

Ubiquitous Computing – Vision und technische Grundlagen*

Friedemann Mattern

Institut für Informationssysteme, ETH Zürich

1 Der Trend zur Informatisierung und Vernetzung aller Dinge

Das Internet verbindet heute fast alle Computer der Welt, und nun macht es sich daran, auch die übrigen Gegenstände zu vernetzen und damit Information „zu allem immer überall“ bereitzustellen – so könnte man salopp und plakativ den Anspruch des „ubiquitous computing“ aus technikzentrierter Sicht charakterisieren.

Etwas anders formuliert wird unter dem Begriff „ubiquitous computing“ die Allgegenwärtigkeit von kleinsten, miteinander meist drahtlos vernetzten Computern verstanden, welche quasi unsichtbar in beliebige Alltagsgegenstände eingebaut sind. Mit Sensoren ausgestattet, können solcherart eingebettete Prozessoren die Umgebung erfassen und „ihren“ Gegenstand mit Informationsverarbeitungs- und Kommunikationsfähigkeiten versehen. Auf diese Weise wird Alltagsgegenständen eine neue, zusätzliche Qualität verliehen – diese könnten zum Beispiel erfahren, wo sie sich befinden, welche anderen Gegenstände in der Nähe sind und was in der Vergangenheit mit ihnen geschah, ferner können sie mit anderen „smarten“ Gegenständen kommunizieren und kooperieren sowie prinzipiell auf beliebige Internet-Ressourcen zugreifen. Dinge und Geräte können sich damit situationsangepasst verhalten und wirken auf diese Art „schlau“, ohne tatsächlich „intelligent“ zu sein.

Bedingt durch die weiter anhaltenden Fortschritte in der Informatik, Mikroelektronik, Kommunikationstechnik und Materialwissenschaft scheint in den nächsten wenigen Jahren zumindest aus technischer Sicht die Vision einer umfassenden Informatisierung und Vernetzung fast beliebiger Dinge des Alltags tatsächlich realisierbar. Da durch das ubiquitous computing ganz neue Anwendungen ermöglicht werden, bei denen zum Beispiel kooperierende smarte Gegenstände gemeinsame Funktionalitäten entwickeln können, könnte das Paradigma schließlich auch in ökonomischer Hinsicht erfolgreich sein. Dies hat mit Sicherheit enorme wirtschaftliche und soziale Auswirkungen und betrifft damit auch Aspekte der Akzeptanz und Gestaltung einer Welt, bei der die Realität mit dem informationstechnisch konstruierten Cyberspace enger gekoppelt wird und in mancher Hinsicht sogar verschmilzt.

Wir gehen im Folgenden auf die Vision von Mark Weiser, dem Protagonisten des ubiquitous computing, ein, besprechen die technischen Grundlagen und Entwicklungstendenzen des ubiquitous computing, skizzieren denkbare Anwendungen und diskutieren schließlich kurz die Datenschutzaspekte.

2 Moores Gesetz und Weisers Vision

Der ständige Fortschritt in der Mikroelektronik ist uns inzwischen fast zur Selbstverständlichkeit geworden: Mit erstaunlicher Präzision und Konstanz gilt das bereits Ende der 60er-Jahre von Gordon Moore aufgestellte und nach ihm benannte „Gesetz“, welches besagt, dass sich die Leistungsfähigkeit von Prozessoren etwa alle 18 Monate verdoppelt. Ein ähnlich hohes exponentielles Wachstum ist auch für einige andere Technologieparameter wie Speicherdichte oder Kommunikationsbandbreite zu beobachten; umgekehrt betrachtet fällt mit der Zeit bei gleicher Leistungsfähigkeit der Preis für mikroelektronisch realisierte Funktionalität radikal.

* Eine überarbeitete Langfassung dieses Kurzbeitrags erscheint in: Internet @ Future – Technik, Anwendungen und Dienste der Zukunft, Jahrbuch Telekommunikation und Gesellschaft 2001, Band 9 (Hrsg.: H. Kubicek, G. Fuchs, D. Klumpp, A. Roßnagel).

Dieser anhaltende Trend führt dazu, dass in nicht allzu ferner Zukunft kleinste Rechner quasi im Überfluss vorhanden sein werden. Damit wird ein Paradigmenwechsel in der Rechneranwendung eingeläutet: Prozessoren, Speicherbausteine und Sensoren können zu diversen preiswerten „information appliances“ zusammengebaut werden, die drahtlos mit dem Internet verbunden und für spezielle Aufgaben maßgeschneidert sind [3]. Die mikroelektronischen Komponenten können insbesondere aber auch in viele Alltagsgeräte eingebettet werden und diesen das Attribut „smart“ verleihen, indem sie beispielsweise ein an die jeweilige Situation angepasstes Verhalten realisieren. In letzter Konsequenz dringt damit Informationsverarbeitung gekoppelt mit Kommunikationsfähigkeit fast überall ein, auch in Dinge, die zumindest auf den ersten Blick keine elektrischen Geräte darstellen – das „computing“ wird somit ubiquitär.

Der in diesem Sinne zu verstehende Begriff „ubiquitous computing“ wurde bereits vor über zehn Jahren durch Mark Weiser vom XEROX Forschungszentrum in Palo Alto geprägt [4]. Weiser sieht dabei in der Technik ein reines Mittel zum Zweck, die in den Hintergrund treten soll, um eine Konzentration auf die Sache an sich zu ermöglichen – der PC als informationstechnisches Universalwerkzeug sei in dieser Hinsicht der falsche Ansatz, da er aufgrund seiner Komplexität die Aufmerksamkeit des Anwenders zu sehr in eigener Sache in Anspruch nehme. Generell solle der Computer als Gerät nach Weisers Auffassung sowohl aus den Augen als auch aus den Sinnen verschwinden, dessen informationsverarbeitende Funktionalität aber überall verfügbar sein.

Während Weiser den Begriff „ubiquitous computing“ eher in akademisch-idealistischer Weise als eine unaufdringliche, humanzentrierte Technikvision versteht, hat die Industrie dafür den Begriff „pervasive computing“ mit einer leicht unterschiedlichen Akzentuierung geprägt [1]: Auch hier geht es um die überall eindringende und allgegenwärtige Informationsverarbeitung, jedoch mit dem primären Ziel, diese eher kurzfristig im Rahmen von Electronic-commerce-Szenarien und Web-basierten Geschäftsprozessen nutzbar zu machen. In dieser pragmatischen Variante beginnt das ubiquitous computing in der Praxis bereits Fuß zu fassen; IBM-Chairman Lou Gerstner beschrieb seine Vision vom „Post-PC-Zeitalter“ einmal so: *„A billion people interacting with a million e-businesses through a trillion interconnected intelligent devices...“*.

3 Technische Grundlagen

Die treibende Kraft hinter der dynamischen technischen Entwicklung ist die Mikroelektronik, die in ihrer Leistung dem Mooreschen Gesetz in den letzten Jahrzehnten treu geblieben ist. Immer wichtiger werden außerdem Ergebnisse der Mikrosystemtechnik und Nanotechnik, sie führen beispielsweise zu kleinsten integrationsfähigen Sensoren für unterschiedlichste Umweltparameter. Eine interessante Entwicklung in dieser Hinsicht stellen auch Funksensoren dar, die ohne explizite Energieversorgung Druck- oder Temperaturänderungen einige Meter weit melden können – die nötige Energie zum Versenden des Messwertes und zur Aufprägung eines Identifikationscodes bezieht ein solcher Sensor aus dem Messvorgang selbst, indem piezoelektrische oder pyroelektrische Materialien verwendet werden.

Ohne eigene Energieversorgung funktionieren auch die so genannten „smart labels“ oder „radio tags“. Hierbei handelt es sich technisch gesehen um Transponder, die mit einem Hochfrequenzsignal aus einem Abstand von bis zu ca. zwei Meter bestrahlt werden, dieses Signal decodieren, aus ihm auch die Energie für die eigene Verarbeitung beziehen und selbst wiederum eine Antwortnachricht als Funksignal aussenden. Auf diese Weise können „durch die Luft“ innerhalb von Millisekunden einige hundert Byte gelesen und geschrieben werden. Die Transponder sind je nach Bauform nur wenige Quadratmillimeter groß, kaum dicker als ein Blatt Papier und kosten als flexible Selbstklebeetiketten derzeit weniger als 1 € pro Stück.

Vollwertige Computer auf einem einzigen wenige Quadratmillimeter großen Chip, inklusive einiger Kilobyte Speicher (was bereits ein einfaches Betriebssystem ermöglicht), lassen sich heute zu Stückkosten von einigen wenigen Euro herstellen. Diese Technik wird für Chipkarten, aber auch für „embedded systems“ verwendet., bei denen Prozessoren zu Steuerungsaufgaben in beliebige Geräte eingebaut werden. Bei solchen Prozessoren handelt es sich – im Verbund mit geeigneten Sensoren, Ein- / Ausgabeschnittstellen und Kommunikationsmöglichkeiten – um die primären Komponenten, welche Dinge „smart“ machen können. Für miteinander kommunizie-

rende Artefakte werden derzeit Prozessoren entwickelt, die zusätzlich bereits die Vernetzungsfunktionalität auf dem Chip selbst enthalten..

Große Fortschritte werden auch auf dem Gebiet der drahtlosen Kommunikation erzielt. Für das ubiquitous computing entscheidend sind Kommunikationstechniken im Nahbereich, die wenig Energie benötigen. Hierzu gehört die inzwischen etablierte WLAN-Technik (ca. 100 m Reichweite und ca. 10 Mbit/s Übertragungsrates), vor allem aber Funknetze für den Raumbereich. Für die letzteren ist momentan der Bluetooth-Standard (ca. 10 m, 1 Mbit/s) aktuell. Kommunikationsmodule für Bluetooth haben gegenwärtig etwa das Volumen einer halben Streichholzschachtel, durch Integration von Speicher, Hochfrequenz- und Digitalteil auf einem einzigen Chip soll demnächst eine noch deutlich geringere Baugröße erzielt werden. Intensiv wird derzeit außerdem an verbesserten Möglichkeiten zur Positionsbestimmung mobiler Objekte (etwa mittels satellitengestützter Systeme wie GPS oder Funkpeilverfahren bei Handys) gearbeitet.

Spannend erscheinen auch Entwicklungen im Bereich von „Body Area Networks“ – hier wird der menschliche Körper selbst als Medium zur Übertragung von Signalen sehr geringer Stromstärken genutzt. Durch pures Anfassen eines Gegenstandes kann diesem dann eine eindeutige Identifikation (die beispielsweise von der Armanduhr in den Körper eingespeist wird) übermittelt werden; auf diese Weise könnten Zugangsberechtigungen, spezifische Konfigurationen von Geräten oder die Abrechnung von Dienstleistungen erfolgen. Auch mit Kleidern aus Stoffen, die leitfähige Fasern enthalten, wird im Bereich des „wearable computing“ experimentiert – Fasern, die beim Dehnen ihren elektrischen Widerstand ändern, ermöglichen jedenfalls interessante Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Im Bereich der Materialwissenschaft zeichnen sich Entwicklungen ab, die den Rechnern der Zukunft eine gänzlich andere äußere Form geben können oder sogar dafür sorgen, dass Computer nicht mehr als solche wahrgenommen werden, weil sie vollständig mit der Umgebung verschmelzen. Hier wären unter anderem lichtemittierende Polymere zu nennen, die Displays als hochflexible, dünne und biegsame Plastikfolie ermöglichen. Es wird aber auch an „elektronischer Tinte“ und „smart paper“ geforscht, welche Papier und Stift zum vollwertigen, hoch mobilen Ein- und Ausgabemedium erheben – von einer effektiven Nutzung, etwa im Sinne eines Computers als zusammenfaltbare interaktive Straßenkarte, dürfte man aber noch einige Jahre entfernt sein. Laserprojektionen aus einer Brille direkt auf die Augenretina stellen eine weitere gegenwärtig untersuchte Möglichkeit zur Substitution klassischer Ausgabemedien von Computern dar.

4 Anwendungen und Wirkungen

Aus technischer Sicht lässt sich schon allein durch Extrapolation des Mooreschen Gesetzes in etwa abschätzen, was in den nächsten Jahren zumindest prinzipiell machbar erscheint. Was dann davon unter ökonomischen Gesichtspunkten noch sinnvoll ist, das ist schon weitaus schwieriger zu beantworten. Ähnlich schwierig ist es auch, die Akzeptanz persönlicher Informations- und Kommunikationstechnik vorherzusagen – das Iridium-Satellitentelefonssystem entpuppte sich bekanntermaßen als klarer Misserfolg, das SMS-Kurznachrichtensystem für Handys dagegen wurde in kürzester Zeit ein in dieser Größenordnung völlig unerwarteter Erfolg.

Das Potential von Anwendungen mit smarten Alltagsdingen scheint jedenfalls gewaltig, wenn man annimmt, dass Gegenstände mittels Techniken zur spontanen Vernetzung miteinander kooperieren können und prinzipiell Zugriff auf jegliche in Datenbanken oder im Internet gespeicherte Information haben bzw. jeden passenden Internet-basierten Service nutzen können. Die Grenzen liegen hier weniger in der technischen Natur, sondern sind eher ökonomischer oder sogar rechtlicher Art (was soll sich ein Gegenstand merken und was darf er wem verraten?). Welche der vielen manchmal absurd klingenden Ideen – angefangen vom klischeehaft bemühten Kühlschrank, der die Milch automatisch nachbestellt, über kommunizierende Regenschirme, die vor einem heranziehenden Regenschauer warnen, wenn befreundete Schuhe ohne sie die Haustür ansteuern, bis hin zur „intelligenten“ Kleidung, die kritische, vom individuellen Normalfall abweichende Pulsfrequenz und Atemtätigkeit dem Arzt weitermeldet – letztendlich eine Rolle in der Zukunft spielen könnten, ist allerdings weitgehend unklar.

Anfangs dürften von einer ubiquitären Vernetzung und „kollektiven Intelligenz“ sicherlich eher solche höherpreislichen Geräte profitieren, die durch sensorgestützte Informationsverarbeitung und Kommunikationsfähigkeit einen deutlichen Mehrwert erhalten: Ein automatischer Rasensprenger gewinnt offenbar nicht nur durch eine Vernetzung mit Feuchtigkeitssensoren im Boden an Effizienz, sondern auch durch die im Internet kostenlos erhältliche Wetterprognose. Ferner könnten Eltern es zu schätzen wissen, wenn Schuhe oder Hi-Tech-Jacken der Kinder ihren Aufenthaltsort verraten. Und falls alle Autos ihre eigene Position und die benachbarter Fahrzeuge genau kennen, lässt sich vielleicht manche Kollision vermeiden...

Die ultimative Vision des ubiquitous computing geht allerdings über solche Anwendungsbereiche hinaus und bemüht Szenarien, die an Science-Fiction heranreichen. Es geht dann um so alltägliche Dinge wie Schreibstifte, die alles digitalisieren (und informationstechnisch verarbeiten), was mit ihnen geschrieben wird, oder Reisetaschen, die sich an besuchte Orte und transportierte Gegenstände (oder sogar belauschte Gespräche?) zu erinnern vermögen. Abgesehen davon, dass die Verlängerung des Internet bis in die letzten Dinge hinein schon aus technischer und organisatorischer Sicht eine formidable Aufgabe darstellt, ist derzeit aber noch weitgehend unklar, wie wir mit unseren smarten Dingen geeignet kommunizieren können und wie insgesamt Nutzen aus der neuen Technik gezogen werden kann.

In seinen Konsequenzen zu Ende gedacht, dürfte eine Welt aus kommunizierenden smarten Dingen aber jedenfalls zu einer deutlich geänderten Wahrnehmung unserer Umgebung führen und größere gesellschaftliche und ökonomische Auswirkungen haben und damit letztlich sogar von politischer Relevanz sein. Die Konsequenzen in sozialer und kultureller Hinsicht erscheinen derzeit zwar noch weitgehend unklar, mit Sicherheit ist allerdings die Privatsphäre im Sinne des Datenschutzes betroffen, denn immer billigere, effektivere und kleinere Sensoren und Prozessoren ermöglichen eine immer umfänglichere Erfassung und automatische Wahrnehmung der Umwelt und damit auch unseres Handelns in der Welt.

Wenn im Zeitalter des ubiquitous computing das Internet bis in die Alltagsdinge hinein verlängert wird, dann wird alleine dadurch schon klar, dass hinsichtlich des Datenschutzes gewaltige Herausforderungen auf uns zukommen werden: Wo vorher nur ein relativ begrenzter Aspekt einer Person durch Stöbern in den Datenspuren erfassbar war, offenbart sich in der ubiquitären Vision ein weitaus detaillierteres Bild über die Interessen, die Neigungen, aber auch über die Schwächen einer Person – während sich bisher die mögliche „informationstechnische Überwachung“ einer Person zumindest klar abgrenzbar auf die Nutzung von PC und WWW beschränkte, wird es in einer Welt voll smarter und kommunikationsfreudiger Alltagsgegenstände oft gar keine klare Unterscheidung zwischen dem „Online“ und dem „Offline“ mehr geben!

Klar scheint jedenfalls, dass man ohne effektive Maßnahmen zum Datenschutz mit den Techniken des ubiquitous computing eine Überwachungsinfrastruktur schaffen würde, welche viele bestehende Gesetze und Mechanismen zum Schutz der Privatsphäre ineffektiv machen könnte. Es sind daher grundlegende rechtliche Überlegungen, neue technische Ansätze aber auch intensive gesellschaftliche und organisatorische Anstrengungen auf den Gebieten Sicherheit und Datenschutz nötig, um diese schöne neue Welt voller „smarter“ und kommunikationsfreudiger Dinge nicht in einen orwellschen Überwachungsstaat zu verwandeln [2].

Literatur

[1] *Hansmann, U., L. Merk, M. Nicklous, T. Stober*: Pervasive Computing Handbook. Springer-Verlag, 2001.

[2] *Mattern, F., M. Langheinrich*: Allgegenwärtigkeit des Computers – Datenschutz in einer Welt intelligenter Alltagsdinge. In G. Müller (Hrsg.): Mit Sicherheit nicht dabei? Die Machbarkeit von Sicherheit im Internet. Springer-Verlag, 2001.

[3] *Want, R., G. Borriello*: Special Issue on Information Appliances. IEEE Computer Graphics and Applications, May / June 2000.

[4] *Weiser, M.*: The Computer for the 21st Century. Scientific American, Jg. 265 (1991) H. 9, S. 66-75.