

Klicken in der realen Welt

Workshop Mensch-Computer-Interaktion in allgegenwärtigen Informationssystemen

Jürgen Bohn
Institut für Informationssysteme
ETH Zürich
bohn@inf.ethz.ch

Michael Rohs
Institut für Informationssysteme
ETH Zürich
rohs@inf.ethz.ch

12. März 2001

“Over time, cyberspace will hold a mirror image of our physical world, and the distinctions between Virtual Reality and every day consensus reality will begin to blur. Our living environments will be saturated with technology. Many objects will recognize us as we come near them. Things we now think of as inanimate will seem almost alive as they respond to our movements and even to our moods.”, Lawrence Hagerty, The Spirit of the Internet, Volume I: Speculations on the Evolution of Global Consciousness

1 Einleitung

Menschen sind in ihrer Lebenswelt von einer Vielzahl von Alltagsdingen, oder *physischen Objekten*, umgeben. Physische Objekte stehen in einer bestimmten Beziehung zu anderen physischen Objekten und Menschen. Von Informationen über sich oder ihre Beziehung zur Welt sind Alltagsdinge jedoch getrennt. Sie können keine Auskunft über sich selbst geben oder nur in sehr eingeschränkter Weise. Dabei besitzen die meisten Artefakte, also vom Menschen hergestellte Objekte, eine „Informationsseite“, die allerdings oft nur schwer zugänglich ist.

Mit verschiedenen Techniken ist es heute möglich, physische Objekte und die ihnen zugeordnete Information enger zu koppeln. Eine engere Kopplung bedeutet, dass sich Ereignisse in der realen Welt auf Objektattribute auswirken und dass umgekehrt Änderungen von Objektattributen Aktionen auf dem physischen Objekt auslösen können. Eine engere Kopplung ermöglicht zudem die Zuordnung von dynamischen Attributen zu Objekten. Das physische Objekt bekommt damit eine Ent-

sprechung in der virtuellen Welt, die ständig den aktuellen Zustand des Realweltobjektes reflektiert oder auf ihn einwirkt. In Verbindung mit den geeigneten Hilfsmitteln lassen sich diese Objektinformationen für den Benutzer unmittelbar und ohne Mühe zugänglich machen.

Das Sichtbarmachen von Objektinformationen und die Nutzung virtueller Objektfunktionen erfordert geeignete Instrumente. Wir schlagen zu diesem Zweck das Konzept der *symbolischen Lupe* vor. Die symbolische Lupe ist ein mobiles Gerät, das einen kleinen Bildschirm und einen wie auch immer gearteten *Objektsensor* besitzt. Mit diesem Gerät können physische Objekte gewissermaßen „angeklickt“ werden. Daraufhin wird das virtuelle Gegenstück des angeklickten Objektes auf dem Bildschirm sichtbar gemacht. Dazu gehören nicht nur Informationen über das Objekt selbst, sondern auch Informationen über Beziehungen des Objektes zu anderen Objekten. Es lässt sich z.B. herausfinden, welche anderen Objekte sich in der Nähe befunden haben, wer der Besitzer des Objektes ist, usw. Außerdem werden Funktionen verfügbar, die auf dem physischen Objekt selbst nicht definiert sind.

Ein wesentliches Merkmal der symbolischen Lupe ist die Möglichkeit, in ein Objekt symbolisch hinein oder aus diesem heraus zu *zoomen*. Auf der symbolischen Ebene kann das übersetzt werden in ein Betrachten des Objektinnenlebens oder des Objektkontextes.

Physische Objekte werden auf diese Weise „interaktiv“, wie dies bisher nur mit rein virtuellen, computerbasierten Objekten möglich war. Sie reagieren auf eine einfache Aktion des Benutzers mit Auskünften über sich selbst und ihre Umgebung.

Nicht zuletzt bieten Objekte, die mit ihren virtuellen Gegenständen verknüpft sind, Einstiegspunkte in die virtuelle Welt an. Solche Objekte lassen sich nutzen, um auf Informationen zu verweisen, die mit ihnen assoziiert sind. Es wird möglich, Informationen anhand damit verknüpfter Objekte zu suchen und Objekte über ihre virtuellen Entsprechungen miteinander zu verbinden.

2 Physische Objekte und ihre virtuellen Gegenstände

Ein *reales Objekt* besitzt eine bestimmte physische Beschaffenheit, die seine Eigenschaften, die Art seines Auftretens und seiner Nutzung bestimmt. So ist ein physisches Objekt z.B. orts-, raum- und zeitabhängig. Ein physisches Objekt kann nicht an verschiedenen Orten zugleich sein, es hat eine bestimmte räumliche Ausdehnung und kann zu einem Zeitpunkt nur von einer beschränkten Anzahl von Personen benutzt werden.

Traditionell existieren physische Objekte losgelöst von ihren zugehörigen Informationen. Diese lassen sich meist nur manuell vom entsprechenden physischen Objekt aus erreichen. Die implizite Zuordnung zwischen beiden kann auch vollständig verloren gehen.

Unter einem *virtuellen Objekt* verstehen wir das Gegenstück eines realen Objektes in der virtuellen Welt. Der Begriff des virtuellen Objektes umfasst die Beziehungen zu anderen Objekten und ein „Gedächtnis“, in dem die Historie eines Objektes aufgezeichnet wird. Eine *Objekthistorie* ist eine Liste aller Ereignisse, die ein Objekt betreffen. Diese Daten lassen sich auswerten, um Beziehungen zu anderen Objekten und Nutzungskontexte¹ zu identifizieren.

Ein virtuelles Objekt zeichnet also die Beziehungen und Interaktionen seines physischen Gegenstücks auf. Diese Beziehungen können beliebiger Art sein, z.B. räumlich und zeitlich (der Aufenthalt an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit) oder die Nutzung betreffend (aktueller Besitzer oder aktuelle Nutzer). Diese Beziehungen können mehr oder weniger dynamisch, d.h. von unterschiedlich langer Gültigkeit, sein.

Virtuelle Objekte haben andere Einschränkungen als physische. Insbesondere ist ein virtuelles Objekt unabhängig von Ort und Zeit. Es kann potentiell zu jeder

¹Eine Gruppensitzung stellt z.B. einen Nutzungskontext für einen Besprechungsraum dar.

Zeit an jedem Ort sein und von beliebig vielen Objekten oder Personen genutzt werden.

Vom Menschen geschaffene physische Objekte dienen einem bestimmten Zweck, der z.B. in der physischen Manipulation der realen Welt besteht. Die in einer bestimmten Weise erkannten oder beabsichtigten Nutzungsmöglichkeiten eines Objektes stellen dessen *Primärfunktionalität* dar. Wenn physische Objekte virtuelle Gegenstände erhalten, lässt sich die Primärfunktionalität in wesentlicher Weise ergänzen. Diese Erweiterungen können objektspezifisch oder generisch für bestimmte Objektklassen sein.

Die Nutzung der Primärfunktionen eines Objektes erfordert meist dessen räumliche Nähe. Viele Operationen auf dem virtuellen Objekt hingegen lassen sich auch räumlich und zeitlich unabhängig vom physischen Objekt durchführen.

Die erweiterte Funktionalität ergibt sich oft aus dem Zusammenwirken mehrerer virtueller Objekte. So sind zum Beispiel zur Beurteilung der Temperatur des Kaffees in einer Kaffeetasse sowohl das virtuelle Objekt der Kaffeetasse, als auch das virtuelle Objekt des Trinkenden (die persönlichen Präferenzen bezüglich der Trinktemperatur) zu berücksichtigen.

Aggregationen von virtuellen Objekten wiederum können als rein virtuelles Objekt aufgefasst werden. So ist z.B. denkbar, dass alle Dokumente, die bei einer Besprechung auf einem Tisch gelegen haben zu einem Metaobjekt zusammengefasst werden, das als Operation die Identifikation der beteiligten Einzelobjekte anbietet.

Während die Primärfunktionalität eines physischen Objektes mehr oder weniger konstant ist, ist die Metafunktionalität von virtuellen Objekten variabel. Sie kann sich je nach der Interaktion mit anderen Objekten und nach den Erfordernissen verschiedener Anwendungen ändern.

3 Klicken in der realen Welt

Eine enge Verbindung der realen und virtuellen Welt ist durch die Entwicklung neuer Sensor- und Kommunikationstechniken möglich geworden, und es eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten der Interaktion, sowohl zwischen Mensch und Umwelt als auch zwischen Gegenständen untereinander.

Menschen sind von tausenden physischen Objekten umgeben. Der Umgang mit physischen Objekten im Sinne von physischer Manipulation und deren räumliche Organisation sind hochgeübte Tätigkeiten.

Die Verbindung von realer und virtueller Welt scheint einen natürlichen Zugang zu Informationsräumen zu erlauben, die ähnlich organisiert sein können wie die physischen Objekte selbst. D.h. die Beziehungen der virtuellen Objekte untereinander spiegeln die Beziehungen der realen Objekte wider.

Physische Objekte können also einerseits als Einstiegspunkte in die virtuelle Welt dienen. Andererseits können sie auch bei der Strukturierung der virtuellen Welt helfen: Die Struktur der virtuellen Welt kann bis zu einem gewissen Grad der Struktur der realen Welt entsprechen. Allerdings bietet die virtuelle Welt viel reichhaltigere Möglichkeiten der Beziehungsstruktur, da räumliche und zeitliche Beschränkungen wegfallen.

3.1 Klicken in der realen Welt als Interaktionsparadigma

Durch Klicken auf einen Hyperlink im World Wide Web (WWW) können Dokumente und Graphiken auf einem lokalen Anzeigergerät dargestellt und entfernte Operationen aktiviert werden, ohne dass wir uns als Benutzer um die Komplexität der Verknüpfung und der weltweiten Verteilung der Informationen und Dienste kümmern müssen.

Analog dazu können die Gegenstände und Objekte des realen Lebens als physische Links zu Daten, Informationen und erweiterten Funktionen betrachtet werden, die durch die virtuellen Gegenstände bereitgestellt werden: Durch das „Klicken“ auf die Artefakte der realen Welt werden diese Informationen und Dienste aus der virtuellen Welt zugänglich gemacht.

Virtuelle Objekte erlauben, sinnverwandte Informationen an physische Objekte anzuheften, die das Objekt selbst nicht unmittelbar betreffen müssen. Dadurch wird auch die Fähigkeit des Menschen, Assoziationen zwischen physischen Objekten und abstrakten Begriffen zu bilden, unterstützt und nutzbar gemacht. Dieses Vorgehen gestattet außerdem, den physischen Objektraum als „externes Gedächtnis“ zu nutzen: Jedes physische Objekt lässt sich mit assoziierten Begriffen verknüpfen, womit Objekte gleichsam zu „Hyperobjekten“, analog zu Hyperlinks, mutieren.

So ließen sich z.B. alle Informationen über das Wandern – Packliste, Wanderrouten, Übernachtungsmöglichkeiten, usw. – mit den Wanderschuhen verknüpfen. Physische Objekte lassen sich also untereinander zu abstrakten Konzepten verknüpfen. Durch das „Klicken“

auf die um virtuelle Fähigkeiten und Eigenschaften erweiterten Gegenstände können diese assoziierten Informationen zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgerufen werden.

3.2 Suchen in Zeit und Raum

Besonders interessant in diesem Zusammenhang sind räumliche und zeitliche Objektinformationen: Das Wissen um einen Aufenthaltsort ermöglicht zu einem gewissen Zeitpunkt Aussagen über die Beziehung zu bekannten oder räumlich benachbarten Objekten.

Dadurch können Informationen, wenn sie wie oben beschrieben organisiert sind, auf Grund des Aufenthaltsortes von physischen Objekten gefunden werden. Angenommen ein Tisch merkt sich alle Objekte, die während einer Besprechung auf ihm abgelegt wurden, so ist es im Nachhinein für einen Benutzer möglich, diesen Tisch nach genau diesen Objekten zu befragen, wie etwa: *Welches Buch lag um 14.00 Uhr neben meinem PDA? Und wo befindet es sich jetzt?*

Die gleichzeitige Anwesenheit einer Menge von Objekten an einem Ort und der damit verbundene Kontext, den der Benutzer mit diesem Ort assoziiert, implizieren eine Beziehung zwischen diesen Objekten. Die Anwesenheit der Objekte wird automatisch aufgezeichnet und ist damit später nachvollziehbar. Objektmengen, für die ein bestimmtes Prädikat gilt, lassen sich so durch ihre räumlich/zeitliche Position bestimmen. Ein derartiger Ort könnte z.B. durch einen Tisch repräsentiert werden und der Kontext durch eine Besprechung oder Konferenz gegeben sein. Läge ein Dokument zum Zeitpunkt der Konferenz auf diesem Tisch, so könnte dieses beispielsweise als Konferenz-Beitrag erkannt und behandelt werden.

Derartige Beziehungen setzen einerseits eine enge sensorische Kopplung zwischen physischem und virtuellem Objekt und andererseits eine Kopplung der beteiligten virtuellen Objekte untereinander voraus. Dazu sind noch zu identifizierende Mechanismen notwendig, mit denen Beziehungen zwischen Objekten automatisch erfasst und ausgewertet werden können – gegebenenfalls auch im Nachhinein anhand der Objekthistorie eines oder mehrerer Objekte.

Die eindeutige Identifizierung von Objekten ist die Minimalvoraussetzung für die Verbindung von physischen mit virtuellen Objekten und damit für die Realisierung dieses Paradigmas.

Oft sind für eine enge Kopplung zwischen der realen und der virtuellen Welt auch umfangreiche Sens-

ordaten erforderlich. Solche Sensordaten ermöglichen reichhaltigere virtuelle Objekte, in denen Informationen über konkrete Objektinstanzen verfügbar sind. Je umfangreicher und genauer die automatisch generierten Sensordaten sind, desto aussagekräftiger und wirklichkeitsgetreuer wird die virtuelle Schattenwelt. Um dem u.U. beträchtlichen Aufkommen der akkumulierten und unstrukturierten Daten Herr zu werden, empfiehlt sich eine automatische Verarbeitung und Auswertung, z.B. mittels statistischer Verfahren. Denkbar ist auch, dass Techniken wie das Data-Mining weitere Rückschlüsse auf versteckte Beziehungen zwischen virtuellen Objekten zulassen.

Um die Kommunikation zwischen virtuellen Objekten zu ermöglichen, ist einerseits eine geeignete Hardwareinfrastruktur nötig, andererseits aber geeignete Schnittstellen zwischen den virtuellen Objekten.

Wir sind davon überzeugt, dass der Trend zu zunehmend kleineren, leistungsfähigeren und intelligenteren Geräten (smart devices) sowie die gleichzeitige Durchdringung unserer Lebenswelt mit neuen allgegenwärtigen Kommunikationstechnologien weiter anhalten wird. Der breite Einsatz neuer Technologien zur drahtlosen Vernetzung, z.B. Wireless LAN oder Bluetooth, wird einer Vielzahl von smarten Artefakten und Sensoren den ständigen Kontakt zu einer virtuellen Infrastruktur erlauben. Die in einer solchen ubiquitären Umwelt rund um die Uhr verfügbaren Sensordaten und Informationen werden durch eine allgegenwärtige Infrastruktur selbsttätig gesammelt und aufbereitet. Dieser Input stellt die Augen und Ohren einer neuen, noch zu schaffenden virtuellen Welt dar, welche die reale Welt in der nahen Zukunft um neue Möglichkeiten und Dienste erweitern wird, wie in dieser Arbeit vorgestellt.

3.3 Die symbolische Lupe

Wie kann aber die Lücke zwischen der virtuellen und der realen Welt überbrückt werden? Wir halten hierzu die *symbolische Lupe* für das geeignete Werkzeug, um das Interaktionsparadigma des „Klickens in der realen Welt“ zu realisieren.

Die Objekte der virtuellen Welt sind nicht unmittelbar über die menschlichen Sinne zugänglich. Vielmehr bedarf es eines technischen Hilfsmittels, damit die Lücke zwischen der virtuellen und der realen Welt überbrückt werden kann: Dieses Hilfsmittel wollen wir als die *symbolische Lupe* bezeichnen. Die Funktionsweise der symbolischen Lupe ist analog zur derjenigen einer optischen Lupe zu verstehen. Während eine opti-

sche Lupe jedoch lediglich eine vergrößerte Sicht auf das physische Objekt ermöglicht, bietet die symbolische Lupe den Zugang zum zugehörigen virtuellen Objekt. Die optische Lupe verändert lediglich die Darstellungsgenauigkeit, während die symbolische Lupe als Brücke zwischen realer und virtueller Welt fungiert.

Die symbolische Lupe enthält einen Sensor, um das physische Objekt zu identifizieren. Dazu ist es erforderlich, dass die konkrete Instanz eines Objektes eindeutig beschrieben ist, z.B. durch eine eindeutige Seriennummer. Als Sensortechnologie bieten sich verschiedene Möglichkeiten an, wie beispielsweise Barcodes oder RFID Labels.

Unser Prototyp einer symbolischen Lupe nutzt einen RFID-Leser als Sensor. Physische Objekte lassen sich mit RFID-Labels ausstatten, ohne dass deren äußeres Erscheinungsbild verändert werden muss. RFID-Labels arbeiten kontaktlos, sind robust, lassen sich nachträglich aufbringen und konfigurieren, sind billig, klein und in großen Mengen verfügbar. RFID-Leser für kleine Distanzen sind relativ kompakt und arbeiten zuverlässig und mit geringem Stromverbrauch.

Die symbolische Lupe besitzt einen kleinen Bildschirm, auf dem das zu einem physischen Objekt zugehörige virtuelle Objekt angezeigt werden kann. Um auf das virtuelle Gegenstück zugreifen zu können, besitzt die symbolische Lupe eine Drahtlosschnittstelle.

Die Funktion des symbolischen Zoomens bietet sich als Analogon zum optischen Zoomen an. Unter *symbolischem Zoomen* verstehen wir die Anzeige bestimmter symbolischer Aspekte des virtuellen Objektes mit mehr oder weniger hohem Detaillierungsgrad. Dies kann ein *Hineinzoomen* in die physische Struktur oder in das „Innenleben“ des Gegenstandes oder ein *Herauszoomen* aus dem Gegenstand in die Umgebung sein, d.h. ein Anzeigen des *Kontextes*, in den der Gegenstand eingebettet ist. Dazu gehören könnte auch das Nachverfolgen von Beziehungen und Verknüpfungen zu anderen virtuellen Objekten, das Bewegen in einer Klassenhierarchie oder das Bewegen in der Objekthistorie.

Wenn die symbolische Lupe ihren Aufenthaltsort und die Reichweite ihres Objektsensors kennt, ist es darüber hinaus möglich, Aussagen über den Aufenthaltsort von Objekten abzuleiten. Dies könnte das Vorhandensein einer expliziten Infrastruktur zur Gewinnung von Ortsinformationen überflüssig machen, wenn es für eine Anwendung ausreicht, dass nur die Orte von zuvor betrachteten Objekten aufgezeichnet werden.

4 Weitere Arbeiten

Die Möglichkeiten, die sich aus einer Kopplung von physischen Objekten mit virtuellen Gegenständen ergeben, wurden schon von einigen Autoren beschrieben. Want et al. [19] beschreiben die Nutzung von RFID-Tags zur Verbindung von physischen Alltagsdingen mit virtuellen Repräsentationen oder computerbasierter Funktionalität. Sie verwenden einen portablen Tag-Leser in Verbindung mit einem Stift-basierten Computer und drahtloser Kommunikation. Barrett und Maglio [1] erwähnen tragbare *viewboards*, welche die mit einem *informative thing* verknüpften Daten anzeigen können. Sie machen auf die Möglichkeit des Informationsmanagements durch die Verbindung von Sub-Informationsräumen mit physischen Objekten, sowie auf den leichteren Informationsaustausch zwischen Personen durch den Austausch der entsprechenden *informative things* aufmerksam. Das *WebStickers* System [10] verwendet Objekte, die mit Barcodes versehen sind, als WWW-Lesezeichen. Holmquist et al. [5] unterscheiden zwischen drei Arten von physischen Objekten – *Token*, *Tools*, und *Container* – denen digitale Informationen zugeordnet werden können. Container sind generische Träger von Information. Token bieten in ihrer Erscheinungsform Hinweise auf die Art der ihnen zugeordneten Informationen. Tools sind geeignet, um digitale Informationen zu verändern. Fitzmaurice [2] beschreibt einen Palmtop-Computer, genannt *Chameleon*, der in der Nähe von physischen Objekten als “Informationslinse” fungiert. [3, 18, 17] konzentrieren sich auf die physische Instantiierung von GUI-Elementen, die *phicons* (*physical icons*) genannt werden. [17] unterscheiden zwischen *active* und *passive lenses*. Erstere sind am Arm getragene Computer mit LCD-Displays. Letztere sind Holzgerahmte Plexiglasscheiben, auf die ein Bild projiziert wird. Die *NaviCam* (*navigation camera*) [16] ist ein portabler Computer, der mit einer CCD-Kamera ausgestattet ist. Die *NaviCam* interpretiert visuelle Tags, die an reale Objekte angeheftet sind, und überlagert das reale Bild mit virtuellen Informationen. Die *NaviCam* ist entweder als *head mounted display (HMD)* oder als Palmtop ausgeführt. Die in der Hand zu haltende Ausführung realisiert die Lupenmetapher. Ein zeitzentrierter Ansatz zur Organisation von Daten wird in [15] erläutert. Moschagh et al. [11] beschreiben ein Bibliothekssystem, das Zusatzinformationen zu Büchern mit Hilfe eines Stift-basierten Computers anzeigt. Die Bücher sind dabei mit RFID-Tags ausgestattet. Erste Schritte in Richtung ei-

ner Infrastruktur für “smarte” Dinge werden in [9] beschrieben.

Weitere relevante Arbeiten sind [7, 4, 13, 14, 12, 6, 8].

5 Zusammenfassung

Die Informationsseite von Alltagsdingen ist bisher vernachlässigt worden. Eine Kopplung von physischen Objekten an Gegenstände in der virtuellen Welt ermöglicht automatisch generierte, dynamische und aktuelle Objektinformation. Daraus folgend ergeben sich völlig neue Anwendungen und Interaktionsmuster, so etwa das Klicken in der realen Welt, das wir hier als neues Paradigma vorstellen und mit Hilfe der symbolischen Lupe realisieren.

Die symbolische Lupe macht die virtuellen Objekte sichtbar, die den physischen Objekten zugeordnet sind. Symbolisches Zoomen erlaubt die Ansicht verschiedener Aspekte virtueller Objekte.

Durch geeignete Sensoren lassen sich automatisch reichhaltige Objekthistorien aufbauen, aus denen sich die Beziehungen von Objekten ermitteln lassen. Auf Grund dieser Beziehungen wird es möglich, Informationen zu bestimmten zusammengehörigen Objekten räumlich und zeitlich zu lokalisieren.

Die Dinge haben uns etwas zu sagen!

Literatur

- [1] R. Barrett and P. P. Maglio. Informative Things: How to Attach Information to the Real World. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Blurring the Physical and Virtual, pages 81–88, 1998.
- [2] G. W. Fitzmaurice. Situated Information Spaces and Spatially Aware Palmtop Computers. *Communications of the ACM*, 36(7):38–49, July 1993.
- [3] G. W. Fitzmaurice, H. Ishii, and W. Buxton. Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces. In *Proceedings of ACM CHI'95 Conference on Human Factors in Computing Systems*, volume 1 of *Papers: Innovative Interaction II*, pages 442–449, 1995.
- [4] M. G. Gorbet, M. Orth, and H. Ishii. Triangles: Tangible Interface for Manipulation and Exploration of Digital Information Topography. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI-98) : Making the Impossible Possible*, pages 49–56, New York, Apr. 18–23 1998. ACM Press.

- [5] L. E. Holmquist, J. Redström, and P. Ljungstrand. Token-Based Access to Digital Information. In *Proceedings of HUC'99*, pages 234–245, Sept. 1999.
- [6] CoolTown Projekt. <http://www.cooltown.com>.
- [7] H. Ishii and B. Ullmer. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In *Proceedings of ACM CHI 97 Conference on Human Factors in Computing Systems*, volume 1 of *PAPERS: Beyond the Desktop*, pages 234–241, 1997.
- [8] T. Kindberg. People, Places, Things: Web Presence for the Real World. White Paper. <http://www.cooltown.hp.com/papers.htm>.
- [9] M. Langheinrich, F. Mattern, K. Römer, and H. Vogt. First Steps Towards an Event-Based Infrastructure for Smart Things. *Ubiquitous Computing Workshop (PACT 2000), October 15-19, 2000, Philadelphia, PA.*, 2000.
- [10] P. Ljungstrand, J. Redström, and L. E. Holmquist. Web-Stickers: Using Physical Tokens to Access, Manage and Share Bookmarks to the Web, Apr. 2000.
- [11] M.-L. Moschgath, J. Hähner, and R. Reinema. Sm@rtLibrary – An Infrastructure for Ubiquitous Technologies and Applications, 2000.
- [12] W. P., M. W., and G. R. Back to the Real World: Special issue on Computer-Augmented Environments. *Communications of the ACM*, 36(7):24–97, July 1993.
- [13] J. Rekimoto. Augmented Interaction: Interacting with the Real World through a Computer. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Human-Computer Interaction*, volume III. Analysis, Design and Evaluation in Human-Computer Interaction of *III.9 Active Interface*, pages 255–260, 1995.
- [14] J. Rekimoto. Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Picking and Pointing, pages 31–39, 1997.
- [15] J. Rekimoto. Time-Machine Computing: A Time-centric Approach for the Information Environment. In *Proceedings of the 12th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pages 45–54, N.Y., Nov. 7–10 1999. ACM Press.
- [16] J. Rekimoto and K. Nagao. The World through the Computer: Computer Augmented Interactions with Real World Environments. *Proceedings of ACM UIST'95*, pages 29–36, 1995.
- [17] B. Ullmer and H. Ishii. The MetaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST-97)*, pages 223–232, New York, Oct. 14–17 1997. ACM Press.
- [18] B. Ullmer, H. Ishii, and D. Glas. mediaBlocks: Physical Containers, Transports, and Controls for Online Media. In M. Cohen, editor, *SIGGRAPH 98 Conference Proceedings*, Annual Conference Series, pages 379–386. ACM SIGGRAPH, Addison Wesley, July 1998.
- [19] R. Want, K. P. Fishkin, A. Gujar, and B. L. Harrison. Bridging Physical and Virtual Worlds with Electronic Tags. In *Proceedings of ACM CHI 99 Conference on Human Factors in Computing Systems*, volume 1 of *Tagging and Tracking Objects in Physical UIs*, pages 370–377, 1999.