

Fortschritt-Berichte VDI

VDI

Reihe 8

Mess-,
Steuerungs- und
Regelungstechnik

Nr. 1256

Dipl.-Inf. David Kampert,
Stuttgart

Operative Verwendung merkmalbasierter Information in der Automatisierung

ACPLT
AACHENER
PROZESSLEITTECHNIK

Lehrstuhl für
Prozessleittechnik
der RWTH Aachen

Operative Verwendung merkmalbasierter Information in der Automatisierung

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation
vorgelegt von **Dipl.-Inf.**

David Kampert

aus Diepholz

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

Tag der mündlichen Prüfung: 06. März 2017

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 8

Mess-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Dipl.-Inf. David Kampert,
Stuttgart

Nr. 1256

Operative Verwendung
merkmalbasierter
Information in der
Automatisierung



Lehrstuhl für
Prozessleittechnik
der RWTH Aachen

Kampert, David

Operative Verwendung merkmalbasierter Information in der Automatisierung

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 8 Nr. 1256. Düsseldorf: VDI Verlag 2017.

134 Seiten, 22 Bilder, 10 Tabellen.

ISBN 978-3-18-525608-0, ISSN 0178-9546,

€ 52,00/VDI-Mitgliederpreis € 46,80.

Für die Dokumentation: Automatisierung – Industrie 4.0 – IEC 61131 – SPS – Merkmale – Abfragesprache – Relationale Algebra – Dienst

In dieser Arbeit wird ein neuartiges Konzept für die Kommunikation technischer Merkmale vorgestellt. Das Konzept erlaubt industriellen Automatisierungssystemen, Informationen über technische Merkmale mittels IEC 61131-konformer Programmierung von Fremdsystemen, beispielsweise IT-Systemen der MES-Ebene, abzufragen. Durch die Verfügbarkeit dieser Information können flexible Produktionsanlagen deutlich leichter realisiert werden. Grundlage dieser Arbeit ist der aktuelle Stand von Wissenschaft, Technik und industriell angewandten Normen und Standards. Im Detail sind dies theoretische Grundlagen zu Merkmalmodellen und Informationssystemen sowie die praktische Anwendung von Merkmalmodellen, Abfragesprachen, Software-Systemen im industriellen Umfeld und die Programmierung von Automatisierungssystemen. Ausgehend davon werden Anforderungen an das zu entwickelnde Konzept und die Implementierung und Integration abgeleitet. Die Implementierung entsprechender Abfragen in IEC 61131-kompatiblen Automatisierungssystemen wird erläutert. Die Integration in das IT-Umfeld einer industriellen Produktionsanlage wird dabei ebenso betrachtet wie die interne Softwarearchitektur. Die Arbeit schließt mit Anwendungsbeispielen und einer kritischen Diskussion des Konzepts.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek 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 Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

D82 (Diss. RWTH Aachen University, 2017)

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9546

ISBN 978-3-18-525608-0

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehrstuhls für Prozessleittechnik der RWTH Aachen. Ich bedanke mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Ulrich Epple dafür, dass er mir dieses Unterfangen nicht nur ermöglichte, sondern durch seine Führung des Lehrstuhls auch zu einer angenehmen, lehrreichen, konstruktiven und schönen Zeit gemacht hat. Ich danke außerdem Professor Dr.-Ing. Christian Diedrich für die freundliche Übernahme der Rolle des Zweitgutachters.

Großen Anteil an dieser Arbeit hat auch das gesamte Team des Lehrstuhls, zu dem ich über fünf Jahre gehören durfte. Ein herzliches „Danke schön“ an dieses tolle Team!

David Kampert

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	VIII
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.1.1. Die wissenschaftliche Perspektive	2
1.1.2. Die pragmatische Perspektive	3
1.1.3. Die strategische Perspektive	3
1.2. Zielsetzung und Idee	4
1.3. Aufbau der Arbeit	7
2. Grundlagen	10
2.1. Merkmale	10
2.1.1. Metamodell zur Modellierung von Merkmalen	10
2.1.2. Dienstbasierte Verwendung von Merkmalen	14
2.2. Informationssysteme	19
2.2.1. Grundbegriffe des relationalen Datenbankmodells	19
2.2.2. Relationale Algebra	20
2.2.3. Relationenkalkül	21
2.2.4. Eigenschaften der relationalen Algebra	22
3. Stand der Technik	24
3.1. Merkmal-Modelle in der Praxis	24
3.1.1. IEC 61360	25
3.1.2. eCl@ss	27
3.2. Abfragesprachen	31
3.2.1. Abfragesprachen für relationale Datenbanken	31
3.2.2. Abfragesprachen für graphbasierte Datenbanken	31
3.2.3. Domänenpezifische Abfragesprachen	32
3.3. Software-Systeme im Umfeld der industriellen Produktion	32
3.3.1. Manufacturing Execution Systeme	34
3.3.2. Datenarchive	35
3.3.3. Rezeptverwaltung	35
3.3.4. Labor-Informations- und Managementsysteme	36
3.3.5. Condition Monitoring	36
3.4. SPS-Programmierung	36
3.4.1. Aufbau und Funktionsweise einer SPS	36
3.4.2. Programmiersprachen	37
3.4.3. Kommunikation	43

4. Analyse und Anforderungen	48
4.1. Eignung der Merkmalmodelle	48
4.2. Entwurf der Abfragesprache	49
4.3. Implementierung	51
5. Lösungskonzept	54
5.1. Abbildung des Merkmalmodells im relationalen Datenbankmodell	54
5.1.1. Formale Spezifikation	54
5.1.2. Anwendersicht	58
5.2. Grundoperationen der Abfragesprache	59
5.2.1. Abdeckung der relationalen Algebra	59
5.2.2. Wertausgabe	62
5.2.3. Boolesche Formeln	62
5.2.4. Vererbungsbeziehungen	62
5.2.5. Aggregationen	63
5.3. Erweiterte Operationen der Abfragesprache	66
5.3.1. Zusammenführen von Merkmalträgern und Aussagen	66
5.3.2. Suche nach Merkmalträgern	67
5.3.3. Aggregationen	68
5.3.4. Bestimmung des Merkmalträgertyps	69
5.3.5. Vorhandensein eines Merkmals	69
5.3.6. Verknüpfung von Merkmalträgern	70
5.4. Schnittstellen und Verhalten der Funktionsbausteine	71
5.4.1. Konzept	71
5.4.2. Funktionsbausteine für Abfrageoperationen	72
5.4.3. Funktionsbaustein zur Ausführung von Abfragen	74
5.5. Systemarchitektur	77
5.5.1. Positionierung in der Automatisierungspyramide	77
5.5.2. Komponenten des Dienstes für Merkmalabfragen	79
6. Prototypische Implementierung	84
6.1. Technische Grundlagen	84
6.1.1. Die Laufzeitumgebung ACPLT/OV	84
6.1.2. Die Bibliothek ACPLT/FB	85
6.1.3. Das Kommunikationsprotokoll ACPLT/KS	86
6.1.4. Das ACPLT-Dienstsystem	86
6.2. Softwarearchitektur	87
6.2.1. Architektur des Klienten	87
6.2.2. Architektur des Merkmaltdienstes	89
6.2.3. Ablauf eines Dienstauftrufs	91
6.2.4. Administration des Dienstes	93
6.3. Anwendungsbeispiele	94
6.3.1. Flexible Programmierung von Werkzeugmaschinen	94
6.3.2. Überwachung von Erdölpumpen in einer Erdölraffinerie	95
7. Diskussion und Ausblick	98
7.1. Diskussion der Grundidee	98

7.2. Diskussion der Abfragesprache	99
7.3. Diskussion der Integration	100
7.4. Ausblick	101
A. Spezifikation der Funktionsbausteine	103
B. Verhalten des Bausteins QUERY	115
C. Abkürzungsverzeichnis	118
Literaturverzeichnis	119

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird ein neuartiges Konzept für die Kommunikation technischer Merkmale vorgestellt. Das Konzept erlaubt industriellen Automatisierungssystemen, Informationen über technische Merkmale mittels IEC 61131-konformer Programmierung von Fremdsystemen abzufragen. Die Arbeit erläutert die theoretischen Grundlagen, das Gesamtkonzept und Aspekte der Integration für die industrielle Automatisierung.

Geräte und Systeme im industriellen Umfeld werden vermehrt kommunikationsfähig und mit Netzwerken verbunden. Diese Konnektivität wird meist für den Zugriff auf Automatisierungssysteme von außen benutzt, aber auch die Automatisierungssysteme selbst können von den dadurch zugänglichen Daten profitieren, indem sie operativ notwendige oder nutzenbringende Information durch das Netz von Fremdsystemen abfragen. Beispielsweise kann eine Anlagensteuerung die notwendige Information zur Herstellung einer Produktvariante selbst und zum richtigen Zeitpunkt erfragen, ohne aktiv von außen mit der Information versorgt werden zu müssen. Solche Abfragen sind nach heutigem Stand der Technik aber aufwändig einzurichten, zu warten und nicht flexibel. Die Vernetzung birgt also großes Potenzial für die Automatisierung, das Verhältnis von Aufwand und Nutzen ist aber ungünstig.

Eine große Vereinfachung wäre eine Standardisierung der von Automatisierungssystemen ausgehenden Kommunikation. Während in technischer Hinsicht bereits Lösungen existieren, fehlt es in semantischer Hinsicht an Standards. Die Bedeutung von Information aus einem Fremdsystem, beispielsweise Information über ein Produktmerkmal, muss vorab bekannt sein, was mit steigender Anzahl vernetzter Systeme schwieriger wird. Weil ein großer Teil der Kommunikationsinhalte, die für ein Automatisierungssystem operativ nutzbar sind, technische Merkmale betrifft, sind diese der Ausgangspunkt für das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept.

Heute sind umfangreiche Merkmaldefinitionen durch Normen und Standards verfügbar (z.B. IEC 61360 und eCl@ss). In der Wissenschaft existiert außerdem eine klare Vorstellung davon, wie das Prinzip der Modellierung durch Merkmale grundsätzlich funktioniert. Für die operative Nutzung dieser Daten und Modelle in der Automatisierung gibt es aber kein Konzept.

Grundlage dieser Arbeit ist der aktuelle Stand von Wissenschaft, Technik und industriell angewandten Normen und Standards. Dieser wird in den ersten Kapiteln der Arbeit in Hinblick auf das Gesamtkonzept vorgestellt und erläutert. Im Detail sind dies theoretische Grundlagen zu Merkmalmodellen und Informationssystemen sowie die praktische Anwendung von Merkmalmodellen, Abfragesprachen, Software-Systemen im industriellen Umfeld und in die Programmierung von Automatisierungssystemen. Ausgehend davon werden Anforderungen an das zu entwickelnde Konzept und die Implementierung und Integration abgeleitet.

Der erste Schritt zur Lösung ist die Definition einer Abfragesprache für technische Merkmale, die sich auf ein vorhandenes allgemeines Metamodell für Merkmale bezieht. Die Abfragesprache hat die relationale Algebra als formale Basis. Die Operationen

der Sprache bestehen aus Grundoperationen, die durch theoretische Überlegungen und technische Umsetzung motiviert sind sowie aus erweiterten Operationen, die durch die praktische Anwendung motiviert sind und auf den Grundoperationen aufbauen.

Anschließend wird die Integration entsprechender Abfragen in IEC 61131-kompatible Automatisierungssysteme erläutert. Die Operationen werden als Typen von Funktionsbausteinen spezifiziert, so dass Abfragen von Merkmalinformation durch Funktionsbausteine programmiert werden können. Schnittstellen und Ausführungssemantik werden spezifiziert.

Letztlich werden der Entwurf und die Integration eines Servers zur Verarbeitung dieser Abfragen diskutiert. Die Integration in das IT-Umfeld einer industriellen Produktionsanlage wird dabei ebenso betrachtet wie Grundzüge der internen Softwarearchitektur. Die Arbeit schließt mit Anwendungsbeispielen und einer kritischen Diskussion des Konzepts.

