

Seminar "Smarte Objekte und smarte Umgebungen"

Mobile projizierte Benutzerschnittstellen

Caroline Bösing
Mai 2005

Betreuer: Marc Langheinrich

1) Aufbau

Diese Arbeit basiert auf meinem Vortrag vom 10. Mai 2005.

Der folgende Abschnitt gibt eine Einleitung in die projizierten Benutzerschnittstellen und wie man mobile Projektionsschirme einsetzen kann.

In den Abschnitten 3 bis 5 werden drei Systeme vorgestellt, die sehr unterschiedliche Ansätze dieser Mobilität verfolgen:

- Mobiles Display mit Lichtsensor: "BurningWell"
- Mobiles Display und schwenkbares Projektionssystem
- Tragbares Projektionssystem: Onboard-Projektor

In Abschnitt 6 wird gezeigt, wie man mit diesen Systemen interagieren kann.

Zum Schluss kommt noch ein Vergleich der Ideen, die hinter den vorgestellten Systemen stecken. Dabei wird gezeigt, worauf die Erfinder der jeweiligen Systeme besonderen Wert legen.

2) Einführung

Es gibt viele Möglichkeiten, einem Menschen Hinweise über bestimmte Dinge in seinem Umfeld zu geben. Eine davon ist die Überlagerung von realen Objekten mit virtueller Information in Echtzeit, was der Definition der Augmented Reality entspricht. Es geht also um das Verschmelzen von realer und virtueller Welt. In diesem Bereich gibt es diverse technologische Ansätze. Einer davon sind die Head-Mounted-Displays, wobei der User zum Beispiel eine Brille mit integriertem Display trägt, sodass er die Überlagerung der Realität mit den visuellen Informationen direkt sieht.

Für ausführliche Informationen zu diesem Thema siehe Seminarvortrag [S1].

Die hier untersuchten Systeme nutzen die Projektionsmethode. Dabei geht es darum, in Realzeit zusätzliche Informationen (Texte, Graphiken ...) auf reale Objekte zu projizieren und damit auch zu interagieren. Das sind dann projizierte Benutzerschnittstellen.

Diese Methode hat insofern eine Zukunft, als dass die Projektorpreise fallen und die Qualität der Projektionen gleichzeitig zunimmt. Dank dem an der Decke montierten Projektor kann der Besucher Hintergrundinformationen zu einem Ausstellungsobjekt im Museum oder zum Fahrplan erhalten, und gleichzeitig ist die Infrastruktur selbst vor Vandalismus geschützt. Als Projektionsschirme kann man sowohl grosse Leinwände nutzen als auch eine glatte weisse Wand.

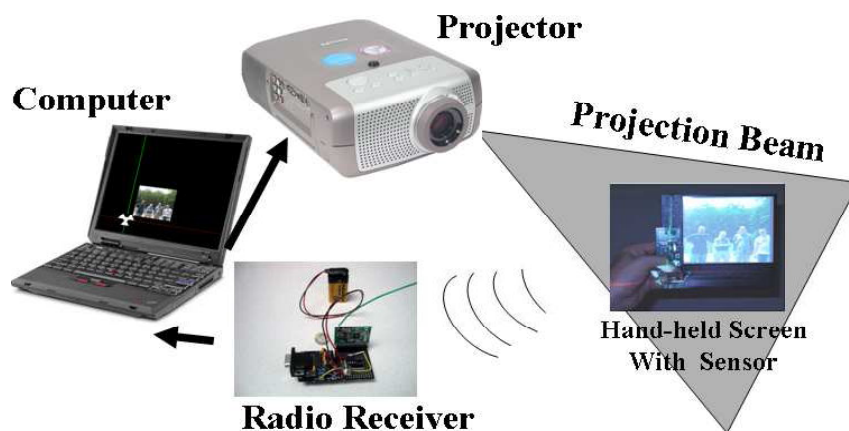
Der Mensch ist es jedoch gewohnt, die Dinge, mit denen er arbeitet, in die Hand zu nehmen. Mit den Händen ist er geschickt. Darum würde man auch gerne Texte oder Graphiken, die man vorne in der Präsentation sieht, direkt vor sich auf dem eigenen mobilen Projektionsschirm haben. Vielleicht um mit dem Nachbarn eine bestimmte Textstelle zu besprechen und sie interaktiv zu verändern oder in eine Bevölkerungsstatistik hineinzuzoomen um ein einzelnes interessantes Jahr zu betrachten.

Man kriegt ein realistischeres 3D-Gefühl, wenn man so ein mobiles Display in der Hand halten kann. Dieses kann aus Papier oder Karton bestehen, was es so billig macht, dass es an Besucher in Museen verteilt und danach weggeworfen werden kann.

Man sieht auf den ersten Blick, welche Vorteile solche mobilen Displays gegenüber den Head-Mounted-Displays haben: Der Benutzer muss keine Brille mehr aufsetzen sondern nur noch ein leichtgewichtiges Display mit sich herumtragen. Auch können mehrere Leute in der Nähe des Users gleichzeitig dieselben virtuellen Informationen sehen, ohne selber ein solches Display tragen zu müssen. Ganz im Gegensatz zu den Head-Mounted-Displays wo jeder User seine eigene Brille und damit je eine eigene Sicht auf seine Umwelt hat.

Bis jetzt war das Projizieren auf mobile Objekte eine Herausforderung, weil eine aufwendige Kalibrierung zwischen Projektor und mobilem Display nötig war. Auch das Tracking (das Verfolgen der Bewegungen des Displays durch den Raum) benötigt viele komplizierte Berechnungen. In dieser Arbeit wird nun gezeigt, wie man mobile Projektionsschirme in der Praxis einsetzen kann.

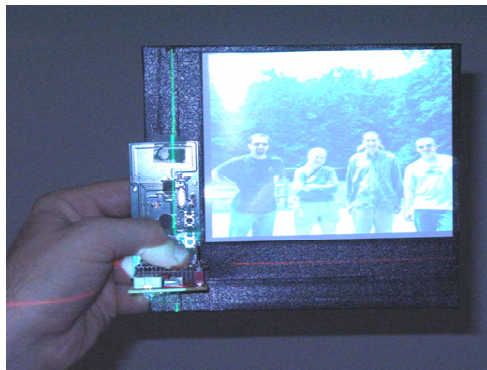
3) System 1: „BurningWell“



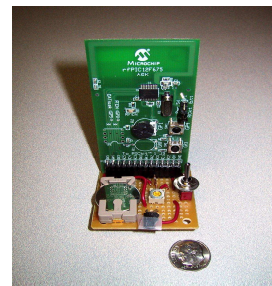
Systemaufbau von BurningWell

3.1) Aufbau des Systems

Das "BurningWell"-System (Paper [1]) besteht aus einem handelsüblichen Projektor, der hinten im Raum an der Decke befestigt ist, einem Funkempfänger, der Daten an einen Laptop leitet und dem mobilen Display. Darauf montiert ist eine Platine, die einen Mikrochip, einen Funksender (jedoch kein Funkempfänger) und eine Photodiode, die als Einzelpixel-Lichtsensordient, enthält. Einzelpixel bedeutet, dass dieser Sensor nur hell oder dunkel erkennt und damit pro Zeiteinheit nur ein Bit generiert.



Mobiles Display mit Lichtsensor



*Platine mit Mikrochip,
Funksender und
Lichtsensor*

3.2) Globale Suche

Wie also bringt man ein Bild aufs Display?

Zuerst einmal muss das Display im Raum gefunden werden. Das mobile Display muss also seinen aktuellen Standort an das System melden, worauf wiederum das gewünschte Bild projiziert werden kann. Darum wird eine globale Suche eingeleitet:

Der Projektor projiziert solange eine Sequenz von Schwarzweissmustern, bis der Computer die Positionsdaten eines Displays erhält. Aus jedem dieser Muster liest der Sensor ein Bit (hell, dunkel). Um den Sensor mit dem Projektor zu synchronisieren und auch mögliche Bitfehler entdecken zu können, werden die Schwarzweissmuster mit einem Hammingcode codiert. Dieser kann ein Fehlerbit korrigieren und zwei fehlerhafte Bits entdecken und ist deshalb dem oben erwähnten Graycode vorzuziehen. Damit kann man sich auch den Funkempfänger zur Synchronisation sparen.

Die jeweils letzten 21 vom Sensor empfangenen Bits werden vom Chip decodiert und auf ein gültiges Datenpaket hin untersucht. Dann weiss der Sensor, dass er mit dem Bitstrom synchronisiert ist und keine Bitfehler aufgetreten sind.

10 Bits liefern dann die XY-Koordinaten (was einem 32 x 32 Pixelnetz entspricht) und 6 Bits liefern die Projektor-ID (das erlaubt bis zu 64 Projektoren). Die restlichen Bits dienen der Fehlerkorrektur. Dann wird ein Datenpaket bestehend aus den XY-Koordinaten, der Projektor-ID und der Sensor-ID an den Computer gesendet.

Hier tritt klar der Vorteil der hohen Skalierbarkeit zutage: Dank der Identifikationsnummern von Projektoren und Sensoren kann man von ihnen je eine grosse Anzahl in einem Raum einsetzen. Mit einer drei Byte grossen Sensor-ID sind bis zu 16 Mio. Sensoren codierbar.

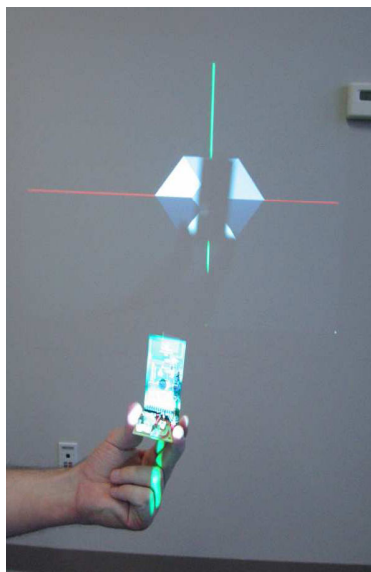
Ein weiterer Vorteil ergibt sich im Energie- und Ressourcenbereich: Da die Positionsberechnung lokal auf dem Chip des Displays ausgeführt wird, muss der Funksender erst eingeschaltet werden, wenn alle Daten bereit sind. Das ist sehr energiesparend. Ebenso werden die auch von anderen Geräten genutzten Funkfrequenzen geschont, da nur wenige Daten übertragen werden müssen.

Die Frage der "Privacy" ist immer wieder ein grosses Thema. Darum sieht man den Zusatznutzen dieser globalen Suche sicher gerne: Das Display kann seine Position unbemerkt von der Infrastruktur bestimmen und sie für andere Anwendungen nutzen.

3.3) Tracking

Sobald ein Sensor seine Position gemeldet hat, schaltet das System in den Trackingmodus. Dabei geht es darum, die Displaybewegung im Raum zu verfolgen. Neben dem vom User gewünschten Bild projiziert der Projektor ein kleines Lokalisierungsmuster rund um den Sensor.

Das ist ein sechseckiges Muster mit 7 Sektoren, wobei der mittlere Sektor genau dann den Sensor abdeckt, wenn sich das Display nicht bewegt. Nun muss man also nur noch feststellen, ob sich der Sensor bewegt und in welche Richtung.



Lokalisierungsmuster

Die zu sendenden Positionsdaten bestehen nur aus drei Bits (um 7 Sektoren zu codieren) und einigen Bits zur Fehlerkontrolle. Damit ist das System in der Lage, das projizierte Bild zentriert auf dem Display zu halten.

Natürlich geschieht es beim Bewegen des Displays schnell, dass der Sensor aus dem Lokalisierungsmuster herausfällt. Erhält also das System während einer gewissen Zeit keine neuen Positionsdaten, wird das Muster um 50% vergrössert. Wenn es nach ca. 2.5 Sekunden keine neuen Daten erhält, wird die globale Suche wieder eingeleitet. Das bedeutet dann meistens, dass man das Display zu schnell bewegt hat oder dass man im Projektorstrahl steht.

Umgekehrt jedoch schrumpft das Lokalisierungsmuster um 25%, wenn die Positionsdaten früher als erwartet eintreffen, sich das Display also nur wenig bewegt hat.

Indem das Lokalisierungsmuster bewusst klein gehalten wird, kann der grosse Rest des Projektionskegels für das wirklich wichtige, nämlich die Darstellung der gewünschten Inhalte, genutzt werden.

Zur Zeit erlaubt dieses System ein zuverlässiges Tracking von sich relativ langsam bewegenden Displays im 2D-Raum.

3.4) Mögliche Verbesserungen

Zur Zeit ist nur ein Sensor auf das Display montiert, wodurch Tracking nur im 2D-Raum möglich ist. Um beliebige Bewegungen des Displays im 3D-Raum zu verfolgen, sind vier Lichtsensoren nötig nämlich drei für die XYZ-Koordinaten und einer für die Rotation.

Viele Leser werden nun monieren, dass diese auffallenden Muster für die globale Suche und zur Lokalisation stören. Das stimmt natürlich. Darum wird daran gearbeitet, sie für die menschliche Wahrnehmung unsichtbar zu machen. Der Projektor könnte ein scheinbar gleichmässig weisses Licht projizieren, das über die Zeit moduliert wird. Ein Sensor würde das erkennen, das menschliche Auge dagegen nicht.

3.5) Ähnliche Entwicklungen im Vergleich

"BurningWell" ist eigentlich eine Weiterentwicklung eines Systems von anderen Forschergruppen: Auf eine Platine wird neben dem Mikrochip, dem Lichtsensor und dem Funksender auch ein Funkempfänger montiert. Befestigt man sie an einem Objekt, zum Beispiel auf irgendeiner ebenen Fläche im Raum, kann dann darauf projiziert werden. Der Projektor synchronisiert sich mit dem Objekt, indem er ein Funksignal sendet. Nun weiss der Mikrochip, dass die vom Sensor eintreffenden Daten vom ausgestrahlten Graycode-Muster stammen. Aus den Sensorwerten wird der Ort bestimmt und ans System zurückgefunkt.

Dank dem Funkempfänger kann man den Graycode nutzen und braucht somit keine zusätzlichen Bits zur Muster-Synchronisation. Jedoch hat diese Methode auch einige Mängel:

- Wird ein Lichtwert wegen irgendwelchen Störungen von einem Sensor falsch empfangen, kann der Ort nicht richtig berechnet werden. Ausserdem gibt es keinen Hinweis auf den aufgetretenen Fehler.
- Zur Synchronisation wird ein Funkempfänger gebraucht, was die Kosten und auch den Stromverbrauch des Displays erhöht.
- Es gilt die Annahme, dass sich der Sensor nicht bewegt und deshalb der Ort nur einmal bestimmt werden muss. Damit sind natürlich keine mobilen Displays möglich.

Die Forscher des "BurningWell"-Systems haben sich speziell dieser Schwächen angenommen: Ihre Displays sind mobil und billig und können ihren Ort ohne ein Funksynchronisationssignal feststellen. Auf diese Weise kann man sich den Funkempfänger sparen und braucht nur den Funksender. Ausserdem werden Fehler in den Sensorwerten dank dem aufwendigeren Hammingcode erkannt, sodass eine zuverlässigere Lokalisation möglich ist.

4) System 2: Schwenkbares Projektionssystem

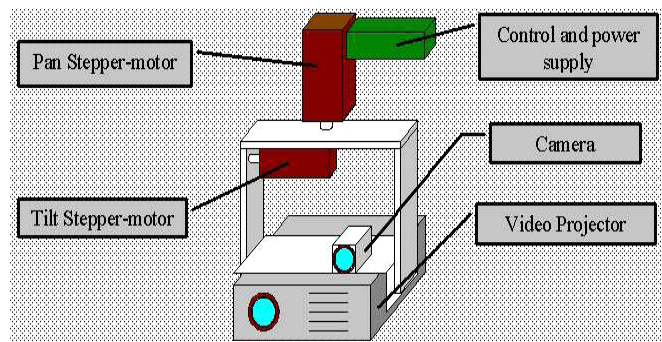
Dieses Projekt (Paper [2]) lässt sich gut mit dem "Everywhere Display Projector" aus dem ersten Vortrag zum Thema "Projizierte Benutzerschnittstellen" [S2] vergleichen. Dort sind die möglichen Projektionsflächen vordefiniert und müssen innerhalb der vom Spiegel erreichbaren Regionen liegen. Damit können auch die nötigen Entzerrungsmatrizen für jede Fläche im Voraus berechnet werden.

Beim hier vorgestellten System werden jedoch die Projektionsflächen in Realzeit im Raum entdeckt, was natürlich auch die Berechnung der Bildentzerrung in Realzeit verlangt. Dadurch werden mobile Displays möglich, aber im Prinzip ist jede vom Projektor erreichbare ebene Fläche geeignet. Ein mögliches Szenario:

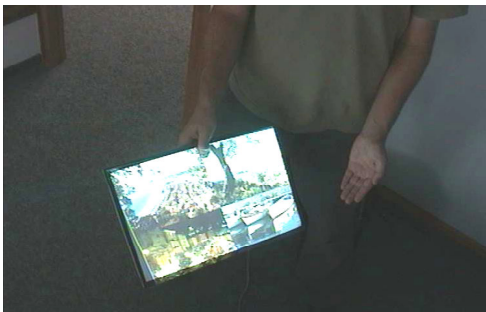
Bei einer Präsentation möchte der User das Bild von der grossen Leinwand woanders hin transferieren. Er hält sein Display vor das projizierte Bild und initiiert so das System. Das Bild wird auf seinem Display angezeigt. Bewegt sich nun der User, folgt das System der Bewegung des Displays (genauer: den Displayecken) und projiziert das entzerrte Bild immer wieder an die neue Position. Dank der vier Ecken sind freie Bewegungen im 3D-Raum möglich.

4.1) Eine Anwendung

Um Projektionsflächen möglichst im ganzen Raum nutzen zu können, muss das Projektionssystem steuerbar sein. Die Kamera und der Projektor sind darum an einem Gehäuse befestigt, das man um 177° horizontal und 90° vertikal schwenken kann. Zwei Motoren kontrollieren diese Winkel.



Schwenkbares Projektor-Kamera-Gehäuse



Mobiles Display mit projiziertem Bild

In diesem Beispiel ist das mobile Display aus hellem Karton gefertigt. Um das Tracking zu ermöglichen, müssen die Displaybegrenzungen klar erkennbar sein. Deshalb sind die Ränder schwarz markiert.

Um ein Bild von der Leinwand auf sein persönliches Display projiziert zu bekommen, führt man es über das rote Rechteck in der oberen rechten Bildecke und initiiert so das System. Sobald man es bewegt, verfolgt die Kamera die schwarzen Ränder (Tracking), und die neue Bildposition wird berechnet. Auf diese Weise können die Bilder auf dem Display immer unverzerrt dargestellt werden.



Initiierung über dem roten Rechteck

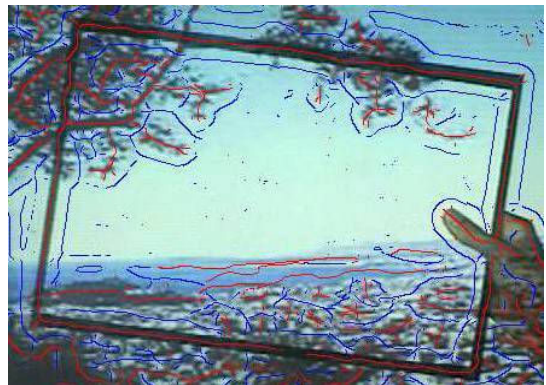
4.2) Tracking

Der Trackingalgorithmus ist relativ kompliziert, und deshalb wird hier nicht näher auf die exakten mathematischen und geometrischen Berechnungen eingegangen. Es soll nur ein Überblick gegeben werden, wie das von der Kamera aufgenommene Bild analysiert wird, um darin den Standort des mobilen Displays zu entdecken.

Hat man die vier Ecken des Displays einmal aus dem Bild extrahiert, kann man die Transformationsmatrix für die Entzerrung berechnen. Es ist jedoch viel leichter, erst die Displayränder im Bild zu entdecken und daraus dann die Ecken zu generieren.

Der Trackingalgorithmus:

- a) Zuerst werden hautfarbene Regionen (Hände, Finger) herausgefiltert, um möglichst klare schwarze Begrenzungen zu erhalten.
- b) Es wird nur in einer bestimmten Bildregion nach dem Display gesucht nämlich in der Nähe des Ortes, wo es zum vorherigen Zeitpunkt entdeckt wurde. Darum ist auch die Initialisierung mit dem roten Rechteck wichtig, weil das System nur in jenem Bereich sucht.
- c) Nun werden mathematische Funktionen auf den Bildausschnitt angewendet, die alle möglichen geraden Linien entdecken (siehe rote Linien im Bild rechts). Linien, die zu weit von der vorherigen Position entfernt liegen, werden nicht weiter beachtet.
- d) Durch die Anwendung von weiteren geometrischen Funktionen findet man für jede der vier Displaybegrenzungen die dominanteste Linie im Bild. Die Schnittpunkte dieser Linien sind dann die gesuchten vier Eckpunkte.
- e) Damit kann man nun die Transformationsmatrix berechnen, die wiederum den horizontalen und vertikalen Winkel des Projektors festlegt. Somit kann das entzerrte Bild projiziert werden.



Rote Linien: mögliche Displaybegrenzungen

5) System 3: Onboard-Projektor

Mit dem Projizieren von Informationen auf mobile Objekte, wie es in den beiden vorhergehenden Systemen vorgestellt wurde, kann man eigentlich schon viel erreichen. Gleichzeitig gibt es aber auch einen Trend in Richtung tragbarer Systeme, zum Beispiel intelligente Assistenten, die die ganze Zeit über getragen werden und alle möglichen Daten aufzeichnen.

Diese beiden Funktionen wollen die Erfinder des Onboard-Projektor vereinen (Paper [3]).

5.1) Aufbau des Systems



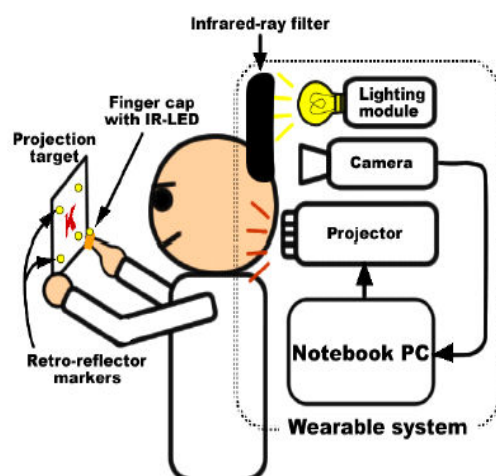
Tragbares System

Das als Rucksack zu tragende System besteht aus einem Lichtmodul, einer Kamera, einem Infrarotfilter, einem Projektor und einem Notebook. Auf diese Weise ist man unabhängig von jeglicher Infrastruktur und kann das System überall nutzen. Als Projektionsziele dienen hier die rückreflektierenden Papierblätter eines Buches. Als Projektionsziele dienen hier die rückreflektierenden Papierblätter eines Buches.

5.2) Projektionsprozess

Der Projektionsprozess läuft folgendermassen ab:

- Licht wird durch den Infrarotfilter geleitet und trifft auf das Projektionsziel
- Das Licht der rückreflektierenden Marker wird durch den Infrarotfilter geleitet und von der Kamera aufgefangen
- Der Computer extrahiert die Markierungen aus dem Bild. Anhand der Anordnungen dieser Marker erhält man die 2D-Position und die Identifikationsnummer (ID) des Ziels. So wird also die gerade aufgeschlagene Seite im Buch erkannt.



Skizze des Onboard-Projektors

- Nun werden die entsprechenden Graphiken und Texte aufgrund der zuvor erkannten Koordinaten projiziert. Das ganze geschieht in Realzeit.

Eine mögliche Anwendung wurde schon erwähnt: das Buch mit den rückreflektierenden Papierblättern, das die Vorteile von Papier und virtueller Information in sich vereint.

Eine andere Möglichkeit ist das Projizieren von personalisierter Information auf fix montierten Anzeigetafeln. Steht der User zum Beispiel in einem Museum vor einem Kunstwerk, werden automatisch zusätzliche Angaben auf das daneben angebrachte Display projiziert.



Projektion auf fix montierte Anzeigetafeln in einem Museum

6) Interaktion

Wenn wir schon Displays in unseren Händen halten, wollen wir mit dem System natürlich auch interagieren. Dazu nutzt der Mensch wohl intuitiv seine Finger.

- "BurningWell": Man könnte einen Touchscreen als Display nutzen. Der für die lokalen Berechnungen benötigte Chip ist ja schon vorhanden. Informationen zum Touchscreen gab es im Seminarvortrag [S3].
- Schwenkbares Projektionssystem: Interaktion wäre mit Fingern und Händen möglich, da das Herausfiltern von hautfarbenen Regionen schon implementiert ist. Ausführliche Informationen zum Tracking von Fingern gab es im Seminarvortrag [S3].
- Onboard-Projektor: Hier gibt es zwei Wege: Man kann spezielle Marker auf dem Papier anbringen, zum Beispiel Buttons und Slidebars, die man mit dem Finger betätigen kann. Genausogut kann man aber auch die Fingerkuppen mit Infrarot-LEDs ausstatten, sodass Freihandzeichnen möglich wird.

7) Vergleich der Ideen der drei Systeme

Je nach Anwendung muss man besonders auf die Kosten von Displays und Projektionssystem achten und darf auch die benötigte Rechenpower nicht ausser acht lassen. Aber noch wichtiger ist, sich über die verschiedenen Ansätze der Systeme im Klaren zu sein.

Hinter dem Onboard-Projektor steckt die Idee, dass man unabhängig von jeglicher Infrastruktur agieren kann. Das System muss nur Verbindung zu einem Zentralrechner aufnehmen, um die personalisierten Informationen zu erhalten, was heute schon möglich ist mit WLAN oder GPRS. Von den hier vorgestellten Systemen ist es das einzige, das man auch im Freien nutzen könnte, allerdings muss man dann die Sonneneinstrahlung beachten, um die Projektionen noch zu sehen. Der gewichtigste Nachteil im wortwörtlichen Sinne ist im Moment wohl noch das Gewicht des Systems. Mit dem Fortschritt der Technologie werden aber sicher auch Kamera und Projektor immer kleiner, ebenso die Computer. Eines Tages ist es also vielleicht möglich, dass wir unser eigenes kleines Onboard-Projektionssystem mit uns rumtragen und die Kamera automatisch nach Objekten in unserer Umgebung Ausschau hält, zu denen wir dann personalisierte Informationen projiziert bekommen.

Der Ansatz beim schwenkbaren Projektionssystem ist völlig anders. Hier muss man einen grossen Aufwand in die Infrastruktur stecken. Dafür ist der User aber (fast) nicht beschränkt in der Wahl seiner bevorzugten Projektionsfläche im Raum.

Etliche der teuren schwenkbaren Gehäuse mit Projektor und Kamera müssen im Raum installiert werden, um mehrere Nutzer gleichzeitig bedienen zu können. Obwohl die Kamera- und Projektorpreise fallen und sie auch immer kleiner werden, so bleibt der Koordinationsaufwand zwischen Kamera und Projektor relativ gross. Zusätzlich muss man genug Rechenpower zur Verfügung stellen, da die Bildberechnung doch ziemlich aufwendig ist. Aber da die Rechner immer schneller und billiger werden, ist das in Zukunft kein Problem mehr.

Steht die Infrastruktur erst einmal, kann sich der User seine Projektionsfläche im ganzen Raum frei aussuchen. Auch die Initialisierung ist denkbar einfach, sie kann via speziellem Handzeichen oder wie beschrieben über dem roten Rechteck erfolgen.

Bei allen mobilen Projektionssystemen stellt sich die Frage, wie man das Objekt im Raum findet, auf das projiziert werden soll. Diese Lokalisation soll schnell und einfach funktionieren und dazu noch preiswert sein. Eine gute Idee sind da Lichtsensoren wie beim "BurningWell" (Display mit Sensor). Sie sind klein und relativ billig und können so auf alle möglichen Objekte montiert werden. Ebenso schnell lassen sie sich auch umplazieren sogar während einer Anwendung. Damit ersetzen sie die Kamera, das heisst, die ganze aufwendige Berechnung, um das mobile Display in einem Bild zu entdecken, fällt weg. Und das ist auch der grösste Unterschied zu den anderen beiden Systemen. Man könnte sogar die Sensoren selber wegrationalisieren, indem man zum Beispiel die Kamera eines Handys, das auf einem Tisch liegt, als Sensor nutzt und dann das Gewünschte direkt vor den Besitzer auf den Tisch projiziert. Und natürlich kann das Handy damit auch seine Position bestimmen und sie für andere Anwendungen nutzen, ohne dass andere Geräte im Raum etwas davon mitkriegen.

Die Idee beim "BurningWell" ist also, die Infrastruktur sei einfach wie möglich zu halten, ein normaler Projektor, ein Computer und ein Funkempfänger sollen reichen. Wenn man seine eigenen Sensoren mitnimmt, könnte man in jedem Raum sofort seine bevorzugten Projektionsflächen auswählen, die Sensoren darauf plazieren und sofort loslegen mit dem Projizieren.

Dem Benutzer wird die Anwendung aller drei Systeme relativ einfach gemacht. Er benötigt ausser seinem persönlichen Display keine weiteren Hilfsmittel. Aber er muss immer darauf achten, dass der Projektor sein Display im Erfassungsbereich hat.

Diese relativ grosse Einschränkung kann man zwar mildern, indem man zum Beispiel viele Projektoren an diversen Orten im Raum montiert. Das geht beim System mit dem Sensordisplay besonders gut, weil da konventionelle und damit billigere Projektoren genutzt werden können.

Genau dieses Rücksichtnehmen auf Geräte wird bei den Benutzern jedoch schlecht ankommen. Der Trend geht heute eindeutig in die Richtung von Ubiquitous Computing. Die Geräte werden immer kleiner und verschwinden bald ganz aus dem Blickfeld von Usern. Ihre Dienste leisten sie im Hintergrund, und der Benutzer muss sich nicht weiter darum kümmern. Gleichwohl sind die Informationen immer da, wenn sie gebraucht werden.

Projektionssysteme, die fest definierte Flächen im Raum anstrahlen, sei es ein Tisch, eine Schrankwand in der Küche oder Pfeile zum Notausgang auf dem Boden könnten durchaus Zukunft haben (siehe [S2]). Aber bei den mobilen Projektionssysteme stellt man sich die Frage, ob man dieselben Ergebnisse nicht auch mit einer Kamera und einem LCD-Display, das vielleicht auch noch ein Touchscreen ist, erreicht. Denn schon heute tragen viele Leute ein LCD-Display mit sich herum, sei es im PDA oder im Kleinformat auf dem Handy.

8) Literatur

Seminarvorträge:

- [S1] "Augmented Reality: Technologien und Applikationen" von Daniel Rauch
- [S2] Erster Vortrag zu "Projizierte Benutzerschnittstellen" von Franziska Meyer
- [S3] "Interactive Surfaces" von Xiaoping Yin

Papers:

- [1] Jay Summer & Rahul Sukthankar: *Tracking Locations of Moving Hand-held Displays Using Projected Light (BurningWell)*
<http://www.cc.gatech.edu/~summetj/burningwell/index.html> 2005
- [2] Stanislaw Borkowski, Olivier Riff and James L. Crowley: *Projecting Rectified Images in an Augmented Environment*
aus „Proceedings of ICCV Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS) 2003“
- [3] Toshikazu Karitsuka & Kosuke Sato: *A Wearable Mixed Reality with an On-Board Projector*
aus „Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2003)“