunikation innerhalb IP-basierter Netzwerke und wird von der OPC Foundation [1] als Ansi-C, .NET und Java Implementie-

Sicherheitszertifizierung für Daten- und Software-Services in Industrie 4.0

Aspekte der Zertifizierung im Industrial Data Space

Prof. Dr. J. Jürjens,

Fraunhofer Institut für Software- und Systemtechnik ISST, Dortmund,

Fraunhofer Innovationszentrum für Logistik und IT FILIT

Universität Koblenz-Landau;

Dipl.-Inf. N. Menz,

Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, Berlin

Kurzfassung

In der Industrie bewirkt die voranschreitende Digitalisierung eine Neugestaltung der Schnittstellen zwischen Kunden, Herstellern und Zulieferern. Kerncharakteristika dieser Industrie 4.0 sind eine immer engere Vernetzung von Menschen und Maschinen und eine wachsende Autonomisierung von Prozessen und Systemen. Entscheidungsprozesse werden mit durchgängiger Informationstransparenz und darauf aufbauenden Assistenzsystemen unterstützt. Daten stellen für die Industrie 4.0 nicht mehr nur Hilfsmittel, sondern zentrale Güter und z.T. eigenständige Produkte dar, die nach ökonomischen Kriterien wie Herstellkosten, Nutzwert oder Marktwert erhebliche Werte repräsentieren.

Die Sicherheit dieser Werte durchgängig zu gewährleisten und gleichzeitig den effizienten Datenaustausch innerhalb der Industrie 4.0 zu organisieren ist eine große Herausforderung, der klassische IT-Infrastrukturen nicht gerecht werden. Von Akteuren aus Wirtschaft, Politik und Forschung in Deutschland wurde daher Ende 2014 die Initiative zum *Industrial Data Space* ins Leben gerufen - einem virtuellen Datenraum, der den sicheren Austausch und die einfache Verknüpfung von Daten in Geschäftsökosystemen auf Basis von Standards und mit Hilfe gemeinschaftlicher Governance-Modelle unterstützt, die digitale Souveränität der Dateneigentümer wahrt sowie die Basis für smarte Services und innovative Geschäftsprozesse bildet.

Wichtiger Unterschied zu vorhandenen Angeboten im Bereich Cloud-Computing (wie beispielsweise Data Lakes) ist dabei, dass der Dateneigentümer die Kontrolle über die eigenen Daten behält, und fallweise entscheiden kann, welches Unternehmen und zu welchen Zwecken die Daten verwenden kann.

In einem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt der Fraunhofer-Gesellschaft wird derzeit ein Referenzarchitekturmodell für den Industrial Data Space entwickelt, das zentral auch ein dediziertes, nach dem aktuellen Stand der IT-Sicherheitsforschung erstelltes Sicherheitskonzept umfasst.

Es stellt sich dabei jedoch die Frage, wie gewährleistet werden kann, dass bei der späteren Praxisnutzung des Industrial Data Space die im Sicherheitskonzept spezifizierten Mechanismen tatsächlich in jedem Einzelfall greifen. Dies ist nur durch eine *Sicherheitszertifizierung* erreichbar, also eine formalisierte und regelmäßige Überprüfung aller sicherheitsrelevanten Eigenschaften der im Industrial Data Space operierenden Hard- und Softwarekomponenten, aber auch von Eigenschaften der teilnehmenden Organisationen. Um eine für alle Stakeholder befriedigende Vertrauenswürdigkeit des Industrial Data Space zu erzielen und aufrechtzuerhalten, muss diese Evaluation nach objektiven, vergleichbaren Kriterien erfolgen, durch eine unabhängige Stelle ausgeführt und einem regulären Qualitätsmanagement unterworfen werden, welches eine ständige Weiterentwicklung der Kriterien und Prozesse steuert.

Die vorliegende Veröffentlichung beleuchtet querschnittsartig zwei wesentliche Teilaspekte der Sicherheitszertifizierung im Kontext des Industrial Data Space:

- a) Das Industrial-Data-Space-Zertifizierungsschema, das in Anlehnung an die international standardisierten *Common Criteria for Information Technology Security Evaluation* (kurz CC) entworfen wird.
- b) Ansätze zur werkzeugunterstützten Softwarezertifizierung.

1. CC-Zertifizierung und Industrial-Data-Space-Zertifizierungsschema

Der Wunsch nach Vertrauen in IT-Sicherheitsprodukte stellt den Kunden generell vor eine gewaltige Herausforderung. Es ist oft schwierig zu erfassen, welche Sicherheitsfunktionalität ein Produkt bietet und zu beurteilen, inwieweit sich diese mit dem tatsächlichen Bedarf des Kunden deckt. Noch schwieriger, ja ohne eine unabhängige Expertenbegutachtung nahezu unmöglich ist es zu beurteilen, inwieweit die vom Hersteller als vorhanden spezifizierten Sicherheitsmechanismen tatsächlich korrekt implementiert sind und verlässlich funktionieren, oder ob es für Angreifer nicht doch Umgehungsmöglichkeiten gibt.

Mit den Common Criteria (ISO/IEC 15408, Common Criteria for Information Technology Security Evaluation, kurz CC) existiert ein international anerkannter Standard zur Bewertung und Prüfung von Sicherheitsfunktionalitäten von IT-Produkten nach gestaffelten Vertrauenswürdigkeitsstufen. Die Common Criteria bieten vereinheitlichte Mittel zur Spezifikation von Sicherheitsanforderungen in Form von *Sicherheitsvorgaben* (*Security*

Unterstützung bei der Planung und Auslegung einer Gebäudeautomation

Dipl.-Ing. **M. Günther**, Dipl.-Ing. **A. Scholz**,
M. of Systems Eng. **P. Puntel Schmidt**,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **A. Fay**, Institut für Automatisierungstechnik,
HSU/Universität der Bundeswehr Hamburg;
Dipl.-Ing. **P. Diekhake**, Dr.-Ing. **U. Becker**,
Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik
Technische Universität Braunschweig;
Dipl.-Ing. **D. Diaz**, iQST GmbH, Braunschweig

Kurzfassung

Die Planung und Auslegung eines Gebäudeautomationssystems ist ein aufwändiger und fehlerträchtiger Vorgang, welcher durch die Vielzahl und Vielfalt von automatisierten Funktionen und deren Verbindungen untereinander geprägt ist. Daher werden Planungsfehler oft erst bei Inbetriebnahme des Gebäudes erkennbar. Um eine frühzeitige Funktionsanalyse und Fehlererkennung zu gewährleisten und die Planung zu vereinfachen, wurde ein Ansatz für eine effiziente Erstellung eines funktionalen Modells für die Gebäudeautomation entwickelt, mit welchem ein Gebäudeautomationssystem in der Entwurfsphase simuliert und in der Phase der Inbetriebnahme ausgelegt und konfiguriert werden kann.

1. Motivation

Die Anforderungen an die Bauplanung eines Gebäudes gehen heutzutage weit über die Betrachtung rein architektonischer Gesichtspunkte hinaus. Vielmehr hält auch in diesem Bereich das funktionale Engineering mehr und mehr in Form von teils komplexer Gebäudeautomation (GA) Einzug. Die Herausforderungen in der Planung eines GA-Systems bestehen darin, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Raumautomations-Funktionen auf das betrachtete Gebäude und untereinander abgestimmt und für das Gesamtsystem ausgelegt werden müssen. Zusätzlich wird diese Planung dadurch erschwert, dass sich übergeordnete Funktionen nicht mehr in die Gewerke der Technischen Gebäudeausrüstung trennen lassen, sondern bei der Planung eine ganzheitliche Betrachtungsweise erfordern. In der Praxis findet jedoch derzeit noch keine gewerkeübergreifende Planung statt, sondern eine Planung von jedem Gewerk (z.B. Elektrik oder Heizung/Klimatechnik) einzeln. Als Konsequenz können Planungsfehler entstehen, wie beispielsweise fehlende Verbindungen zwischen Funktionen, welche unterschiedliche Gewerke betreffen, oder Funktionen werden mehrfach ausgelegt, so

dass teure Umplanungen vorgenommen werden müssen. Bereits in [1] wurde gezeigt, dass mit Hilfe eines wissensbasierten Engineering-Ansatzes die Planung der Gebäudeautomation verbessert werden kann. Dabei wurde ein regelbasierter Ansatz gewählt, welcher die Erstellung und Pflege einer umfangreichen Wissensbasis erfordert. In Bezug auf die praktische Umsetzung benötigt dieser Ansatz jedoch Fachwissen auf dem Gebiet des wissensbasierten Engineering, welches von einem Fachplaner der GA nicht unbedingt erwartet werden kann.

2. Anforderungen an die Methode

Um den Herausforderungen bei der Planung und Auslegung eines GA-Systems zu begegnen, braucht es eine Methode, welche als Ziel ein optimal funktionierendes, günstiges und energieeffizientes GA-System hat. Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen und teils komplexen Informationen und Zusammenhängen (Funktionen, Verbindungen, Parameter usw.) ist es zweckmäßig, das zu realisierende GA-System während der Planung in einem Gewerke-gemeinsamen Modell abzubilden. Dieses Modell kann als Ausgangsbasis für Simulationen dienen, um das System, ähnlich wie bei einer „virtuellen Inbetriebnahme“, bereits vorab auf vielfältige Szenarien zu testen und die Reaktion des Systems auszuwerten. Um die Modellgenerierung für den Anlagenbau zu vereinfachen, wurde in [2] bereits ein Ansatz entwickelt, welcher den Aufwand für die Modellerstellung durch automatisch generierte Simulationsmodelle reduzieren konnte. Dieser Ansatz kann grundsätzlich auch auf die GA übertragen werden.

Dabei soll im Besonderen auf die Vereinfachung des Planungsprozesses und die konsistente Nutzung der Informationen geachtet werden, damit es möglich ist, dass ein Fachplaner der GA die vollständige Auslegung des GA-Systems übernehmen kann. Bei der Erstellung wurde aus Gründen der Nutzerfreundlichkeit deshalb auf einen regelbasierten Ansatz verzichtet.

Als Abholpunkt zur Planung des GA-Systems wurden zum einen das Vorhandensein von grundlegenden Infrastrukturdaten und eine Aufstellung der zu planenden Funktionen angenommen. Der Bauherr eines Gebäudes oder einer Modernisierung eines Bestandsgebäudes hat als Infrastrukturdaten meist einen Grundriss zur Verfügung, und er weiß, welche Funktionalitäten in den einzelnen Räumen vorhanden sein sollen. Gemeinsam mit dem Fachplaner, welcher die Funktionalitäten anhand von GA-Funktionen sicherstellen kann, soll mit der entwickelten Methode ein Datenmodell des GA-Systems erstellt und dessen Verhalten simuliert werden. Diese Methode wird im Folgenden näher vorgestellt.

Absicherung der Rekonfigurationen von Produktionssystemen während des Betriebs

Warum Assistenzsysteme beim Testen verteilter IT-Systeme an Relevanz gewinnen

Validating reconfigurations of production systems within the operating phase

Why assistance systems gain relevance for testing of distributed systems

A. Zeller, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. **M. Weyrich**,
Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme,
Universität Stuttgart

Kurzfassung

Industrie 4.0 verursacht aufgrund rekonfigurierbarer Produktionssysteme einen disruptiven Wandel des Qualitätsbegriffs. Die scharfe Trennung zwischen Test (in der Engineering- und Inbetriebnahmephase) und Qualitätssicherung (in der Betriebsphase) löst sich auf. Verursacht durch Rekonfigurationen in der Betriebsphase müssen betroffene Produktionssysteme erneut abgesichert werden. Insbesondere während des Betriebs kommt einem effizienten Test eine herausragende Rolle zu, da durch minimalen Testaufwand der Betrieb möglichst wenig beeinträchtigt und gefährdet werden soll. In diesem Beitrag wird ein Verfahren vorgestellt, das, im Gegensatz zu konventionellen Verfahren, die Absicherung in der Betriebsphase betrachtet. Dabei werden explizit zukünftige Rahmenbedingungen der Produktion, wie Rekonfigurierbarkeit und verteilte Netzwerkarchitekturen, berücksichtigt.

Abstract

“Industrie 4.0” causes a disruptive change of the quality management. The sharp distinction between test (in the engineering and commissioning phase) and the quality assurance (in the operation phase) dissolves. Caused by reconfigurations within the operation phase affected systems have to be assured once again. Especially within the operation phase the case selection matters because the operation shouldn't be affected by unnecessary test runs. For this reason the concept presented regards, in contrast to conventional concepts, the test

case selection within the operating phase. Thereby future conditions of production like reconfigurability and distributed network architectures are considered.

1. Motivation und Zielstellung

Aufgrund sehr hoher Anforderungen an Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit stellt die Absicherung von funktionalen Anforderungen einen unverzichtbaren Prozess nach Änderungen an Produktionsanlagen dar. Diese Änderungen können Rekonfigurationen, SW-Updates oder der Austausch von Komponenten sein. Da die Absicherung der Anlage meist mit hohem personellem und zeitlichem Aufwand verbunden ist, gilt bei vielen Anlagenbetreibern der Grundsatz „never change a running system“.

Ermöglicht durch den flächendeckenden Einzug von Informationstechnik und getrieben durch die Globalisierung und sich verändernden Kundenanforderungen geht der Trend in Richtung Flexibilisierung der Produktion. Dabei gibt es schon zahlreiche Konzepte und Lösungsansätze, wie diese Flexibilität informationstechnisch durch Service-orientierte Architekturen gewährleistet werden kann. Die daraus resultierenden Herausforderungen zur Absicherung von rekonfigurierbaren Anlagen werden jedoch kaum betrachtet. Im Rahmen dieser Veröffentlichung werden die Auswirkungen der Änderungen der Produktions-IT auf die Absicherung analysiert. Aufbauend auf diese neuen Anforderungen wird ein Konzept entwickelt, wie Testmanager beim Absicherungsprozess der Produktionssysteme unterstützt werden können.

2. Produktions-IT im Wandel

Rekonfigurierbarkeit, Ad-Hoc-Vernetzung, Wiederverwendbarkeit, Updates im Feld und durchgängige Kommunikation sind Attribute, welchen eine „Smart Factory“ genügen soll [1]. Dabei nimmt das IT-System, welches die Produktion koordiniert, eine zentrale Rolle ein und soll in diesem Aufsatz betrachtet werden. Damit Produktionsanlagen diese Anforderungen erfüllen, ist ein grundlegender Wandel der IT-Systemstrukturen notwendig. Verteilte Steuerungsarchitekturen weisen dabei aufgrund der hohen Flexibilität zahlreiche Vorteile auf [2]. Zur Umsetzung dieser flexiblen und verteilten Produktions-IT werden Paradigmen wie Service-orientierte Architekturen (SOA) oder Software-Agenten genutzt [3] [4]. Typischerweise haben diese Formen verteilter IT-Systeme zentrale Elemente, um den Kommunikationsoverhead zu minimieren. Wie in Bild 1 dargestellt, kann es sich dabei um eine Verwaltung der Teilsysteme handeln, welche analog zu einem Telefonbuch, Informationen über die im Netzwerk vorhandenen Teilsysteme bereitstellt.

Co-Simulation mittels OPC UA

Dipl.-Ing. **S. Hensel**, Dipl.-Ing. **M. Graube**, Prof. Dr.-Ing. habil. **L. Urbas**,
Technische Universität Dresden, Dresden;
M.Sc. **T. Heinzerling**, Dr.-Ing. **M. Oppelt**, Siemens AG, Karlsruhe

Kurzfassung

Engineering-Projekte sind getrieben durch Kosten- und Zeitdruck. Durch die immer weiter steigende Komplexität der Projekte entsteht die Notwendigkeit, Spezifikations- und Implementierungsfehler so frühzeitig, wie möglich zu erkennen und zu beheben. Eine etablierte Möglichkeit, um diesen Forderungen gerecht zu werden, ist die Anwendung von Simulationen. Dieser Beitrag präsentiert ein Konzept für die Kopplung von bereits bestehenden (domänenspezifischen) Simulationsmodellen durch die Integration von Einzelmodellen in eine Co-Simulationsumgebung zur Ausführung einer Gesamtsimulation. Hierfür wird der Beitrag von OPC UA als generische Middleware und intensiv diskutierter Kandidat für Industrie-4.0-Szenarien analysiert. Durch eine prototypische Umsetzung unter Nutzung von open62541 und der Kopplung von unterschiedlichen SIMIT- sowie FMI-Instanzen wird zum einen die Funktionsfähigkeit des Ansatzes gezeigt. Zum anderen zeigt die Implementierung die leichte Erweiterbarkeit des Konzeptes in Hinblick auf die Integration von neuen Simulatoren.

1. Motivation

Zunehmende Komplexität bei steigendem Zeit- und Kostendruck in Engineering-Projekten erfordert es, Konzeptions-, Spezifikations- und Implementierungsfehler möglichst früh aufzudecken. Ein etabliertes Mittel sind Simulationsexperimente mit dafür geeigneten Modellen der digitalen Anlage, die sich während der Planung als Zwilling der realen Anlage konkretisiert. Diese Modelle sind für einzelne Prozesse, Geräte und Komponenten bereits in der Engineering-Phase der Anlage verfügbar. Weiterhin besteht die Möglichkeit der automatischen Generierung eines solchen Modells aus den Engineering-Daten, wie in [1] beschrieben, welches dann wiederum für die virtuelle Inbetriebnahme weiterverwendet werden kann [2]. In stark vernetzten Wertschöpfungsnetzen, beispielsweise dem modularen Anlagenbau in der Fertigungstechnik und Teilen der Prozessindustrie (Öl und Gas, Nahrungsmittel, Pharma), in denen die Projekte vielfach einem Ansatz des Systems-of-Systems-Engineering folgen, kommt der Simulationsansatz heute sehr schnell an Grenzen, wenn eine Gesamtsystemsimulation zur dynamischen Funktionsabsicherung erforderlich ist. Idealerweise besäßen die einzelnen Teilanlagen, Module oder Equipments bereits ihre eigenen Simulationsmodelle,

die einfach in eine Gesamtsystemsimulation integriert werden können. Methodisch bedeutet dies, dass der Ansatz des Systems-of-Systems-Engineering auch und gerade für die Erstellung, Kommunikation und Pflege von Simulationsmodellen implementiert werden muss. Technisch lässt sich die Gesamtsystemsimulation entweder durch eine zentrale Simulation mit einem vorhergehenden Austausch von Modellen in einem einheitlichen Beschreibungsformat oder über eine dezentrale Co-Simulation mit Verteilung der Simulationsressourcen realisieren. Für beide Ansätze fehlen jedoch Standards, um die Vorteile einer Gesamtsimulation einfach nutzen zu können.

Eine Co-Simulation verteilt die Simulation auf unterschiedliche Geräte [3]. Jedes Gerät führt dabei einen Teil der Simulation aus und synchronisiert die Ergebnisse mit den anderen. Dies erlaubt einen sehr flexiblen und skalierbaren Simulationsansatz, der ebenso unterschiedliche Arten von Simulationskonzepten in den jeweiligen Geräten unterstützt.

Bestehende Co-Simulationsstandards sind jeweils limitiert auf spezifische Industriezweige oder spezifische Tools. Weitere wichtige Anforderungen, wie die Stabilität und die damit einhergehende Kompatibilität zu vorangegangenen Versionen werden nicht durchgehend umgesetzt (FMI) oder die Handhabung, beziehungsweise der Konfigurationsaufwand sind zu komplex (HLA) [4].

2. Verwandte Arbeiten

2.1 OPC UA

OPC UA ist einer der populärsten Kandidaten für die zukünftige Integration von Informationsträgern in der Prozessindustrie. Es stellt ein leistungsfähiges semantisches Informationsmodell bereit und bietet Objektorientiertheit, Erweiterbarkeit und einen nahtlosen Zugriff auf Instanzdaten und Metadaten durch mächtige Dienste. Dies resultiert in einer hohen Eignung für flexible Produktionsumgebungen. [5]

2.2. FMI

Das Functional Mock-Up Interface (FMI) ist ein Tool-unabhängiger Standard, der Modellaustausch und Co-Simulation von dynamischen Modellen erlaubt. Hierfür wird eine Kombination von XML-Daten und kompilierten C-Code verwendet. Version 1.0 des Standards wurde 2010 in [6] und [7] spezifiziert.

2.3 SIMIT

SIMIT ist ein Simulationswerkzeug, das als vollständiger Anlagensimulator oder als Ein-/Ausgangssimulator für Testsignale für Steuerungen dient. Es fokussiert auf den Test und die

Sichere und zuverlässige Integration von Multi-Agenten-Systemen und Cyber-Physischen Systemen für eine intelligente Produktionssteuerung auf Basis von OPC UA

Secure and reliable integration of multi-agent systems and cyber physical systems for intelligent manufacturing automation based on OPC UA

Dipl.-Ing. **M. Hoffmann**, M.B.A., Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. **C. Büscher**, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Inform. **T. Meisen**, Prof. Dr. rer. nat. **S. Jeschke**, Lehrstuhl für Informationsmanagement im Maschinenbau der RWTH Aachen University, Aachen

Kurzfassung

Der Beitrag beschreibt die informationstechnische Vernetzung einer modellhaften Produktion auf Basis von OPC Unified Architecture sowie unter Verwendung intelligenter Produktionsentitäten (Ressourcen, Produkte) in Form eines Multi-Agenten-Systems. Durch Verknüpfung des nach IEC 62541 genormten OPC UA mit Methoden der verteilten, künstlichen Intelligenz gelingt die Etablierung moderner, flexibler und interoperabler Ansätze der Produktionssteuerung bei gleichzeitiger Gewährleistung anerkannter Sicherheitsstandards. Auf Basis der vorgestellten Modellrepräsentation intelligenter Agenten im Produktionsumfeld ist es möglich, CPS mit Produkten und Produktionssystemen innerhalb gewachsener Kommunikations- und Informationsinfrastrukturen in der industriellen Fertigung zu integrieren, bei gleichzeitiger Nutzung und Anwendung sicherer und zuverlässiger Kommunikationstechnologien.

1. Einleitung

Die Komplexität automatisierungstechnischer Systeme in der industriellen Fertigung hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen. Die Optimierung und Flexibilisierung dieser hochkomplexen Systeme ist durch die Nutzung zentralistischer Ansätze (Automatisierungspyramide) zunehmend nicht mehr zu leisten und erfordert daher einen Paradigmenwechsel hin zu dezentraler, autonomer Steuerung und Optimierung. Eine Schlüsseltechnologie für die kontinuierliche Verbesserung komplexer Prozesse in der industriellen Fertigung liegt in einer Vernetzung von automatisierungstechnischen Systemen als Cyber Physical Systems (CPS), die eine Schnittstelle zwischen der physischen Welt und ihrem digitalen Zwilling bilden.

Auf Basis von CPS – bzw. Cyber-Physischen Produktionssystemen (CPPS) – wird es möglich, technische Systeme in Form von selbständig und intelligent agierenden Entitäten zu vernetzen, die autonom und basierend auf durchgängiger Kommunikation dazu in der Lage sind, Entscheidungen bezüglich der Optimierung laufender Produktionsvorgänge im Verbund zu treffen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen intelligente Systeme zunächst dazu befähigt werden, Informationen über Fertigungsprozesse zu sammeln, zu integrieren und schließlich einer umfassenden Analyse zugänglich zu machen. Diese Zusammenführung und integrierte Betrachtung von Daten und interpretierbaren Informationen aus verschiedenen Quellen der zugrundeliegenden Systeme ermöglicht es, ein tieferes Verständnis ablaufender Vorgänge in der Produktion zu erlangen und als konsolidiertes Prozesswissen nutzen zu können.

Die erfolgreiche Konsolidierung von Prozesswissen erfordert zunächst einen durchgängigen, semantischen Überbau, um eine integrierte Betrachtung aller Informationen innerhalb eines einheitlichen Kontextes zu ermöglichen. Darüber hinaus sind die Kommunikationsvorgänge auf dem Shop Floor so auszulegen, dass eine semantische Beschreibbarkeit sämtlicher Produktionsdaten gewährleistet wird. Dies betrifft sowohl die Kommunikation zwischen intelligenten, eingebetteten Systemen im Feld wie auch Schnittstellen zwischen Shop Floor und höheren Systemen der Produktionsplanung und -steuerung. So kann das gesammelte Prozesswissen auf verschiedenen Aggregationsstufen und innerhalb einzelner, intelligenter und vernetzter Entitäten genutzt werden. Um diese Ziele zu erreichen, sind durchgehende Kommunikations- und Informationsinfrastrukturen in der Produktion erforderlich.

Hieraus ergeben sich zwei zentrale Anforderungen an intelligente Systeme in der Fertigung:

1. Ausgeprägte Interoperabilität innerhalb der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur (IKT) eines Unternehmens sowohl zwischen einzelnen intelligenten Entitäten wie auch zwischen den Systemen der Fertigungssteuerung und -planung.
2. Hierbei Einhaltung semantischer Integrität (einheitliche Beschreibung von Produkt- und Prozessinformationen) zur Sammlung und Verarbeitung von Daten, um Lernmechanismen / die Nutzung von Prozesswissen durch intelligente Entitäten zu ermöglichen.

Insbesondere innerhalb der industriellen Fertigung handelt es sich jedoch häufig um über Jahrzehnte gewachsene, hochgranulare Systeme. Die geforderte Interoperabilität zwischen einzelnen, heterogenen Subsystemen – besonders hinsichtlich einer vertikalen Vernetzung – liegt in der Regel nicht vor bzw. ist nur mit einem hohen Aufwand zwischen (einzelnen) Systemkomponenten realisierbar. Diese stark ausgeprägte Heterogenität der vorliegenden Systemlandschaft bedingt neben den oben genannten Anforderungen an eine technologische Umsetzung von Vernetzungsstrategien außerdem die Nutzung semantisch skalierbarer

Embedded Software und Netzwerk Sicherheit für OPC UA und hochvernetzte Anlagensysteme

Software Lizenzierung als Möglichkeit zur Zugangskontrolle und Autorisierung in OPC UA Netzwerken

Dipl.-Inform. **T. Bruckschlögl**,

FZI Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe;

B.Sc. **Michael Schmidt**, FZI Forschungszentrum Informatik, Berlin;

Dipl. Ing. **R. Dokku**, WIBU Systems AG, Karlsruhe;

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. **J. Becker**,

Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe

Kurzfassung

Die zunehmende Vernetzung und Digitalisierung von industriellen Anlagen bringt viele Vorteile aber auch neue Angriffsflächen und Risiken für die IT-Infrastruktur mit sich. Besonders durch die zunehmende Anbindung einzelner Systeme an offene Internetumgebungen werden diese den gängigen Sicherheitsrisiken von Angriffen und Malware, Viren sowie Trojanern ausgesetzt. Deshalb ist der unberechtigte Zugriff auf zu schützende Systeme und Netzwerke unbedingt zu verhindern. Während der OPC UA Standard hier ein bereits sehr umfangreiches Sicherheitskonzept vorsieht, sind die gängigen Zugriffsmöglichkeiten wie Passwörter oder Zertifikate besonderes Ziel von Angriffen. Dieser Artikel beschreibt ein Hardware basiertes Lizenzmanagement System für den geschützten Zugriff auf hochsensible OPC UA Netzwerknoten. Dabei übernimmt ein gesicherter an das Hostsystem gekoppelter Hardwarebaustein sowohl Schlüssel und Lizenzverwaltung als auch Verschlüsselungs- und Entschlüsselungsaufgaben. Dadurch wird ein Vertrauensanker geschaffen über den sich ein System oder eine Anwendung auf Hardware- als auch auf Softwareseite eindeutig identifizieren und authentifizieren kann.

Abstract

The increasing interconnection and digitalization of industrial facilities has many advantages but also new attack surfaces and risks for the IT infrastructure itself. Particularly, by the increasing connection of individual systems to open Internet environments, common security

risks of attacks and malware, viruses and Trojans are exposed. Therefore, unauthorized access to protected systems and networks must be prevented at all costs. While the OPC UA standard provides an already very comprehensive security concept, the common access possibilities, like passwords or certificates, are special targets of hacking attacks. This article describes a hardware-based license management system for protected access to highly sensitive OPC UA network nodes. A hardened hardware block, tightly coupled to the host system, covers both key and license management as well as encryption and decryption tasks. This creates a trust anchor that the can identify and authenticate a system or application on hardware and software level clearly.

1. Einleitung

Industrie 4.0 und Internet-of-Things (IoT) stehen für Vernetzung und Automatisierung von Anlagen, Prozessen und Feldgeräten, deren Anbindung an offene Netze und Cloud Umgebungen, sowie für Flexibilität, Remotesteuerung und Datenanalysemöglichkeiten für weit entfernte Systeme. Diese umfassende und globale Vernetzung industrieller Anlagen kann in drei Dimensionen unterteilt werden [1]:

1. Die horizontale Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette,
2. Die vertikale Vernetzung entlang der Automatisierungspyramide
3. die Vernetzung entlang des Produktlebenszyklus

In allen drei Dimensionen spielt das Internet eine große Rolle in der Digitalisierung und der Umsetzung innovativer Funktionen und Kommunikationsmechanismen. Dabei adressiert das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) [2] sowohl Security als auch Safety Aspekte. Besonders auf der Informationsschicht und der Kommunikationsschicht des RAMI4.0 sind Datenintegrität und Identifizierbarkeit integrale Bestandteile. Die Sicherheitskonzepte von OPC UA, umgesetzt in einem manipulationsgeschütztem System mit gesichertem Verbindungsaufbau, effektiver Datenverschlüsselung und Anwendungsschutzmechanismen können hier einen entscheidenden Beitrag für die Einhaltung von Sicherheitskriterien an IoT Systeme beisteuern. Das Internet birgt neue Angriffsflächen und Risiken sowohl für die IT-Infrastruktur als auch die gesamte Anlage. Besonders durch die zunehmende Anbindung einzelner Systeme an offene Internetumgebungen werden diese den allgegenwärtigen Risiken ausgesetzt, mit denen Inhalte abgefangen oder manipuliert und Malware oder Viren in Systemen verteilt werden können. Aktuelle Ereignisse und Berichte [3] zeigen, dass diese

OPC UA als Basistechnologie zur Orchestrierung von Produktionssystemen

Orchestrierung von Diensten der Komponenten in Produktionssystemen mit Hilfe von OPC UA

Dr.-Ing. **M. Schleipen, J. Pfrommer**, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

Kurzfassung

Die steigende Anzahl von Produktvarianten zwingt Anlagenbetreiber dazu, Produktionsressourcen nicht nur für einzelne Anwendungen zu nutzen, sondern in unterschiedlichen Szenarien für verschiedene Produktvarianten angepasst einzusetzen. Die Orchestrierung bezeichnet das flexible Verbinden von einzelnen Diensten für einen definierten Zweck [1]. OPC UA [2] als Basistechnologie bietet die Möglichkeit, dass entsprechende Anbieter von Komponenten, die einen OPC UA Server enthalten, abgegrenzte Funktionalität in Form von Methodenkapseln. OPC UA kann dabei als generische, dienste-basierte Schnittstelle zur Orchestrierung eines entsprechenden Produktionssystems dienen, das aus mehreren Teilnehmern oder Komponenten besteht.

Abstract

The increasing number of product variants leads to multi-purpose production resources which are used for more than one scenario for different product variants. Orchestration describes the flexible combination of single services for a defined purpose [1]. OPC UA as technology allows components which provide an OPC UA server to encapsulate delimited functionality in methods. OPC UA acts as generic, service-based interface for the orchestration of a production system which consists of multiple parties or components.

1. Einleitung

Im Kontext von Industrie 4.0 [3] sollen zusätzliche Funktionalitäten als Dienst für eine Komponente, z.B. eine Maschine oder ein Roboter, angeboten und nachgerüstet werden. Dies kann sich in neuen Geschäftsmodellen und Wertschöpfungssystemen widerspiegeln, muss aber durch die Technik entsprechend unterstützt und abgesichert sein. Um eine sichere Inbetriebnahme solcher zusätzlicher Dienste in der Produktionsumgebung zu gewährleisten, kann ein kombinierter OPC UA Server und Client mit einem passenden Informationsmodell genutzt werden, um beispielsweise die Aktivierung von Zusatzfunktionalität mittels Codeanalyse abzusichern. Der zusätzliche Dienst kann dabei auch auf entfernten Geräten ausgeführt

werden. OPC UA ermöglicht hierbei die effiziente Kollaboration verschiedener Produktionsressourcen.

Im vorliegenden Beitrag wird das Konzept der flexiblen Orchestrierung der Komponenten in Produktionssystemen mittels OPC UA aufgegriffen. Ein zentraler Orchestrierungsserver koordiniert das Verhalten innerhalb des Produktionssystems und fungiert als Bindeglied zwischen den Einzelkomponenten. Jede der Einzelkomponenten kapselt ihre Funktionalität [4] in einem Objekt im OPC UA Informationsmodell, welches auch Methoden enthält.

Der Ansatz wurde auf Basis von verfügbaren Hilfsmitteln umgesetzt. So dient die offene Implementierung open62541 der OPC UA Basisfunktionalität als plattform-unabhängige Grundlage für Orchestrierungsserver und Komponenten. Beschreibende XML-basierte Modelle des Produktionssystems werden als Informationsquelle für den entsprechenden Orchestrierungsserver eingesetzt. Die darin beschriebenen Eigenschaften der Komponenten können statischer Natur (vordefinierte Werte im Modell) oder dynamischer Natur (Platzhalter für spätere Variablen, die aus dem Prozess gespeist werden) sein. Um flexibel auf Änderungen reagieren zu können, wird davon ausgegangen, dass entsprechende Beschreibungen des Produktionssystems auch während des Betriebs des Servers verändert werden können. Hierfür wird open62541 [5] mit der aus dem Gaming-Bereich bekannten Scripting-Sprache Lua [6] kombiniert.

2. OPC UA Script

Als industrielles Kommunikationsprotokoll basierend auf einer plattform-unabhängigen Service-orientierten Architektur, wurde OPC UA im vorliegenden Anwendungsfall sowohl als generische Schnittstelle als auch als Framework genutzt, um verschiedene Produktionskomponenten (Hardware oder Software) und ihre Fähigkeiten und zugehörigen Methoden zu verbinden. Die Entwicklung komplexer technischer Lösungen, beispielsweise für OPC UA) erfordert heute viele Iterationen während der Entwicklung und bei Anpassungen nach der ersten Inbetriebnahme. Um die Iterationszyklen zu beschleunigen hat das Fraunhofer IOSB das in C99 verfasste Open Source SDK [7] in die Lua Programmiersprache [6] integriert. In Anlehnung an VBScript in der MS Office-Welt wurde das Ergebnis „UAScript“ getauft.

Haupteigenschaften von Lua sind die Kompaktheit und die einfache Erlernbarkeit. Es wird hauptsächlich für C++-basierte Gaming-Engines mit weichen Echtzeitkriterien verwendet. Darüber hinaus gibt es immer mehr Anwendungen aus dem Internet-of-Things Kontext, die Lua wegen der Geschwindigkeit und dem geringen Speicherbedarf wählen. Die Integration eines OPC UA SDKs in Lua bringt verschiedene Vorteile mit sich. Beispielsweise bietet sich dadurch ein einfacher Zugriff auf OPC UA Basis-Datentypen. Aber auch als Kommandozei-

Generische Strukturierung von Produktionssystemen der Fertigungsindustrie

J. Zawisza, K. Hell, H. Röpke, Volkswagen AG, Wolfsburg;
Arndt Lüder, Nicole Schmidt, Otto-v.-Guericke Universität, Magdeburg

Kurzfassung

Mit Blick auf die *Industrie 4.0* werden derzeit das Referenzarchitekturmodell für die *Industrie 4.0* (*RAMI 4.0*) und die darin enthaltene *Industrie-4.0*-Komponente definiert. Hier entsteht eine generische, hierarchische Struktur für die Steuerung und Nutzung von Komponenten eines Produktionssystems. Eine verbleibende, offene Frage ist die nach der Identifikation sinnvoller Komponenten. Im vorliegenden Beitrag wird auf Basis einer gezielten Analyse eine Hierarchie sinnfälliger *Industrie-4.0*-Komponenten vorgeschlagen und für diese relevante steuerungsbezogene Informationsmengen, die in der virtuellen Repräsentation dieser Komponente enthalten sein müssen, identifiziert.

Abstract

Current research efforts within the *Industrie 4.0* area are targeting the definition of the reference architecture model for *Industrie 4.0* (*RAMI 4.0*) and the *Industrie 4.0* component contained within it. Here a generic and hierarchical structure for the control and use of an *Industrie 4.0* component will be specified. A still open question is the identification of meaningful *Industrie 4.0* components. Based on a detailed analysis a hierarchy of meaningful *Industrie 4.0* components will be proposed in this paper accompanied by an identification of control related information to be modeled within the virtual representation of the component.

1. Motivation

Die Vision der *Industrie 4.0* wurde in Deutschland entwickelt, um eine neue, wegweisende und moderne Produktionssystemsteuerungsarchitektur und entsprechende Entwurfsmethoden für Produktionssysteme zu schaffen (siehe [1], [2], [3] und [4]). Ähnliche Initiativen finden sich auch in Europa und weltweit. So ist z.B. in den USA das Industrial Internet Consortium aktiv, in Frankreich und Großbritannien wird unter dem Begriff *Factory of the Future* geforscht und auch in China sind ähnliche Forschungsentwicklungen zu beobachten. Alle genannten Initiativen haben denselben Hintergrund: Sie sollen den wachsenden Anforderungen an Produktionssysteme hinsichtlich Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Kundenanforderungen und technologische Möglichkeiten, sowie den wachsenden Möglich-

keiten bei Gewinnung, Austausch und Verarbeitung von Informationen beim Entwurf und der Steuerung von Produktionssystemen nachkommen.

Die integrierte Betrachtung der verschiedenen Lebenszyklen rund um ein Produktionssystem ist dabei von besonderer Bedeutung. Neben dem Lebenszyklus des Produktionssystems kann hier z.B. auch der von Produkten oder Produktionsaufträgen betrachtet werden [5]. Dies ermöglicht eine Optimierung der Integration der Lebenszyklen und der darin enthaltenen Aktivitäten insb. hinsichtlich der Nutzung von Informationen aus anderen Lebenszyklen. Als besondere Herausforderungen wurden hier das durchgängige Engineering, die vertikale und horizontale Integration sowie die verbesserte Integration des Menschen identifiziert [2]. Ein wichtiges bisher erreichtes Ergebnis der Arbeiten rund um *Industrie 4.0* ist die Definition des Referenzarchitekturmodells für *Industrie 4.0* (*RAMI 4.0*). Es kombiniert die verschiedenen auf Produktionssysteme bezogenen Lebenszyklusphasen mit der Steuerungshierarchie und den Wertschöpfungsketten in und um ein Produktionssystem herum (siehe Bild 1).

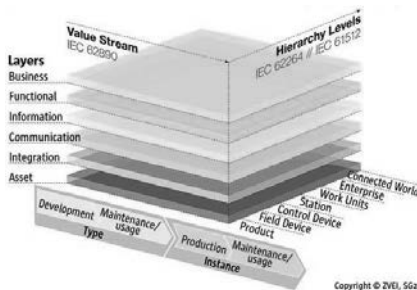


Bild 1: *RAMI 4.0* (Quelle: <http://www.vdi-nachrichten.com/>)

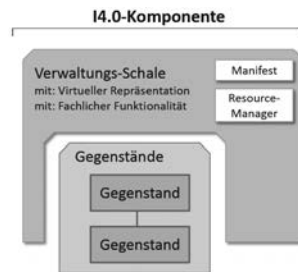


Bild 2: *Industrie-4.0-Komponente* nach [6]

Ein Schlüsselement des *RAMI 4.0* ist die *Industrie-4.0-Komponente* (siehe Bild 2). Sie wird in [6] mit Blick auf ihre strukturellen, funktionalen und informationsbezogenen Anforderungen und Eigenschaften hin beschrieben. Essentielle Eigenschaft der *Industrie-4.0-Komponente* ist die Kombination von Objekten der physischen und der virtuellen Welt zu einem konsistenten Betrachtungsgegenstand, der in beiden Welten entsprechende Funktionalitäten erbringen kann. Dazu soll eine *Industrie-4.0-Komponente* identifizierbar sein, fach- und anwendungsgerecht kommunizieren können, eine Verwaltungsschale besitzen, *Industrie-4.0*-konforme Services erbringen, ihren eigenen Zustand steuern bzw. regeln sowie ggf. eine hierarchische Struktur besitzen. Für weitere Informationen sei auf [2] und [6] verwiesen.

Aufgabe der virtuellen Repräsentation innerhalb der Verwaltungsschale der *Industrie-4.0-Komponente* ist die Speicherung und Bereitstellung aller relevanten Informationen über die

Planung von Wertschöpfungsketten mit I40-Komponenten

Dr.-Ing. **Thomas Hadlich**, Prof. Dr.-Ing. **Christian Diedrich**,
Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg;
Dr.-Ing. **Thomas Bangemann**, ifak, Magdeburg

Schlagwörter: Digital Factory, AutomationML, eCI@ss, Integrated Engineering

1. Einleitung

Industrie 4.0 ist ein aktuelles Thema. Viele Arbeitskreise beschäftigen sich damit, wie Industriekomponenten mittels I40-Komponenten in Produktionssysteme und damit auch in deren Lebenszyklen integriert werden können, welche Struktur die Verwaltungsschale einer I40-Komponente hat, welche Dienste von I40-Komponenten bereitgestellt werden und wie I40-Komponenten kommunizieren können [1].

Ein sehr wichtiger Aspekt ist, wie man I40-Komponenten zu einem funktionierenden Produktionssystem zusammenfügt. In diesem Beitrag unterbreiten die Autoren einen Vorschlag, wie die Planung von Wertschöpfungsketten basierend auf den Informationen der zur Verfügung stehenden I40-Komponenten erfolgen kann.

Dabei erfolgt eine Einordnung der I40-Komponenten in das bestehende Referenz-Architektur-Modell Industrie 4.0 (RAMI4.0) [2] und eine Diskussion der Repräsentation einer I40-Komponente auf seinen verschiedenen Ebenen, insbesondere auf dem Functional Layer.

2. Einordnung der I40-Komponente in das RAMI4.0

Das Referenz-Architektur-Modell Industrie 4.0 (RAMI4.0) ist in [2] beschrieben und wurde in [3] weiterentwickelt (siehe **Bild 1**).

Das Modell ist 3-dimensional definiert, die x-Achse beschreibt die Asset-Hierarchie (von Produkt über die Equipment-Hierarchie von Produktionsanlagen bis zur Connected World), die y-Achse beschreibt zeitliche Zusammenhänge (z.B. die Abfolge Entwicklung, Produktion, Nutzung von Assets) und die z-Achse beschreibt die Aspekte des RAMI4.0, welche zur Realisierung von Industrie 4.0 notwendig sind.

Die unterste Schicht in der durch x-Achse und y-Achse definierten Ausdehnung beschreibt die Welt ohne Industrie 4.0. In dieser Welt existieren und funktionieren bereits die meisten Gegenstände, welche im Rahmen von Industrie 4.0 besser genutzt werden sollen. Die im Rahmen von Industrie 4.0 betrachteten Gegenstände können materiellen Charakter haben (z.B. Materialien, Betriebsmittel, Geräte, Maschinen, Produktionssysteme) oder immateriellen Charakter haben (z.B. Ideen, Informationen, Software).

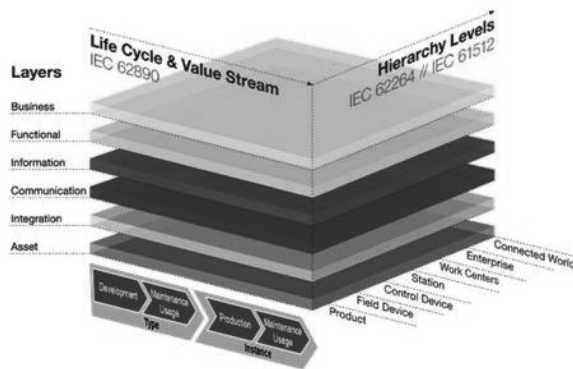


Bild 1: Referenz-Architektur-Modell Industrie 4.0 (RAMI4.0) [3]

Diese Gegenstände werden verwaltet, d.h. sie werden als Dinge von gewissem Wert betrachtet. Dieser Wert kann z.B. auch darin bestehen, dass der Gegenstand benötigt wird um ein Produktionssystem herzustellen oder zu betreiben. Diese verwalteten Gegenstände müssen identifizierbar sein und kommunikationsfähig. Dabei kann ‚kommunikationsfähig‘ bedeuten, dass ein Gegenstand aktiv mittels einem Kommunikationsprotokoll kommuniziert oder dass ein Gegenstand passiv kommuniziert (d.h. zum Beispiel nur mittels einem RFID-Tag identifiziert werden kann). Damit ein Gegenstand gemäß Industrie 4.0 in einem cyber-physical-production-system (CPPS) eingebunden werden kann, muss dieser Gegenstand als eine Industrie4.0-Komponente repräsentiert werden. Jeder verwaltete, identifizierbare und kommunikationsfähige Gegenstand wird zu einer I4.0-Komponente, indem der Gegenstand mit einer Verwaltungsschale ausgestattet wird (siehe **Bild 2**).

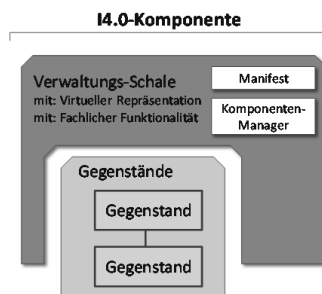


Bild 2: I4.0-Komponente mit Verwaltungsschale [3]

Durchgängigkeit in Wertschöpfungsketten von Industrie 4.0

Seamless Value Chains in Industrie 4.0

Prof. Dr. **Alexander Fay**, M.Sc. **Sebastian Schröck**,
Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg;
Dr. **Oliver Drumm**, Dr. **Ulrich Löwen**,
Dipl.-Ing. **Andreas Schertl**, Siemens AG, Erlangen;
Dr. **Ralph Eckardt**, maex partners, Düsseldorf;
Dr. **Georg Gutermuth**, ABB AG, Ladenburg;
Dipl.-Ing. **Dietmar Krumsiek**,
Phoenix Contact Electronics, Bad Pyrmont;
Dipl.-Ing. **Thomas Makait**, QPRI, Frankfurt;
Dipl.-Ing. **Tina Mersch**, Beckhoff Automation GmbH, Verl;
Dipl.-Ing. **Thomas Schindler**, Yokogawa, Ratingen;
Dr.-Ing. **Miriam Schleipen**, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

Kurzfassung

Das durchgängige Engineering als eines der drei Charakteristika von Industrie 4.0 ist essenziell für die Umsetzung des Zukunftsprojekts Industrie 4.0. Nur mit einem durchgängigen Informationsfluss zwischen wertschöpfenden Prozessen kann Industrie 4.0 umgesetzt werden. Um einen monetären und prozessualen Mehrwert aus der Vernetzung von Wertschöpfungsketten im Sinne der Industrie 4.0 zu ziehen, ist es notwendig, über die rein physische Vernetzung der Wertschöpfungsprozesse hinaus, ihre zugehörigen Daten bzw. Datenflüsse verlustfrei zu verknüpfen. Dies ist der Kern des durchgängigen Engineerings. Diese Vernetzung umfasst sowohl die gesamte Lebensdauer von Produkten, Produktionsanlagen und Aufträgen als auch die Verbindung aller notwendigen Wertschöpfungsprozesse. Anhand von Beispielen aus der Prozessindustrie, der Einzelfertigung von Großprodukten, der Auftrags- und der Lohnfertigung sowie aus der individualisierten Massenfertigung wurde analysiert, wie die Unternehmen von durchgängigem Engineering profitieren können. Daraus ging der VDI-Statusreport „Durchgängiges Engineering in Industrie 4.0-Wertschöpfungsketten“ hervor, der im Januar 2016 publiziert wurde [1]. In diesem Beitrag wird exemplarisch auf das Beispiel „Engineering-Dienstleister / Anlagenbauer“ fokussiert.

Abstract

Seamless engineering is one of the three cornerstones of Industrie 4.0. Without a seamless information flow between processes in the value chain, Industrie 4.0 will not be successful. Instead, the connection of data and data flows is essential to benefit from the value chain networks envisaged with Industrie 4.0, along all engineering and throughout the life cycle of plants and products. This is exemplarily shown at the engineering value chain of engineering contractors and plant operators in the process industry. More detailed findings and further analysed use cases have been published in the VDI-Statusreport „Durchgängiges Engineering in Industrie 4.0-Wertschöpfungsketten“ in January 2016 [1].

1. Industrielle Wertschöpfungsketten

In der „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 – Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0“ [2] wird für die angestrebte „Horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke“ die Durchgängigkeit der Informationsflüsse gefordert, ebenso für das „Durchgängige Engineering“. Wertschöpfungsketten sind nach [11] lineare oder hierarchische Sequenzen von Wertschöpfungsprozessen. Ein Wertschöpfungsprozess (oft auch als Wertaktivität bezeichnet) ist ein Prozess, aus dem ein für Abnehmer wertvolles Gut entsteht (nach [12]).

Der VDI-/VDE-GMA-Fachausschuss 6.12 „Durchgängiges Engineering von Leitsystemen“ hat die „Industrie 4.0 – Wertschöpfungsketten“ [6] daraufhin analysiert, an welchen Schnittstellen (in Bild 1 mit römischen Ziffern gekennzeichnet) zwischen Wertschöpfungsprozessen die Durchgängigkeit des Informationsflusses von besonderer Bedeutung ist.

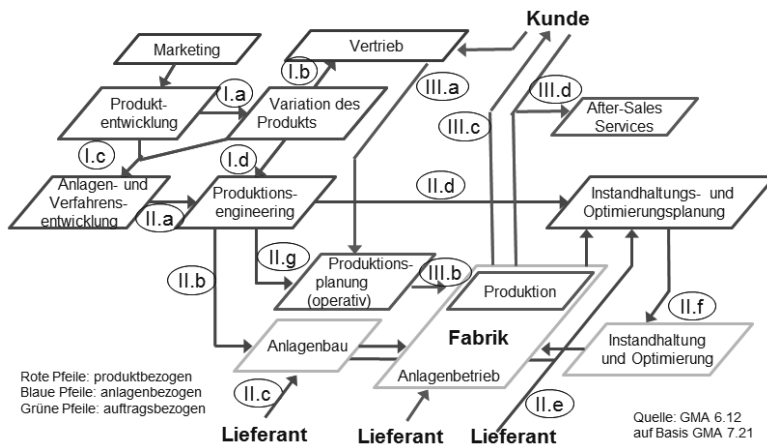


Bild 1: Vernetzung von Wertschöpfungsprozessen über Informationsweitergabe

Automatisierte Datenauswertung zur Fehlerdiagnose und Absicherungsunterstützung für Qualitätssicherungssysteme

Dipl.-Ing. **Sebastian Abele**, Prof. Dr.-Ing. **Michael Weyrich**,
Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungstechnik und
Softwaresysteme, Stuttgart

Kurzfassung

Systeme zur industriellen Produktion in einer Smart Factory arbeiten mehr und mehr daten- und informationsorientiert. Exemplarisch dafür stehen bereits heute Qualitätssicherungssysteme, deren Funktionsbasis in der Regel durch eine komplexe IT-Infrastruktur mit aufwändiger Datenlogistik gebildet wird. Dieser Beitrag stellt ein Assistenzsystem vor, das das Fehlermanagement von solchen Qualitätssicherungssystemen unterstützt, indem es eine automatisierte Fehlerdiagnose mit einer Unterstützung bei der Absicherung von Neuerungen und Änderungen, zum Beispiel nach einer Fehlerbehebung, kombiniert. Grundlage der Assistenzfunktionen bilden eine Datenintegration und Datenauswertung. In dem entwickelten Verfahren werden unterschiedliche Datenquellen erfasst und mit Systemwissen verknüpft, das von Experten abgefragt wird.

1. Einleitung

Die Qualität von hergestellten Produkten wird ein zunehmend wichtiger Faktor im Wettbewerb. Dies führt dazu, dass Qualitätssicherungssysteme ein wichtiger Teil des Wertschöpfungsnetzwerkes von industriellen Produzenten geworden sind. Entlang der gesamten Fertigungslinie finden Qualitätssicherungsmaßnahmen statt. Diese tiefe Integration der Qualitätssicherungssysteme in den Produktionsprozess macht die Qualitätssicherungssysteme zu kritischen Systemen innerhalb der Fertigung. Probleme und Ausfälle in den Qualitätssicherungssystemen wirken sich direkt auf die Produktion aus. Wird ein Fehler im Qualitätssicherungssystem nicht gleich entdeckt, gelangen womöglich fehlerhafte Produkte in den Markt, oder der Ausschuss bzw. der Nacharbeitsaufwand steigt, ohne dass das Produkt selbst fehlerhaft war.

Durch die Befragung von Prüfexperten aus der Automobilindustrie wurden Fehlerdiagnose und Änderungsabsicherung als wichtige Tätigkeitsfelder für eine hohe Verfügbarkeit der Qualitätssicherungssysteme identifiziert. Die Fehlerdiagnose hat das Ziel, die Auswirkungen

eines Fehlers zu minimieren, indem die Fehlerursache möglichst schnell gefunden wird, damit sie rasch behoben werden kann. Durch die Änderungsabsicherung soll verhindert werden, dass Fehler durch Änderungen ins System eingebracht oder aufgedeckt werden.

Beide Aufgaben sind sehr zeitaufwändig und setzen ein hohes Maß an vorhandenem Expertenwissen und Erfahrung voraus. Viele Teilschritte der beiden Tätigkeiten werden von den Experten manuell durchgeführt. Entsprechend hoch ist der Zeitaufwand. Viele Teilschritte wiederholen sich dabei häufig. Das Potential, diese Tätigkeiten zu automatisieren und damit zu beschleunigen, ist hoch. Eine typische Tätigkeit ist das Durchsuchen des Ergebnisprotokolls und der System-Logs nach Auffälligkeiten, die auf die Fehlerursache hindeuten.

Bei der Änderungsabsicherung liegt die Herausforderung darin, die kurze Zeit für das Testen optimal zu nutzen. Dazu muss der Testplaner entscheiden, wie der Testaufwand am besten verteilt werden kann indem er beispielsweise gezielt Änderungen berücksichtigt, die eingeführt wurden, um einen Fehler zu beheben oder um neue Funktionen umzusetzen. Da für diese Aufgabe, wie auch für die Fehlerdiagnose, ein großes Wissen über das System benötigt wird, sind die gleichen Experten daran beteiligt. Implizit nutzen sie dabei ihr Wissen über das System und über fehleranfällige Teilsysteme, um eine bestmögliche Änderungsabsicherung zu erreichen.

Insbesondere die steigende Komplexität und zunehmende weltweite Verteiltheit der Systeme führen das expertenbasierte Vorgehen an seine Grenzen. Wissen und Erfahrung werden nicht ausreichend dokumentiert und weitergegeben und der Personenkreis, der über das notwendige Wissen verfügt, schrumpft. Um diesen Herausforderungen entgegenzuwirken, erforscht das IAS ein Assistenzsystem, das die beiden Tätigkeitsfelder unterstützt. Eine Hauptfunktion des Assistenzsystems liegt in der automatischen Datenauswertung, auf deren Grundlage dann weiter verfahren werden kann. Für die Fehlerdiagnose werden im Wesentlichen Ergebnis-Protokolle und System-Logs ausgewertet, für die Änderungsabsicherung Release-Notes und Systemmodelle.

2. Fehlerdiagnose und Testmanagement

Die Fehlerdiagnose hat zum Ziel, die Ursache eines Fehlers zu finden. Die Fehlerursache ist oftmals nicht direkt ersichtlich. Der Fehler offenbart sich über die Auswirkungen, die er auf das betroffene System und seine Funktionen hat. Solch eine Auswirkung kann beispielswei-

Beschreibung des normalen und gestörten Verhaltens mechatronischer Komponenten für den automatisierten virtuellen Anlagentest

Dipl.-Ing. **Mario Thron**, Dipl.-Ing. **Holger Zipper**,
Dipl.-Ing. **Stephan Magnus**,
Institut für Automation und Kommunikation e.V., Magdeburg;
M.Sc. **Sebastian Süß**, Daimler AG, Ulm;
Christian Göbeler, tarakos GmbH, Magdeburg;
Dipl.-Ing. **Zheng Liu**, Prof. Dr.-Ing. **Christian Diedrich**,
Otto-von-Guericke Universität Magdeburg

Kurzfassung

Dieser Artikel beschreibt eine Systemarchitektur und einen Workflow für den modellbasierten, automatisierten Test der Steuerungsprogramme industrieller Produktionssysteme. Im Detail werden drei Modellierungsansätze zur Beschreibung des Verhaltens mechatronischer Komponenten vorgestellt, wobei zwischen Normal- und Störverhalten unterschieden wird. Es werden Vorschläge für Kombination und Verwendung dieser Modellierungsmethoden gezeigt.

Abstract

This article describes a system architecture and a workflow for the model-based and automated test of the control programs of industrial production systems. Three modeling approaches for description of the behavior of mechatronic components are discussed and compared. Those approaches consider normal and failure behavior of the components. The article provides hints for combination and usage of those modeling approaches.

1. Einleitung

Die Weiterentwicklung der industriellen Produktion ist getrieben durch steigende Qualitätsanforderungen und der Notwendigkeit zur Kostenreduktion. Dies kann oft nur durch einen höheren Automatisierungsgrad erreicht werden. Dadurch nimmt jedoch der Grad der Vernetzung zwischen einzelnen Produktionskomponenten zu und die Produktionssysteme werden komplexer. Deshalb werden neue Planungs-, Konstruktions- und Engineeringmodelle benötigt, um diese Komplexität zu verstehen und zu diskutieren. Außerdem werden entsprechen-

de Werkzeuge benötigt, um solche Modelle zu erstellen und untereinander zu verknüpfen, sowie für die Konfiguration generischer Produktionskomponenten zu verwenden. Der Arbeitskreis Industrie 4.0 sieht deshalb Forschungs-, Entwicklungs- und industriepolitischen Handlungsbedarf unter anderem für die Beherrschung komplexer Systeme [1].

Durch den Einsatz weiterer Automatisierungssysteme nimmt der Anteil der eingesetzten Software zu. Dabei würde sich der Anteil vorhandener Fehler proportional zur steigenden Menge der Software erhöhen, wenn keine Maßnahmen zur Steigerung der Softwarequalität ergriffen werden. Auch durch die höhere Anzahl an Netzwerkverbindungen können Konfigurationsfehler auftreten, die es zu vermeiden gilt.

Inbetriebnahme- oder Umrüstzeiten erhöhen sich erheblich, wenn solche Fehler erst beim Zusammenwirken der realen mechatronischen Anlagenkomponenten und den Steuerungen erfolgt. Eine erfolgversprechende Methode zur Verkürzung dieser Zeiten ist die Virtuelle Inbetriebnahme (kurz VIBN). Dabei werden Steuerungsprogramme und Konfigurationsinformationen anhand eines simulierten virtuellen Anlagenmodells geprüft und ihre Qualität verbessert.

Durch eine Virtuelle Inbetriebnahme entsteht jedoch auch Aufwand, z.B. für das Engineering der simulierten Anlage. Für einen wirtschaftlichen Einsatz dieser Methode muss dieser Aufwand verringert werden. Neben einer Wiederverwendung der Daten aus der Konstruktionsphase (CAD-Daten, Steuerungsprogramme, etc.) bietet sich auch eine Automatisierung des Testvorgangs selbst an. Während bei der klassischen Virtuellen Inbetriebnahme die Simulation und Beobachtung der Anlagenreaktion beim Testvorgang durch die testenden Personen selbst erfolgt, kann dies durch den Einsatz entsprechender Testsysteme automatisiert werden (siehe Bild 1).

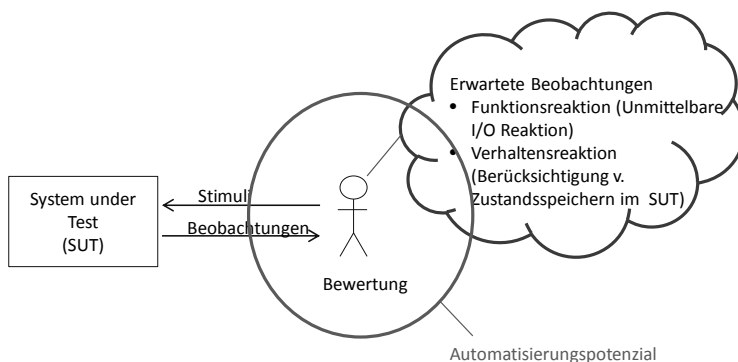


Bild 1: Automatisierungspotenzial bei der Virtuellen Inbetriebnahme

Mehrwert aus den Maschinendaten mit Data Analytics

Ansätze zur vorausschauenden Wartung und Prozessoptimierung

Dr.-Ing. **Carlos Paiz Gatica**, Dr.-Ing. **Markus Köster**,
Dipl.-Wirt.-Ing. **Tobias Gaukster**, Weidmüller Gruppe, Detmold

Kurzfassung

Datengetriebene Services werden die Geschäftsmodelle von Maschinen- und Anlagenbauern nachhaltig verändern. Als Anwendungsbeispiele für neue Services diskutiert der Beitrag die Prognose des Energieverbrauchs in der Produktion sowie die vorausschauende Wartung. Vor dem Hintergrund beider Beispiele erklärt der Beitrag wie es gelingt aus den Big Data die relevanten Daten sog. Smart Data zu identifizieren, das Maschinenverhalten zu lernen und zu prognostizieren. Hierzu wird der Data Science Workflow vorgestellt und der Unterschied zwischen regelbasierter und modellbasierter Analyse und Überwachung des Maschinenverhaltens erörtert.

1. Einleitung

Maschinen und Anlagen bzw. Produktionsprozesse erzeugen kontinuierlich Daten. Erfolgreich werden zukünftig Unternehmen sein, denen es gelingt Mehrwert aus diesen Daten zu generieren. Um diese Potentiale zu erschließen sind Lösungen notwendig, die zum einen eine effektive und effiziente Analyse der Datenmengen ermöglichen. Zum anderen sind die gewonnen Erkenntnisse in greifbare Produkt- und Prozessinnovationen sowie neue datengetriebene Geschäftsmodelle zu überführen. Maschinenbauer und -betreiber, denen dies gelingt, können sich klare strategische Wettbewerbsvorteile aufbauen.

Das Handwerkszeug für die Handhabung stetig größer werdenden Datenmengen sind Analyseverfahren wie Big Data Analytics. Diese erlauben es bisher unerschlossene Daten zu verknüpfen und unbekannte Zusammenhänge zu identifizieren. Anhand dieser Informationen lässt sich z.B. das Prozessverhalten optimieren. Folglich können die Produktivität erhöht und die Produktionskosten reduziert werden. Ferner steigen die Zuverlässigkeit der Produktionsprozesse sowie die Anlagenverfügbarkeit. Wenn das erarbeitete Prozessverständnis in die Entwicklung zurückfließt, werden gleichzeitig Produktinnovationen induziert.

Der Einsatz von Data Analytics wird an zwei Anwendungsfällen vorgestellt. Der erste Anwendungsfall adressiert das Condition Monitoring im Hinblick auf eine Energieverbrauchsoptimierung. Hier wird insbesondere auf eine Kombination von unternehmensexternen Daten mit Informationen über den Fertigungszyklus eingegangen. Konkret geht es um die Kopplung des Energiepreises an den Energieverbrauch und damit um eine energiekostenorientierte Steuerung des Fertigungsprozesses. Gegenstand des zweiten Anwendungsfalls ist die Realisierung einer prädiktiven Zustandsüberwachung. Diesbezüglich wird erklärt wie Sensor- bzw. Prozess- und Zustandsdaten miteinander verknüpft wurden, um Fehler und deren Ursachen zu identifizieren bevor diese auftreten. Es wird dargelegt welche Schritte zur Datenerfassung und -analyse notwendig sind und welche Herausforderungen dabei zu bewältigen waren. Dies umfasst z.B. die Erweiterung der Hardwaretopologie mit kommunikativen Feldkomponenten, um Energie- und Diagnoseinformationen zu gewinnen.

Abschließend wird dargelegt, welche Nutzenpotentiale durch den Einsatz der Data Analytics erschlossen werden konnten. Insbesondere wird auf eine signifikante Reduktion der ungeplanten Ausfallzeiten und eine damit einhergehende Steigerung der Produktivität im Produktionsprozess eingegangen. Ferner erklärt der Beitrag wie die identifizierten Korrelationen zwischen den einzelnen Datensätzen und den Fehlerfällen helfen die Service- und Wartungsprozesse wesentlich zu beschleunigen. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick zu den zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten von Data Analytics im Kontext der Prozessüberwachung und -optimierung im Maschinen- und Anlagenbau.

2. Advanced Analytics in der Automatisierungstechnik

Produktionssysteme verfügen über zahlreiche Sensoren und Aktoren, welche in Summe eine große Menge an Daten erzeugen. In der klassischen Automatisierungstechnik wurden diese Daten vornehmlich zur Steuerung und Regelung von Anlagenprozessen genutzt. Typischerweise werden dabei Sensordaten der Steuerung zugeführt, deren Aufgabe die Regelung des Anlagenprozesses ist. Die Daten bleiben dabei isoliert auf der Feld- und Steuerungsebene und werden in der Regel nur vereinzelt von höheren Automatisierungsebenen genutzt.

Die Fortschritte im Bereich der IT-Technologien öffnen jedoch völlig neue Anwendungsfelder für die Verarbeitung von Daten, wie etwa Data Analytics. Hierbei werden durch das Sammeln und Analysieren von Daten neue Potenziale zur Optimierung von Anlagen aufgedeckt, welches in Bild 1 dargestellt ist. Grundlage bildet dabei die in der Regel große Menge der in der Maschine anfallenden und erzeugten Daten, die sich als Big Data qualifizieren lassen. Die

Modellbasiertes Testen von Steuerungssoftware in der Praxis

Evaluation eines modellbasierten Testansatzes bei Anwendern in der Produktionsautomatisierung

S. Rösch, Dr.-Ing. **D. Schütz**, Prof. Dr.-Ing. **B. Vogel-Heuser**,
Technische Universität München

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird ein modellbasierter Ansatz zum Test von Produktionsautomatisierungssystem und insbesondere deren Strategien zur Behandlung von Fehlern aus dem technischen Prozess und technischen System (z.B. Komponentenausfälle) vorgestellt¹. Für den Ansatz wurden bereits in den Unternehmen vorhandene Weg-Zeit-Diagramme als Basis für die Modellierung weiterentwickelt und für die Testfallgenerierung optimiert. Basierend auf der weiterentwickelten Weg-Zeit-Diagramm-Notation wurde ein Algorithmus entwickelt, der die wichtigsten Fehlerszenarien in der Produktionsautomatisierung durch Manipulation von Sensorwerten abdeckt und eine Testausführung gegen Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und deren IEC 61131-3 Software möglich macht. Um die Voraussetzungen einer Einführung des entwickelten Ansatzes in der Industrie zu identifizieren und Barrieren zu minimieren, wurde ein Evaluationsworkshop mit Experten aus der Industrie durchgeführt. Innerhalb des Workshops wurde dabei ein Anwendungsbeispiel eines der Industriepartner genutzt. Weiterhin werden die aus der Evaluation zentralen Anforderungen und Herausforderungen für das Gelingen der Einführung von Ansätzen zum modellbasierten Testen in der Produktionsautomatisierung abgeleitet.

1. Die Forschungslücke modellbasiertes Testen in der Produktionsautomatisierung

Die Entwicklung von Produktionsautomatisierungssystemen ist durch einen zunehmenden Anteil an Steuerungssoftware innerhalb eines Projekts geprägt. Gleichzeitig müssen hohe Anforderungen an die Qualität der Steuerungssoftware erfüllt werden. Um diesen Anforderungen Genüge zu tragen werden effiziente Methoden für den automatisierten Test zum Nachweis der Funktionserfüllung benötigt. Dieser Bedarf wurde in den letzten Jahren von

¹ Im folgenden Beitrag werden Forschungsergebnisse aus dem Projekt ZuMaTra [1] und der Dissertation [2] vorgestellt.

zahlreichen Forschern und Entwicklern identifiziert und neue Ansätze für den automatisierten Test entwickelt. Um nicht nur die Testdurchführung, sondern auch die Testerstellung so weit wie möglich zu automatisieren, sind insbesondere neue Ansätze im Bereich des modellbasierten Testens entwickelt worden. Dennoch sind diese Ansätze aktuell in Unternehmen der Produktionsautomatisierung selten etabliert. In einer Umfrage mit 8 Teilnehmern aus 7 Unternehmen des IGF-Projektausschusses des Projekts ZuMaTra (siehe auch Danksagung, 71% Anwender bzw. Maschinenhersteller, 14,5% Komponentenhersteller und 14,5% Programmierungsumgebungs- und SPS-Plattformentwickler) wurden Anforderungen für Testen im Allgemeinen und den modellbasierten Test untersucht. Momentan werden 25-30% der gemessenen Zeit an den gesamten Softwareentwicklungsstunden für das Testen der Steuerungssoftware aufgewendet. Daher ist es notwendig, dass für die Einführung und Anwendung neuer Ansätze für das Testen so wenig Zeit wie möglich aufgewendet werden muss. Folglich muss der Automatisierungsgrad der Testerstellung und –ausführung möglichst hoch sein. Die Aussage, dass neben dem Gut-Verhalten der Test des Schlecht-Verhaltens genauso wichtig ist, zeigt den Bedarf nach neuen Methoden für den Test dieser in besonderer Weise auf (siehe Bild 1). Ziel muss es also sein eine Methodik für den Test von relevanten Fehlerszenarien zu entwerfen.

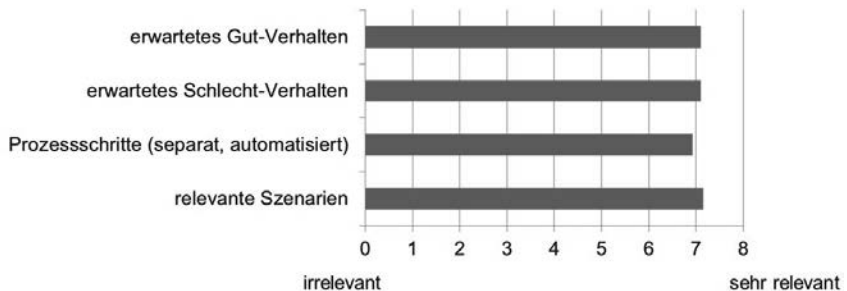


Bild 1: Szenarien die getestet werden müssen [1]

In dem IGF-Projekt des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. wurde ein solcher modellbasierter Ansatz zum Test von Produktionsautomatisierungssystem und insbesondere deren Strategien zur Behandlung von Fehlern aus dem technischen Prozess und technischen System (z.B. Komponentenausfälle) entwickelt [1], [2], [3]. Für den Ansatz wurden bereits in den Unternehmen vorhandene Weg-Zeit-Diagramme als Basis für die Modellierung von Produktionsautomatisierungssystemen weiterentwickelt und für die Testfallgenerierung optimiert. Basierend auf der weiterentwickelten Weg-Zeit-Diagramm-Notation wur-

Leitsystemerkundung mit AutomationML und OPC UA in „Brownfield“-Projekten

Dr.-Ing. **L. Hundt**, Dipl.-Inf. **J. Prinz**,
inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in
der Fahrzeugindustrie mbH, Berlin;
Dr.-Ing. **U. Enste**, Dipl.-Inf. **S. Bukva**, LeiKon GmbH, Herzogenrath

Kurzfassung

Im vorliegenden Beitrag wird ein Vorgehen beschrieben, bei dem die aktuellen Anlagen- und Systemstrukturen mittels Leitsystemerkundung ausgelesen werden. Dies erfolgt unter Verwendung des OPC-UA-Standards. Weiterhin wird beschrieben, wie die so erhaltenen Rohdaten in AutomationML-Modelle transformiert werden, um eine Konsistenzprüfung der aktuell eingesetzten Hard- und Software des Automatisierungssystems gegen den vorliegenden Planungsstand durchzuführen. Ziel ist, durch die so erhaltenen Modelle und Informationen den Engineering-Aufwand in „Brownfield“-Projekten deutlich zu verringern.

1. Motivation und Lösungsansatz

In der Prozessindustrie sind in Europa über 90% der Planungsprojekte im Bereich der Automatisierungstechnik Retrofits, Migrationsprojekte oder Erweiterungen und keine „Greenfield“-Projekte. Bei diesen Projekten bilden die bestehenden Anlagen- und Systemstrukturen den Ausgangspunkt der Planung. Allerdings birgt das Arbeiten mit diesen Daten unterschiedliche Herausforderungen. So sind die verfügbaren Planungsunterlagen oft heterogen, beschreiben unterschiedliche Datenstrukturen oder sind häufig inkonsistent. Inkonsistenzen bestehen sowohl innerhalb der Planungsunterlagen als auch zwischen dem dokumentierten Planungsstand und der aktuell eingesetzten Hard- und Software der Automatisierungssysteme der real existierenden Anlage.

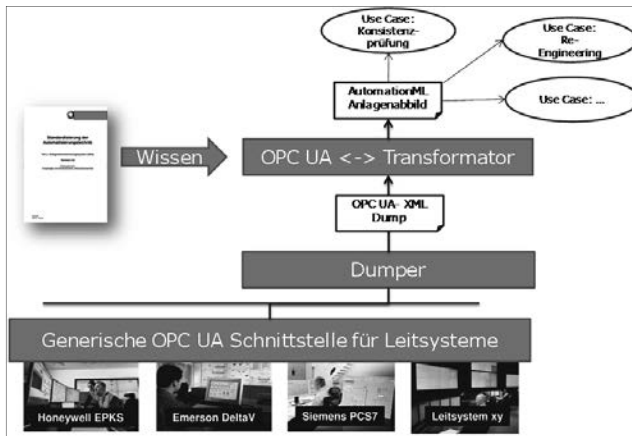


Bild 1: Prinzipdarstellung des Anwendungsfalls

Um der Herausforderung inkonsistenter Ausgangsdaten für „Brownfield“-Projekte entgegenzutreten und auch teilautomatisierte Migrationen zu unterstützen, wird in diesem Beitrag ein Ansatz beschrieben, der bestehende Informationen installierter Automatisierungslösungen mittels einer automatisierten Datenerkennung für formale Methoden im Sinne eines Re-Engineerings zugänglich macht. Die so gewonnenen Informationen über die bestehende Anlage können zur Konsistenzsicherung gegen formale Regeln geprüft werden oder für das Frontloading für eine neue Planungsphase, sowie für automatisierte Migrationsschritte aufbereitet werden. Das Konzept stellt damit eine wesentliche Ergänzung zu den bestehenden Ansätzen des automatisierten Forward-Engineering von Automatisierungslösungen dar (s. u.a. [1], [2], [3]).

Bild 1 zeigt schematisch den hierfür gewählten Lösungsansatz, bei dem das Leitsystem über eine generische OPC-UA-Schnittstelle ausgelesen wird. Anschließend werden die so gewonnenen Rohdaten in Planungsdaten im Format AutomationML transformiert und können dann weiter genutzt werden. Bei der Transformation werden die Daten in dem hier beschriebenen Ansatz um Wissen, welches in Form von Planungsvorschriften, Regeln, etc. vorliegen kann, angereichert.

µPlant: Model factory for the automatization of networked, heterogeneous and flexibly changeable multi-product plants

Prof. A. Kroll, A. Dürrbaum, D. Arengas, B. Jäschke, H. Al Mawla,
University of Kassel, Kassel;
A. Geiger, B. Braun, Melsungen AG, Melsungen

Abstract

In the Department of Measurement and Control of the University of Kassel, the model factory µPlant was developed and built up. It permits testing new automation concepts for networked, flexibly changeable plants with distributed heterogeneous control systems close to industrial practice. Moreover, students are trained on modern instrumentation and control system technologies. µPlant is composed of modular, automated units for fluid processing, discrete manufacturing, and storage purposes. Material flow between the units is realized using autonomous mobile robots

1 Motivation

Production facilities typically consist of a set of processing, manufacturing, logistic and auxiliary units. These have been tighter integrated regarding energy, material flow and automation systems in order to improve operational effectiveness, efficiency and flexibility. The reduced buffer storages increase the coupling strength and require extending the system boundaries to sufficiently capture the system dynamics for control system design. The modularization of processing plants using package units with standardized process and information/automation interfaces is another trend. In addition, a quest towards a larger variety of specialized or even personalized products can be observed, tagged as “lot one production” at the far end. Recently, networked production systems received major interest under the label “Industry 4.0”. To enable testing new automation concepts and algorithms that answer such trends without endangering plants, people or environment, the model factory µPlant was developed. In addition, µPlant permits undergraduate and Ph.D. students to get hands-on-experience on state-of-the-art robotics and automation technology.

The model factory µPlant represents a networked, changeable scale-production plant with industrial instrumentation and automation systems but miniaturized processing components. It is composed of several heterogeneously automated subsystems for continuous fluid pro-

cessing, discrete manufacturing, warehousing and material flow using mobile robots. Commercially or public domain automation and information systems are used augmented by own applications/software components. Different hardware platforms (PLCs, industrial PCs, office PCs, Micro-PCs) and operating systems (Microsoft Windows 7, Linux/Ubuntu 14.4, and ABB AC700 OS) are employed. All subsystems are integrated to permit an autonomous plant operation and to access all operational data for analysis. Section 2 gives an overview of the model factory. Details of the plant units are recorded in section 3. Section 0 is dedicated to the control systems. Section 5 concludes this article.

2 Model factory overview and utilization

2.1 Plant layout

The guiding design principle was to obtain a modular factory that integrates different production types: fluid processing systems, blending and storage systems, discrete manufacturing systems as well as industrial robots and mobile robots. In order to avoid hazardous waste and relax safety requirements, μ Plant works with water but no additional chemicals and temperatures are kept below 60 °C. The product is filled into 0.8 l bins. Small polymer balls of different color can be added to a bin to represent different products. Intermediate product can be transferred by the 0.8 l or by larger 3.5 l bins. Finally, water and balls are automatically separated and reused as raw material again permitting to run the plant in a loop without producing any waste.

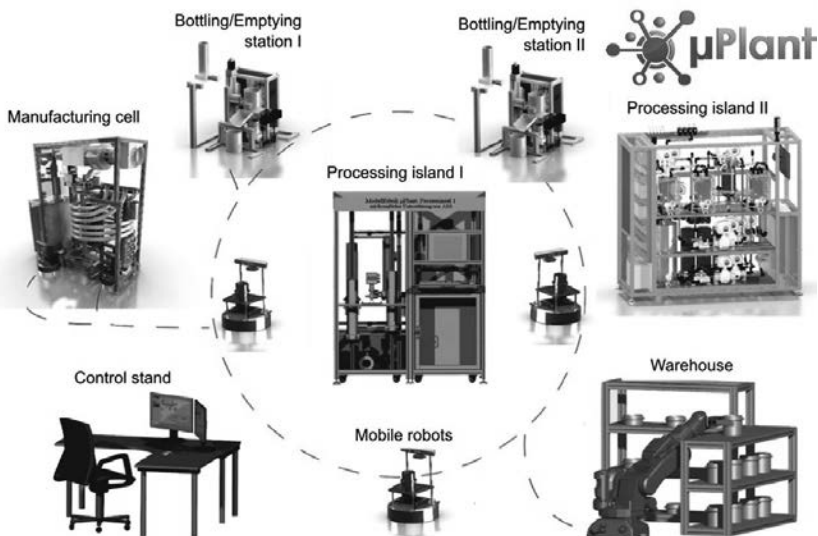


Fig. 1: Schematic sketch of the model factory μ Plant

Simulation 2025: Simulation im Lebenszyklus industrieller Anlagen

Dr.-Ing. **Mathias Oppelt**, Dipl.-Math. **Roland Rosen**,
Siemens AG, München;
Dipl.-Ing. (FH) **Mario Hoernicke**, ABB AG, Ladenburg;
Prof. Dr.-Ing. **Leon Urbas**, Technische Universität Dresden;
Prof. Dr.-Ing. **Mike Barth**, Hochschule Pforzheim

Kurzfassung

Simulation wird branchenübergreifend als wichtiges und etabliertes Werkzeug für moderne Engineering-Prozesse betrachtet. Insbesondere die Automatisierung moderner Produktionsanlagen verwendet Modellierungs- und Simulationstechniken in verschiedenen Projektphasen, um sowohl die Anlage, aber auch das Produkt in bestmöglicher Qualität zu entwickeln. Die jüngsten Trends rund um die sogenannte „Digitalisierung von Produktionsanlagen“ bestärken die Relevanz von virtuellen Engineering-Szenarien. Der vorliegende Beitrag stellt die Ergebnisse eines in 2015 unter der Leitung des GMA-Fachausschusses 6.11 stattgefundenen Workshops zur zukünftigen Entwicklung von Simulationen im Lebenszyklus industrieller Anlagen vor. Unter dem Arbeitstitel „Simulation 2025“ werden international erfragte Meinungen und Einschätzungen von Simulationsexperten strukturiert und in Thesen formuliert. Hierzu stellt der Beitrag prognostizierte Entwicklungen im Bereich der Simulation innerhalb der kommenden 10 – 15 Jahre vor und erläutert die notwendigen Schritte zu deren Realisierung.

1. Einleitung

Die zunehmende Komplexität moderner Produktionsanlagen wirkt sich unmittelbar auf deren Engineering- und Betriebsphasen aus. So erfahren Ingenieure stetig zunehmende Anforderungen und Aufgaben, die unter gleichzeitig wachsendem Zeit- und Kostendruck erfüllt werden müssen. In diesem Zusammenhang trägt der Einsatz von Simulationstechniken dazu bei, dass aufkommende Fragestellungen frühzeitiger, zuverlässiger und mit geringerem Risiko beantwortet werden können. Diese, über alle Gewerke hinweg gültige Aussage, gewinnt auch im Engineering von Automatisierungssystemen für industrielle Anlagen zunehmend an Relevanz. In diesem Zusammenhang widmet sich der Fachausschuss 6.11 „Virtuelle Inbetriebnahme“ der Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik aktuellen Fragestellungen rund um den effizienten und zukunftsorientierten Einsatz von Simulationen im Enginee-

ring von Automatisierungssystemen. Das hierbei notwendige Erfahrungswissen aus der industriellen Praxis wurde im Rahmen eines in 2015 durchgeführten Workshops vorgestellt und diskutiert. Teilnehmer waren sowohl Anlagenbetreiber als auch Systemlieferanten. Diskussionsgrundlage des Workshops war eine in [1] veröffentlichte, globale Umfrage zur Nutzung von Simulation im Lebenszyklus einer Prozessanlage in Kombination mit daraus abgeleiteten Szenarien [2]. Die zusammenfassend aus allen Berichten, Umfragen und Arbeitstreffen abgeleiteten Hauptthesen in Bezug auf den Arbeitstitel „Simulation 2025“ sind:

1. Simulationsmodelle von Geräten und/oder Modulen werden zukünftig von den jeweiligen Lieferanten erstellt und als Teil des realen Produktes ausgeliefert.
2. Simulation wird ein noch bedeutender, integraler Bestandteil des Engineerings von industriellen Anlagen. Dabei werden Modelle durchgängiger – über Gewerkegrenzen und Projektphasen hinweg – angewendet.
3. Ein abgestimmtes Set verschiedener Simulationsmodellen ist in eine durchgängig wachsende *digitale Anlage* integriert und ermöglicht damit, ausgerichtet auf den jeweiligen Anwendungsfall, eine passende Modellierungstiefe.

Die Autoren erwarten eine durchgängige und integrierte Anwendung von Simulation bzw. der dafür notwendigen Modelle. Dies gilt insbesondere für das Engineering des Automatisierungssystems. Getragen wird diese Annahme insbesondere durch sich ändernde technologische Rahmenbedingungen. Hierbei zu nennen sind nicht mehr bestehende Restriktionen hinsichtlich der Rechenleistung und der Speicherkapazität, welche z. B. durch den Einsatz von (unternehmensinternen) Cloud-Computing-Technologien aufgehoben werden können [3]. Auch weitreichende Möglichkeiten bei der Werkzeugauswahl für Simulation unterscheiden sich deutlich von den Möglichkeiten vergangener Jahrzehnte. So sind heute Multi-Core-Simulationen, Co-Simulationen, Hardware-in-the-Loop-(HIL)- und Software-in-the-Loop-(SIL)-Szenarien mit vergleichbar geringem Aufwand möglich. Hinzu kommt, dass Modellierung und Simulation ein Bestandteil der Hochschulausbildung von Ingenieuren sind, wodurch die Hürde zum Einsatz dieser Technologie herabgesetzt wird.

2. Simulationsmodelle als Bestandteil der Geräte-/Modulauslieferung

Das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ bildet, in Kombination mit der Anwendung cyberphysischer Systeme (CPS), den aktuellen Kernpunkt zahlreicher akademischer und industrieller Forschungsvorhaben [4]. Obgleich die Diskussionspartner unterschiedliche Sichtweisen bzw. Lösungsvorstellungen haben, sind sich die meisten Experten darüber einig, dass sich die Produktion – gerade in Hochtechnologieländern – zukünftig flexibler

Verwendung virtueller Bandendeprüfstände zum frühzeitigen Erreichen des Reifegrades der Serienprüfung

Kostenoptimierung durch Nachnutzung von Simulationskomponenten aus der Entwicklung

Dr. Peter Bidian, Dr. Jörn Göres, Dipl.-Ing. Jan Röper,
Daimler AG, Stuttgart;
Dr. Andreas Junghanns, QTronic GmbH, Berlin

Kurzfassung

Komplexe mechatronische Produkte benötigen gründliche Qualitätsprüfungsmaßnahmen am Ende der Produktion um deren korrekte Funktion sicherzustellen. Typische Bandendetests bewerten die Funktionalität eines Produkts um Produktionsfehler zu entdecken, wie zum Beispiel falsche oder defekte Komponenten, Leckagen etc. Trotz wachsender Komplexität der Prüflinge wird die Anlaufzeit der Produktion stetig verkürzt. Späte Verfügbarkeit von realen Prüflingen und Prüfständen erhöht die Herausforderung der Prüfstands- und Prüfprogrammentwicklung.

Wir beschreiben hier, wie das Prüfsystem virtualisiert wird, wofür Simulationen und Simulationskomponenten aus den frühen Phasen der Produktentwicklung nachgenutzt werden können oder angepasst werden müssen. Die resultierende Simulation ermöglicht es, den realen Prüfrechner an diese Prüfstandssimulation anzuschließen ohne die Prüfautomatisierung zu verändern. Damit wird es möglich, frühzeitig vor der Existenz von realen Prüflingen und realen Prüfstand Prüfprogramme zu entwickeln, zu testen und teilweise auch zu parametrieren/optimieren. Dies erlaubt nicht nur den schnelleren Produktionsanlauf, sondern auch eine genauere Abschätzung von Prüfzeiten und Prüfkosten der Bandendeprüfung.

1. Einführung

Komplexe mechatronische Produkte benötigen gründliche Qualitätsprüfungsmaßnahmen am Ende der Produktion um deren korrekte Funktion sicherzustellen. Typische Bandendetests bewerten die Funktionalität eines Produkts um Produktionsfehler zu entdecken, wie zum Beispiel vergessene, falsch verbaute oder defekte Komponenten, Leckagen etc. Da mehr und mehr Funktionalität aus der Hardware in die Steuergerätesoftware verlagert wird, muss die Software zunehmend im Bandendetest berücksichtigt werden. Trotz wachsender Kom-

plexität der Prüflinge wird die Produktionszeit („hours per unit“) und Anlaufzeit der Produktion stetig verkürzt. Die späte Verfügbarkeit von realen Prüflingen und Prüfständen erhöht die Herausforderung der Prüfstands- und Prüfprogrammentwicklung.

Die Simulation virtueller Steuergeräte (vECUs) gilt heute in der Entwicklung von mechatronischen Produkten als Stand der Technik. Simulation hat den Entwicklungsprozess für Steuergerätefunktion und –parametrierung, sowie die Hardware signifikant beschleunigt.

Wir werden hier beschreiben, wie Simulationen und standardisierte Simulationskomponenten aus den frühen Phasen der Produktentwicklung für die Beschleunigung des Produktionsanlaufes nachgenutzt und angepasst werden können. Wir beschreiben auch, welche produktionsspezifischen Erweiterungen nötig sind, wie zum Beispiel Prüfstandshardware, E-Maschinen als Antrieb und Bremse, zusätzliche Sensorik und Aktuatorik des Prüfstandes, etc. Des Weiteren müssen die prüfstandspezifischen Kommunikationsprotokolle für die Verbindung zwischen Prüfstand und Prüfrechner nachgebildet werden: CAN-Bus-Kommunikation, UDS-Protokoll, Profibus-Kommunikation, DAQ-Technologie werden benötigt, um vom Prüfprogramm aus den (virtuellen) Prüfstand zu steuern und zusätzliche Messsignale zu lesen. Dies auch in der Simulation nachzubilden ermöglicht den realen Prüfrechner an den virtuellen Prüfstand ohne Anpassung der Prüfautomatisierung anzuschließen. Damit wird es möglich, frühzeitig vor der Existenz von ersten realen und teuren Prüflingen und realem Prüfstand Prüfprogramme zu entwickeln, zu testen und teilweise auch zu parametrieren/optimieren. Dies erlaubt nicht nur den schnelleren Produktionsanlauf, sondern auch eine genauere Abschätzung von Prüfzeiten und Prüfkosten der Bandendeprüfung. Und nicht zuletzt erlaubt die Simulation des Prüflings Fehleraufschaltung und damit die Absicherung von Prüfprogrammoptimierungen hinsichtlich der Entdeckung fehlerbehafteter Prüflinge.

2. Ziel und Methoden des Bandendetests

Am Ende der Produktion von Automatikgetrieben [3] werden diese einer umfassenden Prüfung unterzogen. Zum Beispiel werden alle Gänge geschaltet um die Schaltqualität zu prüfen, die Parksperre wird geprüft um einen Nachweis für die sichere Funktion zu erbringen. Dazu wird ein Prüfstandsystem verwendet, das aus dem Prüfstand, dem Prüfling und dem Prüfrechner besteht. Auf dem Prüfrechner wird ein Programm ausgeführt, das das Testsystem stimuliert und die Reaktionen des Systems auf Korrektheit prüft. Dazu werden Grenzwerte überwacht, dokumentiert und statistisch ausgewertet. Anhand dieser Auswertung wird das Getriebe entweder freigegeben oder in die Nacharbeit geschickt.

Bild 1 zeigt den Grobaufbau eines solchen Prüfsystems mit seinen Komponenten.

Prozessüberwachung als Dienstleistungs-App auf einem Cyber-Physischen System

Dipl.-Phys. **M. Bartelt**, Prof. Dr.-Ing. **B. Kuhlenkötter**,
Ruhr-Universität Bochum, Bochum;
Dr.-Ing. **A. Strahilov**, EKS InTec GmbH, Weingarten

Kurzfassung

Durch die Verfügbarkeit leistungsfähiger und kostengünstiger Einplatinen-Computer lassen sich klassische Produktionsanlagen mit wenig Aufwand zu Cyber-Physischen Systemen erweitern. Dennoch ist dies bisher mit einem relativ hohen Aufwand auf Seiten der Software-Entwicklung verbunden. Der Vorliegende Beitrag stellt ein Konzept und exemplarische Umsetzung einer Architektur vor, welche diesen Aufwand verringern soll. Zudem wird eine Schnittstelle eingeführt, über welche die Systeme um zusätzliche Funktionen erweitert werden können.

Abstract

Due to the availability of efficient and cost-effective single-board computers, classical production systems can be extended with little effort to cyber-physical systems. Nevertheless, this causes a relatively high software development effort. The present article introduces a concept, which is able to reduce this effort, and describes an implementation demonstrating this concept. In addition, an interface is introduced, through which those systems can be expanded by additional functionalities.

1 Einleitung

Cyber-Physische Systeme (CPS) [1] sind durch eine Integration von informationstechnischen (virtuellen) und realen Komponenten gekennzeichnet. Während solche Systeme in Automatisierungssystemen bereits seit den 1970er Jahren eingesetzt werden, zeichnen sich CPS besonders durch eine hohe Vernetzung über offene Informationsnetzwerke, wie bspw. das Internet, aus. Im Vergleich zu klassischen Komponenten können damit CPS-Komponenten auf mehr Informationen zugreifen und gleichzeitig mehr Informationen bereitstellen, sodass sie auch Aufgaben aus anderen Ebenen der Automatisierungspyramide (vgl. [2]) übernehmen können. Die Pyramide wandelt sich damit zu einem dezentralem System intelligenter Komponenten (vgl. [3]). Zudem eröffnet sich durch die Vernetzung die Möglichkeit der Nut-

zung und Bereitstellung neuer Dienstleistungen (vgl. [4]). Dabei sind die Möglichkeiten des CPS-Konzepts nicht auf die Automatisierungstechnik beschränkt, sondern sie finden Einzug in Bereiche wie Medizintechnik, Verkehrs- und Flugüberwachung, Fahrzeug- und Energietechnik oder Kommunikationssysteme [5]. Dennoch ist ein breiter Einsatz solcher Systeme, besonders bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), nicht zu beobachten. Gründe sind oft ein ungewisser Nutzen bei erhöhten Kosten und Sicherheitsrisiken.

Allerdings lassen sich klassische (physische) Systeme mit geringem Kostenaufwand mit geeigneter Elektronik erweitern, um CPS-Konzepte umzusetzen. In den letzten Jahren populär gewordene Ein-Platinen-Computer, wie der Raspberry Pi oder das Minnowboard Max sind bereits für einen Preis von 100 € verfügbar [6] und besitzen eine ausreichende Anzahl an Kommunikationsschnittstellen – einfache digitale Ein- bzw. Ausgänge bis hin zu USB- oder Ethernet-Schnittstellen. Ähnliche Systeme für den industriellen Einsatz sind, bspw. im PC/104 Formfaktor, ebenfalls verfügbar. Zudem ist mit der Entwicklung sogenannter Micro-Elektromechanischer Systeme (MEMS) ein breites Spektrum an günstiger Sensorik verfügbar. Auf dieser Basis wird nachfolgend ein Konzept vorgestellt, mit dem klassische Systeme zu Cyber-Physischen Systemen aus- bzw. umgebaut werden können. Das System soll dabei einfach erweiterbar sein und Möglichkeiten zur Prozessüberwachung bieten. Durch Einsatz geeigneter Standards soll ein *Plug-And-Produce* Prinzip umgesetzt werden, sodass das System ohne aufwendige Programmierung eingesetzt werden kann.

2 Architektur

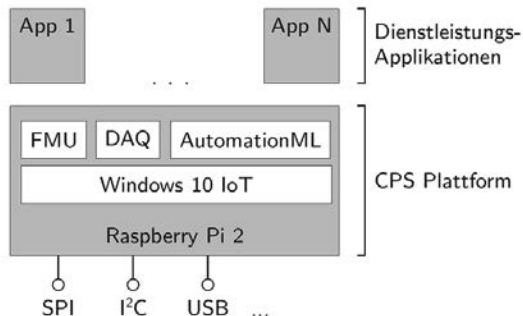


Bild 1: Schematische Darstellung der Architektur.

Ein zentraler Aspekt der avisierten Cyber-Physischen Systeme ist die Möglichkeit, Erweiterungen zu integrieren. Solche Erweiterungen können bspw. in Form von Dienstleistungen bereitgestellt werden oder auch dazu genutzt werden, um weiterführende Dienstleistungen,

Regelung nicht-linear gekoppelter elektromagnetischer Aktuatoren zur aktiven Widerstandsreduktion in turbulenter Strömung

Control of Nonlinear Coupled Electromagnetic Actuators for Active Drag Reduction in Turbulent Flow

M. Sc. **M. Dück**, Ba. Sc. **J. Trabert**, M. Sc. **F. Seidler**, **W. Silex**,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **S. van Waasen**, Dr. **M. Schiek**,
Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich;
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **D. Abel**, Institut für Regelungstechnik, Aachen;
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **E. Castelan**,
Dep. of Automation and System Eng., Florianopolis, BR

Kurzfassung

Die Forschergruppe FOR1779 „Aktive Widerstandsreduktion durch wellenförmige Oberflächenoszillation“ entwickelt robuste Methoden zur Reduktion des turbulenten Reibungswiderstands mittels Strömungsregelung. Die nunmehr geplante Konzentration auf instationäre Anströmungsbedingungen erfordert eine Regelung des elektromagnetischen Aktuator-Systems für die Generierung der transversalen Oberflächenwellen. Die längs zur Anströmungsrichtung parallel angeordneten Balken des Aktuator-Systems sind über die Aluminiumoberfläche gekoppelt. Das Aktuator-System kann in guter Näherung als ein System gekoppelter, getriebener, gedämpfter, eindimensionaler Oszillatoren mit ausgeprägter nichtlinearer Kopplung modelliert werden, wobei der anvisierte Parameterbereich der Oberflächenwellen eine rein elastische Verformung der Aluminiumoberfläche sicherstellt. Bisherige modellbasierte Untersuchungen ergaben eine erfolgreiche Regelung über einen Iterativ Lernenden Regler (ILR) [4]. Hierbei erwiesen sich sowohl die Reibung, als auch Rauschen (Mess- und Systemrauschen) und die Totzeit des physikalischen Systems als kritische Parameter. Diese Parameter werden daher über Messreihen an einem ungeregelten Testaufbau ermittelt. Die Bestimmung der Parameter ermöglicht über die Verfeinerung des Modells die Optimierung der Regelung. Neben dem ILR wurden auch andere Regelstrategien (z.B. PID, PD) entsprechend untersucht und die Ergebnisse hinsichtlich Genauigkeit, Robustheit und Energieeffizienz verglichen.

Abstract

The research group FOR1779 "active drag reduction via wavy surface oscillations" develops robust methods for reduction of turbulent friction drag by flow control. The planned concentration on unsteady flow conditions requires a control of the electromagnetic actuator system for generation of transversal surface waves. The bars are positioned in parallel and coupled with an aluminum surface to generate a travelling wave perpendicular to the flow field. The actuator system can be approximately modelled as a system of coupled, damped, driven, one dimensional oscillators with strong nonlinear coupling. The focused parameter range guarantees only an elastic deformation of the aluminum surface. Previous model-based investigations show a successful control with an iterative learning controller (ILC) [4]. The friction, the noise (measurement- and system noise) and the delay time proved to be critical parameters. These parameters are therefore determined by measurements on the uncontrolled prototype. The determination of the parameters enables the refinement of the model and the optimization of the control. In addition to the ILC also other control strategies (e.g. PID, PD) have been investigated accordingly and compared in terms of accuracy, robustness and energy efficiency.

1. Einleitung

Für die Entwicklung robuster Methoden zur Reduktion des turbulenten Reibungswiderstandes im hohen Reynoldszahlenbereich ($Re > 10^4$) werden in der Forschergruppe 1779 „Aktive Widerstandsreduktion durch wellenförmige Oberflächenoszillation“ sowohl numerische Berechnungen als auch Experimente in einem subsonischen Windkanal durchgeführt. Für die Erzeugung der transversalen Oberflächenwellen quer zur Windrichtung wurde ein elektromagnetisches Aktuatorsystem entwickelt, dass auf einer bis zu 0.5mm starken Aluminiumoberfläche Wellen mit einer Amplitude von 0.5mm (bei einer Wellenlänge von 160mm) erzeugen kann. Für die effiziente Durchführung von Parameterstudien wurde eine auf LabView Realtime basierende Ansteuerung entwickelt, die eine echtzeitige Variation der Wellenparameter ermöglichte [1]. In der Zwischenzeit wurde das elektromagnetische Aktuatorsystem deutlich weiterentwickelt, wodurch nunmehr Wellenamplituden von bis zu 1mm und durch die engere Anordnung der parallel ausgerichteten Aktuatorbalken auch kürzere Wellenlängen erzeugt werden können. Zudem erlauben unterhalb der Aktuatorenbalken angeordnete Lichtschranken die echtzeitige Überwachung der Amplitudenauslenkung aller Aktuatoren und schaffen damit die Voraussetzung für die Implementierung einer Wellenregelung. Die Entwicklung der Wellenregelung ist notwendig sowohl aufgrund der engeren Anordnung der Aktuatorbalken als auch wegen der nunmehr geplanten Untersuchung von instationären An-

Lebenszyklus-Management von Regelkreisen

Performance-Indikatoren für verschiedene Fahrweisen von Regelkreisen

Lifecycle Management of Control Loops

Cloud-basierter Service zur Überwachung der Regelgüte

Reibungseffekte in Stellventilen

Dr.-Ing. **Bernd-Markus Pfeiffer**, Dipl.-Ing. **Christian Heck**,
Siemens AG, Karlsruhe

Kurzfassung

Im Lebenszyklus von Regelkreisen spielt die Überwachung der Regelgüte im laufenden Anlagenbetrieb eine entscheidende Rolle. Sie macht die Leistungsfähigkeit aller Regelkreise der betrachteten Anlage transparent und ermöglicht damit eine gezielte Planung und fokussierte Umsetzung von Maßnahmen zur Wartung, Instandhaltung und Optimierung der Regelkreise. Neben den etablierten Software-Tools zur Überwachung der Regelgüte, die lokal in einer Anlage installiert werden können, wird seit Mai 2015 ein neuer, cloud-basierter Service hierfür angeboten. Ausgehend von den verschiedenen Phasen im Lebenszyklus eines Regelkreises beschreibt der Beitrag das Konzept für solche Dienstleistungen und praktische Aspekte der Anwendung.

Abstract (optional)

Control performance monitoring during plant operation is a crucial aspect of control loop lifecycle, achieving performance transparency of all control loops in a process plant. This enables dedicated planning and focused implementation of control loop maintenance and optimization. Besides the well-established software tools for control performance monitoring, that are installed locally in a plant, now there is a new cloud-based service called "Control Performance Analytics". Starting from the different phases of control loop lifecycle, this contribution describes the concept of this new service and practical aspects of application.

Einführung: Der Lebenszyklus von Regelkreisen

Im Rahmen der Betrachtung des Lebenszyklus von Informations-, Kommunikations- und Automatisierungstechnik in der Prozessindustrie spielen verschiedene Assets eine Rolle. Das Rückgrat der Automation einer verfahrenstechnischen Anlage sind die zahlreichen Regelkreise, von deren korrekter Funktion die Sicherheit und Effizienz des Anlagenbetriebs in hohem Maße abhängt. Daher befasst sich der vorliegende Beitrag mit dem Lebenszyklus von Regelkreisen. Der mit Abstand längste Zeitraum im Lebenszyklus eines Regelkreises ist der Anlagenbetrieb. In dieser Phase muss der Regelkreis seine eigentliche Aufgabe im Kontext der Automatisierung erfüllen. Hierbei ist es die Aufgabe des Anlagenbetreibers, die Leistungsfähigkeit des Regelkreises permanent zu überwachen und zu optimieren.

Der Lebenszyklus eines Regelkreises in verfahrenstechnischen Anlagen erstreckt sich entsprechend der langen Planungs- und Laufzeiten der Anlagen über 10 bis 30 Jahre, wobei sich verschiedene Phasen unterscheiden lassen, die im Folgenden kurz aufgezählt sind.

- **Basic-Engineering:** Die grundlegende Planung eines Regelkreises erfolgt im R&I-Plan (Rohrleitungs- und Instrumentierungs-Schema): Aus den Anforderungen an die Prozessführung aus Sicht der Verfahrenstechnik wird abgeleitet, an welchen Stellen in der Anlage welche Größen gemessen und geregelt werden sollen, und welcher Stelleingriff (Aktor) jeweils dafür vorgesehen ist. Die Erstellung von R&I-Plänen kann in einem verfahrenstechnischen CAE-Tool wie z.B. Comos erfolgen.
- **Detailed Engineering:** Der genaue Signalfluss eines Regelkreises wird im Rahmen der Projektierung des Prozessleitsystems (PLS) festgelegt, typischerweise in Form eines CFC-Plans (Continuous Function Chart), wenn möglich ausgehend von vordefinierten Messstellentypen (Control Module Types, [8.]). Ggf. kann die PLS-Projektierung semi-automatisch aus der CAE-Planung (Computer Aided Engineering) abgeleitet werden. Grundlegende Parameter wie Mess- und Stellbereich sowie Alarmgrenzen werden dabei festgelegt.
- **Wasserfahrt:** Im Rahmen einer Wasserfahrt wird getestet, ob die Aktoren (Pumpen, Ventile etc.) arbeiten und vom Regler angesprochen werden können sowie ob der Istwert korrekt angezeigt wird. Neben dem grundlegenden Signalfluss kann dabei auch die Benutzeroberfläche (Bildbausteine in OS-Bildern für die Anlagenfahrer, OS: Operator Station) sowie die Alarmauslösung getestet werden.
- Bei der **Inbetriebnahme** werden die dynamischen Parameter wie Regler-Verstärkung und Nachstellzeit festgelegt. Dabei kann vorteilhaft ein Software-Tool zur rechnergestützten Optimierung der Parameter (z.B. PID-Tuner) verwendet werden.

Dynamische Berechnung der Zuverlässigkeit von vernetzten kooperierenden Produktionssystemen

Dr.-Ing. **Nasser Jazdi**, Prof. Dr.-Ing. **Michael Weyrich**,
Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme,
Universität Stuttgart

Kurzfassung

Vernetzte und smarte Anwendungen haben besondere Merkmale wie dynamische Architekturen, verteilte und flexible Kooperation von intelligenten Einheiten. Die Zuverlässigkeit dieser Systeme ist ein signifikanter Faktor für den Erfolg dieser Anwendungen. Die klassischen Zuverlässigkeitsmethoden können nicht ohne weiteres übernommen werden. Es besteht Bedarf an neuen Ansätzen zur dynamischen Berechnung der Zuverlässigkeit. Dadurch können einerseits präventive Maßnahmen zur Erhöhung der Verfügbarkeit solcher Anwendungen abgeleitet werden, andererseits kann nachgewiesen werden, dass die Anwendung die geforderte Zuverlässigkeit auch erfüllt. Dieser Beitrag präsentiert einen Ansatz zur dynamischen Zuverlässigkeitsberechnung von vernetzten kooperierenden Produktionssystemen.

1. Einleitung

Digitalisierung und Vernetzung auf Basis von Cyber-physischen-Systemen (CPS) verändern die Automatisierung signifikant [1]. Ziel ist die Entstehung smarterer Fabriken, die sich durch intelligente Vernetzung, Mobilität und hohe Flexibilität auszeichnen. Hierfür müssen automatisierte Systeme als kooperierende Einheiten in einem großen Netzwerk auftreten [2] [3]. Die physikalische Welt kommt der virtuellen immer näher, bis zu dem Punkt, wo beide verschmelzen zu sogenannten CPS. Diese Systeme umfassen unterschiedliche Aspekte in der Produktion: von intelligenten Maschinen, Lagersystemen und Betriebsmitteln bis hin zu Eingangs- und Ausgangslogistik, dem Marketing und der Produktion selbst. Durch die Vernetzung entstehen neue Geschäftsmodelle, Arbeitsprozesse und Entwicklungsmethoden, z.B. im Bereich Selbstdiagnose, Selbstkonfiguration und Selbstoptimierung.

Einer der wesentlichen Aspekte von Industrie 4.0 ist die Vernetzung der einzelnen Systeme und Komponenten untereinander. Das ist durch den Einzug des neuen Internetprotokolls (IPv6) möglich, denn durch dieses sind ausreichend Adressen vorhanden, um eine Vernetzung von Ressourcen, Informationen, Objekten und Menschen zu ermöglichen. Diese erstmalige Vernetzung mit der Industrie ist unter dem Begriff des Internets der Dinge und Dienste bekannt geworden [4]. Ein zentraler Aspekt von I4.0 sind die vernetzten kooperierenden

Produktionssysteme, die sogenannten Smart Factories. Es sollen alle Bereiche des täglichen Lebens, wie Smart Mobility, Smart Logistic, Smart Buildings, Smart Product und Smart Grid mit der Fabrik der Zukunft vernetzt werden. Der Informationsaustausch wird mit Hilfe des Internets der Dinge und durch Dienste in höchstem Maße ermöglicht [4]. Vernetzte kooperierende Produktionssysteme verbinden die Maschinen, Menschen und Ressourcen miteinander und bieten Flexibilität, Effektivität und Verfügbarkeit. Die dezentralen Einheiten realisieren die Anforderungen dynamisch durch Kooperation und können sich an die geänderten Randbedingungen anpassen.

Gleichzeitig kommen auf die automatisierten Systeme neue Herausforderungen bezüglich der standardisierten Kommunikation, der Entwicklung intelligenter und kooperierender Module, der Architektur der Produktionsanwendungen, der Zuverlässigkeit, der Safety und der Security zu [5]. Hierzu braucht die Automatisierungstechnik neue Konzepte, Architekturen, Referenzmodelle und intelligente Module.

Auch wenn Komponenten Aufgaben von anderen Komponenten übernehmen könnten, heißt das nicht, dass der Ausfall einer Komponente nicht zum Ausfall des Gesamtsystems führen kann. Es könnte auch der Fall eintreten, dass eine spezielle Komponente nicht einfach durch eine andere ersetzt werden kann. Sollte diese nicht redundant verfügbar sein, kann diese spezielle Aufgabe von keiner anderen Komponente übernommen werden. Eine Betrachtung der Zuverlässigkeit ist somit unerlässlich [6].

2. Zuverlässigkeitsberechnung

Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein System innerhalb eines definierten Zeitintervalls und unter zulässigen Betriebsbedingungen die geforderten und spezifizierten Funktionen erfüllt. Maßnahmen in der Zuverlässigkeitstechnik dienen der Prävention von Fehlern oder Ausfällen. Diese Maßnahmen werden durchgeführt, um die Wirtschaftlichkeit zu erhalten und um Garantiezeiten einhalten zu können [7].

Zuverlässigkeit ist von vielen Einflussfaktoren abhängig und muss daher unter Berücksichtigung dieser Einflüsse abgeschätzt oder berechnet werden. Bild 1 zeigt eine Übersicht von Einflussfaktoren.

Modellbasierte Regelung für den Einsatz in Umweltsimulationsanlagen

Dr.-Ing. **Enno Wagner**,
Weiss Umwelttechnik GmbH, Reiskirchen-Lindenstruth;
Dipl.-Ing. (FH) **Daniel Zöller**, M.Sc.,
Dipl.-Ing. **Thomas Lammersen**,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Dirk Abel**,
Institut für Regelungstechnik, RWTH Aachen University, Aachen

Kurzfassung

In unterschiedlichen Bereichen von Forschung, Entwicklung und Industrie werden heute Umweltsimulationsanlagen eingesetzt, mit denen in einem abgeschlossenen Volumen beispielsweise Temperatur und Feuchte einem individuellen Sollwert-Programm folgend eingestellt werden. Eine Regelung dieser Anlagen erfolgt im industriellen Umfeld üblicherweise mit PID-Reglern, die mittels empirischer Anpassungsfunktionen für die speziellen Anforderungen der jeweiligen Anlage aufwändig optimiert wurden.

In diesem Beitrag wird ein Konzept basierend auf einem modellbasierten Regelungsalgorithmus zur Temperaturregelung eines Prüfraumes vorgestellt. Grundlage dieses Konzeptes ist ein physikalisches Modell des Prüfraums, mit dem die Reaktion auf Eingangsgrößen berechnet werden kann. In einem ersten Schritt werden die inneren Systemzustände, basierend auf der tatsächlich gemessenen Reaktion des Prozesses durch einen Beobachter berechnet. Diese Systemzustände werden in dem umgesetzten Regelungskonzept dazu genutzt, die Prozessreaktion vorauszuberechnen. Anschließend wird mit Hilfe eines nachgelagerten Optimierers eine optimale Eingangsgrößenfolge bestimmt. Durch wiederholtes Auswerten dieser Vorausschau und der Optimierung kann die Stellgröße dynamisch angepasst werden.

Dieser Regelalgorithmus wurde zunächst auf einem externen PC zur Steuerung eines realen Prüfschranks installiert. In einem zweiten Schritt gelang die Integration in das industrielle Steuer- und Regelungssystem der Umweltsimulationsanlage.

Als Ergebnis der Untersuchungen kann gezeigt werden, dass dies Regelungskonzept bereits mit geringem Einstellaufwand vergleichbar sehr gute Messergebnisse wie ein Jahrzehnte lang optimierter PID-Regler liefert. In einigen Punkten ist der neue Regler überlegen.

1. Einleitung und Motivation

Umweltsimulationsanlagen werden in unterschiedlichen Bereichen der Industrie eingesetzt um Produkte, Baugruppen und Materialien unter variierenden äußeren Bedingungen zu testen. Üblicherweise können hierbei Temperaturen im Bereich von $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, Relative Luftfeuchtigkeiten zwischen 10 % und 90 % eingestellt werden. Der Druckbereich geht von 1050 mbar bis in den Vakuum-Bereich von 10^{-7} mbar. Je nach Bauform und Anwendungsgebiet können diese Anlagen in verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Standard-Klimaschränke, wie z. B. in Abbildung 1 dargestellt, mit einem Prüfraumvolumen von unter einem Kubikmeter, regeln typischerweise Temperatur und Feuchte. Kompakt-Kammern sind begehbar und haben ein Volumen von mehreren Kubikmetern. Großanlagen, insbesondere für die Automobilindustrie, weisen einige hundert Kubikmeter Prüfraumvolumen auf und stellen komplexe System dar, in denen neben Temperatur und Feuchte, auch der Luftdruck eingestellt werden kann.



Abbildung 1: Klimaschrank der Weiss Umwelttechnik GmbH

Eine Regelung dieser Anlagen erfolgt üblicherweise mittels PID-Reglern, die für die speziellen Anforderungen der Umweltsimulationsanlagen angepasst und parametrisiert werden [1]. Oftmals werden empirisch ermittelte Funktionen verwendet, um eine dynamische Adaption der Regelparameter zum Beispiel in Abhängigkeit der Sollwert-Änderungsgeschwindigkeit zu ermöglichen. Hierfür sind umfangreiche und langjährige Praxiserfahrungen notwendig. Darüber hinaus beansprucht die exakte Einstellung der PID-Regler häufig einen enormen Zeitaufwand bei der Inbetriebnahme der Anlagen.

MTConnect – ein Baustein des IOT

Projektspezifisch umgesetzt: WAGOs PFC-Steuerungen kommunizieren Maschinendaten gemäß MTConnect

Dr. G. Meyer-Gauen, B. Böhm, S. Döpking, Dipl.-Ing. U. Hempen,
WAGO Kontakttechnik, Minden

Kurzfassung

MTConnect ist ein neuer Kommunikationsstandard, der mittels eines RESTful-Web-Service Maschinendaten über Ethernet in einem standardisierten XML-Format zur Verfügung stellt. MTConnect setzt sich besonders in der Herstellungsbranche immer mehr durch. Eine neue Variante der PFC-Steuerungsgeneration von WAGO hat MTConnect bereits vorinstalliert. Auf diese Weise ist der Betrieb eines MTConnect-Agenten ohne große Vorkenntnisse des Standards möglich.

1. Einleitung

Wer jemals versucht hat, Maschinendaten in seinem Betrieb zu nutzen, der weiß, wie schwierig und aufwendig dieses Unterfangen sein kann. Es gibt nicht nur eine Vielzahl unterschiedlicher Anschlüsse (z. B. Serial, Ethernet, Profibus, USB), von denen zudem meistens kein freier Steckkontakt zur Verfügung steht. Die Daten werden darüber hinaus in den unterschiedlichsten Formaten (z. B. Modbus, Profibus, EtherCAT) übermittelt, für die man ohne Anleitungen vom Maschinenhersteller nicht weit kommt. Da aber ohne die Daten von Maschinen Zukunftskonzepte einer effizienten und modernen Fabrik – Stichwort Industrie 4.0 – kaum umsetzbar sind [1], besteht ein immer größerer Bedarf an Standards, die den Umgang mit Maschinendaten normalisieren und dadurch erleichtern.

MTConnect ist ein lizenzfreier Open-Source-Standard [2], der 2008 genau zu diesem Zweck ins Leben gerufen wurde und sich seitdem stetig durchsetzt. MTConnect basiert auf Technologien (Ethernet, XML), die für jedermann zugänglich und einfach zu lesen sind und für die man keine speziellen Anschlussstecker oder Software-Programme benötigt – ein Web-Browser sowie die IP-Adresse und Port-Nummer einer Maschine ist alles, was man braucht. WAGO hat MTConnect in eine PFC-Steuerung implementiert, wodurch alle Daten neben Modbus über TCP nun auch mittels MTConnect bereitstehen.

2. Funktionsweise

Eine solche MTConnect-Implementation ist eine reine Software-Lösung und besteht aus zwei Teilen: einem optionalen Adapter und einem RESTful-Web-Service, der auch MTConnect-Agent genannt wird [3]. Der Adapter dient dazu, die Daten von den Maschinen an den Agenten weiterzuleiten, der diese dann in dem standardisierten MTConnect-XML-Format darstellt. Diese „entkoppelte“ Architektur verhindert nicht nur unerlaubte Zugriffe auf die Kontrolleinheiten von Maschinen, wo der Adapter normalerweise installiert ist, sondern ermöglicht es außerdem Maschinenherstellern, Adapter selbst zu entwickeln und so das eigene Know-how über die interne Funktionsweise von Geräten nicht preisgeben zu müssen.

```
<Devices>
<Device id="405DB001" name="Agent405DB0" sampleInterval="200" uuid="405DB001">
<DataItems>
<DataItem category="EVENT" id="405DB001_750430_IO1_01" name="M1_D11" nativeUnits="BOOL" type="ACTUATOR_STATE" units="BOOL"/>
<DataItem category="EVENT" id="405DB001_750430_IO1_02" name="M1_D12" nativeUnits="BOOL" type="ACTUATOR_STATE" units="BOOL"/>
<DataItem category="EVENT" id="405DB001_750430_IO1_03" name="M1_D13" nativeUnits="BOOL" type="ACTUATOR_STATE" units="BOOL"/>
<DataItem category="EVENT" id="405DB001_750430_IO1_04" name="M1_D14" nativeUnits="BOOL" type="ACTUATOR_STATE" units="BOOL"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750455_IO2_01" name="M2_AI1_1A" nativeUnits="mA" type="PRESSURE" units="mA"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750455_IO2_03" name="M2_AI3" nativeUnits="mA" type="AMPERE" units="mA"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750455_IO2_04" name="M2_AI4" nativeUnits="mA" type="AMPERE" units="mA"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750455_IO3_01" name="M3_AI1" nativeUnits="mA" type="AMPERE" units="mA"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750469_IO4_01" name="M4_AI1_1A" nativeUnits="DEGREES F" type="TEMPERATURE" units="DEGREES F"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750494_IO5_01" name="M5_Current_L1_1A" nativeUnits="AMPERE" type="AMPERE" units="AMPERE"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750494_IO5_02" name="M5_Current_L2_1A" nativeUnits="AMPERE" type="AMPERE" units="AMPERE"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750494_IO5_03" name="M5_Current_L3_1A" nativeUnits="AMPERE" type="AMPERE" units="AMPERE"/>
<DataItem category="SAMPLE" id="405DB001_750494_IO5_07" name="M5_Energyconsumption" nativeUnits="kwh" type="ELECTRICAL_ENERGY" units="kwh"/>
<DataItem category="EVENT" id="405DB001_avail" type="AVAILABILITY"/>
</DataItems>
</Device>
</Devices>
```

Bild 1: Ausschnitt der XML-Antwort eines MTConnect-Agenten, implementiert in einer PFC-Steuerung von WAGO (via <http://10.121.59.210:5000/probe>)

Neben der Probe Anfrage, die alle zur Verfügung stehenden Daten inklusive Einheiten zusammenfassend präsentiert (Bild 1), ist es auch möglich, aktuelle Daten direkt zu lesen und mittels XPath-Syntax zu filtern. Dies geschieht durch URL-Ergänzungen, die am Ende der Internetadresse hinzugefügt werden (Bild 2).

```
<DeviceStream name="Agent405DB0" uuid="405DB001">
<ComponentStream component="Device" name="Agent405DB0" componentId="405DB001">
<Samples>
<Pressure dataItemid="405DB001_750455_IO2_01" timestamp="2016-03-19T12:51:04.480Z" name="M2_AI1_1A" sequence="27270067">137.22</Pressure>
</Samples>
</ComponentStream>
</DeviceStream>
```

Bild 2: Beispiel einer XPath-Suche (via

[http://10.121.59.210:5000/current?path=//DataItem\[@type="PRESSURE"\]](http://10.121.59.210:5000/current?path=//DataItem[@type=))

Security Anforderung an Safety Instrumented Systems (SIS) gemäß dem Standard IEC 61511

H. Rudolph, D. Goergen, admeritia GmbH, Langenfeld

Ausgangslage

Safety nimmt schon seit längerer Zeit eine tragende Rolle innerhalb der Automationsindustrie ein. Die IT-Security, die innerhalb der Automation eng mit der Safety verknüpft ist, wird jedoch bei der Betrachtung der Safety häufig nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt. Im Hinblick auf das Risiko ist jedoch eine gemeinsame Betrachtung dieser beiden Aspekte unvermeidbar: Safety und Security dürfen nicht isoliert sondern müssen vielmehr in ihrem Zusammenspiel betrachtet werden, um eine realistische Risikoeinschätzung zu ermöglichen. Dies ist allen voran durch die vielfältigen Interdependenzen zwischen Safety- und Security-Maßnahmen begründet. Der Standard IEC 61511-1 fordert daher ein „Security Risk Assessment“ nach IEC 62443 zur Reduzierung der Safety-Risiken unter Berücksichtigung der möglichen Wechselwirkungen mit bereits implementierten oder geplanten Security-Maßnahmen sowie anderen im Einsatz befindlichen SIS. Dieses Vorgehen dient der Reduzierung von Security-Risiken für die Safety-Maßnahmen.

Diese Abhandlung befasst sich vorwiegend mit den Anforderungen an ein Security Risk Assessment gemäß IEC 61511 unter Berücksichtigung der vorliegenden gegenseitigen Abhängigkeiten von Security- und Safety-Funktionen. Aus diesem Assessment resultiert sodann die Ermittlung des Security Levels der Safety Instrumented Systems. Anhand dieses Security Levels muss die Umsetzung der empfohlenen Security-Maßnahmen für die SIS erfolgen.

Interdependenzen zwischen Security und Safety

Die Gewährleistung der einwandfreien Funktion eines SIS ist maßgeblich von den Security-Maßnahmen abhängig, die zu dessen Schutz implementiert wurden. Dies ist der Fall, da die SIS als solche informationsverarbeitende Systeme sind, die entsprechend durch Informationssicherheitsvorfälle wie beispielsweise einem Schadcodebefall oder gezielten Hackerangriff beeinflusst und in ihrer Funktion gestört werden können. Allerdings kann die Implementierung einer Sicherheitsmaßnahme zum Schutz eines SIS auch zu einer negativen Beeinträchtigung der Safety-Funktionen kommen, beispielsweise durch die Beeinflussung der für die ordnungsgemäße Funktion erforderlichen niedrigen Latenz. Um diese Wechselwirkungen

zu berücksichtigen ist es nicht empfehlenswert, zwei unabhängige Risikoeinschätzungen durchzuführen. Vielmehr müssen sowohl Security-Risiken als solche als auch die Risiken, die durch die Implementierung von Security-Maßnahmen entstehen, bei der Risikoeinschätzung eines SIS mitberücksichtigt werden.

Detailed Risk Assessment gemäß IEC 62443-2-1

Mit Hilfe eines Detailed Risk Assessments (DRA) gemäß dem Standard 62443-2-1 werden die überprüften Safety Instrumented Systems einem der insgesamt vier abgestuften Security Level zugeordnet. Das DRA gliedert sich in insgesamt sieben aufeinanderfolgende Teilphasen, welche die potentiellen Auswirkungen sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit in Bezug auf etwaige Schwachstellen untersuchen und im Folgenden näher erläutert werden:

1. Identifikation der Kernsysteme und Geräte
2. Gruppierung der identifizierten Kernsysteme und Geräte
3. Erstellung von einfachen Netzwerkdiagrammen
4. Einschätzung des voraussichtlichen Risikos
5. Priorisierung der Systeme
6. Durchführung des Detailed Vulnerability Assessments (DVA)
7. Einschätzung der Risiken
8. Priorisierung der identifizierten Risiken

In Teilphase eins des Detailed Risk Assessments wird zunächst der exakte Scope bestimmt, in welchem das DRA durchgeführt werden soll. In dieser Phase werden die Safety Instrumented Systems sowie die für deren Betrieb notwendigen unterstützenden (Security-) Systeme identifiziert, welche unerlässlich für die Aufrechterhaltung der Sicherheit und Funktionalität der von diesen Systemen kontrollierten Komponenten sind. Um dies zu ermöglichen wird ein aktueller Auszug des Asset Registers und eines zuvor durchgeführten High Level Risk Assessments benötigt.

Bei der Durchführung eines High Level Risk Assessments werden SIS und unterstützende Systemverbünde betrachtet. Dies ist erforderlich, um eine Priorisierung für die Detailed Risk Assessments vornehmen zu können, welche anschließend folgen. Dementsprechend werden die einzelnen Systemverbünde hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Safety-Prozesse untersucht, um besonders kritische Verbünde zu identifizieren.

Der Fokus liegt folglich während der ersten Phase des DRAs auf der Identifikation von kritischen System(-verbünden) und einzelnen kritischen Komponenten von Systemen.

Eigenfrequenzbestimmung eines redundanten Roboterportals zur Schwingungsminimierung in Bearbeitungsprozessen

P. Glogowski, M. Sc., Dipl.-Ing. **M. Rieger**,
Prof. Dr.-Ing. **B. Kuhlenkötter**,
Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS), Ruhr-Universität Bochum

Kurzfassung

Der Einsatz von sechssachsigen Industrierobotern auf einer externen Linearachse findet zunehmend Anwendung in der Bearbeitung großvolumiger Werkstücke. Eine wesentliche Problemstellung solcher siebenachsigen Roboterportale ist die erzielbare Bearbeitungsgenauigkeit, welche durch Schwingungsphänomene, die bei Bearbeitungsprozessen auftreten können, beeinflusst wird. Der zusätzliche Freiheitsgrad durch die externe Linearachse führt zu einer kinematischen Redundanz des Roboterportals, die zur Schwingungsminimierung genutzt werden kann. Da die dynamischen Eigenschaften des Systems in Abhängigkeit zu den Gelenkstellungen des Roboters stehen, kann gezielt Einfluss auf das Schwingungsverhalten genommen werden, indem bei gleichbleibender TCP-Pose die Position des Roboters auf der Linearachse und somit die Gelenkkonfiguration variiert wird. Die Ausnutzung des redundanten Freiheitsgrads zur Schwingungsvermeidung erfordert hierbei die Kenntnis der Eigenfrequenzen im gesamten Arbeitsraum. Unter Verwendung der Methoden der statistischen Versuchsplanung wird in diesem Beitrag ein Vorhersagemodell vorgestellt, welches die Eigenfrequenzen des Roboters für beliebige Positionen und Orientierungen des Endeffektors im Arbeitsraum berechnet und somit eine gezielte Einflussnahme auf das Schwingungsverhalten ermöglicht.

1. Einleitung

Der steigende Automatisierungsgrad in Bearbeitungsprozessen der Produktionstechnologie ist u. a. verbunden mit der Kopplung bzw. dem Einsatz von Industrierobotern im Anwendungsfeld klassischer Werkzeugmaschinenysteme. In weiten Bereichen der Produktionsindustrie wie der Automobilbranche werden Industrieroboter zur Bearbeitung von großvolumigen Werkstücken eingesetzt [1]. Um durch die Vergrößerung des Arbeitsbereichs ein breiteres Anwendungsspektrum nutzen zu können, werden Robotersysteme zunehmend mit linearen Verfahrsachsen, auf denen der Roboter positioniert wird, kombiniert. Typische Aufgaben

solcher Roboterportale sind beispielsweise das Lackieren, Schweißen, Schleifen sowie Fräsen von Werkstücken. Durch die Kombination eines Roboters, der hängend an einer Linearachse angebracht ist, ergeben sich allerdings Nachteile hinsichtlich der Bearbeitungsgenauigkeit des Gesamtsystems. Dies ist einerseits auf die wesentlich geringere Steifigkeit des Aufbaus im Vergleich zu konventionellen Werkzeugmaschinen und andererseits auf den kinematischen Einfluss der zusätzlichen mechanischen Linearachselemente (Antriebsstrang, Lagerung etc.) zurückzuführen. Gleichzeitig wird dadurch auch das dynamische Verhalten und folglich die Schwingungsneigung des Gesamtsystems im Prozessablauf beeinflusst. Der Fokus in diesem Beitrag wird auf Schwingungsphänomene beim roboterbasierten Fräsprozess gelegt. Beim Fräsen wird ein mehrschneidiges, rotierendes Werkzeug mit einem Werkstück in Kontakt gebracht, wobei die nicht kontinuierlich im Eingriff befindlichen Schneiden des Werkzeugs periodisch eine Kraft auf den Roboter aufbringen [2]. Die extern auf den Roboter eingeprägten Kräfte führen zu fremderregten Schwingungen, deren Frequenz durch die Anregung vorgegeben ist. Sofern die Schwingungsfrequenzen in unmittelbarer Nähe zu den Eigenfrequenzen des Systems liegen, kommt es zu Resonanz und das dynamische System beginnt aufzuschwingen [3]. Besonders problematisch sind selbsterregte Schwingungen, da hierbei im Gegensatz zu fremderregten Schwingungen die Schwingfrequenz nicht durch die periodische Kraftanregung beim Fräsen anliegt, sondern aus dem dynamischen Prozess selbst hervorgeht. So wird das dynamische Robotersystem während des Fräsprozesses zu Schwingungen in seinen Eigenfrequenzen angeregt, auch wenn der periodische Kraftangriff nicht mit den Eigenfrequenzen des Systems erfolgt. Die Folge sind wellenförmige Konturen, sogenannte Rattermarken, auf der Werkstückoberfläche aufgrund von Bearbeitungsungenauigkeiten. In der Literatur sind fremd- und selbsterregte Schwingungen als Ratterschwingungen bekannt, welche die Bearbeitungsqualität stark reduzieren und in ungünstigen Fällen zu Schäden am Fräswerkzeug oder Roboter führen können [3].

Aufgrund der seriellen kinematischen Struktur eines industriellen Sechs-Achs-Roboters hängen die Steifigkeit und somit auch das Schwingungsverhalten des Roboters von der Gelenkstellung ab [1, 4, 5]. Die in der Literatur aufgezeigten Fälle behandeln allesamt einen stationären Roboter, welcher auf dem Boden befestigt ist. Im Rahmen des Beitrags kommt allerdings ein siebenachsiges Roboterportal zum Einsatz, wobei die Roboterkinematik auf einer externen Linearachse verfahrbar und kopfüber aufgehängt ist. Durch die redundante Ausführung des Roboterportals ergibt sich eine steigende regelungstechnische Komplexität des betrachteten Systems, allerdings werden hierdurch auch neuartige Möglichkeiten zur Schwingungskompensation geschaffen. Wie Bild 1 verdeutlicht, erlaubt es der redundante Freiheitsgrad der Linearachse, eine identische Position und Orientierung im Raum mit ver-

Umformung von schwer formbaren Werkstoffen unter Einsatz der konduktiven Erwärmung in der roboterbasierten inkrementellen Blechumformung

Denis Daniel Störkle M.Sc., Patrick Seim M.Sc., Lars Thyssen M.Sc.,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Bernd Kuhlenkötter,**
Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS),
Bochum

Kurzfassung

Der Fokus der beschriebenen Inhalte liegt auf der roboterbasierten inkrementellen Blechumformung. Im speziellen werden die Vorteile des Einsatzes der konduktiven Erwärmung aufgezeigt und im Rahmen einer Versuchsdurchführung validiert. Dabei ist es das Ziel, die Möglichkeiten der roboterbasierten inkrementellen Blechumformung unter Einsatz der konduktiven Erwärmung herauszustellen und dadurch die Umformung von schwer formbaren Werkstoffen zu ermöglichen. Ein wesentlicher Vorteil dieses Vorgehens im Vergleich zu bereits etablierten Umformverfahren ist die Reduktion der Werkzeugkosten durch die Nutzung von werkstückgeometrieunabhängigen Werkzeugen. Bislang wurden experimentell verschiedene Umformstrategien an der bestehenden Roboforming Anlage entwickelt. Dies konnte realisiert werden, indem die bestehende Anlage kontinuierlich mit Hinblick auf die Zielvorgaben erweitert wurde. Durch den Einsatz der konduktiven Erwärmung konnten Erfolge hinsichtlich der Reduktion von benötigten Umformkräften, der Erhöhung von Flankenwinkeln sowie der Steigerung der Bauteilgenauigkeit verzeichnet werden.

Abstract

This article focuses on robot-based incremental sheet forming (ISF). The advantages of using conductive heating in ISF are identified and experimentally validated. It is our aim to highlight the possibilities of robot-based ISF using the conductive heating and thereby enable the forming of hard-to-form materials. Compared to established forming methods, a major advantage of this approach is the reduction of the tooling costs by taking advantage of workpiece geometry independent tools. A major advantage of this approach compared to established forming methods is to reduce the tooling costs by taking advantage of workpiece geometry independent tools. Different forming strategies have been developed on the existing Roboforming machinery. For this purpose, the existing system has been continuously expanded with respect to the requirements. By using the conductive heating achievements in

terms of reducing the required forming forces, the increase of wall angles and the increasing geometric accuracy of the forming results were reached.

1. Motivation

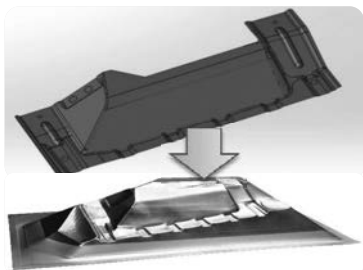
Die wachsende geometrische Komplexität von Blechbauteilen in Kombination mit abnehmenden Losgrößen und kürzer werdenden Markteinführungszeiten sorgen für eine verstärkte Nachfrage nach flexiblen und kostengünstigen Produktionswegen von Blechbauteilen in geringen Stückzahlen. Dies trifft in besonderem Maße auf Kleinserienfertigung (Bild 1 (a)), Reengineering (Bild 1 (b)), Prototyping (Bild 1 (c)) sowie die Herstellung von Implantaten (Bild 1 (d)) zu.



(a)



(b)



(c)



(d)

Bild 1: Potentielle Anwendungsfelder der inkrementellen Blechumformung

¹ Tristan932, <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>

² Stefan Krause, <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>

AutomationML als Anlagendokumentation

Dr.-Ing. **Thomas Hadlich**, M.Sc. **Mathias Könneke**,
Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg

Kurzfassung

AutomationML wurde als Datenaustauschformat für Werkzeuge im Entwurf von Produktionssystemen entwickelt [1]. Im Kontext von Industrie 4.0 wird AutomationML als Kandidat zum Informationsaustausch bei der Planung von Wertschöpfungsketten betrachtet.

In diesem Beitrag wird die Nutzung von AutomationML als Mittel zur Dokumentation von Produktionsanlagen diskutiert [2]. Dabei werden verschiedene Anwendungsfälle diskutiert (z.B. interne Dokumentation zwecks Anlagenwartung oder externe Dokumentation zwecks Integration in eine Wertschöpfungskette) [3].

Schlagwörter: Digital Factory, AutomationML, eCI@ss, Integrated Engineering

1. Anforderungen bei der Integration von Wertschöpfungsketten

Industrie 4.0 verfolgt einen Ansatz, der die Verknüpfung einzelner Produktionsressourcen zu komplexen Netzwerken (Smart Factories) anstrebt. Diese Verknüpfung von Produktionsressourcen wird als Integration in Wertschöpfungsnetzwerke bezeichnet [2].

Die Integration in Wertschöpfungsnetzwerke ist jedoch nur möglich wenn die existierenden Produktionssysteme angepasst werden. Folgende Anforderungen müssen bei dieser Anpassung erfüllt werden[4][3]:

- geeignete Modularisierung der Produktionsressourcen
- Standardisierung der Schnittstellen zur Beschreibung von Anforderungen an und Angeboten von Produktionsschritten
- Etablierung eines Markts für Produktionsschritte
- Lösungen zum effizienten Transport von (Zwischen-)Produkten
- geeignetes Supply Chain Management
- Anpassung / Erweiterung der Produktionsanlage mit möglichst wenig anlassbezogenem Engineering-Aufwand

Nach [4] besteht die Anforderung, den Abstraktionsgrad der Modelle der jeweiligen Verwendung anzupassen, da eine zu abstrakte Modellierung als zu oberflächlich und wenig hilfreich -

eine zu detaillierte Modellierung hingegen als zu aufwendig und einschränkend angesehen wird.

Als wesentliche Technologie zu einer einheitlichen Beschreibung von Anforderungen an Produktionsressourcen wird die Verwendung von Merkmalen und Merkmalsbeschreibungen gesehen [5]. Die Technische Spezifikation IEC/TS 62832-1 „Digital Factory Framework“ beschreibt Konzepte zur Verwendung von Merkmalen in der Planung und im Betrieb von Produktionssystemen. Ausgangspunkt des Standards sind existierende Ontologien zur Beschreibung von Produkttypen. Diese Ontologien wurden nach verschiedenen Merkmalsmodellen entwickelt. Im Wesentlichen kann man unterscheiden zwischen Merkmalsmodellen basierend auf der IEC 61360 und Merkmalsmodellen nach ISO 22745-30 (siehe **Bild 1**).

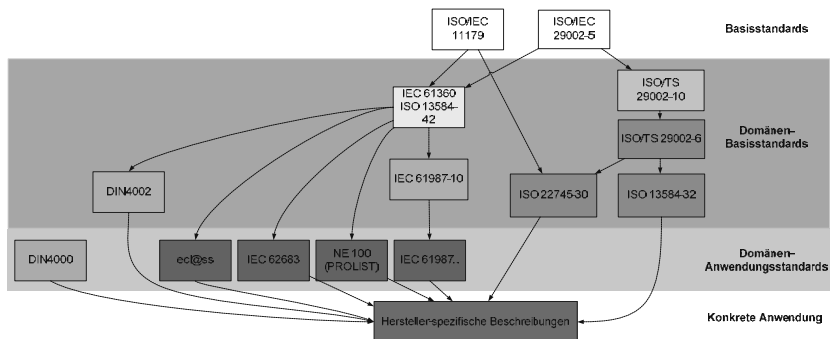


Bild 1: Übersicht Merkmalsmodelle [6]

Basierend auf diesen Merkmalsmodellen werden Dictionaries erstellt (auch als Produktontologien bezeichnet), welche definieren, wie bestimmte Typen von Betriebsmitteln und Produkten durch Merkmale beschrieben werden können. Diese Dictionaries dienen zur Vorlage für die Erstellung elektronischer Produktkataloge.

Für Merkmalsbeschreibungen nach NE 100 [7], bzw. nach IEC 61987-10 [8], wurden spezielle Merkmalslisten zur Beschreibung von Anforderungen (operational list of properties, OLOP) und zur Beschreibung von Geräten (device list of properties, DLOP) definiert. Basierend auf einer OLOP kann ein Kunde Anforderungen an AT-Geräte beschreiben und eine entsprechende Anfrage an Lieferanten stellen. Lieferanten können solch eine Anfrage mit einer Beschreibung von entsprechenden Geräten beantworten (basierend auf einer DLOP). Entsprechende Konzepte wurden auch für Merkmalsbeschreibungen nach ISO 22745 definiert [9], [10].

Open Source Projekte als Treiber zukünftiger Entwicklungen in der Automatisierungstechnik

Constantin Wagner, M.Sc., Florian Palm, M.Sc.,
Dipl.-Inform. **Sten Grüner**, Lehrstuhl für Prozessleittechnik,
RWTH Aachen University, Aachen

Kurzfassung

Open Source hat sich in der Softwareentwicklung nicht nur als Softwarelizenzierung sondern darüber hinaus als neue Art der Projektabwicklung etabliert. In diesem Beitrag wird diskutiert ob Open Source Projekte in der Automatisierungstechnik genutzt werden können. _Ausgehend von den Anforderungen der Domäne und den Erfahrungen in der Informatik werden dafür Einsatzmöglichkeiten in der Automatisierungstechnik vorgestellt. Ein Beispiel für den Einsatz ist eine offene und gemeinsame Implementierung von Teilanwendungen die kein Differenzierungsmerkmal darstellt. Abgeschlossen wird der Überblick durch einen Erfahrungsbericht aus dem Projekt open62541.

1. Einführung

In den vergangenen Jahren sind Open Source Software Projekte in der Softwareentwicklung populärer geworden. Beispiele für Open Source Software sind das Betriebssystem Linux oder der Browser Firefox. Linux hat dabei seine Wurzeln in Unix in einem der ersten Open Source Projekte überhaupt. Beide Projekte haben gemeinsam, dass sie sich immer weiter verbreiten und das nicht nur im Konsumentenbereich sondern auch bei professionellen Nutzergruppen. Open Source beinhaltet nicht nur die lizenzrechtlichen Neuerungen sondern auch eine eigene Art der Projektabwicklung. Diese beinhaltet eine verteilte und dezentrale Teamstruktur, die neue Möglichkeiten für die Durchführung von Projekten im Bereich der Software eröffnet [1].

Aufgrund dieses Erfolgs, stellt sich die Frage ob Open Source Software bzw. Open Source Projekte auch für die Automatisierungstechnik geeignete Lösungsansätze darstellen? Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit den Vor- und Nachteilen von Open Source Lösungen für die Automatisierungstechnik und stellt eine Übersicht über den Themenkomplex Opens Source dar.

Ausgangspunkt ist die Definition von Open Source und die Betrachtung der historischen Entwicklung der Open Source Community in den letzten 50 Jahren. Dabei sind bereits einige Motive für die Initiierung von solchen Projekten zu erkennen, die richtungsweisend für die

Adaption in der Automatisierungstechnik sein könnten. Daran anschließend werden die besonderen Anforderungen der Automatisierungstechnik im Hinblick auf Open Source Software bzw. Open Source Projekte dargestellt. In diesem Zusammenhang werden mögliche Einsatzmöglichkeiten und eine prinzipielle Herangehensweise vorgestellt. In den nachfolgenden Kapiteln wird auf einzelne Punkte näher eingegangen.

Zunächst werden die Vorteile von Open Source Software und der damit verbundenen Art der Softwareentwicklung thematisiert. Das sind zum einen die Gründe der einzelnen Teilnehmer und der beteiligten Firmen sich an solchen Projekten zu beteiligen, zum anderen aber auch ganz praktische Erwägungen (z. B. Organisationsstrukturen, Workflows, etc.). Anschließend wendet sich der Fokus der ökonomischen Seite von Open Source Projekten zu. Um für gewinnorientierte Unternehmen interessant zu sein, müssen sich diese Projekte entweder direkt verwerten lassen oder zumindest in bestehende Businessstrategien einfügen. Neben den bis dahin vorgestellten Möglichkeiten und positiven Effekten werden danach Herausforderungen und Hürden bei der Durchführung von Open Source Projekten diskutiert. Diese hängen insbesondere mit der Wahl der Lizenz und den Haftungsfragen zusammen. Abschließend werden die Erfahrungen und Lehren aus dem Projekt open62541 [2] dargestellt. Das Projekt wurde durch den Lehrstuhl für Prozessleittechnik der RWTH Aachen University gemeinsam mit dem Fraunhofer IOSB und der Professur für Prozessleittechnik der TU Dresden im Jahr 2013 ins Leben gerufen. Projektziel ist eine offene OPC UA Implementierung, die sowohl für Projekte verwendet werden kann bei denen der Auftraggeber auf das vollständige Offenlegen des Quellcodes besteht, als auch die Möglichkeit bietet eigene, über die Norm hinausgehende, Verbesserungen umzusetzen und zu testen. Drei Jahre nach Projektstart umfasst das Projekt aktuell etwa 48.000 Codezeilen von 28 Teilnehmern.

2. Open Source in der Informatik

Der Begriff „Open Source Software“ (OSS) hat sich aus der „Freien Software“ heraus entwickelt und wird in der Praxis uneinheitlich verwendet. Umgangssprachlich wird unter OSS eine Software verstanden, deren Quellcode offen ist. Die Open Source Initiative (OSI) hat zehn darüber hinaus gehende Anforderungen an Lizenzen für OSS definiert [3, 4]:

- Freie Weitergabe der Software
- Der Quellcode muss verfügbar sein
- Die Lizenz muss Veränderungen und Derivate zulassen.
- Die Integrität des Quellcodes muss sichergestellt sein.
- Keine Diskriminierung von Personen oder Gruppen.
- Keine Einschränkungen bezüglich des Einsatzfeldes.

Multitouch im industriellen Umfeld

Evaluierung bestehender Systeme, identifizierte Anwendungsszenarien und Handlungsempfehlungen für zukünftige Systeme

B.Sc. **M. Behlen**, Dipl.-Ing. (FH) **Sebastian Schmidt**,
Dipl.-Ing. (FH) **Sarah Pyritz**,
Phoenix Contact Deutschland GmbH, Blomberg;
Dipl.-Wirtsch.-Inform. **Sebastian Büttner**, Prof. Dr. Dr. **Carsten Röcker**,
Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo

Kurzfassung

Bei Smartphones, Tablets oder Notebooks nutzen wir tagtäglich projektiv-kapazitive Touchscreens und die damit verbundene Funktion Multitouch. Für Bediengeräte an Maschinen und Anlagen spielt Multitouch bisher jedoch eine untergeordnete Rolle. Hier finden hauptsächlich einfache Monitore oder resistive Touch-Displays ohne Multitouch-Support Anwendung. In einer umfangreichen Studie haben wir analysiert, warum Multitouch-Displays in der Industrie bislang nur im geringen Umfang eingesetzt werden. Neben den Gründen für den geringen Einsatz zeigen wir auch Potentiale und Anwendungsszenarien auf und geben Handlungsempfehlungen für den erfolgreichen Einsatz von zukünftigen Multitouch-Systemen.

1. Marktsituation und Stand der Technik

Im Rahmen von Industrie-4.0-Projekten wird häufig auch die Mensch-Maschine-Schnittstelle von technischen Systemen optimiert, um den Wünschen und Anforderungen der Anwender im betrieblichen Umfeld besser Rechnung zu tragen. Moderne Bediengeräte sollen dabei ein positives Anwendererlebnis (User Experience) ermöglichen, was neben einer hohen Gebrauchstauglichkeit (Usability) auch eine positive Wahrnehmung der Bediengeräte von Seiten des Nutzers einschließt.

Besonders Touch-Panels haben sich durch ihre vielseitigen Einsatzmöglichkeiten im industriellen Umfeld etabliert. Mit ihnen wird die Dateneingabe in Maschinensteuerungen vorgenommen und die Prozessbeobachtung durchgeführt. Bereiche wie zum Beispiel Verarbeitung und Produktion, Energie und Umwelt, Gebäudeautomatisierung, Wasser- und Abwasser-Management sowie Infrastruktur und Logistik sind prädestiniert für den Einsatz dieser Technologie.

Seit vielen Jahren setzen Anlagen- und Maschinenbauer dabei auf die bewährte Technik von resistiven Touch-Panels. Die Technik basiert auf zwei durchsichtigen metallischen Folien-

en über dem eigentlichen Display. Erst wenn der Bediener auf eine Stelle des Displays drückt, berühren sich die Folien. Eine Messelektronik kann daraus die exakte Position bestimmen. Jedoch kann mit dieser Technik lediglich ein Berührungspunkt zur selben Zeit auf dem Touchscreen erfasst werden.

Der Umgang mit der Multitouch-Technologie, die in den meisten Smartphones genutzt wird, ist den meisten Nutzern bekannt. Daher wird der Einsatz von Multitouch-Geräten nun auch für den industriellen Einsatz vorangetrieben. Dieser Trend ist immer häufiger auf Messen und Ausstellungen zu beobachten. Messebesucher versuchen beispielsweise instinktiv, Gesten auf dem Touchscreen auszuführen, die sie von ihrem Smartphone kennen. Oftmals scheinen sie verunsichert, wenn die industriellen Geräte diese Funktionen nicht unterstützen. Auch viele Artikel in Fachzeitschriften der Automatisierungstechnik und Industrieelektronik äußern sich zunehmend in Berichten zum Thema Multitouch (siehe z. B. [1] und [2]).

In der Studie „Multitouch in der Industrie“ [3] wurden bereits 2012 Multitouch-Bedienkonzepte für den industriellen Einsatz untersucht. Als Ergebnis wurde das Bedienprinzip mit nur einem Berührungspunkt als "Auslaufmodell Single-Touch" bezeichnet. Weiter wurde die These aufgestellt, dass sich Multitouch perspektivisch durchsetzen wird, da es abwärtskompatibel zu Single-Touch ist, jedoch noch weitere Interaktionsmöglichkeiten bietet [3].

Weil diese Forderungen nach Multitouch-fähigen Bedienpanels genannt wurden, haben die Hersteller, wie beispielsweise *Phoenix Contact* ihr Produktportfolio erweitert. So bieten das zuvor genannte Unternehmen seit dem Jahr 2013 zusätzlich Bediengeräte an, die auf dem projektiv-kapazitiven Touch-Konzept basieren.



Bild 1: Interaktion an einem Multitouch-Panel

Doch der Einsatz bei Maschinen und Anlagen steht bisher vor großen Hürden und die Technologie spielt im industriellen Umfeld weiterhin eine untergeordnete Rolle. Hier finden weiterhin hauptsächlich einfache Monitore und resistive Touch-Displays ohne Multitouch-Unterstützung Anwendung, nur vereinzelt sind projektiv-kapazitive Touchscreens verfügbar.

Ganzheitliche Projektierung automatisierter Montageanlagen als Grundlage von digitalen Absicherungsprozessen

M.Eng. **A. Schlag**, M. Sc. **S. Süß**, Dr.-Ing. **T. Bär**, Daimler AG, Ulm;
Prof. Dr.-Ing. **M. Vielhaber**, Universität des Saarlandes, Saarbrücken

Kurzfassung

Der Beitrag konzentriert sich auf neue Konzepte zur ganzheitlichen, standardisierten und effizienten Projektierung im Anlagenentstehungsprozess automatisierter Montageanlagen im Automobilbau. Die Herausforderungen von stetig steigender Produktvarianz und sich weiter verkürzenden Produktentwicklungszeiten im Produktentstehungsprozess liefern immer komplexer werdende Anforderungen an die einzelnen Phasen des Anlagenentstehungsprozesses. Nach Aufzeigen von weiterem Optimierungspotential in den Phasen Systementwurf, virtuelles Engineering und virtuelle Inbetriebnahme sollen Methoden zur Ganzheitlichen Projektierung dargestellt werden, wie bereits aus der Spezifikationsphase heraus die Phasen standardisiert und effizienter gestartet werden können. Durch Faktoren wie beispielsweise heterogene Planungsbereiche bis hin zur späten endgültigen Festlegung der Produktdaten existieren aktuell kaum Methoden die eine ganzheitliche Projektierung einer mechatronischen Montageanlage ermöglichen. Mit dem eingereichten Beitrag soll zunächst auf die Anforderungen an die Projektierung eingegangen und daraus resultierend geeignete Ansätze zur einheitlichen und wiederverwendbaren Abbildung dieser komplexen Abläufe untersucht werden. Parallel wird der Stand der Technik bezüglich aktueller Projektierungsansätze beleuchtet, bisher fehlende Projektierungsansätze identifiziert und durch entsprechende Ansätze und Methoden erweitert.

Mit Hinblick auf zuverlässige und sichere Produktionsanläufe, wird die Möglichkeit der Nutzung der Projektierungsdaten für den automatisierten Aufbau und Test modelbasierter Simulationen der entstehenden Anlagen erarbeitet. Dabei wird speziell auf die Bereiche der Absicherung mechanischer Konstruktionsdaten, sowie der zu programmierenden Steuerungstechnik inklusive derer Sicherheitstechnik, Wert gelegt. Es werden Wege aufgezeigt, wie durch sinnvolle und ganzheitliche Projektierung die Effizienz und Zuverlässigkeit der digitalen Absicherung gesteigert werden können.

1. Einleitung

In diesem Kapitel soll zunächst kurz auf die Motivation für die vorliegende Arbeit eingegangen werden. Anschließend wird der Entstehungsprozess automobiler Montageproduktionsanlagen erläutert.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden im Kapitel zwei bestehende Projektierungsansätze erörtert während Kapitel drei Anforderungen dieser Ansätze aufzeigt. Im anschließenden Kapitel vier werden Konzepte zur Integration der Projektierungsmethoden in den Anlagenentwicklungsprozess beschrieben und somit praktische Verwendungsmöglichkeiten erörtert.

1.1 Motivation

Moderne Produktionsanlagen in der automobilen Endmontage werden immer komplexer. Der Anspruch, möglichst viele Modelle und Derivate auf ein und derselben Produktionsanlage herstellen zu können, hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass die Anlagen immer flexibler werden müssen. Dies hat zur Folge, dass die Anzahl der verwendeten mechatronischen Komponenten und Steuerungssoftware erheblich steigt. Dadurch wiederum wird in der Entstehungsphase der Anlage die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Gewerken wie Mechanikkonstruktion, Elektroentwicklung und Steuerungstechnik immer wichtiger. Genau hier setzt die ganzheitliche Projektierung an. Statt lediglich Informationen während des Entstehungsprozesses auszutauschen soll von vorne herein die gesamte Projektierung einer Anlage ganzheitlich, also unter Berücksichtigung aller Aspekte und Gewerke stattfinden. Dadurch können schnellere und einfachere Arbeitsabläufe während Planung und Umsetzung einer Anlage erreicht werden. Zusätzlich kann so die Einbindung digitaler Absicherungsprozesse erleichtert und beschleunigt werden, da hierfür notwendige Informationen und Prozesse bereits an zentraler Stelle existieren und nicht erst zur Durchführung der Methoden zusammengetragen werden müssen.

1.2 Anlagenentstehungsprozess heute

Der heutige Anlagenentstehungsprozess gliedert sich im Wesentlichen in drei Bereiche, nämlich in die Anlagenentwicklung, digitale Absicherungen und die Anlagenrealisierung (siehe auch Bild 1).

Bewertung der QoS von IoT-Kommunikationssystemen am Beispiel von MQTT

Dipl.-Ing. **S. Höme**,
ifak – Institut für Automation und Kommunikation e.V., Magdeburg;
Prof. Dr.-Ing. **C. Diedrich**,
Otto-von-Guericke Magdeburg, Institut für Automatisierungstechnik

1. Einleitung

Im Rahmen der Entwicklungen zum Thema „Internet der Dinge“ (IoT) und „Industrie 4.0“ streben verschiedene neue Kommunikationssysteme auf den Markt. Im Umfeld von IoT wird hierbei vor allem auf einfache, „leichtgewichtige“ Protokolle gesetzt, da diese in einer Vielzahl von leistungsschwachen, energiesparenden Knoten ausgeführt werden müssen. Typischerweise ist auch die zur Verfügung stehende Netzwerkbandbreite begrenzt. Im Rahmen dieses Beitrags soll die Eignung solcher Technologien am Beispiel von MQTT für die Nutzung im Umfeld der Automatisierungstechnik untersucht werden. Dabei wird das Augenmerk im speziellen auf die Quality of Service gelegt, welche von den Systemen erreicht und garantiert werden kann.

Im Rahmen dieses Beitrages soll das Zeitverhalten als Bestandteil der Quality of Service von MQTT untersucht werden. Dies ist für den Einsatz solcher Technologien zur Echtzeit-Datenübertragung essentiell. Es muss nicht nur sichergestellt werden, **dass** Daten ankommen, sondern auch **wann**!

2. Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS) oder **Dienstgüte** ist eine Zusammenstellung von Eigenschaften, welche die Güte der Ausführung von Diensten durch technische Systeme aus der Sicht der Anwendung beschreiben. Formal wird QoS durch eine Menge von quantifizierbaren Kenn- und Einflussgrößen beschrieben.

Diese Anforderungen sind durch Kenngrößen exakt vorzugeben (Anforderungskenngrößen), die bei der Prozessausführung von dem technischen System zu erbringen sind (Zusicherungskenngrößen). Das Verhältnis von Anforderungskenngrößen und Zusicherungskenngrößen muss eindeutig bewertbar sein. Im Idealfall werden für die Anforderung und die Zusicherung die gleichen Kenngrößen verwendet.

Die Prozessabarbeitung wird von den Eigenschaften des technischen Systems beeinflusst, Eigenschaften die sich z.B. aus der Struktur und den eingesetzten Komponenten aber auch aus dem aktuellen Zustand der Komponenten bei der Prozessausführung ergeben. Diese

Eigenschaften des technischen Systems sind Einflussgrößen auf die Prozessabarbeitung, d.h. die Zusicherungskenngrößen haben bezogen auf jeden einzelnen Prozess Aktualwerte. Praktisch heißt das, dass vor der Nutzung eines technischen Systems für eine Dienstleistung geprüft werden muss, ob dieses technische System die Anforderungen, ausgedrückt durch Anforderungskenngrößen, prinzipiell erfüllen kann, d.h. eine entsprechende Zusicherung gegeben werden kann. Für die Dauer des Prozesses der eine Dienstinstanz ausführt, müssen die Einflussgrößen des technischen Systems so eingestellt/gesteuert werden, dass die Zusicherung erfüllt wird. Für jeden einzelnen Dienst stellt sich ein Istwert für die Kenngrößen ein.

Verfeinert man den Blick, so kommen verschiedene Varianten von Interaktionsendpunkten in Betracht. Interaktionsendpunkt sind jeweils die Zugangspunkte für den Stimulus und die Reaktion. Beispiele sind:

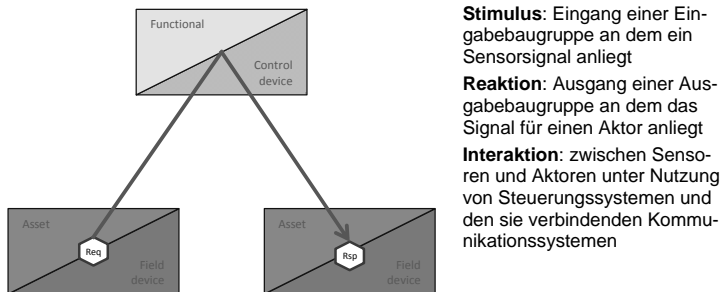


Bild 1: Interaktionsendpunkte bei klassischen Automatisierungssystemen

Bild 1 zeigt die Interaktionsendpunkte für klassische Automatisierungssysteme.

Typisch für die AT-Interaktion ist es, dass durch Konfiguration die auszutauschenden Daten vorbestimmt werden und die operative Interaktion auf der Kommunikationsebene abläuft. Es ist klar, dass die Anwendungen der z. B. Feldgeräte und Steuerungen funktional verknüpft sind. Diese Verknüpfung wird durch die Anwenderentwicklung definiert und nicht automatisiert ausgehandelt.

Es gibt Remote-Zugriffe auf Automatisierungsgeräte, die im Sinne der Parametrierung und Konfiguration Variablenwerte transportieren (siehe Bild 2). Die Eigenschaften von technischen Systemen schließen sowohl funktionale als auch nicht-funktionale Eigenschaften ein. Zu den funktionalen Eigenschaften gehören alle Eigenschaften die direkt mit der Zugangschnittstelle verbunden sind, wie z. B. der gültige Wertebereich der Eingangs- und Ausgangsvariablen oder mit dem Verhalten der Funktionen, die die Dienste anbieten. Ein Dienst-

Regelungstechnische Anwendungen im Industrie 4.0 Umfeld

Moderne Ansätze des Rapid Control Prototyping

Prof. Dr.-Ing. **Markus Bröcker**, Hochschule Heilbronn

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird die Flachheitsbasierte Regelung als modellbasierter Ansatz für ein mechatronisches System im Industrie 4.0 Umfeld erprobt. Das Gesamtkonzept beinhaltet den Einsatz der Simulation mit einer virtuellen Realität als Cyber-Physisches System im Sinne eines V-Zyklus. Hierbei erfolgt die Modellbildung des mechatronischen Systems durch blockschaltbildorientierte Programme. Durch Simulationsstudien lassen sich die Regelungskonzepte in der virtuellen Realität abschätzen. Mit Hilfe einer Entscheidungsmatrix wird ein Anwenderprogramm für die Speicherprogrammierbare Steuerung aus dem blockschaltbildorientierten Programm generiert und auf die Speicherprogrammierbare Steuerung übertragen.

1. Rapid Control Prototyping für Speicherprogrammierbare Steuerungen

Durch die Bestrebungen eine vierte industrielle Revolution mit dem Einsatz von Cyber-Physischen Systemen (CPS) bzw. von Cyber-Physischen Produktionssystemen (CPPS) herbeizuführen, ergibt sich für die Regelungstechnik und die eingesetzten Methoden des Rapid Control Prototyping (RPC) [1] eine neue Betrachtungsweise. Bei der Industrie 4.0 [2] werden unter CPS miteinander interagierende Systeme verstanden, die in Verbindung mit real existierenden Prozessen wirken und Internet-Technologien zur Kommunikation und Datenverarbeitung verwenden. Des Weiteren werden unter CPPS solche Systeme formuliert, die auf den neusten Entwicklungen der Informatik sowie der Fertigungstechnik für CPS basieren.

Da CPS miteinander interagieren, wird als Voraussetzung von CPS das Vorhandensein von eingebetteten Systemen gefordert. Diese eingebetteten Systeme sind Steuergeräte oder Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) in den Maschinen, Anlagen und Robotern einer Fertigungshalle, die zusätzlich zur Basisfunktionalität über das Internet miteinander kommunizieren können (vgl. Bild 1). Dies führt auf eine dezentrale Automatisierungsstruktur.

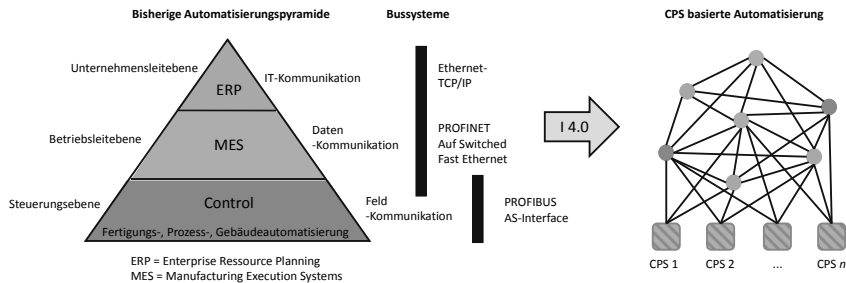


Bild 1: CPS basierte Automatisierung durch Dezentralisierung im Industrie 4.0 Umfeld

Das RPC hat sich für die Forschung und Entwicklung von regelungstechnischen Basisfunktionalitäten bewährt. Hierbei wird ein Anwenderprogramm (z.B. ein C-Code) für das Steuergerät oder die SPS aus einem blockschaltbildorientierten Programm (z.B. MATLAB/SIMULINK) automatisch generiert und auf das Steuergerät oder die SPS übertragen.

Bei der CPS basierten Automatisierung ist es nun möglich, zusätzlich zur Interaktion der CPS untereinander, die Generierung des Anwenderprogramms für ein CPS über eine Internet-Verbindung in ein Gesamtkonzept im Sinne eines V-Zyklus beim RPC zu integrieren.

Das Gesamtkonzept besteht aus den folgenden Bereichen:

- Datenaufzeichnung am CPS und Kommunikation der Daten über das Internet
- Einbindung der Daten in ein Simulationsmodell
- Reglersynthese im Simulationsmodell mit einem blockschaltbildorientierten Programm
- Visualisierung der Simulation durch den Einsatz einer virtuellen Realität
- Code-Generierung des blockschaltbildorientierten Programms für das CPS
- Übertragen per Internet des generierten Programms und Projektierung.

In diesem Beitrag werden ausgewählte Bereiche des Gesamtkonzepts vorgestellt.

Im zweiten Kapitel erfolgt zunächst eine kurze Einführung in die Theorie der Flachheitsbasierten Regelung für lineare Systeme. Die Anwendung der Flachheitsbasierten Regelung als modellbasierter Ansatz für ein mechatronisches System ist Gegenstand von Kapitel drei. Hier wird für einen Portalroboter die Achsregelung hergeleitet und in einem Simulationsmodell im vierten Kapitel verifiziert. Die Implementierung der Achsregelung für eine Kreisfahrt und Schraubenlinie als Trajektorie erfolgt im fünften Kapitel am realen Portalroboter. Das

Herstellerunabhängiger Austausch von Verhaltensmodellen mittels AutomationML

Arndt Lüder, Nicole Schmidt, Otto-v.-Guericke Universität, Magdeburg;
Ender Yemenicioglu, tarakos GmbH, Magdeburg

Kurzfassung

Verhaltensmodelle bilden einen wichtigen Baustein im Entwurfsprozess von Produktionssystemen. Sie werden dabei in unterschiedlichen Phasen dieses Entwurfsprozesses erzeugt und verwendet. Daher bildet der Austausch dieser Modelle zwischen den Entwurfswerkzeugen, die in den verschiedenen Entwurfsphasen genutzt werden, eine wichtige Herausforderung. In diesem Beitrag sollen verschiedene Möglichkeiten des AutomationML basierten Austausches von Verhaltensmodellen vorgestellt und bewertet werden. Dies kann eine wichtige Basis für die Entscheidung hinsichtlich der Nutzung bestimmter Technologien im genannten Entwurfsprozess von Produktionssystemen bilden.

Abstract

Behaviour models are essential within the engineering process of production systems. They are created and used within different phases of this process. Thus, the exchange of these models among the engineering tools applied within the different phases of the engineering process is an important challenge. Within this paper different possibilities for AutomationML based behaviour model exchange are presented and evaluated. This can support the decision-making process regarding the application of different technologies within the engineering process of production systems.

1. Motivation

Die horizontale Integration entlang der Engineering-Wertschöpfungsketten ist ein Themenbereich, der innerhalb der Industrie 4.0 Initiative betrachtet wird [1]. Hier liegt der Fokus auf der Ermöglichung eines durchgängigen Engineerings von Produkten und Produktionssystemen, so dass Entwurfsinformationen möglichst effizient und fehlerfrei übertragen und verwendet werden können [2].

Voraussetzungen für die effiziente und fehlerfreie Übertragung von Entwurfsdaten sind entsprechenden Schnittstellen von Entwurfswerkzeugen [3]. Dabei erscheinen Schnittstellen, die standardisierte Datenaustauschformate nutzen, von Anwendern bevorzugt zu werden [4].

AutomationML ist so ein Datenaustauschformat, das für die konsistente Weitergabe von Pla-

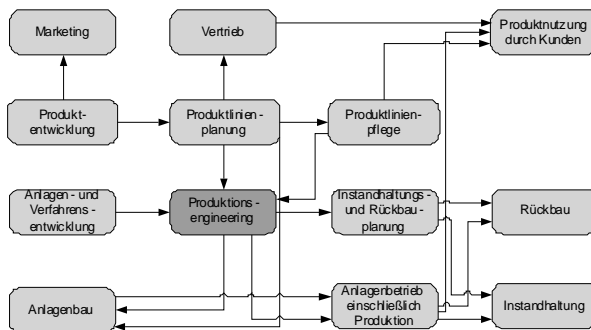


Bild 1: Relevante Wertschöpfungsketten nach [2]

nungsdaten im Engineering von Produktionssystemen entwickelt wurde. Es ermöglicht die Abbildung von Systemstrukturen, geometrischen und kinematischen Informationen sowie Verhaltensinformationen für diese Systeme [5] und wird derzeit als ein Kandidat

für die Anwendung im Industrie 4.0 Kontext diskutiert [10].

Ein in zunehmendem Maße interessanter Bereich für die Datenweitergabe in Engineering-Wertschöpfungsketten ist die virtuelle Inbetriebnahme [6]. Hier werden die Informationen nahezu aller Entwurfsaktivitäten korreliert und in einem gemeinsamen simulierbaren/analysierbaren Modell zusammengefasst, um auf Basis des Modells zum Beispiel Aussagen über die Korrektheit des Steuerungsentwurfes treffen zu können. Voraussetzung für eine derartige Modellanalyse sind adäquate Beschreibungen des Verhaltens der Produktionssysteme, die in das Modell mit integriert werden können.

Entsprechend stellt sich die Frage, ob und wie AutomationML Verhaltensbeschreibungen mit einer hinreichenden Detaillierung abbilden kann und wie diese Informationen später zu verwenden sind. Zudem ist zu klären, welche weiteren Anforderungen es aus Sicht der verschiedenen Stakeholder im Entwurfsprozess von Produktionssystemen an eine Modellierung von Verhaltensbeschreibungen noch gibt.

Um diese Fragen zu klären, ist zu untersuchen, welche Informationen für die Verhaltensbeschreibung von Produktionssystemen für einen virtuelle Inbetriebnahme abzubilden sind, wie diese Informationen im Entwurfsprozess von Produktionssystemen entstehen und genutzt werden und welche Mittel AutomationML für die Abbildung dieser Informationen bereitstellt. Dies soll im nachfolgenden Beitrag erfolgen.

2. Anforderungen an die Verhaltensbeschreibung mit AutomationML

Hinsichtlich des Entwurfsprozess für Produktionssysteme gibt es unterschiedliche jedoch ähnliche Entwurfsprozesse, die in der Literatur beschrieben sind [11]. Bild 2 zeigt einen Überblick über den aggregierten Prozess, wie er in [12] beschrieben ist. Er besteht aus den

Adaptive Laufzeiteigenschaften von Anwendungen in der Automation: Anforderungen und Nutzungsperspektiven

Dipl.-Inform. **S. Grüner**, Prof. Dr.-Ing. **U. Epple**,
Lehrstuhl für Prozessleittechnik, RWTH Aachen University, Aachen

Kurzfassung

Laufzeitsysteme der Automatisierungstechnik unterliegen einem immer größer werdendem Anspruch an zusätzliche Funktionalität. Dazu zählt das Ausliefern von Meta-Daten zur Systembeschreibung oder die Ausführung zusätzlicher Diagnosefunktionalität. Die dafür benötigten Ressourcen der CPU stehen wegen der konservativen Abschätzung der Anwendungszeit oft nicht zur Verfügung. Da die tatsächliche Ausführungszeit aber Schwankungen unterliegt, können die verbleibenden Ressourcen der Laufzeitumgebung für die zusätzlichen Funktionen genutzt werden ohne das Einhalten der Echtzeitschranken zu gefährden. In diesem Beitrag stellen wir die Anforderungen an ein solches System der ressourcenadaptiven Anwendungen und diskutieren deren Nutzungsperspektiven.

1. Motivation

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Automatisierungstechnik wie z. B. Cyber-Physical Production Systems (CPPS) oder Industrie 4.0 fordern adaptive (d. h. anpassungsfähige) Anwendungen zur Lösung der anvisierten Herausforderungen. Zu dieser Liste gehört nicht zuletzt die Bereitstellung zusätzlicher Funktionalität auf der Prozessleitebene der Automatisierungspyramide. So könnten beispielsweise die prozessnahen Komponenten (PNKs) neben der ausgeführten Programmlogik auch diverse Meta-Daten zur Beschreibung der enthaltenen Funktionen beinhalten bzw. über eine Kommunikationsschnittstelle zur Verfügung stellen. Als Beispiel für solche Daten dient die Verwaltungsschale einer Industrie 4.0-Komponente [1], die den Zugriff auf die Modelle und die dazugehörigen Dienste eines Assets ermöglicht.

Die Erweiterung des Funktionsumfangs einer PNK bzw. von der PNK ausgeführten Laufzeitumgebung benötigt zusätzliche Ressourcen insbesondere in Bezug auf die Belegung der CPU, den verwendeten Speicher und die Auslastung der Kommunikationsinfrastruktur. Im Falle einer zyklischen Laufzeitumgebung der PNK steht insbesondere die Auslastung der CPU im direkten Zusammenhang mit dem belegten bzw. reservierten Anteil des Zyklus der PNK.



VDE

VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik

ISBN 978-3-18-092284-0