



ACADEMIA ENGELBERG

2nd Dialogue on Science – 15 - 17 October 2003
in Engelberg, Switzerland

Pervasive Computing connected > aware > smart

Alois Ferscha, Prof. Dr.

Department of Computer Science,
Johannes Kepler University Linz, Austria

Kontakt:

Altenberger Straße 69, A-4040 Linz

Email: ferscha@soft.uni-linz.ac.at



Eine neue Epoche des Informationszeitalters steht uns bevor: Die Welt wird in absehbarer Zukunft von unsichtbaren und zugleich allgegenwärtigen Computersystemen durchsetzt sein, die dank kommunizierenden Sensoren die Umwelt erfassen und selbständige Aktionen ausführen (= Pervasive Computing).

Das erste Quantum in dieser Epoche, "die Vernetzung aller Dinge" ("Connectedness") ist aus technologischer Sicht bereits weit fortgeschritten. Als Herausforderung bleibt die "Awareness" - das gegenseitige einander Bewusstmachen von Menschen und Dingen, bzw. von vernetzten Dingen untereinander - und in der Folge die "Smartness", das unsichtbare, unaufdringliche, intelligente Handeln vernetzter Dinge im Hintergrund.

Die radikale Verdrängung von Computertechnologie in den Hintergrund, eingebettet und versteckt in Alltagsgegenständen, und zur Übernahme von Routinetätigkeit kultiviert, wahren die Hoffnung auf Rückeroberung "menschlicher Lebensstile" durch Pervasive Computing - zumindest aus technologischer Sicht.

"The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it"

Mark Weiser, Scientific American, 1991 [16].

Der sich in den letzten Jahren aus der Integration traditioneller Informatik-Kernfächer kristallisierende Begriff des „Pervasive Computing“ bezeichnet die nächste Generation innovativer Informationstechnologien, die mit alltäglichen Arbeitsumgebungen verschmelzen, in Gebrauchsgegenstände unsichtbar integriert sind, bzw. Lebensräume realisieren die intelligent auf die Gegenwart des Menschen bzw. seine Gewohnheiten, Absichten und Emotionen reagieren. Als Wurzeln dieses Gebietes stehen eingebettete Systeme (Embedded Systems), verteilte und Echtzeit-Systeme (Distributed Systems, Realtime Systems) Drahtlose Kommunikationssysteme (Wireless Communication), Sensor/Aktuatorsysteme, Multimedia, Informationslogistik und im besonderen Mobile Computing [11]. Pervasive Computing Technologien werden die traditionellen Informationstechnologien (wie etwa das Desktop-Computing) durch die Bereitstellung kleiner, eingebetteter, spontan vernetzter und drahtlos kommunizierender Systeme die inputseitig nicht mehr nur über klassische Input- Outputtechnologien (Tastatur/Bildschirm), sondern über Sensoren, bzw. outputseitig über Aktuatoren betrieben werden, radikal verändern. Sowohl die Trends in den Forschungsausrichtungen wie auch industrielle und wirtschaftliche Innovationsbarometer zeigen eindeutig in die Richtung der Bereitstellung einer „ubiquitären Umgebungszintelligenz“ als die nächste Herausforderung der Informations- und Kommunikationstechnologien [1].



Einbettung und Vernetzung

Kaum ein Bereich in der Informatik hat über die letzten Jahre signifikantere Innovationsschübe bewirkt und Technologiepotentiale hervorgebracht als der der verteilten, eingebetteten, mobilen, multimedialen, interaktiven und allgemein zugänglichen Mehrbenutzersysteme, und kein anderer Bereich stellt heute höhere Integrationsanforderungen an die verschiedenen tradierten Informatik-Kernfächer als dieser. Waren es bisher wohl-abgegrenzte Einzelprozessorsysteme (PCs, Workstations) mit denen der Benutzer über Tastatur und Monitor bei relativ geringen Anforderungen an das zeitliche Systemverhalten interagierte, so sind es heute zunehmend eingebettete, drahtlos vernetzte informationsverarbeitende Systeme, also Hardware-/Softwaresysteme die inputseitig neben oder anstatt klassischer Inputgeräte über Sensoren (hauptsächlich elektronische, aber auch optische, akustische, magnetische, chemische, biometrische, physiognomische, etc.) und outputseitig über Aktuatoren (Mikrocontroller, Multimedia Emitter, Überwachungs- und Steuerungseinheiten, Motoren, etc.) in eine Informationsverarbeitungsumgebung „eingebettet“ sind. Sie nehmen Signale unterschiedlicher Medientypen auf, verarbeiten diese – oft unter Einhaltung strenger Zeitvorgaben – und beeinflussen oder kontrollieren ihre Umgebung entsprechend. An die Stelle der Ausführung einer Berechnungsaufgabe eines herkömmlichen „Programms“ treten bei eingebetteten Systemen zunehmend Überwachungs-, Steuerungs- oder Regelungsaufgaben. Durch die Verarbeitung wird nicht vordergründig eine Input-Datenmenge in Output-Daten transformiert, sondern eine Menge von Eingabeereignissen (deren zeitliches Auftreten oft nicht vorhersehbar ist) in Ausgabeereignisse umgesetzt.

Mobilität und drahtlose Kommunikation

Gerade im Lichte neuer Informationstechnologien wie der drahtlosen Kommunikation (basierend etwa auf Ultraschall-, Infrarot- oder Richtfunktechnologien), neuer optischer, akustischer, biometrischer und (traditionell) elektromagnetischer Sensoren, innovativer Outputtechnologien und extrem hoher Packungsdichten elektronischer Schaltkreise werden die Potenziale eingebetteter Informationssysteme wissenschaftlich wie wirtschaftlich fast täglich höher bewertet. Weiter ausgedehnt wird das Spektrum technologischer Machbarkeit durch Spezialisierung (ASICs, PLDs und FPLDs, Custom-ICs, Gate Arrays, etc.) und Miniaturisierung (Submicrontechnologien) im Mikroprozessorbau, der digitalen Signalverarbeitung bzw. einer breiten Verfügbarkeit ausgereifter Speichertechnologien (SRAM, EPROM, Antifuse), durch die entstehende Vielfalt mobiler Endgeräte (PDAs, SmartPhones, Active Badges, JavaCards, Tablets, NetBooks, Wearable Computers etc.), durch die massive Verbreitung neuer Mobilkommunikationstechnologien (mobileIP, GSM, GPRS, UMTS), durch den zunehmenden Einsatz multisensorischer und haptischer Input-/Outputdevices (magnetische und optische Trackingsysteme, Augmented Reality Systeme), durch die Verfügbarkeit globaler Positionierungstechnologien (GSM, GPS, dGPS), und nicht zuletzt durch die Etablierung verteilter Softwarearchitekturen und Middlewarelösungen



(EJB, CORBA, etc.) ergibt sich eine bisher nicht beobachtete „Durchdringung“ von Informationstechnologien in nahezu alle Lebensräume und –bereiche.

Intelligente Informationstechnologien

Diese nicht notwendigerweise augenfällige, aber allgegenwärtige Präsenz von Informationstechnologie ist Gegenstand einer sich in der Literatur unter verschiedenen Titeln wie „Pervasive Computing“, „Ubiquitous Computing“, „Calm Computing“, „Invisible Computing“, „Hidden Computing“, „Ambient Intelligence“ etc. gegenwärtig kristallisierenden Forschungs herausforderung. In dieser Begriffsvielfalt vermag „Pervasive Computing“ am besten den Leitgrundsatz zu vermitteln: auf die Funktion reduzierte, vom Gerät entkoppelte, intelligente Informationstechnologien die als Technologie nicht mehr erkennbar ist, sondern als eine unterstützende Hintergrundassistentz proaktiv und weitgehend autonom agiert. Während „Mobile Computing“ noch mit der Unterstützung geographisch mobiler Benutzer und mobiler Endgeräte motiviert ist, sieht sich „Pervasive Computing“ mit einer Allgegenwart sehr heterogener Kommunikations- oder Informationsmittel konfrontiert, aus der heraus „mobile Services“ zur Verfügung gestellt werden. Im Vordergrund steht dabei die Vernetzung von Komponenten und Services, die Interaktion der Komponenten (und Benutzer) untereinander, und die Kontrolle bzw. Koordination dieser Interaktionen – im hardware- und softwaretechnischen Detail dann entsprechend auch die Identität und Authentifizierung der Komponenten, das Anbieten und Auffinden von Services, die Koordination lokaler Aktivitäten, die Ausfallsicherheit, Skalierbarkeit, Sicherheit, Selbstkonfigurierbarkeit, Adaptivität, Umgebungskennntnis und Kontextbezogenheit, Autonomie, Souveränität, Interaktionsbereitschaft, Triggermöglichkeit, etc. Gewaltige Anforderung stellen diese Technologien an die Leistungsfähigkeit der Software und deren Entwicklungsmethoden: die neue Software-Generation muss auf Komponententechnologie aufgebaut sein, um die Anforderungen bzgl. Qualität, Verfügbarkeit, Verlässlichkeit, Time-to-Market, Wartbarkeit und Portabilität mit vernünftigen ökonomischen Mitteleinsatz zu gewährleisten. Die Fragen der Selbstorganisation, der Deduktion und Planung, der (eigenständigen) Lernfähigkeit, der Wissensrepräsentation und des Wissensmanagements, des heuristischen Problemlösens, der unscharfen Methoden und Algorithmen, der Entscheidungen unter Unsicherheit, bzw. der Prozessentwicklung und -optimierung spielen mit Hinblick auf die Gestaltung intelligenter Informationstechnologie eine zentrale Rolle.

Maschinelle Wahrnehmung

Essentielle Voraussetzung für die Gestaltung und Realisierung intelligenter Systeme und Umgebungen sind die Fähigkeit zur Erkennung, Lokalisierung, Wahrnehmung und Vorhersage der Aktivitäten und des Verhaltens von Akteuren oder Objekten. Um bislang dem Menschen vorbehaltenen kognitive Fähigkeiten auch auf Informationsverarbeitungssysteme abbilden, in industrielle oder wirtschaftliche Prozesse einbetten, bzw. in technische Systeme integrieren zu können, bedarf es einer Formalisierung der menschlichen Wahrnehmungsprozesse und der Bereitstellung



eines entsprechenden methodischen und technologischen Apparates. Maschinelles Sehen [2] bzw. Sprachverstehen sind zweifellos die wichtigsten Beispiele für die informationstechnologische Implementierung künstlicher kognitiver Leistungen in technischen Systemen, auch ist die Forschung in diesen Gebieten am weitesten fortgeschritten. Darüber hinaus sind multisensorische Wahrnehmungssysteme, welche neben visuellen und auditiven Reizen auch auf kinästhetische, olfaktorische, und atmosphärische Wahrnehmung ausgerichtet sind, Gegenstand der „Computational Perception“ Forschung. Die Art und die Qualität wie wir in Zukunft mit Computersystemen interagieren werden hängt wesentlich davon ab, wie Maschinen oder Programme die Welt wahrnehmen und wie sie mit dieser Wahrnehmung weiter verfahren. Das Ziel sogenannter „kontextbasierter“ Anwendungen ist die Einbeziehung aller mittels multimodaler Sensorik erfassbarer Information über die Umgebung, und die Verwendung dieser Kontextinformation zur Steuerung und Kontrolle des Verhaltens des Systems selbst. Kontextbasierte Anwendungen setzen die Integration profunder Methoden maschineller Wahrnehmung (Computer Vision, Akustische- und Spracherkennung, Orts- und Zeitwahrnehmung, Geruchs-, Temperatur-, Bewegungs-, Beschleunigungs-, etc. Wahrnehmung) voraus, und werden heutige Formen eingebetteter Computersysteme, der Mensch-Maschinen Interaktion, und (traditioneller) autonomer Systeme in der Robotik ablösen.

Kontextsensitivität

Die Fähigkeit eines Systems, Objekte sowie handelnde Personen und deren Absichten zu erkennen und bestimmen zu können bezeichnet man als Kontextsensitivität (Context Awareness). Der Kontext einer Anwendung ist dabei in der Literatur definiert als jegliche Information die zur Charakterisierung der Situation einer Entität dienen kann [3]. Eine Entität kann dabei eine Person, ein Ort oder ein Objekt sein, das für die Interaktion zwischen dem Benutzer und der Applikation als für relevant erachtet wird, der Benutzer oder die Applikation selbst eingeschlossen. Ein grundlegendes Gestaltungsprinzip bei der Entwicklung kontextbasierter Anwendungen ist dabei die Erfassung, Sammlung, Aggregation und Interpretation von Sensordaten, sowie der geeigneten Aufbereitung und Bereitstellung der aus den Daten gewonnenen Information für die Anwendung.

Neben den rein informationslogistischen Fragestellungen (die „richtigen Daten“ zur „richtigen Zeit“ im „richtigen Umfang“ am „richtigen Ort“ bereitzustellen) stellen sich aus der Sicht der Modellierung und des Datenmanagements neue Herausforderungen. Erläutert an der typischen Architektur kontextsensitiver Anwendungen müssen auf der Ebene der Sensorhardware im allgemeinen weit dislozierte lokal erfasst und zu im Sinne der jeweiligen Anwendung interpretierbaren Daten verdichtet werden. Technische Schwierigkeiten in der Erfassung von Sensordaten liegen in der oft sehr starken Ressourcenbeschränkung der Sensoren (Speicherkapazität, Rechenleis-



tung, Kommunikationsmittel und -bandbreite, etc.), in der Beherrschung unterschiedlich hoher Datenraten, dem unterschiedlichen Niveau der Daten, der Ausfallsanfälligkeit von Sensorknoten (z.B. bei eigener Energieversorgung), der Mobilität der Sensoren, der Synchronisation von Sensordatenströme aus unterschiedlichen Quellen und der Integration von zeit- und ereignisgesteuerten Sensordaten. Für das Sensordatenmanagement kommen sowohl push als auch pull basierte Ansätze in Frage. Eine Modellierungsherausforderung liegt in der Interpretation der Sensordaten im Sinne der Semantik der Applikation, in der Literatur oft als „Kontextmodellierung“ referenziert. Während frühe Ansätze Kontexte mittels einfacher Schlüssel-Werte modellierten, verfolgen neuere Arbeiten Ansätze der Metadatenauszeichnung (z.B. ConteXtML, RDF [10]), objektorientierte Modelle (z.B. das Person/Place/Thing [7]) bis hin zur logikorientierten Ansätzen in denen Kontext als Fakten in regelbasierten Systemen dargestellt und verarbeitet wird. Erschwerend kommt die potenziell große Vielfalt zu modellierenden Kontexte (geographischer Kontext für z.B. „location based service“, zeitlicher Kontext, physischer Kontext, sozialer Kontext, organisatorischer Kontext, Benutzerkontext, usw.) mit sehr unterschiedlichen Anforderungen an die entsprechenden Datenmodelle hinzu. An die Wahl der Kontextrepräsentationen und des Speichermodelles knüpft sich die Frage der Kontextdissemination, für die sich aufgrund der Dislozierung nicht nur der Sensoren, sondern auch der Aktuatoren (die steuernd auf das Gesamtsystem einwirken) Peer-to-peer Strategien anbieten. Um proaktives kontextbasiertes Systemverhalten implementieren zu können, d.h. Applikationen realisieren zu können die sich auf absehbare zukünftige Situationen einstellen, bietet sich für zustandsbasierte Kontextmodelle eine Vorhersagekomponente für erwartete Kontextzustände. Die Systemkontrolle basiert in diesem Falle nicht auf dem zuletzt identifizierten Kontextzustand (reaktiv), sondern auf einen in der Zukunft liegenden, aber bereits jetzt absehbaren Kontextzustand (proaktiv). Kontextsensitive Softwareframeworks realisieren die Kontrolle der Aktuatoren zumeist über regelbasierte System (ECA Regelsysteme) oder aktive Datenbanken.

Smart Things – Smart Spaces

Die technologischen Möglichkeiten von Endgeräten vielfältigster Form und Funktion zur Kommunikation, Interaktion, Wissensspeicherung und -wiedergabe stellen eine spezielle Vertiefung des „Pervasive Computing“ dar. Dabei wird entlang der Kategorien „Smart Things“ (portable, mobile Endgeräte mit Spezialfunktion) bzw. „Smart Spaces“ (feste Installation die eine intelligente Hintergrundassistentz realisieren) vorgegangen. Untersuchungsgegenstände sind hier Smart Phones und Organizers, Smart Gadgets, Universal Information Appliances, Mobile Internet Appliances, Embedded Web Servers und Browser, Smart Displays, Walls und Rooms, Smart Home und Home Networking, bis zu Ansätzen des Wearable Computings, der E-Textiles und des Smart Clothings [13]. Neueste Ergebnisse aus dem Bereich der Materialforschung (lichtemittierende Polymere, piezo- und pyroelektrische Materialien bzw. die hochgradige Miniaturisierung



von Funkmodulen (Bluetooth als Vorreiter) ermutigen zu einer „spatial“ noch engeren Fassung des „Personal Area“ Netzwerkbegriffes (gegenüber beispielsweise dem IEEE 802.15 Standard): Körpernahe Kommunikationsinfrastrukturen („Near Body Networks“) stellen neue Herausforderungen und Potenziale für implizite Personen-zu-Personen Kooperationsysteme dar. In der softwaretechnischen Realisierung solcher Systeme treten zunehmend konzeptionelle Fragen der Interaktion [8], [14], bzw. Koordination in den Vordergrund.

Everywhere Interfaces, natürliche Interfaces

Die konsequente Einbeziehung der menschlichen Sinne die außerhalb des audiovisuellen Wahrnehmungsvermögens liegen und damit die Ablöse traditioneller Interaktionsmittel (Tastatur, Maus, Bildschirm) sind die zentrale Herausforderung dieser Vertiefung. Selbst die Sprachverarbeitung und die Erkennung und Verarbeitung von Bilddaten bedecken in kontext-basierten Anwendungen nur einen Teil des möglichen Mensch-Maschine Interaktionsspektrums. Hinzukommen Gestik/Mimik, Emotion, Gewohnheit, Vergessen und Force-Feedback. Benutzerschnittstellen die in die Infrastruktur eingebettet (Everywhere Interfaces) sind, an greifbare Gegenstände gekoppelt sind, die physische und virtuelle Artefakte integrieren (Tangible Interfaces, Graspable User Interfaces) [6], bzw. digitale Information auf berühr- und manipulierbare Gegenstände des täglichen Lebens abbilden, etc., eröffnen neue Möglichkeiten der Interaktion mit kooperativen Anwendungen. Unsere Vorarbeiten zeigen, dass eine Entkopplung des System-In- und Outputs von traditionellen I/O Geräten nicht nur möglich, sondern über Tangible Interfaces realisiertes implizites I/O oft sogar effizienter als explizites I/O ist.

Der Mensch im Vordergrund - Informationstechnologie im Hintergrund

Das Ziel von Pervasive Computing liegt in der Konzeption, dem Entwurf und der Entwicklung von Systemen die den Menschen in jeder Situation seines Alltags um die Möglichkeiten der digitalen Informationswelt, die ihn unsichtbar umgibt und in seinen Handlungsmöglichkeiten bereichern. Die Herausforderung dabei liegt in der Anreicherung von Artefakten - z.B. Gegenständen des täglichen Gebrauchs - mit Zusatzfunktionalität, die einfach nutzbar und intuitiv bedienbar ist, bzw. autonom, intelligent und situationsbezogen auf den Menschen reagiert. Zur Realisierung von Gegenständen und Umgebungen, die dem Menschen die ihn umgebenden digitalen Ressourcen erschließen, entstehen eine Reihe von Herausforderungen:

- **Allgegenwärtiger Zugriff:** Gewährleistung eines zeit- und ortsunabhängigen Zugriffes auf relevante Informationsinhalte auf Basis drahtloser Kommunikationstechnologien.
- **Kontextsensitivität:** Systemverhalten das die gegenwärtige und ggf. auch erwartete zukünftige Situation eines Artefaktes oder des Benutzers berücksichtigt und entsprechend planbasiert (intelligent) handelt.



- **Sicherheit und Privatheit:** In den zukünftigen Anwendungsformen des Pervasive Computing werden Systeme zunehmend autonom (und ohne aktive Veranlassung durch den Benutzer) ihre Umgebung sensorisch erfassen. Bereits jetzt fordert die Technikethik nach Verfahren und Methoden, die Datenzugriff in die Souveränität des Datenbesitzers legen und Daten sicher handhabbar machen.
- **Natürliche Interaktion:** Miniaturisierung und unsichtbare Integration von Technologie zur Gestaltung von Artefakten die sowohl Repräsentation als auch Kontroll- und Steuerungsmechanismus für die damit assoziierte digitale Information sind. Die natürliche Interaktion mit einem Artefakte muss gleichzeitig die Manipulation der durch ihn repräsentierten Daten bewirken [15].

- [1] J. Bohn, V. Coroama, M. Langheinrich, F. Mattern, M. Rohs: Allgegenwart und Verschwinden des Computers - Leben in einer Welt smarterer Alltagsdinge. In: Ralf Grötter (Ed.): *Privat! Kontrollierte Freiheit in einer vernetzten Welt*. Heise-Verlag, pp 195-245, 2003
- [2] J. L. Crowley, J. Coutaz, F. Berard: Perceptual user interfaces: Things That See. *Communications of the ACM*, Vol. 43, Nr. 3, pp. 54-64, 2000.
- [3] A. K. Dey: Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing, Special Issue on Situated Interaction and Ubiquitous Computing*, 5(1), 2001.
- [4] A. Ferscha: Collaboration and Coordination in Pervasive Computing Environments. Proceedings of the 12th International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructures for Collaborative Enterprises (WETICE 2003), IEEE Computer Society Press, 2003.
- [5] L. Gong: Peer-to-Peer Networks in Action. *IEEE Internet Computing*, Vol. 6, No. 1, pp. 36-39, 2002.
- [6] Gorbet, M.G., Orth, M., Ishii, M.: Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography. *CHI 1998*, pp. 49-56, 1998.
- [7] T. Kindberg, J. Barton, J. Morgan, G. Becker, I. Bedner, D. Caswell, P. Debaty, G. Gopal, M. Frid, V. Krishnan, H. Morris, J. Schettino, B. Serra, M. Spasojevic: People, Places, Things: Web Presence for the Real World. *WWW'2000*, 2000.
<http://cooltown.hp.com/dev/wpapers/WebPres/WebPresence.asp>
- [8] R. Milner: Elements of Interaction: Turing Award Lecture, *CACM*. Vol. 36, No. 1, pp.78-89, 1993.
- [9] A. Omicini, F. Zambonelli, M. Klusch, R. Tolksdorf (Eds.): Coordination of Internet Agents. Models, Technologies, and Applications. Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- [10] O. Lassila, R. R. Swick: Resource Description Framework (RDF): Model and Syntax Specification. Recommendation, World Wide Web Consortium, 1999.
<http://www.w3c.org/TR/REC-rdf-syntax/>.



- [11] M. Satyanarayanan: Pervasive Computing: Vision and Challenges.
IEEE Personal Communications, pp. 10 – 17, 2001.
- [12] A. K. Dey. *Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications*. PhD thesis, Georgia Institute of Technology, 2000.
- [13] A. Schmidt, K. Laerhoven: How to Build Smart Appliances?,
IEEE Personal Communications, Vol. 8, No. 4, pp. 66-71, 2001.
- [14] P. Wegner: Why Interaction is more powerful than algorithms.
CACM, Vol. 40, No. 5, pp. 80-91, 1997.
- [15] P. Wellner, W. Mackay, R. Gold: Computer Augmented Environments: Back to the Real World. *CACM*, Vol. 36, No. 7, 1993.
- [16] M. Weiser: The Computer of the Twenty-First Century.
Scientific American, pp. 94-100, 1991.