

DIE INTERAKTION DES MENSCHEN MIT SEINER INTELLIGENTEN UMGEBUNG THE HUMAN-ENVIRONMENT-INTERACTION (HEI)

JOSÉ L. ENCARNÇÃO, GINO BRUNETTI, MARION JÄHNE

Ein Trend der Informations- und Kommunikationstechnologie ist ihre zunehmende Integration in alltägliche Gebrauchsgegenstände, so dass diese zu mobilen und multimedialen Endgeräten werden. Erhalten diese autonomen, eingebetteten Systeme die Möglichkeit, sich zu vernetzen, ihre Umgebung über eine reiche Sensorik wahrzunehmen und über verschiedenste Aktuatoren auf sie zu reagieren, entsteht eine Umgebungsin-telligenz, die Ambient-Intelligence. Diese bedarf radikal neuer multimoda-ler Interaktionstechniken, um sie ihren Anwendern nützlich zu machen. Dieser Beitrag behandelt die wichtigsten Aspekte, die in dieser neuen Form der Interaktion des Menschen mit seiner intelligenten Umgebung eine Rolle spielen.

Einleitung

Zwanzig Jahre nach der durch den Personal Computer ausgelösten infor-mationstechnologischen Revolution stehen wir vor einem neuen Um-bruch. Kleinste, eingebettete, autonome, sich spontan vernetzende und drahtlos kommunizierende elektronische Geräte, die nicht mehr nur über Tastatur und Maus von ihrem Anwender bedient werden, sondern über elektronische, optische, akustische, magnetische, chemische, biometrische, etc. Sensoren ihre Umgebung wahrnehmen und zunehmend nicht mehr über Bildschirme, sondern über Aktuatoren wie Mikrocontroller, Überwa-chungs- und Steuerungsgeräte, Motoren, etc. auf Anwender reagieren, im Hintergrund unsichtbar operieren und ihre Dienste immer und überall zur Verfügung stellen.

Die nächste Generation der Informationstechnologie, die sich bei-spielsweise in Gebrauchsgegenstände unsichtbar als mobiles, drahtloses, multimodales und multimediales Endgeräte integriert und mit der alltägli-

chen Umgebung vereinigt, um auf diese Weise dem Menschen dienliche intelligente Umgebungen zu realisieren, läutet das Zeitalter der Ambient-Intelligence (Aml) ein (Aarts/Marzano 2003). Ihre Potenziale liegen in der Realisierung einer Umgebungsintelligenz, die auf die Gegenwart des Menschen, seine Gewohnheiten, Absichten, Bedürfnisse und sogar Emotionen reagiert. Radikal neue Formen einer Informationsgesellschaft sind die Konsequenz.

Ein wichtiger Aspekt der zukünftigen Mensch–Computer–Interaktion ist die Art und Weise, wie Ambient-Intelligence uns darin unterstützt, unsere persönliche Umgebung, unseren Aml-Raum, effizient zu nutzen. Bisher war die Mensch–Computer–Interaktion ein Prozess, bei dem der Mensch den Computer bediente, wozu er dessen Möglichkeiten kennen und seine Anwendung erlernen musste. Dies führte dazu, dass beispielsweise weniger Qualifizierte, Ältere und Personen mit besonderen Bedürfnissen häufig von den bisherigen Errungenschaften der Informationsgesellschaft ausgeschlossen waren. Bei der Ambient-Intelligence ergibt sich ein völlig neuer Kommunikationsprozess. Die intelligente Umgebung nimmt den Menschen wahr, kennt seine Ziele und Bedürfnisse und reagiert auf multimodale Anweisungen. Die Bedienung der intelligenten Umgebung wird so selbstverständlich wie das Öffnen eines Wasserhahns oder das Einschalten des Lichtes, wobei es nicht notwendig sein wird, im Detail zu verstehen, wie sich die einzelnen Geräte verständigen, um ihren Dienst zu realisieren. Vergleichbar damit, dass es ebenso wenig notwendig ist, im Einzelnen zu wissen, wie das Wasser bis zum Wasserhahn oder der Strom bis zur Glühbirne kommt. Dieser Beitrag behandelt die wichtigsten Aspekte, die in dieser aufkommenden Mensch–Umgebung–Interaktion eine Rolle spielen.

Mensch-Computer-Interaktion heute

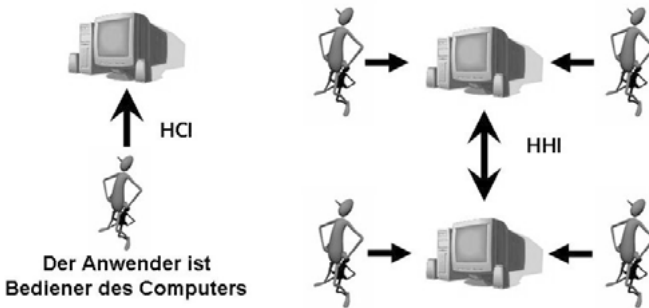
Bei der Mensch-Computer-Interaktion (Human-Computer-Interaction, kurz: HCI) erteilt der Anwender die Befehle, er ist der Bediener. Der Benutzer fordert Aktionen und Services von der Umgebung an, indem er Funktionen aufruft, Parameter bestimmt, Menüs aktiviert, usw. Durch Kombination verschiedener HCI's können zusätzlich verschiedene Arten der computergestützten Mensch-Mensch-Interaktion (Human-Human-Interaction, kurz: HHI) wie beispielsweise Email, Chat, Internet-Telephonie und Video-Konferenz implementiert werden (vgl. Abb. 1).

Dabei fungiert der Computer in der heute typischen Mensch-Computer-Interaktion sowohl als Ein- als auch als Ausgabemedium. Forschung zur Verbesserung dieser Interaktion umfasst heutzutage Themen wie die

Multimodalität in der Eingabe (Sprache, Mimik, Eingabegeräte mit sechs Freiheitsgraden für 3D-Interaktion etc.), Multimodalität in der Ausgabe (2D & 3D, Bilder, Video, Audio, Kraftrückkopplungsein- und -ausgabe-Geräte etc.) und die Integration von computergenerierten Realitäten, um beispielsweise mit rein virtuellen, erweiterten, gemischt realen/virtuellen oder auch simulierten Realitäten zu interagieren und schließlich auch die Entwicklung von einfach zu bedienenden, intuitiven Schnittstellen für die Mensch-Computer-Interaktion.

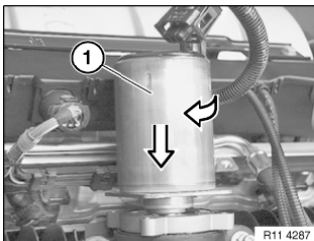
Abb. 1: Links: Mensch-Computer-Interaktion (HCI).

Rechts: Computerbasierte Mensch-Mensch-Interaktion (HHI).



Die verwendeten Technologien für die Ausgabe spannen dabei den Ausgaberaum auf, der sich zum Beispiel bei einem normalen PC auf Bildschirm und Lautsprecher beschränkt. Stehen die darzustellenden Informationen in Relation zu »Dingen« unserer realen Welt (oder Objekten, die nicht Teil des Ausgaberaumes sind), so müssen diese Relationen explizit dargestellt werden, denn die reale Welt ist nicht Teil des Ausgaberaumes. Folgendes Beispiel soll dies verdeutlichen:

Abb. 2: Ausschnitt aus einer Reparaturanleitung (© BMW AG).



Installation:

Replace sealing ring on spacer.

Install servomotor (1) and screw in up to spacer.

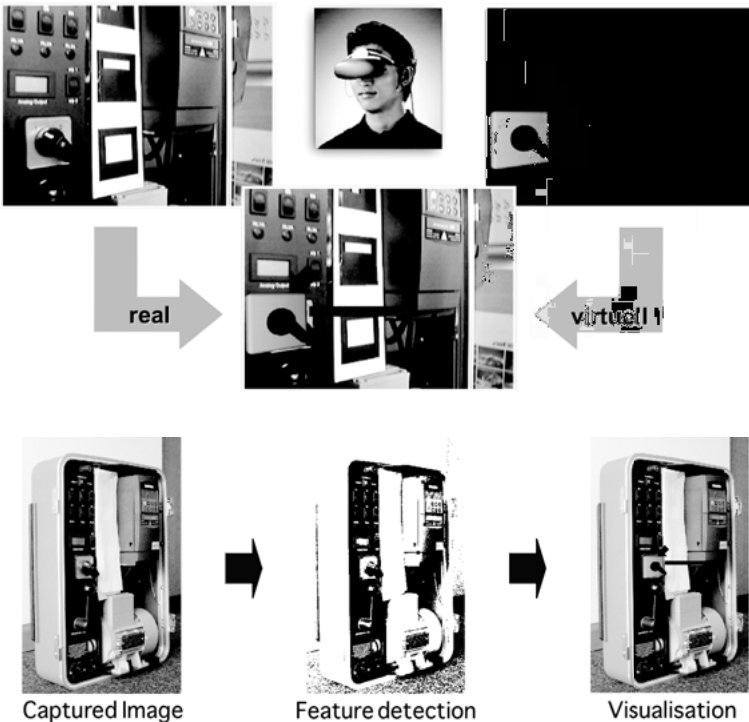
Rotate servomotor (1) into correct installation position.

Install and tighten down screws.

Reparaturanleitungen für Kraftfahrzeuge beschreiben Schritt für Schritt die Aktionen, die ein Mechaniker ausführen muss, um eine Reparatur durchzuführen. Dabei kommen Textbeschreibungen der Aktionen und passende Bilder zum Einsatz. Diese Bilder können reale Fotografien sein oder sie sind aus digitalen Modellen erzeugt worden. Die gesamte Reparaturanleitung ist dabei als Web-Seite oder PDF-Dokument mit Hyperlinks realisiert (Abb. 2).

Da der Ausgaberaum das reale Fahrzeug nicht beinhaltet, werden die Relationen zur realen Welt explizit modelliert, hier in Form von Bildern. Der Anwender eines solchen Systems muss zusätzliche kognitive Leistung erbringen, um diese expliziten Relationen aufzulösen und zu übertragen. Dies ist bei komplexen Systemen fehleranfällig und zeitaufwändig. Um dem zu begegnen, erlaubt beispielsweise die Technologie der Erweiterten Realität (Augmented-Reality, kurz: AR) die Erweiterung des Ausgaberaumes auf die reale Welt.

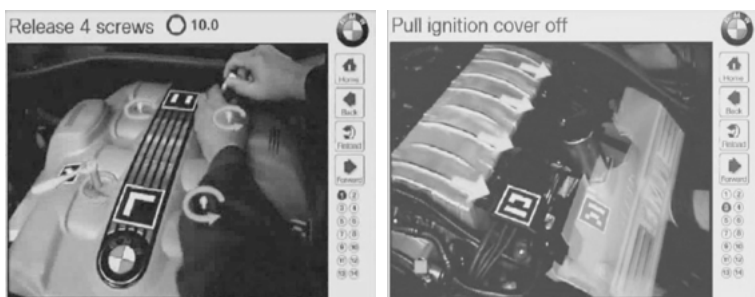
*Abb. 3: Oben: Grundprinzip Augmented-Reality.
Unten: Vision-basiertes Tracking.*



AR ermöglicht Relationen implizit darzustellen, indem computergenerierte Informationen lagerichtig in die reale Welt eingeblendet werden. Dazu trägt der Anwender eine spezielle Brille, die es erlaubt, sowohl die reale Welt zu sehen als auch computergenerierte Informationen einzublenden (siehe Abb. 3, oben). Über eine Kamera an der Brille wird die reale Welt aufgenommen, in Echtzeit werden Bildmerkmale identifiziert, mit verfügbaren Informationen über die reale Welt abgeglichen (artifizielle Markierungen, 3D-Geometrien, Referenzbilder) und die Position und Blickrichtung des Anwenders bestimmt (Abb. 3, unten). Neueste Forschungsergebnisse, die zeigen, dass für die Erkennung reale, vorhandene Merkmale genutzt werden können, sind u.a. in Bleser et al. (2005, 2006) beschrieben.

Für das skizzierte Beispiel bedeutet dies, dass unter Verwendung von AR-Technologie die Beschreibung der auszuführenden Aktionen direkt mit dem realen Objekt in Verbindung gebracht werden kann (Abb. 4). Die Relation zwischen der computergenerierten Information und dem Objekt wird implizit angezeigt; die Information wird im richtigen Kontext angezeigt. Das Verständnis wird zusätzlich durch die Verwendung graphischer Animationen anstatt Text wesentlich verbessert. Hinzu kommt, dass Graphik per se multilingual ist und damit aufwändige Übersetzungen und die damit verbundenen Kosten entfallen. Außerdem wird die Fehlerhäufigkeit durch die direkte Darstellung der Beziehung Aktion zu Objekt stark gesenkt (Weidenhausen et al. 2003).

Abb. 4: Beispiele einer Augmented-Reality basierten Reparaturanleitung (© BMW AG).



Das Beispiel der Reparaturanleitung ist nicht praxisfremd; vielmehr evaluiert die Automobilindustrie zurzeit den Einsatz von AR hierfür sehr intensiv. Man weiß, dass in Zukunft die Komplexität von Fahrzeugen immer mehr zunehmen wird und es nicht mehr möglich sein wird, einen Mechaniker in allen Aspekten adäquat zu schulen. Die Erstellung von

Servicehandbüchern wird ebenfalls immer problematischer, da die Zeit von der Verfügbarkeit des finalen Fahrzeuges bis zum Anlaufen der Produktion immer kürzer wird. AR kann hier eine entscheidende Hilfe sein.

Auch in der Produktentwicklung ist AR eine hilfreiche Technologie. So können kleine Designänderungen von bestehenden Fahrzeugen direkt in die realen Fahrzeuge eingeblendet werden. Außerdem können sehr einfach Varianten untersucht oder Unterschiede zwischen realen Daten und den zugrunde liegenden virtuellen Daten durch Überlagerung sichtbar gemacht werden.

Das Beispiel in Abb. 5 zeigt eine Anwendungsmöglichkeit im Marketingbereich. Die reale Szene, hier ein Automobil, ist auf Video aufgenommen, wobei eine virtuelle Felge derart ergänzt wird (Augmented Video), dass sie der Bewegung des Fahrzeugs lagerichtig folgt. Der Benutzer kann aus den vorhandenen Felgen frei wählen und erhält auf diese Weise einen visuellen Eindruck vor seiner Kaufentscheidung.

Die Technologie Augmented-Reality ist natürlich nicht nur auf den Einsatz in der Automobilindustrie beschränkt, sondern kann beispielsweise auch im Tourismus effektiv eingesetzt werden, in dem z. B. in die reale Welt Bauwerke früherer Kulturen eingeblendet werden, die heute zerstört sind (Stricker et al. 2002). Es gibt darüber hinaus noch viele andere Anwendungsbereiche, so z.B. in der Medizin (Khan et al. 2005).

*Abb. 5: Virtuelle Felgenvarianten am realen Fahrzeug (© Audi).
Links: ohne Einblendung; rechts: mit Einblendung.*



Metapherübergang: Vom Schreibtisch zur Ambient-Intelligence (AMI)

Ein Widerspruch in den heutigen Trends zur Interaktion mit technischen Geräten ist offensichtlich: Je mehr Funktionen und Möglichkeiten Geräte dem Menschen eröffnen, desto mehr Funktionen bleiben unbenutzt. Dies hat vielschichtige Gründe: Einerseits sind viele Funktionen nicht den

Bedürfnissen der Benutzer angepasst. Andererseits fühlen sich viele Benutzer angesichts einer solchen Vielzahl an Möglichkeiten überfordert. Der Benutzer ist zuständig aus den vorhandenen Funktionen, Menüs und Optionslisten herkömmlicher Geräte und Applikationen diejenigen herauszufinden, miteinander zu kombinieren bzw. hintereinander zu verknüpfen, die am ehesten zu dem ursprünglichen Benutzerziel passen. Kein Wunder, dass vor lauter Benutzungsoptionen oftmals das eigentliche Handlungsziel aus den Augen verloren wird, oder dass das Ausprobieren von Funktionen die eigentliche Handlung ersetzt. Ambient-Intelligence führt hier den Übergang von der Orientierung auf Funktionen zur Orientierung auf Benutzerziele ein. Dieser Metapherübergang verändert die Sichtweise auf ein Gerätesystem auf die Art der Unterstützung, die es einem Benutzer bietet und weg von der Notwendigkeit für den Benutzer, einzelne Bedienschritte und Funktionen erlernen zu müssen. Nicht mehr der Benutzer soll sich einem System anpassen müssen, sondern ein System erfüllt die Benutzerziele auf Basis der eigenen Adaptivität.

Es stellen sich drei wichtige technische und wissenschaftliche Fragen zur Realisierung dieser Ausprägung von Ambient-Intelligence (vgl. Aarts/Encarnação 2006). Zuerst ist die Interaktion des Benutzers mit seiner Umgebung zu betrachten. Denn sobald der Benutzer nicht mehr gezwungen ist, mit Geräten einzeln zu interagieren, um deren Funktionen zu bedienen, muss es ihm möglich sein, natürlichsprachig zu interagieren. Die Interaktion wird sich somit von einer rein funktions- und geräteorientierten Interaktion zu einer zielorientierten Interaktion verändern. Automatisch muss die Umgebung in der Sprache des Benutzers kommunizieren (z.B. durch Gestikerkennung und Spracherkennung) und nicht mehr umgekehrt. Danach ist die selbstorganisierte Kooperation und Kommunikation von Geräteensembles bereitzustellen, die gemeinsam die vom Benutzer gestellten Aufträge, Ziele und erkannten Bedürfnisse ausführen. Es kann dabei in Zukunft von einem Benutzer nicht mehr erwartet werden, dass er eine Vielzahl von Geräten organisiert und orchestriert. Im Gegenteil müssen die Geräte vielmehr selbst geeignete Strategien zur Selbstorganisation und zur Sicherung von Interoperabilität und Kooperation besitzen und bereitstellen können. Diese Selbstorganisation und Kooperation hat hierbei ad-hoc und autonom zu geschehen, damit der Benutzer vollständig von solchen Konfigurations- und Koordinations-tätigkeiten entlastet werden kann. Zuletzt muss intelligentes Verhalten eines Geräteensembles in Bezug auf die aktuelle Umgebung, den aktuellen Handlungskontext und die erfolgten Benutzerinteraktionen realisiert werden. Hier muss neben den rein kommunikativen und kooperativen Fähigkeiten der Geräte auch erreicht werden, dass sie sich der momenta-

nen Umgebungssituation und der Situation des Benutzers bewusst sein können und daraus intelligente Schlüsse ziehen.

Erfolge in diesen wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen machen den durch Ambient-Intelligence eingeleiteten Metapherübergang möglich. Ambient-Intelligence erweitert dabei die von den Forschungsrichtungen »Ubiquitous Computing« und »Pervasive Computing« (allgegenwärtiger und universeller Rechneinsatz) erarbeiteten Grundlagen, die vorsehen, dass Informationstechnologie in jede mögliche Art von Alltagsgegenständen eingebaut sein kann. Solche Informationseinheiten können damit sogar vor dem Benutzer verborgen und damit gewissermaßen unsichtbar sein. Ambient-Intelligence verlagert diese Technologie-zentrierte Sichtweise hin zu einer Benutzer- und Szenario-orientierten Sichtweise und wird damit die wissenschaftlichen und industriellen Fragestellungen der kommenden Jahre maßgeblich beeinflussen. Die IST Advisory Group beschreibt eine derartige AmI-Umgebung als

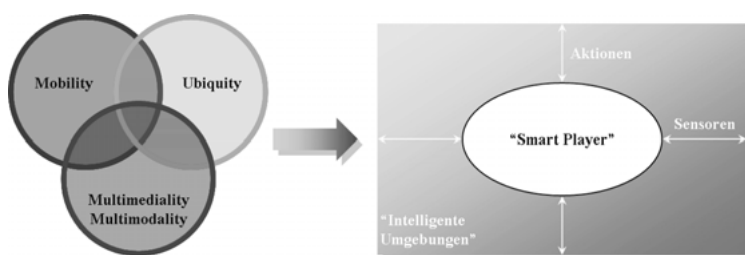
»[...] sensitiv zur Anwesenheit von Kreaturen (Personen, Personengruppen oder auch Tieren), deren Aktivitäten sie unterstützt. Sie erinnert sich an deren Verhalten und antizipiert dieses. Die menschlichen und physischen Entitäten – oder deren Cyber-Repräsentanten – und die Dienste teilen sich diese Umgebung, die die physische und virtuelle Welt, den AmI-Raum, umfassen. Dieser Raum muss derart konstruiert sein, dass er ein vorhersagbares Verhalten hat, dass durch ihn Dienste angeboten werden können und dass er komplizierte »viele-zu-viele« Beziehungen handhaben kann. Der AmI-Raum kann als die Integration von Funktionen auf lokaler Ebene zwischen verschiedenen Geräteumgebungen gesehen werden, welcher einen direkten, natürlichen und intuitiven Dialog des Benutzers mit Anwendungen und Diensten ermöglicht, sowohl verschiedene Interaktionsumgebungen als auch den Cyberraum umfasst und die Organisation und Verarbeitung von Wissen und Inhalten ermöglicht.« (ISTAG 2001)

Ambient-Intelligence setzt somit den Benutzer in das Zentrum aller technischen Innovationen. Die Umgebung eines AmI-Raumes – und damit alle in ihr befindlichen technischen Geräte – ist somit in der Lage, Informationen über die gegenwärtige Situation, die Interaktion des Benutzers und dessen Möglichkeiten zu sammeln und in einen vernünftigen Kontext zu setzen. In einem zweiten Schritt ist es dem verteilten AmI-Raum möglich, die gegenwärtige Situation dahingehend zu interpretieren, dass mögliche Benutzerziele und mögliche intelligente Systemreaktionen analysiert und somit proaktiv Unterstützung für die im AmI-Raum befindlichen Benutzer geplant werden können. Im letzten Schritt setzt der AmI-Raum die erkannten Ziele in Umgebungsänderungen und Gerätefunktio-

onen um und adaptiert somit seinen eigenen Zustand gemäß den erkannten Benutzerzielen.

Das Konzept von Ambient-Intelligence, konsequent umgesetzt, führt zu einer Konvergenz unterschiedlicher Technologien, die heute noch separat entwickelt und eingesetzt werden. Vor allem aus der Konvergenz von Mobilität, Allgegenwärtigkeit, Multimedialität und Multimodalität wird sich ein neues Modell für die Informations- und Kommunikationstechnologie entwickeln (siehe Abb. 6), das ein intelligentes Umfeld (AmI-Raum) mit intelligenten Geräten realisierbar macht und den Benutzern in dieser Umgebung dient (Encarnação/Wichert 2005).

Abbildung 6: Metapherübergang: Ambient-Intelligence (AmI).



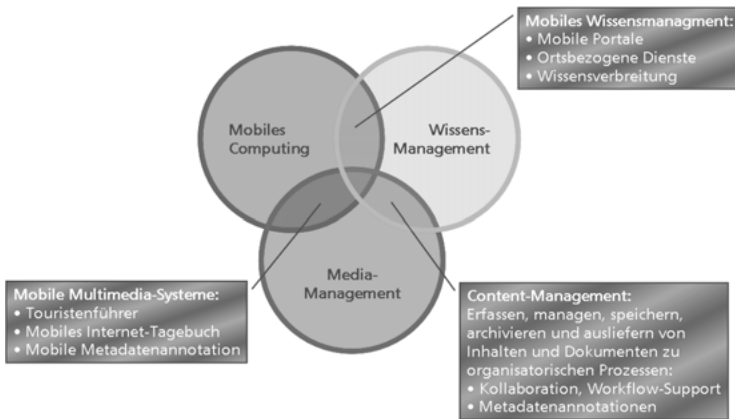
Schon 2001 schlug die ISTAG vor, die Ambient-Intelligence-Prinzipien nicht nur für den Menschen, sondern auch auf Tiere und sogar auf industrielle Güter, Roboter und Produktionstechniken auszudehnen (ISTAG 2001). Im Umfeld von Ambient-Intelligence kann somit von einer Vielzahl an Smart-Playern ausgegangen werden. Hier seien als mögliche Smart-Player Menschen, Tiere, Geräte, Arbeitsplätze, Maschinen und Güter genannt. Die Vision von Ambient-Intelligence ist damit nicht ausschließlich die auf den Mensch bezogene Kommunikation, sondern handelt von allen Smart-Playern, die mit den intelligenten Umgebungen, in denen sie sich aufhalten, interagieren und deren Services sie in Anspruch nehmen (zu Hause, im Büro, in der Schule, im Krankenhaus, im Verkehrssystem, in der Fabrik, usw.).

Im Rahmen dieses Beitrags konzentrieren wir uns nur auf den Menschen als den Smart-Player in einem intelligenten Umfeld. Diese Interaktion wird Mensch-Umgebung-Interaktion (Human-Environment-Interaction, kurz: HEI) genannt.

Menschen in einem intelligenten Umfeld

Im Bereich der intelligenten Umgebungen, vor allem im häuslichen Umfeld und Büroumgebungen, sehen wir die Verschmelzung und Konvergenz von Mobile-Computing, Medienmanagement und Wissensmanagement (Abb. 7) als eine zentrale Voraussetzung zur Realisierung eines AmI-Raumes. In diesem Zusammenhang sind Technologien zur Umsetzung von Präsenz und Umgebungsbewusstsein grundlegend bei der Realisierung der HEI-Schnittstellen.

Abb. 7: Wichtige Technologien zur Realisierung von HEI: Human-Environment-Interaction.



Eine Ambient-Intelligence-Umgebung, und damit die in ihr befindlichen Geräte und Applikationen, hat generell fünf Dimensionen an Kontextvariablen zu erfassen:

1. Benutzeridentifikation;
2. Aktionen: erkennen, was der Benutzer gerade macht;
3. allgemeine Kontextdaten: erfassen von Daten, wie beispielsweise genaue Position und Zeit;
4. Interaktionsziele: interpretieren der Ziele und Beweggründe der Interaktion;
5. Interaktionsmodalität: erkennen der vom Benutzer ausgewählten Interaktionsparadigmen (Art der Multimedialität und Multimodalität).

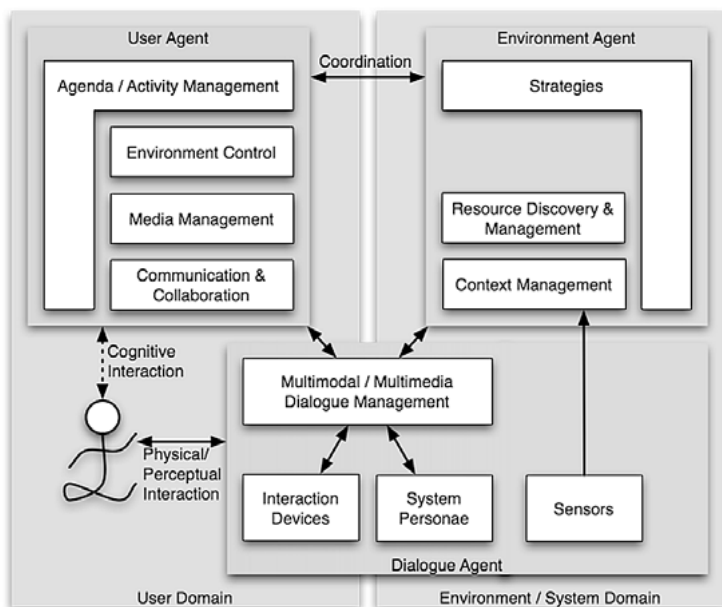
Vereinfacht ausgedrückt, spannt ein AmI-Raum somit drei Dimensionen auf, die aus den Kontextdaten, dem Raum der möglichen Aktionen und Umgebungszielen sowie der durch den Benutzer ausgeübten Interak-

tionen besteht. Diese drei Dimensionen miteinander zu verknüpfen und in Konvergenz zu bringen, muss die Herausforderung jeder technischen Entwicklung in Bezug auf die Realisierung des AmI-Raumes sein.

Eine sich hieraus ergebende mögliche funktionale Systemarchitektur für die Realisierung von Human-Environment-Interaction, wie sie am Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung definiert wurde (Hellenschmidt/Wichert 2005), ist in Abb. 8 abgebildet. Funktionale Komponenten aus drei unterschiedlichen Dimensionen (User-Agent, Environment-Agent und Dialogue-Agent genannt) realisieren die Erfassung des AmI-Raumes.

Manche Komponenten lassen sich als eher dem Benutzer zugehörig, andere als Umgebungskomponenten identifizieren. Intuitiv sind Interaktionsgeräte ein typisches Beispiel für die notwendige Kooperation und Interoperabilität von unterschiedlichen Entitäten. Erst durch ein solches koordiniertes Zusammenspiel ist die Realisierung von Multimodaler Interaktion möglich.

Abb. 8: HEI: Funktionale System-Architektur (Fraunhofer-IGD).

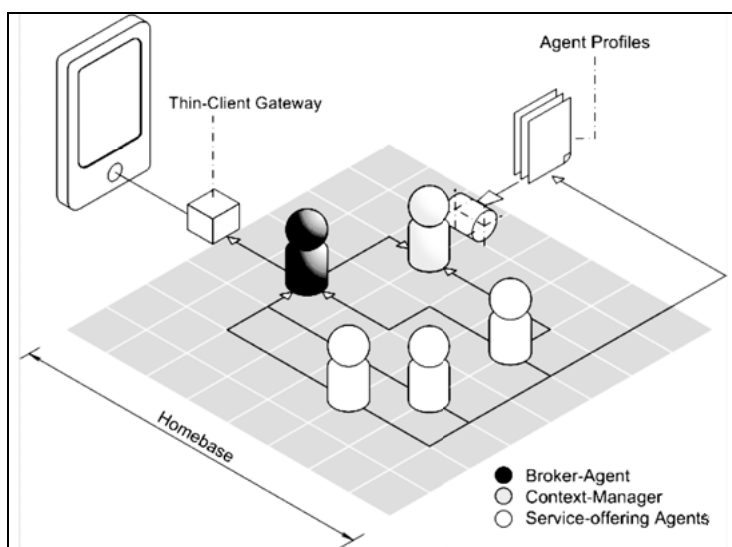


Die in Abb. 8 dargestellte System-Architektur für Human-Environment-Interaction illustriert, dass für die beschriebene Ambient-Intelligence-

Hierbei stand besonders die Unterstützung für mobile Servicemitarbeiter im Vordergrund (Balfanz et al. 2005). Ein Schwerpunkt der Architektur liegt in der Erfassung verteilter Kontextinformation und deren Verarbeitung und Interpretation durch zeitnahe Situationsanalyse.

Ein anderes Projekt ist Servingo (Tazari et al. 2006), dessen unterschiedliche Komponenten in Abb. 10 illustriert sind. Integriert mit einer graphischen Oberfläche werden durch autonome Agenten, die untereinander kommunizieren und kooperieren, dem Benutzer in Abhängigkeit seiner aktuellen Interessen Dienste angeboten.

Abb. 10: HEI: Schlüsselfunktionalitäten.



Die in der funktionalen System-Architektur (Abb. 9) illustrierten Funktionalitäten werden hierbei durch ausgezeichnete Agenten – einen Vermittlungsagent, einen Kontextmanager und unterschiedlichste Serviceanbieter – realisiert. Dabei ist der Vermittlungsagent in der Lage, auf Basis der Benutzer- und Umgebungsinformationen diejenigen Dienste auszuwählen und dem Benutzer zu präsentieren, die der gegenwärtigen Situation am besten entsprechen.

Aus Sicht der Softwaretechnik erlauben diese Agenten somit die Implementierung einer kontextbewussten Informationsverarbeitung. Die prototypisch realisierten Dienste unterstützen damit Konzepte der mobilen Informations- und Wissensverarbeitung, indem sie herkömmliche Technologien des Wissensmanagements um mobile Aspekte erweitern und

hiermit die Entwicklung, Mitbenutzung, Wiederauffindung und Visualisierung in der mobilen Arbeit unterstützen. Dies beschleunigt den Arbeitsablauf von räumlich getrennten Prozessen (mobiles »just-in-time«) erheblich.

Sowohl Mummy als auch Servingo stellen eine Plattform für mobile, mehrsprachige Dienste dar, die eine individuelle Orientierung im mobilen Umfeld bieten.

HEI Forschungsthemen

Forschung in den Bereichen Mensch-Umgebung-Interaktion und Ambient-Intelligence ist bereits an vielen Forschungseinrichtungen als Schwerpunkt etabliert. Eines dieser Forschungszentren ist das Ambient-Intelligence-Labor des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung (Abb. 11), an dem unterschiedliche Arten von sensorischer Datenerfassung, Interaktionsmöglichkeit und Gerätekooperation im Büroumfeld erprobt und deren Akzeptanz innerhalb unterschiedlicher Benutzergruppen evaluiert wird (Nazari 2006).

Abb. 11: Ambient-Intelligence-Labor zur Erforschung von HEI-Technologien (Fraunhofer-IGD).



Zur sensorischen Erfassung von Umgebungsinformationen stehen im Ambient-Intelligence-Labor RFID-Technologien (Radio Frequency Identification) und Positionierungssysteme auf Basis von WLAN und Ultra-

breitbandtechnologie zur Verfügung. Andere Projekte streben die Etablierung einer funktionalen Referenzarchitektur auf Basis der in Abb.9 gezeigten System-Architektur für die Anwendung in unterschiedlichen Domänen an.

Hier ist das Mensch-Technik-Interaktions-Projekt EMBASSI (Herfet et al. 2001) zu nennen, bei dem Agenten unterschiedlichster Funktionalitäten bei der Ausführung der Benutzerziele assistieren. Dieses Verhalten zu dynamisieren und ein selbstorganisiertes Verhalten eines darauf basierenden Geräte- und Applikationsensembles zu implementieren ist Aufgabe weiterführender Arbeiten gewesen.

Das Projekt DynAMITE hat beispielsweise eine verteilte Software-Infrastruktur entwickelt, die sowohl dynamische Geräteensembles realisiert als auch die Kooperations- und Kommunikationsmechanismen abstrahieren kann (Hellenschmidt/Kirste 2004, Hellenschmidt 2005).

Die IST Advisory Group (ISTAG 2003) liefert konkrete Hinweise, welche Technologien für die Realisierung von Ambient-Intelligence-Szenarien und damit für eine Mensch-Umgebung-Interaktion von Bedeutung sind. Erst durch Konvergenz dieser Technologien kann davon gesprochen werden, dass der Mensch von benutzerfreundlichen, miteinander vernetzten und kooperativen Geräten umgeben ist, die sich des Benutzers Gegenwart, seiner individuellen Persönlichkeit und seiner Bedürfnisse und Wünsche bewusst sind. Konkrete Technologien, die hier in der Zukunft vorangebracht werden müssen, sind u.a. Verfahren zur intelligenten Benutzerprofilbildung, verteilte Datenbanken, Sicherheitstechnologien, lernende und reflexive Systeme, Sensoren und Aktuatoren, Mensch-Maschine-Schnittstellen zur Unterstützung natürlicher und auch natürlichsprachiger Interaktion, Kommunikationsunterstützung durch intelligente Objekte wie beispielsweise Avatare, Koordinations- und Kooperationsmechanismen und die oben besprochenen Software-Infrastrukturen. Auf einige dieser technologischen Schwerpunkte soll im Folgenden exemplarisch wenn auch nur kurz eingegangen werden.

Ein Schwerpunkt der Interaktionstechnologien ist die Intentionserkennung der Umgebung, die sowohl das Benutzerverhalten als auch Umgebungsveränderungen über Sensoren erkennt und daraus Ziele ableitet. Hierzu ist es notwendig, dass die Umgebung auf Veränderungen, d.h. direkte oder indirekte Interaktionen von Benutzern reagiert bzw. der geänderte Umgebungszustand festgestellt wird. Dies kann zum einen durch die direkte Handlung der Menschen mit der Umgebung durch multimodale Interaktionen wie Sprache, Gestik oder entsprechende Benutzungsschnittstellen erfolgen. Über einen Dialog ist es möglich, bei z.B. kritischen Situationen Rückfragen stellen zu können. Zum anderen kann auch eine Intentionserkennung der Umgebung durch ein Erkennen

des Benutzerverhaltens über Sensoren erfolgen, die das System mit bestimmten Verhaltensmustern vergleicht und interpretiert. Um dies zu erreichen, müssen darüber hinaus Methoden entwickelt werden, die es auch mehreren Benutzern ermöglicht, für spezifische Ziele zu kooperieren, auch ohne dass explizit definiert werden muss, wie die Kooperation für das gegebene Ensemble funktioniert. Hier können konnektionistische Ansätze (z.B. neuronale Netze) und heuristische Zielsuchverfahren für stationäre Optimierungen, symbolische Ansätze wie Planungssysteme oder auch regelbasierte Ansätze zur Vorwärtsinterpretation von Umgebungsdaten zum Einsatz kommen (Hellenschmidt 2007).

Mittels Ontologien werden die semantischen Nachrichten der verschiedenen Ebenen der HEI-Architektur definiert und syntaktisch (maschinenlesbar) vereinheitlicht. Daneben sind einheitliche Semantiken für Datenbankzugriffe, Benutzerprofile und andere sich aus den Szenarien ergebenden Komponenten und Benutzern zu entwickeln. Ziel einer solchen Technologie muss es sein, eine vereinheitlichte Aml-Beschreibung aller beteiligten Komponenten und Nachrichtenflüsse zu erreichen. Hierbei müssen bereits bestehende Standards wie z.B. die Web-Ontologie-Sprache OWL (Ontology Web Language) oder das UPnP (Universal Plug and Play) berücksichtigt und verwendet werden.

Middleware-Technologien bilden traditionell das Bindeglied zwischen Anwendungen und Kommunikationsinfrastrukturen. Middleware sorgt für die Abstraktion von unterliegenden Hard- und Softwareschichten sowie die Verteiltheit von Komponenten und deren Adressierbarkeit bei gegebenem Domänenkonzept. Um den Anforderungen von selbstorganisierenden Aml-Ensembles gerecht zu werden, müssen zukünftige Middleware-Technologien für mehr als Interoperabilität sorgen. Basisfunktionalitäten bleiben weiterhin die Geräteabstraktion, Dezentralisierung und die dynamische Integration von neuen Komponenten. Hinzu kommt die Unterstützung semantischer Beschreibungen für Funktionen zur intelligenten Suche (Discovery), Ablage (Repository), Orchestration und Choreographie, Fehlererkennung, Selbstdiagnose und Selbstheilung. Erschwerend bringt Ambient-Intelligence Anforderungen mit sich, die dem eigentlichen Konzept einer Middleware, nämlich von darunter Liegendem zu abstrahieren, widersprechen. Bewusstseinsfunktionen (Awareness) erfordern in ihrer letzten Konsequenz, dass eine Middleware alle ihr zur Verfügung stehenden Informationen an die darüber liegende Anwendung weiter gibt. Um die Interaktion mit den Anwendungen dennoch beherrschbar halten zu können, bedarf es neuer Konzepte. Um die mögliche Heterogenität und Dynamik (Hinzufügen und Entfernen von Komponenten und/oder Geräten) von Aml-Ensembles und Komponenten-

strukturen zu unterstützen, sind Konzepte der verteilten Implementierung notwendig.

Integrative Kommunikationstechnologien für die unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen Menschen in einem Haushalt (u.a. IP-gestützte Vernetzung), in der Logistik (u.a. Funk oder WLAN) und in der Telekommunikation (u.a. GPRS, UMTS) sind ebenfalls weiterzuentwickeln. Ziel muss es sein, die semantische Kommunikation der Komponenten innerhalb eines AmI-Raumes sowie die des Benutzers, bzw. seiner technischen Komponenten mit dem AmI-Raum von der technischen Kommunikation zu abstrahieren und die Vereinheitlichung der technischen Kommunikationen anzubieten.

Durch die fortschreitende Integration der Rechner- und Computersysteme in die gewohnte Umgebung unseres täglichen Lebens ändert sich die Art und Weise, wie wir mit solchen technischen Systemen interagieren. Zurzeit beschränkt sich die Integration der Computersysteme meist darauf, den Rechner selbst zu verstecken oder als Design-Objekt in die Umgebung einzubetten. So ist beispielsweise der Mini-Computer als multimediales Schaltzentrum im Wohnzimmer etabliert und fast nicht mehr von dort wegzudenken.

Eines hat sich allerdings bis heute noch nicht wirklich geändert: Die Eingabegeräte sind immer noch die gleichen. Computermaus und Tastatur sind zwar nicht mehr mit Kabeln mit dem Rechner verbunden, sondern arbeiten funkgesteuert, sie liegen aber immer noch wie vor zehn oder zwanzig Jahren meist als einzige Eingabemedien bereit.

Soll aber der Mensch ein vollständig neues Verständnis von Technologie in seiner unmittelbaren Umgebung entwickeln, müssen auch die Schnittstellen zu dieser Technologie weiter entwickelt werden. Denn erst wenn Interaktion wirklich intuitiv und einfach gestaltet ist, können neue Technologien auch von technisch unerfahrenen Menschen verwendet werden. Ein Ziel der aktuellen Forschung ist es deshalb, die Schnittstelle zum Computer so zu gestalten, dass der Unterschied zwischen Kommunikation mit Geräten und mit anderen Menschen deutlich kleiner wird. Das wichtigste Medium der menschlichen Kommunikation ist dabei die Sprache.

Die Unterstützung von natürlichsprachlichen Eingaben sowie deren semantische Analyse in Bezug auf die intelligente Umgebung leisten einen wesentlichen Beitrag zur Vereinfachung der Bedienbarkeit von Interaktionsschnittstellen zwischen Mensch und Umgebung. Die Grundlage für eine korrekte semantische Analyse und Intentionserkennung von natürlichsprachlichen Eingaben, Anfragen und Befehlen bilden Wissensrepräsentationsmodelle wie z.B. Ontologien.

Mit Hilfe von Ontologien und deren standardisierten Repräsentations-sprachen wie OWL kann Kontextinformation wie z.B. komplexe Zusammenhänge zwischen feinkörnigen Benutzerprofilen (bevorzugte fachsprachliche Terminologien, kulturelle Hintergründe, etc.), Informationsobjekte und miteinander vernetzte kooperative Geräte in einer Weise beschrieben werden, die für Computer verständlich und somit interpretierbar ist.

Auf der Grundlage von derartigen maschineninterpretierbaren Wissensrepräsentationsmodellen kann der AmI-Raum natürlichsprachliche Eingaben ihrer Bedeutung entsprechend analysieren (Sevilmis 2005). Aus der Analyse können unter Einbeziehung von Inferenzmechanismen, die durch logisches Schließen aus explizitem Wissen implizites Wissen generieren, beispielsweise konkrete Aktionspläne abgeleitet werden, die die Antwort bzw. das Ergebnis der natürlichsprachlichen Eingabe darstellen.

Der Aktionsplan beschreibt die temporäre Reihenfolge der auszuführenden Aktionen sowie deren Abhängigkeiten und Zugehörigkeiten zu den einzelnen Geräten im AmI-Raum. Diese Aktionen können dann auf die verschiedenen Geräte verteilt und ausgeführt werden. Die Ausführung des Aktionsplans ist die Antwort der intelligenten Umgebung auf die natürlichsprachliche Eingabe des Benutzers (z.B. Visualisierung). Im Vordergrund intelligenter Umgebungen steht unter anderem vor allem die Präsentation der Ergebnisse in einer Weise, die entweder intuitiv ist (z.B. das Licht schaltet sich ein) oder die eine dem Erkenntnisgewinn dienenden Blickwinkel auf die Ergebnisse erlaubt, ohne den Endanwender dabei zu überfordern. Auch die Art und Weise einer benutzerzentrierten Ergebnispräsentation kann in Form von Ontologien festgehalten werden. Somit erreicht man eine große Varianz bezüglich der Darstellung von Ergebnissen, welches ein breites Spektrum verschiedener Benutzergruppen anspricht.

Allerdings gibt es immer wieder Situationen, in denen Sprache allein nicht ausreichend ist, um einfach und intuitiv zu interagieren. Frühere Arbeiten (Sá et al. 2001) haben gezeigt, dass sich diese Problematik auch im häuslichen Umfeld zeigt. Typische sprachliche Anweisungen an ein intelligentes, vernetztes Haus wie beispielsweise »Schalte diese Lampe an!« sind ohne die kombinierte Verwendung von Sprache und Gestik für ein technisches System nicht zu verstehen. Insbesondere die Verwendung einer Zeigegeste ist ein wichtiges Hilfsmittel der menschlichen Kommunikation.

Aktuelle HEI-Forschungsarbeiten konzentrieren sich daher auch auf die multimodale Ein- und Ausgabe zwischen Mensch und Umgebung, um diese Lücke zu schließen. So wurde beispielsweise am Zentrum für Graphische Datenverarbeitung ein Gestenerkennungssystem entwickelt,

das ohne Trainingsphase von jedermann bedienbar und durch ein video-basiertes Verfahren in der Lage ist, die Zeigegeste des Anwenders zu erkennen und in Echtzeit zu verfolgen. Die Einsatzmöglichkeiten eines solchen Systems sind vielfältig.

In einem musealen Umfeld können beispielsweise auch technisch unversierte Museumsbesucher mit Hilfe dieses Systems interaktiv digitalisierte Gemälde untersuchen und mehr über das Meisterwerk und seinen Künstler erfahren (Malerczyk et al. 2005) (Abb. 12). Im Sinne einer neuen Mensch-Umgebung-Interaktion wird die Technik selbst vom Anwender nicht mehr wahrgenommen. Der Besucher benötigt keine technischen Eingabegeräte, sondern interagiert mit dem Exponat ausschließlich mit der bloßen Hand.

Abb. 12: Intuitive Erforschung eines digitalen Gemäldes mittels Zeigegestenerkennung und virtueller Lupenfunktion.

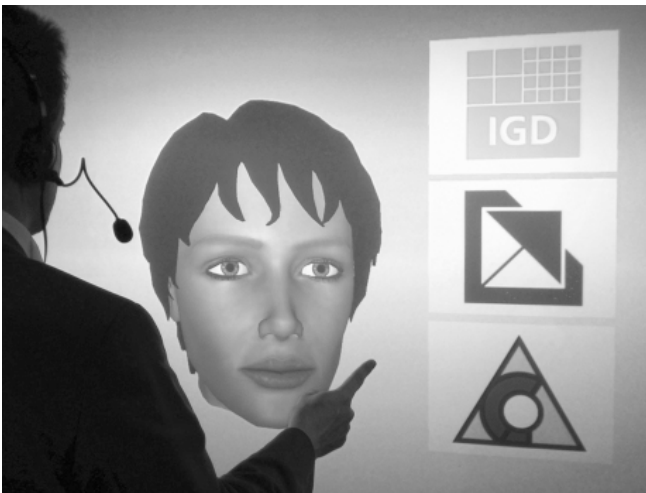


Solche Interaktionsparadigmen mit immer realistischer darstellbaren Avataren und natürlich klingender Sprachsynthese sind insbesondere auch auf das Ziel der Annäherung von Mensch-Computer-Interaktion an die zwischenmenschliche Kommunikation übertragbar (Abb. 13), womit sie einer der wichtigsten Aufgaben eines interaktiven Systems beitragen, nämlich der Kommunikation relevanter Informationen in einer angemessenen Art und Weise sowie eine effektive Kommunikation des Anwenders mit dem System.

Dabei hängt die Relevanz von Informationen direkt von der Situation in der realen Welt, dem Kontext, ab. Heutige interaktive Systeme verfügen über keine ausreichende Sicht auf die Welt. Dadurch ist die Basis für die Selektion der darzustellenden Information vage und oft falsch. Häufig muss der Benutzer die relevante Umgebungsinformation eigenständig in eine maschinenlesbare Form überführen. Dies ist fehleranfällig, zeitaufwändig und erfordert ausreichende Kenntnisse über die zugrundeliegende Technologie, die den Anwenderkreis heutiger Systeme deutlich einschränkt.

Für das Beispiel der Reparaturanleitung mit Augmented-Reality (siehe Abschnitt »Mensch-Computer-Interaktion heute«) bedeutet dies, dass der Anwender dem System genau mitteilen muss, welches Problem vorliegt (Auswahl der richtigen Anleitung) und welche Aktionen er ausgeführt hat, damit die nächste auszuführende Aktion auch angezeigt wird. Ob der Anwender nicht aus Versehen einen Schritt übersprungen hat, die Aktion richtig ausgeführt hat oder die dargestellte Menge an Informationen adäquat für den Anwender ist, kann die Benutzungsschnittstelle nicht prüfen.

Abb. 13: Multimodale Interaktion mittels Sprach- und Gestenerkennung zur natürlichen Interaktion mit einem persönlichen Avatar.



Ziel zukünftiger Forschung muss es deswegen sein, Strategien für die direkte, echtzeitfähige Wahrnehmung und Interpretation der Umgebung, der Situation und des Kontextes zu entwickeln. Dadurch kann die notwendige Nutzerinteraktion reduziert und die Bedienbarkeit der Schnitt-

stelle verbessert werden. Die Benutzungsschnittstelle wird dann in der Lage sein, die passende Information mit optimalem Detaillierungsgrad zu präsentieren sowie auf Aktionen des Anwenders geeignet zu reagieren und sich dessen Bedürfnissen zu adaptieren.

Hinsichtlich der Wahrnehmung der realen Welt können dabei drei Aspekte unterschieden werden:

- Die *Umgebungswahrnehmung* liefert Informationen zur Position und Orientierung des Anwenders und den Objekten in seiner Umgebung sowie deren Status (Benutzer-Tracking und Objekterkennung).
- Die *Situationswahrnehmung* erkennt die Dynamik in der Umgebung, der Aktionen des Benutzers und der relevanten Objekte.
- Die *Kontextinterpretation* basiert auf den Ergebnissen der Umgebungs- und Situationswahrnehmung und interpretiert diese Daten in Bezug auf den aktuellen Kontext.

Ein illustratives Beispiel hierzu ist das interaktive Fußballspiel iFU, das anlässlich der Fußball WM 2006 am Zentrum für Graphische Datenverarbeitung entwickelt wurde (Abb. 14). Der Anwender (Spieler) übernimmt die Rolle des Torwarts beim Elfmeterschießen. Ziel des virtuellen Spielers ist es, ein Tor zu schießen. Um zu erkennen, ob der Spieler den Ball hält, muss das System seine dynamische Bewegung erfassen, diese mit der Flugbahn des Fußballs abgleichen, um schließlich eine mögliche Kollision zu ermitteln.

Abbildung 14: Interaktives Fußballspiel (iFU).



Ein weiteres Beispiel soll die Unterschiede der obigen Aspekte nochmals näher erläutern: Ein Chirurg führt eine Herzoperation aus (Kontext). Er geht in den Operationssaal, in dem sich der Patient und die notwendigen Operationsinstrumente befinden. Die Technologie für die Umgebungswahrnehmung identifiziert den Ort (Operationssaal) und die Objekte im Raum (Patient, Instrumente). Nun beginnt er mit der Operation und führt die notwendigen Schritte aus. Die Situationswahrnehmung beobachtet und erkennt die Aktionen des Chirurgen. Kontextinterpretation evaluiert die erkannten Aktionen im Kontext Herzoperation und prüft, ob die Aktionen in der richtigen Reihenfolge auf die richtige Art und Weise ausgeführt werden. Das System kann bei erkannten Fehlern reagieren und die Information für den nächsten Schritt anzeigen.

Der Einsatz von Kameras als Sensorik zur Wahrnehmung von Umgebung und Situation bietet sich an. Basis bilden dabei die Erkenntnisse aus der Computer Vision und dem visions-basierten Tracking für Augmented-Reality. Die Kombination mit anderen Sensoren ist jedoch in jedem Fall notwendig. Anfang 2006 wurde hierfür ein Grundstein mit dem »Intuition Research Position Paper for Augmented Reality« gelegt (Knöpfle 2006), das von führenden Experten erstellt wurde und die zukünftigen Forschungsrichtungen im Bereich Augmented-Reality und mögliche Anwendungen für Ambient-Intelligence beschreibt. Dort wird auch gefordert, dass neben der Vernetzung von Sensoren, was bisher im Vordergrund stand, in Zukunft die Fusion der Sensordaten stärker im Fokus liegen muss, um aus den vorhandenen Daten höherwertige Kontextinformationen zu erzielen und entsprechend interpretieren zu können.

Neben den technologisch orientierten Forschungsthemen stehen gleichberechtigt Disziplinen wie Psychologie, Sozialwissenschaften und Medizin. Nur neue interdisziplinäre Ansätze machen echte HCI-Innovationen in Richtung HEI und damit die Realisierung von Ambient-Intelligence möglich. Da die Konzepte für Ambient-Intelligence nicht auf einen bestimmten Kulturkreis beschränkt sind, muss die Anwendbarkeit von entsprechenden Ansätzen und Realisierungen auf verschiedene Kulturen überprüft werden, um gegebenenfalls auf deren spezifische Eigenarten eingehen zu können. Konsequenterweise wird die Multikulturalität einen starken Einfluss auf Szenarien für die Mensch-Umgebung-Interaktion haben.

Neben Interdisziplinarität und Multikulturalität darf auch die Interoperabilität nicht vergessen werden. Nur wenn die Vernetzung und Kooperation von Geräten, Komponenten, Sensoren und sogar ganzen intelligenten Umgebungen, die von verschiedenen Herstellern in verschiedenen Ländern entwickelt werden, garantiert werden kann, lassen sich Ambient-Intelligence-Lösungen ad-hoc aus autonomen Geräten zusam-

menstellen, die sich selber zu einem Gesamtsystem konfigurieren und als kohärentes Ensemble agieren.

Abb. 15: Beispiel eines intelligenten Home-Monitoring Systems für Senioren (Aarts/Diederiks 2006) (© Philips).



Ambient-Intelligence und die Mensch-Umgebung-Interaktion stellen also sehr hohe Anforderungen an alle, die es realisieren wollen. Doch nur wenn diese hohen Ansprüche umgesetzt werden, kann eine Technologie realisiert werden, die von der Mehrheit der Anwender akzeptiert wird und sowohl in einen wissenschaftlichen als auch ökonomischen Erfolg mündet (vgl. Abb. 15).

Fazit

Ein Paradigmenwechsel von HCI/HHI zu HEI findet in hochentwickelten Benutzerschnittstellen für Dialoge im Kontext von intelligenten Umgebungen statt. Ambient-Intelligence und die Mensch-Umgebung-Interaktion muss also Forschungsthemen wie Mensch-Computer-Interaktion mit grundlegend neuen Interaktionskonzepten zur kontextbewussten Informationsverarbeitung, Middleware und Agententechnologie zur Servicevermittlung, virtuelle und erweiterte Realität, Wissensmanagement und künstliche Intelligenz in einer gemeinsamen Vision vereinen. Um diesen Paradigmenwechsel zu implementieren, muss die Hardware-orientierte

tierte Forschung und Entwicklung harmonisiert in das Gesamtkonzept mit aufgenommen werden, um neue Geräte und Systeme – aber auch neue Inhalte, neue integrierte und personalisierte Dienste und neue Anwendungen – realisieren zu können (Raffler 2005). Dazu gehören die Sensortechnik, mobile Technologien, eingebettete Systeme, Nano-Technologie und Technologien zur Umsetzung von Präsenz und Umgebungsbewusstsein. Schließlich benötigen diese neuen Formen der Interaktion und des natürlichen Dialoges auch der Interdisziplinarität, der Multikulturalität und der Interoperabilität.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Kollegen, die durch ihre wertvollen Diskussionsbeiträge, mit Hinweisen auf relevante Veröffentlichungen und auch mit Beispielen und Bildern beim Entstehen dieses Beitrages geholfen haben. Insbesondere gilt der Dank Cornelius Malerczyk und Holger Graf vom ZGDV sowie Michael Hellenschmidt, Christian Knöpfle, Neyir Sevilmis, Ali Nazari, Georgios Sakas, Reiner Wichert, Didier Stricker und André Stork vom Fraunhofer-IGD.

Literatur

- Aarts E./Diederiks E. (2006): »Ambient Lifestyle From Concept to Experience«. Amsterdam.
- Aarts E./Encarnação J. L. (2006): »Into Ambient Intelligence«. In: Aarts, E./Encarnação, J. L. (Eds.): »True Visions: The Emergence of Ambient Intelligence«. Berlin, Heidelberg, New York, S. 1-16.
- Aarts Emile/Marzano Stefano (2003): »The New Everyday: Views on Ambient Intelligence«. Rotterdam.
- Balfanz, D./Grimm, M./Tazari, M.-R. (2005): »A Reference Architecture for Mobile Knowledge Management«. In Dagstuhl-Seminar 05181 2005, Mobile Computing and Ambient Intelligence. Wadern.
- Bleser, G./Pastarmov, Y./Stricker, D. (2005): »Real-time 3D Camera Tracking for Industrial Augmented Reality Applications«. In: Skala, V. (Ed.): European Association for Computer Graphics (Eurographics): WSCG 2005. Plzen, University of West Bohemia, S. 47-54.
- Bleser, G./Stricker, D./Wuest, H. (2006): »Online Camera Pose Estimation in Partially Known and Dynamic Scenes«. In Proceedings of the Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Los Alamitos, CA. New York, S. 56-65.

- Dähne, P./Ioannidis, N./Karigiannis, J./Stricker, D. (2002): »ArcheoGuide - A Mobile Augmented Tracking System for Archeological Sites - A Solution to the Tracking Problematic«. In: *Proceedings Elektronische Bildverarbeitung & Kunst, Kultur, Historie 2002*. Berlin, Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V., S. 33-40.
- Ducatel, K./Bogdanowicz, M./Scapolo, F./Leijten, J./Burgelman, J.-C. (2001): »Scenarios for Ambient Intelligence in 2010, Final Report«. Institute for Prospective Technological Studies (ISTAG), Seville, European Commission, Februar, 2001.
- Encarnação J. L./Wichert R. (2005): »Technologische Herausforderungen intelligenter Umgebungen – Chancen für Wissenschaft und Wirtschaft«. In: »Computer in der Alltagswelt – Chancen für Deutschland?«, Acatech Symposium, Juni 2005.
- Hellenschmidt, M. (2005): »Distributed Implementation of a Self Organizing Appliance Middleware«. In: *Smart Objects and Ambient Intelligence SOC-EUSAI 2005*, S. 201-206.
- Hellenschmidt, M. (2007): »An adaptive rule-based inference engine for realizing reasonable behaviour of smart environments«. In *Proceedings Symposium on Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour: Affective Smart Environment*, Newcastle, Great Britain, April.
- Hellenschmidt M./Kirste Th. (2004): »A Generic Topology for Ambient Intelligence«. In: *European Symposium on Ambient Intelligence (EUSAI)*, Eindhoven, NL, S. 112-123.
- Hellenschmidt M./Wichert R. (2005): »Goal-oriented Assistance in Ambient Intelligence«. In: *Workshop on Experience Research in Ambient Intelligence (ERAmI)*, Eindhoven, NL.
- Herfet, T./Kirste, T./Schnaider, M. (2001): EMBASSI: »Multimodal Assistance for Infotainment and Service Infrastructures«. *Computers & Graphics*, 25, 4, S.581 - 592.
- INTUITION Network of Excellence (2006): »Intuition Research Position Paper on Augmented Reality«. Working Group on Augmented Reality, www.intuition-eunetwork.net/.
- ISTAG Report on Ambient Intelligence (2003): »From Vision to Reality – For People & Participation«. European Commission, September 2003.
- Khan M./Dogan S./Maataoui A./Gurung J./et.al. (2005): »Accuracy of biopsy needle navigation using the Medarpa system-computed tomography reality superimposed on the site of intervention« *European Radiology*, 15: 2366-2374, März 2005.
- Knöpfle, Chr./Stricker, D./Weidenhausen, J. (2003): »Lessons learned on the way to industrial augmented reality applications, a retrospective on ARVIKA«. In: *Computers and Graphics*, 27,6, S. 887-891.

- Malerczyk, C./Dähne, P./Schneider, M. (2005): »Exploring Digitized Art-works by Pointing Posture Recognition«. In: VAST 2005 - International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, Pisa, Italy, June 2005, S.113-119.
- Nazari Shirehjini, A. (2006): »Situation Modelling: A Domain Analysis and User Study«. In: The Institution of Engineering and Technology (IET) (Ed): Proc.: 2nd IET International Conference on Intelligent Environments, Vol.2. IE 06, Athens, pp. 193-199.
- Raffler H. (2005): »Ambient Intelligence: Eine industrielle Sicht«. In: Computer in der Alltagswelt – Chancen für Deutschland? Acatech Symposium, Juni 2005.
- Sá, V./Malerczyk, C./Schneider, M. (2001): »Vision-Based Interaction within a Multimodal Framework«. In: Actas do 10º Encontro Português de Computação Gráfica 2001, Encontro Português de Computação Gráfica, Lisboa, Oktober 2001, S. 61-67.
- Tazari, M.-R./Thiergen, S. (2006): »Serving. A Service Portal on the Occasion of the FIFA World Cup 2006«. In: International Workshop on Web Portal-based Solutions for Tourism, IWWPST' 06, Vienna, S. 73-93.
- Sevilmis, N. et al. (2005): »Knowledge Sharing by Information Retrieval in the Semantic Web«. In: The Semantic Web: Research and Applications (Lecture Notes in Computer Science –LNCS- 3532), S. 471-485.