

Augmented Reality

[Interaktion und Darstellung mit realen Objekten]

Florian Weidner
Fakultät Informatik
Technische Universität Dresden
Nöthnitzer Straße 46
Dresden, Deutschland
info@florianweidner.de

ABSTRACT

Augmented Reality Anwendungen etablieren sich zunehmend in unserer Gesellschaft, vor allem in Smart Spaces, d.h. Umgebungen die eng mit Sensoren und Aktoren vernetzt sind. Zwei Hauptbestandteile solcher Anwendungen, Benutzungsoberflächen und Anzeigetechnologien, bilden das Kernthema der vorliegenden Arbeit. Es werden diesbezüglich verschiedene Techniken im Bereich der Augmented Reality (AR) analysiert und diskutiert, um einen Überblick über das Thema zu geben. Nach einer Einführung in der eine Definition von Augmented Reality enthalten ist und erläutert wird, folgt eine Analyse und Klassifizierung der Kernfunktionen von Augmented Reality Umgebungen. Unterschieden wird hier wie eingangs genannt zwischen Interaktion und Präsentation. Verschiedene User Interfaces werden klassifiziert und Beispielanwendungen diskutiert. Die drei bekannten Techniken Blicksteuerung, Tangible User Interfaces und die Gestensteuerung sowie die Zukunftstechnologie Brain Computer Interfaces werden beispielhaft behandelt. Bei den Präsentationstechniken werden ebenfalls nach einer Klassifizierung verschiedene Technologien erläutert und kritisch diskutiert. Head Mounted Displays, Spatial Augmented Reality und Handheld Displays bilden den Untersuchungsgegenstand.

Categories and Subject Descriptors

A.1 [Introductory and Survey]: Miscellaneous; H.5.1 [Information Interfaces and Presentation]: Multimedia Information Systems—*Artificial, augmented, and virtual realities*; H.5.2 [Information Interfaces and Presentation]: Multimedia Information Systems

Keywords

Augmented Reality, Interaction, Smart Spaces, Presentation

1. EINFÜHRUNG

Die Digitalisierung und Vernetzung der Welt ist allgegenwärtig. Mehr und mehr Informationen strömen in immer

kürzerer Zeit auf uns ein. Neuartige Technologien - sowohl Interaktions- als Präsentationstechniken - sind notwendig um einen möglichst effizienten, einfachen und intuitiven Umgang mit diesen Informationen zu ermöglichen. Das Konzept der Augmented Reality (AR) versucht Informationen auf neuartige Weise einzuordnen und adäquat zugänglich zu machen. Der Grundgedanke ist, digital hinterlegte Informationen wie textuelle Informationen oder Bilder in die reale Welt einzubinden. Mit eigens entwickelter Hard- und Software werden diese Informationen zugänglich gemacht. Hier ist zu beachten, dass im Gegensatz zu den etablierten Technologien die Nutzung der Informationen in die reale Welt eingebettet ist. Es existieren Augmented Reality Anwendungen in Produktions- und Forschungsumgebungen (Smart Factory), Wohnhäusern (Smart Home), speziell für ältere beziehungsweise hilfsbedürftige Menschen (Ambient Assistant Living) aber auch Lernumgebungen für Schüler und Studenten. In allen genannten Domänen werden Informationen - Produktionskennzahlen, die nächsten Termine oder Erinnerungen für Arztbesuche - nahtlos zugänglich gemacht. Prominenter Vertreter einer AR-Anwendung ist die von Google entwickelte Datenbrille Google Glass¹ die eben solche Informationen nicht aufdringlich ins Blickfeld einbindet und die reale Welt mit digitalen Informationen anreichert. Die Nutzung der Augmented Reality beziehungsweise von AR-Anwendungen kann räumlich begrenzt oder aber ubiquitär möglich sein. Die genutzten Informationen sind per Definition computergenerierte Daten die mittels verschiedenster Präsentationstechniken dargestellt werden.

1.1 Definition

Nach dieser kurzen Einführung, die einen Überblick über die Augmented Reality gibt, wird im folgenden eine genauere und etablierte Definition nach nach Milgram et al. [16] erläutert. Wie Abbildung 1 zeigt, wird die Augmented Rea-



Abbildung 1: Einordnung der AR[16]

lity näher an der realen Umwelt als an der komplett virtuellen Umgebung eingeordnet. Diese etablierte Klassifizierung

¹<http://www.google.de/glass/start/>

ist insofern nachvollziehbar, als dass AR-Anwendungen die Realität nur anreichern. Es werden bestehende reale Objekte genutzt und in ihrem Informationsgehalt erweitert. Zum Beispiel werden bei einem Blick auf ein Objekt nützliche Zusatzinformationen auf dem Display einer Datenbrille angezeigt. Diese Definition deckt sich mit der von Furht[8] welche aussagt, dass Augmented Reality der direkte oder indirekte Blick auf die reale physikalische Umwelt ist, bei dem virtuelle computergenerierte Informationen hinzugefügt wurden. Nicht zu verwechseln ist die Augmented Reality mit der Augmented Virtuality (AV). Bei Letzterem werden reale Objekte in virtuelle Szenen eingearbeitet. Als einfaches Beispiel ist hier die Anwendung „Windows on the World“ zu nennen [23]. Hier wird eine Büroumgebung virtuell gestaltet und Texturen von zum Beispiel real existierenden Whiteboards in die virtuelle Szene eingearbeitet. Sowohl Augmented Reality als auch Augmented Virtuality liegen im Bereich der Mixed Reality. Die Grenzen beziehungsweise Übergänge in Milgrams Kontinuum sind fließend.

1.2 Ziele

Das Ziel von AR Anwendungen ist es, dem Nutzer Informationen in einer Art zu präsentieren, die es ihm ermöglicht, sie intuitiv, effektiv und effizient zu nutzen sowie mit ihnen zu interagieren. Die Informationen sollen an den Kontext angepasst und zielgerichtet dargestellt werden. Der Kontext kann aus verschiedenen Sensordaten und aus Daten von verschiedenen Eingabegeräten generiert werden. Als einfache Kontextinformation kann hier beispielhaft die aktuelle Nutzerposition genannt werden. Die Präsentation der Daten soll an Positionen bzw. Orten geschehen, die eben diesen Kontext berücksichtigen und z.B. das Blickfeld nur angemessen beeinflussen. Denkbare Beispielszenarien, die diese Bedingungen erfüllen, wäre ein intelligentes Displaysystem in einer Wohnung. Der Benutzer bekommt nach dem Aufstehen in Spiegeln oder Fenstern notwendige Informationen wie den Wetterbericht, News, eMails oder die Verkehrslage angezeigt. Am Wochenende werden keine Geschäftstermine angezeigt. Die Information wird also an mit dem Kontextmerkmal „Zeit“ angepasst. Weiterhin ändern die Informationen ihre Position vom Schlafzimmerfenster hin zum Badezimmer Spiegel, wenn sich der Nutzer dorthin bewegt. Die Information wird also an mit dem Kontextmerkmal „Ort“ angepasst. Während der Präsentation wird darauf geachtet, dass die Informationen nur in den Ecken oder halb-transparent im Blickfeld präsentiert werden, um die Nutzung von Spiegeln und Fenster weiterhin möglich zu machen.

1.3 Klassifikation

Die im Bereich Augmented Reality genutzten Geräte können nach ihrer Aufgabe in die folgenden Klassen eingeteilt:

- Eingabegeräte
- Präsentationsgeräte
- Trackinggeräte
- Zentrale Verarbeitungsgeräte

Im Folgenden werden vor allem die Eingabegeräte und Präsentationsgeräte behandelt. Verschiedene Technologien, die

das Tracking eines Nutzers ermöglichen, werden kurz erläutert. Da die zentralen Verarbeitungsgeräte meist handelsübliche Computer oder Smartphones mit entsprechender Software sind, wird hier nicht weiter auf diesen Bereich eingegangen.

1.3.1 Interaktion

Die Interaktion mit den Informationen, die von den AR Anwendungen verarbeitet und zur Verfügung gestellt werden, geschieht durch unterschiedlichste Technologien. Eine Klassifizierung der verschiedenen Möglichkeiten wird von Carmingniani et al. [6] übernommen und erweitert. Der Punkt „Implizit“ wurde hinzugefügt.

- Multimodal
- Hybrid
- Kollaborativ
- Tangible
- Implizit

Die multimodalen User Interfaces vereinen verschiedene Eingabe- beziehungsweise Steuerungsmöglichkeiten. Sie kombinieren die Eingabe durch reale Objekte mit natürlich vorkommenden Formen der Interaktion wie Sprache, Gesten oder Blicken [8]. Das Feld der multimodalen Techniken ist breit gefächert und verwandt mit den Hybriden Interfaces. Bei diesen wird eine flexible Plattform angeboten bei der verschiedene Möglichkeiten der Interaktion angeboten werden und gleichzeitig genutzt werden können. Der Mehrbenutzerbetrieb ist ein guter Einsatzbereich für Hybride Interfaces da hier jeder Nutzer seine präferierte Technologie nutzen kann. Die kollaborativen Interfaces legen besonderen Wert auf gemeinsame Interaktion. Hierunter fallen beispielsweise Teilen von Inhalten und das gemeinsame und gleichzeitige Bearbeiten. Die Tangible User Interfaces (TUIs) sind eng verwandt mit den multimodalen Interfaces. Hier wird ein reales Objekt in seinen räumlichen Eigenschaften manipuliert. Diese Veränderungen werden mittels Trackingtechnologien erfasst und in Befehle umgesetzt.

In den oben genannten Klassen der Interaktion werden wird die Interaktion explizit durch Manipulation von Objekten, durch Gesten oder durch Befehle repräsentiert. Eine weitere Unterscheidung kann insoweit getroffen werden, dass die Interaktion implizit durch automatisch erfasste Sensordaten realisiert wird. Hierzu gehören Sensoren die Temperaturen, Positionen, Richtungen oder Biosignale abgreifen. Diese Form der Interaktion ist beispielsweise im Bereich Ambient Assistent Living interessant, da z.B. Signale wie EKG oder Temperatur dazu genutzt werden können, gesundheitspezifische Informationen an Displays anzuzeigen oder Maßnahmen einzuleiten.

Die beschriebenen Techniken werden genutzt, um die AR Anwendung explizit zu steuern aber auch implizit von der Software beziehungsweise dem Service um Daten zu sammeln und möglichst nützliche und angepasste Informationen bereitzustellen. Mehr Details zu den verschiedenen Techniken werden im Abschnitt 2 erläutert.

1.3.2 Präsentation

Die Darstellung der Informationen kann durch unterschiedlichste Techniken geschehen. Im Allgemeinen werden visuelle Medien zur Präsentation genutzt. Nichtsdestotrotz gibt es, wie auch bei den Interaktionsmöglichkeiten, weitere Arten wie die Daten dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden können. Denkbar wären Oberflächen, die eine taktile Exploration anbieten und somit Menschen mit eingeschränkter Sehfähigkeit die Nutzung dieser ermöglichen würden. Ebenso ist eine Audioausgabe umsetzbar. Neben diesen sind, wie eingangs genannt, speziell die visuellen Technologien weit verbreitet. Aufgrund der weiten Verbreitung wird im Folgenden auf die visuellen Techniken eingegangen. Die hier vorgenommene Klassifikation lautet wie folgt:

- Head Mounted Displays (HMDs)
- Handheld Displays
- Spatial Augmented Reality (SAR)

Bei *Head Mounted Displays* werden die Bildschirme mit verschiedensten Techniken am Kopf angebracht. Beispielrealisierungen sind die Videobrille oder ein Helm mit integriertem Display. Diese Kategorie lässt sich in zwei weitere Unterkategorien unterteilen. *Video see-through* und *optical see-through*. Beide Techniken bereichern die Realität mit zusätzlichen visuellen Attributen an. Die erste fügt die Daten, mit denen die Realität angereichert werden soll, einem Echtzeitvideo hinzu. Die zweite überlagert die reale Welt mit auf einem Display dargestellten Daten. Hierbei ist zu beachten, dass auf dem Display nur die zusätzlichen Daten dargestellt werden. Die Wirklichkeit wird durch das Display betrachtet. Unter die Kategorie Handheld Displays fallen Smartphones, Tablets und die älteren PDAs. Hier liegt großes Potential da die beiden erstgenannten weite Verbreitung finden und auch entsprechende Kamera-, Display- und Sensortechnik besitzen. Spatial Augmented Reality setzt auf ein anderes Darstellungskonzept. Hier werden Videoprojektoren und Hologramme zur Darstellung sowie Radio Frequency Tags und andere Tracking Technologien verwendet um graphische Informationen direkt auf physikalischen Objekten anzuzeigen ohne dafür ein herkömmliches Display zu benutzen [8]. Weitere Informationen zu den Präsentationstechnologien sind unter Kapitel 3 zu finden.

Der nächste Abschnitt widmet sich den verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten. Die Techniken werden detailliert beschrieben und evaluiert. Kapitel 3 beschreibt verschiedene Präsentationsformen mit ihren Vor- und Nachteilen. Zu allen Themen wird der aktuelle Forschungsstand aufgezeigt und Perspektiven erläutert. Abschnitt 4 nennt verwandte Arbeiten. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst.

2. INTERAKTION

Die Interaktion in der Augmented Reality aber auch mit anderen Nutzern ist ein wichtiger Aspekt von AR Anwendungen. Im Folgenden werden von den in 1.3.1 genannten Klassen exemplarisch multimedial und Tangible User Interfaces beschrieben. Hybride und kollaborative UIs sind Änderungen dieser beiden beziehungsweise verfeinern sie in

einer Weise so dass ein Mehrbenutzerbetrieb möglich oder der nahtlose Wechsel zwischen den Interaktionsarten möglich ist. Sie setzen sich meist aus Repräsentationen der multimodalen User Interfaces zusammen. Der Fokus liegt deshalb im Folgenden auf den eingangs genannten Klassen. Nach einer Beschreibung der jeweiligen Technik werden sie hinsichtlich des aktuellen Entwicklungsstand, der Genauigkeit der Interaktion sowie notwendigen Verbesserungen evaluiert.

2.1 Multimediale Interfaces

Unimodale Benutzerschnittstellen bieten dem Nutzer nur eine Eingabemöglichkeit. Klassische Beispiele hierfür sind Touch-Screens, Tastatur, Maus oder Stifteingabe. Multimodale User Interfaces hingegen vereinen verschiedene Techniken der Interaktion in einer Anwendung und ermöglichen dem Nutzer eine natürlichere, weniger anstrengendere, genauere und weniger fehlerhafte Interaktion dadurch, dass mehrere Eingabekanäle gleichzeitig aber koordiniert interpretiert werden [7]. Diese Interpretation beziehungsweise Verarbeitung kann umgebungsabhängig sein (z.B. ist Sprachsteuerung aufgrund den geringeren Umgebungsgeräuschen besser für Anwendungen in Gebäuden geeignet) aber auch von anderen Faktoren des Kontexts abhängen. Die multimodalen Ansätze - vor allem Kombinationen mit Blick- und Sprachsteuerung sowie Brain Computer Interfaces - bieten dem Nutzer ebenfalls die Möglichkeit, eine Freihandnavigation zu vollziehen, was in manchen Domänen notwendig sein kann. Als Beispiel kann hier eine Produktpräsentation genannt werden, die einerseits per Sprachsteuerung aber auch per Fernbedienung moderiert werden kann. Der genutzte Modus kann davon abhängen, ob der Präsentierende das Produkt in den Händen hält und beschreibt (Sprachsteuerung) oder aber auf die Leinwand verweist (Fernbedienung).

Ein Problem das mit den oben genannten Techniken auftritt, sind ungewollt ausgelöste Interaktionen. Dieser Effekt wird „Midas Touch“ genannt und stellt ein generelles Problem bei natürlichen Interaktionsformen dar. Billingham et al. [2] lösen dieses Problem für Blicksteuerung mit einem zusätzlichen Gerät. In ihrer Lösung wird ein Paddel über ein Objekt bewegt mit dem interagiert werden kann. Die Sprachsteuerung ist dann für dieses Objekt aktiviert. Der Einsatz eines weiteren Gerätes ist in abgegrenzten Domänen praktikabel (wie z.B. Präsentation im Smart Office). Wenn der Smart Space jedoch Freihändigkeit erfordert, kann diese Lösung mit einem zusätzlichen Gerät nicht eingesetzt werden. Ein anderer Ansatz mit dem versucht wird den „Midas Touch“ zu unterbinden, wurde von Lee et al. [14] vorgestellt. Hier wird ein halber Augenschlag („half-blink“) genutzt, um eine Aktion einzuleiten beziehungsweise zu bestätigen. Diese Unterscheidung zwischen gewollten Interaktionen und Alltagsbewegungen wird zukünftig noch Forschungsgegenstand sein. Heutige Lösungen setzen auf das in den beiden Beispielen genannten Prinzipien, dass die Aktion gestartet wird, wenn entweder eine vorhergehende Aktion mit einem externen Gerät vollzogen wurde oder aber eine unnatürliche Geste wie z.B. der „half-blink“ vorausgegangen ist. Im Folgenden werden exemplarisch die Blicksteuerung, die Gestensteuerung und Brain-Computer-Interfaces näher beleuchtet mit denen ein multimodales User Interfaces gestaltet werden kann.

2.1.1 Blicksteuerung

Die Interaktion in Smart Spaces mittels Blicksteuerung ist eine Möglichkeit, freihändig mit Objekten zu interagieren und gleichzeitig schnell und intuitiv zu handeln. Durch verschiedene Trackingmethoden wird die Bewegung des Auges oder des Kopfes aufgezeichnet und in entsprechende Aktionen umgewandelt. Ein bewährter Ansatz ist es, das Blickfeld in Bereiche zu unterteilen und die Reihenfolge der tangierten Sektoren als Gesten zu interpretieren. Diese Folgen werden dann als Befehl interpretiert. Alternativ dazu kann durch explizite Fixation mit der Umgebung interagiert werden. Problematisch ist hier der bereits genannte „Midas-Touch“. Mit zusätzlichen Interaktionstechniken (vgl. [2]) oder dem „half-blink“ kann dieses Problem aufgelöst werden. Da die bewusste Augenmobilität in Fixation und Sakkaden von Mensch zu Mensch unterschiedlich ist, muss das Tracking der Bewegungen so präzise sein, um diesen Effekt zu erkennen und zu behandeln. Die Auswahl passender Kamera- und Erkennungstechnik sowie Algorithmen ist essentiell. Die verschiedenen Trackingtechnologien, die bei der Blicksteuerung eingesetzt werden, lassen sich in mobile und externe Systeme einteilen. Bei den mobilen Systemen wird auf Head-Mounted Eye Tracker gesetzt, die ein anwenderzentriertes Auswerten der Blickbewegungen mittels einer Kamera ermöglichen. Die Hardware die hierfür eingesetzt wird, ist bestenfalls klein, leicht und beeinträchtigt das Blickfeld des Benutzers nicht.

Eine weitere Art des mobilen Eye-trackings ist die Elektrokulografie (EOG). Das Abgreifen der Augenbewegung kommt hier ohne Kamera aus. Das Blickfeld des Nutzers wird also nicht durch eine Kamera eingeschränkt. Hier werden die durch den Augenmuskel erzeugten Spannungen mit Elektroden abgegriffen und in die entsprechende Bewegung übersetzt. Hier liegt der Vorteil in dem Wegfall einer Kamera die die Pupillen- beziehungsweise Augenbewegungen erfasst und somit ein eingeschränktes Blickfeld kein Problem ist. Ebenso ist in dunklen Umgebungen eine Erfassung ohne Probleme möglich [5]. Externe Systeme nutzen eine Augenkamera. Diese ist je nach Bauart entweder mechanisch beweglich (Pan-Tilt-System) oder fest montiert (Tilting-Mirror). Bei letzterem werden die Kopf- und Augenbewegungen durch bewegliche Spiegel erfasst und auf die Kamera geleitet. Ein weiterer Vertreter der externen Systeme sind Fixed-Camera-Geräte. Hier wird der Kopf fixiert und die Kamera auf diesen ausgerichtet.

Bei allen Systemen die Augenbewegungen mit Kameras erfassen, muss darauf geachtet werden, dass ein Abgreifen bei schlechten Lichtverhältnissen notwendig sein kann. Hier muss entsprechende Kameratechnologie eingesetzt werden. Zusätzlich zu Kameras zur Erfassung der Augenbewegung wird oft eine Blickfeldkamera eingesetzt, deren Bild genutzt wird, um Objekte zu erfassen, die einerseits vom User genutzt werden und auf die sich andererseits die Informationen beziehen, mit denen die Realität angereichert wurde.

In Smart Spaces hat die Blicksteuerung erhebliches Potential um AR Anwendungen zu steuern. Augenbewegungen sind in nahezu jedem Kontext abgreifbar und sind im öffentlichen Leben ohne Störungen der Mitmenschen einsetzbar. Problematisch ist der Midas-Touch der einerseits durch zusätzliche Geräte gelöst werden kann, andererseits auch durch Techniken wie den „half-blink“. Bei letzterem besteht aber immer noch die Gefahr, dass eine Aktion ungewollt ausgelöst wird.

Besonders für Menschen mit eingeschränkter Beweglichkeit kann diese Technik einen erhebliche Verbesserung der Lebensqualität bieten. Neben dem „Midas-Touch“ ist auch die immer noch ungenaue und gleichzeitig einfache und nicht-störende Erfassung der Pupillenbewegungen Forschungsgegenstand [12].

2.1.2 Gestenerkennung

Gesten sind seit je her eine Möglichkeit mit seiner Umwelt zu kommunizieren. Auch im Bereich der Augmented Reality und damit in Smart Spaces wird versucht Gestenerkennungssysteme zu nutzen um mit realen Objekten zu interagieren. Hierzu werden die Bewegungen von verschiedenen Körperteilen erfasst und ausgewertet.

Die technische Umsetzung der Bewegungserfassung kann mittels verschiedener Trackingtechnologien realisiert werden. Speziell die optischen Verfahren sind aufgrund der niedrigen Kosten von Videokameras und Speichermedien weit verbreitet [19]. Hier wird zwischen „inside-out“ und „outside-in“ Ansätzen unterschieden. Erstere haben die Kamera am Nutzer installiert und analysieren die Bewegungen. Bei „outside-in“ Systemen sind die Kameras nicht am Nutzer montiert und erfassen von außerhalb dessen Gesten. Elektromechanische oder magnetische Sensoren (z.B. in Controllern oder Daten-Handschuhen) werden ebenfalls zur Gestenerkennung genutzt.

Im Allgemeinen basiert die Auswertung auf zwei Kernkonzepten: Positionen und Bewegungsmustern. Bei ersterem wird die Stellung der Hand (oder der Finger) ausgewertet, bei letzterem die Bewegungsmuster die zu einer bestimmten Position führten. Auch beim Bewegungstracking muss die Anwendung unterscheiden können ob tatsächlich eine Aktion mittels Geste gestartet werden kann, oder aber ob die Bewegung aus einem natürlichen Zweck entstanden ist.

Bei markerbasierten Systemen achtet die Kamera nicht direkt auf die Bewegungen des Körpers sondern verfolgt die Muster von sogenannten Marken. Ein Marker kann zum Beispiel eine Farbmarkierung sein, auf die die Kamera achtet. Im Gegensatz zu den Datenhandschuhen ist diese Technik weniger störend, kommt aber dennoch nicht ohne zusätzliche Geräte aus. Die Kameras können einerseits extern angebracht sein (vgl. Kinect oder Wii) aber auch als mobiles Gerät funktionieren (vgl. Abb. 2).

Der Vorgang der Erkennung wird von Rautaray et. al [21] in drei Kernbereiche unterteilt:

1. Detektion
2. Tracking
3. Interpretation

Der erste Schritt besteht darin, dass das System das zu verfolgende Objekt erkennt und registriert. Im zweiten Teil wird das Objekt verfolgt. Der letzte und nicht weniger wichtige Schritt ist die richtige Interpretation der Daten die durch das Tracking zur Verfügung gestellt wurden [21]. Für jeden Teilbereich existieren verschiedene Ausprägungen die entsprechende Vor- und Nachteile in Genauigkeit, Performance

und Komplexität beziehungsweise Funktionsumfang besitzen. Ein Gestenerkennungssystem, das eine intuitive Inter-

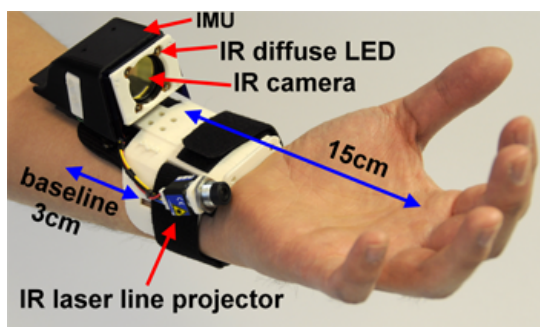


Abbildung 2: Mobiles Gestenerkennungssystem von Microsoft Research³

aktion in der Augmented Reality ermöglicht, kann einerseits mehrere Gesten im Allgemeinen und diese im Speziellen bei allen in der Domäne vorkommenden Verhältnissen erkennen. Hierunter fallen wechselnde Lichtverhältnisse aber auch Verdeckung. Bei mobilen Geräten, die Kameras nutzen, wird dieser Aspekt weitaus wichtiger als bei Systeme die in definierten Umgebungen wie Smart Factorys oder Smart Homes arbeiten. Hier können die Verhältnisse mehr oder weniger als konstant beziehungsweise erwartbar angenommen werden. Weiterhin muss auf die Performance der Erkennung geachtet werden. Eine Echtzeitverarbeitung und -erkennung ist in vielen Fällen wünschenswert da der Nutzer sofortiges Feedback erwartet. Wenn die Daten leicht verzögert ankommen ist eine angenehme und vor allem intuitive Nutzung nicht gegeben.

Zusammenfassend ist die richtige Auswahl der Technik und Algorithmen ist enorm wichtig. Ein weiterer Punkt der zu beachten ist, ist der Fakt dass Gestenerkennung Bewegungen wie zum Beispiel der Hand voraussetzt. In der Öffentlichkeit könnte dies von Gesellschaft als störend empfunden werden und den Einsatz behindern.

2.1.3 Brain Computer Interfaces

Die Umgebung per Gedanken steuern - was jetzt noch in den Bereich Science-Fiction fällt, könnte im Bereich der Augmented Reality Anwendungen bald Realität sein. Wie von [13] vorgeschlagen, können Brain Computer Interfaces (BCIs) nützliche Geräte im Bereich Mensch-Computer-Interaktion und damit auch im Bereich AR werden. Speziell für Menschen mit Behinderungen, zum Beispiel an Locked-In-Syndrom leidende Personen, profitieren von der Entwicklung solcher Interfaces da sie ihnen zusätzliche Interaktionsmöglichkeiten bieten (vgl. [26]). Goldberg et. al verweisen in [10] auf einen Anwendungsfall im Militär bei dem die Sicht eines Armeemitglieds je nach Wunsch angereichert wird. In [22] wurde ein System entwickelt, mit dem die Authentifizierung an einem Computer ermöglicht wurde. Diese und weitere Anwendungsfälle sowie Designentwürfe zeigen, das sich BCIs von Science-Fiction hin zu einem sich langsam etablierende User Interface wandeln. Wenn entsprechende Hard- und Software zur Verfügung steht, könnte umgebungsunabhängig mit

³<http://research.microsoft.com/en-us/news/features/uist2012-100812.aspx>

Objekten interagiert werden, die mittels AR mit Informationen angereichert sind. Falsch interpretierte Interaktionen wie der Midas-Touch wären bei einem perfekt funktionierendem und gut trainiertem System ebenfalls ausgeschlossen. Folgende vier wichtige Punkte werden hier kurz erläutert:

- Training
- Erfassung/Hardware
- Mustererkennung
- Interpretation

Da die Hirnaktivität eines jeden Menschen verschieden ist müssen viele Brain Computer Interfaces trainiert werden. Das heißt, richtige und falsche Befehlsmuster müssen im System hinterlegt werden. Mit diesen Daten wird eine spätere Interpretation von Daten möglich. Das Training kann zum Beispiel mit einem Trainingsdatensatz oder einem Kalibrationsprogramm geschehen. Zur Erfassung sind Elektroden notwendig, die die Potentialänderungen abgreifen. Diese müssen genau, sicher positioniert und günstig sein. Wie eingangs genannt, sind die Signale von Nutzer zu Nutzer unterschiedlich. Zudem besteht ein Signal nie direkt aus dem „gedachten“ Befehl sondern ist von anderen Signalen überlagert. Das BCI muss in der Lage sein, entsprechende Muster zu erkennen und dabei Artefakte, das heißt ungewünschte Signalanteile, zu ignorieren. Diese fertig vor-verarbeiteten Signale müssen dann interpretiert werden und lösen die entsprechende Aktion aus.



Abbildung 3: Designentwurf eines portablen BCI⁴

Abbildung 3 zeigt den Entwurf eines solchen Gerätes. Der momentane Stand der Technik ermöglicht es, einfache Computerspiele wie Pong zu steuern ([4]). Zukünftig könnten BCIs eine wichtige Rolle in Smart Spaces spielen da sie eine Freihandsteuerung ermöglichen die bei gutem Training genau und schnell benutzt werden kann. BCIs für die Interaktion mit realen Objekten in nahezu allen denkbaren Bereichen einsetzbar. Lichtverhältnisse oder Geräuschkulissen stören die Signalverarbeitung nicht. Es ist zu beachten, dass auch hier die Interfaces gesellschaftlich akzeptiert werden müssen, um Verbreitung zu finden. Es ist denkbar, dass

⁴<http://www.neurosky.com/>

der User Hemmungen hat, Geräte zu benutzen, die in seine Gedankenwelt eindringt[8]. Speziell im Bereich des Ambient Assistant Living könnten die BCIs dazu dienen, AR Anwendungen auch Menschen mit Behinderung zugänglich zu machen und deren Lebensqualität zu steigern. Alle genannten Umsetzungen sind jedoch von einfachstem Niveau. Weitere Forschung in allen Bereichen der BCI ist notwendig, um marktreife zu erlangen.

2.2 Tangible User Interfaces

Tangible User Interfaces (TUI) bezeichnen Benutzerschnittstellen bei denen reale Objekte zur Interaktion mit AR Anwendungen genutzt werden können. Die Veränderung und Steuerung der Informationen die angereichert werden, soll durch die Nutzung von realen und gewohnten Objekten, „Tangibles“, intuitiv gestaltet werden. Die Daten und ihre Repräsentation sollen „per Hand“ und in Übereinstimmung mit der Erfahrung des Nutzers verändert werden [8]. Die typische Sprachbarriere die GUIs zugrunde liegt, kann hier umgangen und aufgelöst werden. Aber auch hier spielen sozial- und kulturwissenschaftliche Aspekte bezüglich der Bedeutung von Objekten eine Rolle. Sie beeinflussen die Erwartungen an die angezeigten Informationen in Abhängigkeit des genutzten Objekts und der Manipulation an diesem [6]. Eine Möglichkeit, dieses Problem zu lösen könnte die Projektion von Hilfsinformationen sein [25]. In Forschungs- und Anwendungsarbeiten die dessen Ansatz verfolgen werden Informationen häufig direkt auf die Tangibles projiziert beziehungsweise in nächster Umgebung wie zum Beispiel einem Multi-Touch-Tisch dargestellt. Um eine Nutzung von Objekten zu ermöglichen, d.h. sie zur Steuerung der AR Anwendung zu nutzen, ist eine Markierung dieser notwendig. Mögliche technische Umsetzungen hierfür sind LEDs, RFID-Chips, Farbmarkierungen oder Barcodes.

Eine weitere Möglichkeit, präsentiert von Mistry et al. [17], ermöglicht es, nicht-präparierte Objekte zur Interaktion zu nutzen. Hierzu werden Objekte mittels einer Kamera identifiziert. Es können verschiedene Tangibles unterschieden werden und somit kann der Multi-User Einsatz ermöglicht werden. Als weiteres Feature kann die Kamera bestimmte Objekte identifizieren. Das System kann zum Beispiel erkennen, dass das aufgelegte Objekt ein Studentenausweis ist und dementsprechend Informationen anzeigen, die für Studenten interessant sein könnten. Nachteil solcher Lösungen ist, dass keine Kontextinformationen über die Identität und auch Historie des Users hinterlegt werden können, da das genutzte Objekt wechseln und nicht eindeutig wiedererkannt werden kann. Hier ist wieder eine Markierung mittels RFID-Chip oder eine vorherige Authentifizierung notwendig.

Nachdem Objekte beziehungsweise Tangibles vom System erkannt wurden müssen die Parameter abgefragt werden, von denen eine Aktion bzw. die Interaktion abhängt. Das können zum Beispiel Lage, Ausrichtung oder Bewegungsmuster sein. Dieses Tracking der Objekte geschieht durch zwei grundlegende Techniken. Marker- bzw. Sensorbasiert oder optisch [27]. Die vielen Realisierungen der ersten Kategorie haben Vor- und Nachteile. Zum Beispiel sind magnetisch getrackte Tangibles leicht aber störanfällig für durch andere elektrische Geräte [27]. Kameratracking identifiziert Objekte und verfolgt die Parameter mittels Grafikalgorithmen. Hier darf die Blickrichtung der Kamera nicht bezie-

hungsweise nicht lange verdeckt sein. Kurze Verdeckungen oder Überlagerungen können durch entsprechende Methoden aus dem Bereich Computer Vision kompensiert werden. Zusätzlich können beim optischen Tracking Farben als weiterer Parameter genutzt werden.

Die eigentliche Interaktion mit den Tangibles kann einerseits, wie bereits beschrieben, über spatiale Änderung geschehen, aber auch durch Gesten geschehen. Die spatiale Änderung wird häufig in Domänen eingesetzt, die eine direkten topologischen Bezug zwischen Objekt und Datenrepräsentation herstellen können. Hier sind zum Beispiel die Landschaftsplanung, Stadtplanung[24] oder Architektur zu nennen. Die Tangibles können Räume, Häuser oder Pflanzen repräsentieren. Werden die Objekte nun auf der Interaktionsfläche bewegt, ändert sich ein dargestelltes Bild oder eine 3D-Modell entsprechen der neuen Anordnung. Eine einfache und auch kollaborative Interaktion ist in solchen smarten Planungsumgebungen möglich.

Bei der Gestensteuerung wird die Bewegungsänderung aufgezeichnet und die Informationsdarstellung beziehungsweise Repräsentation dementsprechend angepasst. Hier ist zu beachten, dass immer die Bewegung des Tangibles erfasst wird und es keine Gesten sind die ohne den Einsatz von realen Objekten geschehen (Handschuhe, Marker an Fingern usw. sind auch im Bereich Tangibles einzuordnen). Kamerabasierte Gestensteuerung ohne Tangibles wurde in Kapitel 2.1.2 genauer beschrieben.



Abbildung 4: „Reactable“ - Musikproduktion mit Tangibles

Abbildung 4 zeigt ein System mit einem TUI (Reactable⁵ welches zur Musikproduktion verwendet wird. Die Objekte werden von Kameras erfasst, die unterhalb des Tisches angebracht sind. Entscheidend für die Software sind die Position, die Anordnung aller Objekte und welche Seite nach unten zeigt. Entsprechend dieser Parameter wird Musik erzeugt. Eine AR Lernumgebung die Tangibles verwendet und nach einem ähnlichen Prinzip funktioniert wurde von Patten et. al [20] vorgestellt.

Speziell in Domänen in denen die angereicherten Informationen sich auf räumliche Sachverhalte beziehen, sind TUIs zur Steuerung der Darstellungsform gut geeignet, da die Bewegungsmetapher gut umgesetzt werden kann. In Lern-

⁵<http://www.reactable.com/>

und Spielumgebungen, in denen die Tangibles Objekte repräsentieren die von AR Anwendungen angereichert werden, sind die TUIs ebenfalls gut anzusiedeln. In Domänen, die keine explizite räumliche Repräsentation zur Verfügung stellen (bspw. Ökonomie) ist es eine Herausforderung für die Forschung entsprechende Interaktionsmöglichkeiten zu schaffen die TUIs und AR vereint [9]. Als Fernbedienung für Services oder auf Displays angezeigte Informationen sowie 3D-Projektionen sind Tangibles ebenfalls gut geeignet. Hier kann mit vor-implementierten Gesten die Darstellung (z.b. Heranzoomen eines Bildausschnitts) bzw. die Serviceausführung (z.b. Lautstärke eines Audiostreams) gesteuert werden.

3. INFORMATIONS DARSTELLUNG UND PRÄSENTATION

Die Präsentation von digitalen Informationen ist neben der Interaktion der zweite Hauptbaustein von Augmented Reality Anwendungen. Jedes Objekt, das mit virtuellen Informationen angereichert werden kann, ist in der Anwendung registriert. Displaytechniken sind nun darauf angewiesen, diese Objekte zu erkennen und dementsprechende Informationen darzustellen. Folgende Abschnitte werden sich den eingesetzten Anzeigetechniken widmen und diese näher beschreiben sowie diskutieren. Notwendige Forschungsfelder und Zukunftsvisionen werden zusätzlich aufgezeigt. Es ist zu beachten, dass die Realität nicht nur mit Bildern angereichert werden kann, sondern auch mit Audioinhalten. Besonders für Menschen mit Sehbehinderungen (Ambient Assistant Living) aber auch in Domänen, in denen es nicht möglich ist, Bilder darzustellen, ist dies eine Möglichkeit, dem Nutzer Informationen zur Verfügung zu stellen.

Die visuelle Anreicherung von realen Objekten in der Augmented Reality ist stark verbreitet. Die dazu notwendigen Geräte lassen sich in die bereits genannten Klassen „Head Mounted Displays (HMD)“, „Spatial Augmented Reality Displays“ und „Handheld Displays“ einteilen.

3.1 Head Mounted Displays

Diese Kategorie von Displays nutzt Geräte, die der Nutzer als Helm, Brille oder Ähnlichem trägt. Die in der Augmented Reality verfügbaren Informationen werden auf Flächen an diesen Geräten projiziert. Um einen Einsatz zu ermöglichen, der den User nicht behindert müssen die Geräte leicht, die Darstellung präzise und die Verarbeitung echtzeitfähig sein. Um einen Einsatz im (privaten) Alltag akzeptabel zu machen, muss auch hier beachtet werden, dass sie modisch akzeptabel sind. Die Funktionsweise lässt sich in zwei Bereiche unterteilen, „video see-through“ und „optical see-through“. Abbildung 5 zeigt ein video see-through HMD. Hierbei wird die Umgebung mittels am Gerät montierten Kameras aufgezeichnet und mit den zusätzlichen digitalen Informationen auf einem Display im Inneren des Geräts angezeigt. Auffallender Nachteil solcher Geräte ist, dass die natürliche Interaktion mit der Umwelt durch ein eingeschränktes Blickfeld eingeschränkt wird. Weiterhin muss die Anreicherung und Darstellung der virtuellen genauso wie der realen Informationen in Echtzeit vollzogen werden.

Die zweite Kategorie, optical see-through Displays, umgeht

⁶<http://sensics.com/>



Abbildung 5: xSight HMD by Sensics, Inc.⁶

diese Probleme indem nur die digitalen Informationen projiziert werden. Hierfür ist vor dem Sehbereich des Nutzers ein durchsichtige Projektionsfläche angebracht, durch das die reale Welt wahrgenommen werden kann, auf dass aber gleichzeitig die zusätzlichen Informationen aus der Augmented Reality projiziert werden. Abbildung 6 zeigt das promi-

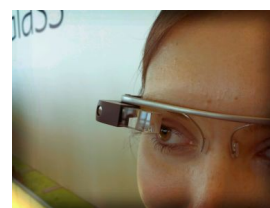


Abbildung 6: Googles Project Glass⁷

nente und aktuelle Beispiel „Project Glass“ von Google. Die Umgebung wird durch die Brille wahrgenommen. Zusätzliche Daten werden auf einem Display dargestellt (Bildmitte). Weitergehende Ansätze gehen dahin, dass hierfür Kontaktlinsen genutzt werden könnten, um die Daten darzustellen[15]. Diese wären kaum sichtbar und würden noch weniger im Alltag stören (bei entsprechender Verträglichkeit). Ein Nachteil der optical see-through Technik ist, dass die Projektion beziehungsweise die Qualität der Projektion abhängig von den Umgebungsbedingungen ist. Helles Licht aber auch starker Kontrast in der realen Welt kann eine ausreichend gute Projekten erschweren wenn nicht sogar verhindern.

3.2 Spatial Augmented Reality

„Spatial Augmented Reality“ verzichtet darauf, die digitalen Daten direkt in den Sehbereich des Nutzers zu integrieren. Hier werden Video-Projektoren oder Hologramme in Verbindung mit Tracking Technologien genutzt um die Daten direkt auf realen Objekten darzustellen. Vorteil dieser Technik ist, dass der Nutzer kein zusätzliches Gerät wie eine Brille tragen muss. Abbildung 7 zeigt eine Anwendung der SAR die Video Projektoren nutzt und Architekturdetails auf ein Objekt projiziert. Vorteile dieser Technik liegt darin, das mehrere Nutzer gleichzeitig die digitalen Informationen sehen können. Zu beachten ist, dass die Projektionen beziehungsweise Hologramme Blickwinkel abhängig sein können und der Mehrbenutzerbetrieb dadurch eingeschränkt wird.

3.3 Handhelds

Neben den genannten Input- und Outputdevices wie Datenbrillen oder Tangibles bleibt noch die große Gruppe der

⁷<https://plus.google.com/+projectglass/>

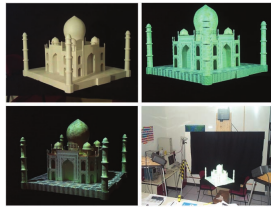


Abbildung 7: ShaderLamps with Taj Mahal[3]

Tablets und Smartphones oder allgemein Handhelds zur Betrachtung übrig. Durch die breite Verbreitung dieser Geräte in Verbindung mit der guten technischen Ausstattung sind sie sehr gut dazu geeignet, Augmented Reality Anwendungen zum Durchbruch zu verhelfen.

Durch die Trackingtechnologien (Drahtlosnetzwerk-Triangulation oder GPS), die hohe (und steigende) Rechenleistung und die serienmäßig eingebauten Kameras besitzen sie alles was notwendig ist, um mit Objekten zu interagieren die mit Informationen aus der Augmented Reality verbunden sind.

Es ist sowohl die Interaktion (Touchscreen, Kamera für Gestenauswertung, Positionsdatenauswertung, Sprachsteuerung via Mikrophon aber auch Tangible) als auch das Abrufen von Informationen (video see-through, Lautsprecher bzw. Kopfhörer für Audioinformationen) möglich. Smartphones mit ihrer Fülle an Sensoren würden sich auch anbieten, um als Tangibles zu fungieren. Eine eindeutige Identifikation kann realisiert werden, ebenso ist Lage-, Richtungs- und Positionssensorik und die notwendigen Schnittstellen zu Kommunikation vorhanden.

Weitere Geräte die eventuell notwendig sind, um andere Interaktionstechniken zu nutzen (z.B. portables EEG oder EOG-Brille) können ebenfalls über die serienmäßig vorhandenen Schnittstellen angebunden werden. Weiterhin sind diese mobilen Geräte gesellschaftlich akzeptiert und können in nahezu allen Lebenslagen eingesetzt werden. Es existieren bereits AR-Anwendungen in Form von AR Browsern für Smartphones. Durch die Verbreitung und Leistung können viele Objekte angereichert werden und die Informationen mittels dieser Geräte abgerufen werden. Die Interaktion mit realen Objekten kann hier einfach und unkompliziert erfolgen.

4. RELATED WORK

Es existieren viele Studien, die sich mit Augmented Reality Techniken beschäftigen. Grundlagenarbeit im Bereich der Klassifizierung leisteten Milgram et al. [16] und Azuma et al. [1]. „The Handbook of Augmented Reality“ [8] gibt einen guten und auch breiten Überblick über das gesamte Gebiet ohne zu detailliert zu werden. Einzelne Fallbeispiele werden genannt und beschrieben. Carmigniani et. al [6] bieten ebenfalls einen guten Überblick über die vorhandenen Techniken. In [2] und [11] und werden verschiedene Interaktionstechniken mit ihrer Funktionsweise vorgestellt. [27] zeigt Trends und die Entwicklung im Bereich Augmented Reality bezogen auf Displays, Tracking und Interaktion auf.

5. CONCLUSION

In einer Welt, in der Alltagsgegenstände immer mehr miteinander vernetzt sind, in der Sensoren und Aktoren allgegenwärtig sind beziehungsweise sein können und elektronische Geräte wie Tablets und Smartphones weit verbreitet sind, kann die Augmented Reality in enormem Maße dazu beitragen, die Lebensqualität zu steigern und den Umgang mit Informationen sowohl im privaten als auch im geschäftlichen Umfeld zu erleichtern. Hier wurden nach einer kurzen Einführung Interaktions- und Anzeigetechniken vorgestellt und somit ein Überblick über das Feld der Augmented Reality Technologien geschaffen.

Die unter Kapitel 2 genannten Techniken wie Blick- und Gestensteuerung, aber auch zukünftige Brain Computer Interfaces, sind dazu geeignet, in AR Anwendungen eingesetzt zu werden. Bei allen genannten UIs ist die Genauigkeit und Echtzeitreaktion wichtig um dem Nutzer ein unmittelbares und vor allem das erwartete Feedback zu garantieren. Zudem muss der „Midas Touch“, vermieden werden. Die Gestensteuerung erfordert ein genaues Tracking der Bewegungen sowie gute Algorithmen zur Interpretation dieser. Besonderes Augenmerk ist hier auf die verwendete Technologie zu legen da hier entscheidende Vor- und Nachteile liegen, die der Domäne entsprechend entscheidend sind. Das genaue Tracking ist auch bei der Blicksteuerung und der damit einhergehenden Aufzeichnung der Augenbewegung wichtig. Hier haben sich bisher optische Verfahren verbreitet, die Elektrookulografie kann eine Alternative sein. Zudem muss beachtet werden, dass ein optisches Tracking ohne spezielle Hardware nur bei ausreichend guten Lichtverhältnissen möglich ist. Brain Computer Interfaces als mögliche zusätzliche Interaktionsform erfordern eine sehr gute Signalverarbeitung in den Bereichen Erfassung, Vorverarbeitung, Merkmalsextraktion und Klassifikation. Ein Training des Geräts auf den Nutzer kann erforderlich sein um eine ausreichend gute Genauigkeit herzustellen. Wichtig ist bei der Konzeption einer Anwendung die Domäne in der sie eingesetzt werden soll. Hiernach richtig sich die Auswahl des oder der richtigen beziehungsweise passenden User Interfaces.

Bei den verschiedenen Systemen zur Darstellung der Informationen (vgl. Kapitel 3) aus der Augmented Reality spielt bisher die visuelle Präsentation der Daten eine Vorreiterrolle. Mittels verschiedener Displaytechniken werden Bilder zur Verfügung gestellt. Hier wurden Head Mounted Displays mit den beiden Klassen video see-through und optical see-through, die Spatial Augmented Reality and Handhelds vorgestellt. Bei HMDs mit optical see-through ist die Darstellungsqualität stark von der Umgebung abhängig. Klare Projektionen und auch eine eventuell sich dem Blickfeld anpassende Position der Information sind erforderlich. Bei video see-through besteht das Blickfeld komplett aus digitalen Informationen was eine Überlagerung mit Zusatzinformationen einfacher macht. Eine gute Auflösung der Displays und Kameras sowie eine Echtzeitverarbeitung ist hier essentiell um nicht zu schlechter bis hin zu gefährlicher Interaktion zu führen. Die Spatial Augmented Reality mit den Projektionen und Hologrammen ist blickwinkelabhängig. Hier sind gute Projektionstechniken notwendig. Handhelds mit ihrer Fülle von Technik können gut als optical see-through Displays genutzt werden. Auch hier ist für eine angenehme Interaktion die Echtzeitfähigkeit notwendig.

In allen Bereichen, sowohl Interaktion als auf Präsentation ist Forschungs- und Entwicklungsarbeit notwendig, um die Augmented Reality zur Marktreife zu bringen.

6. REFERENCES

- [1] R. Azuma. A survey of augmented reality. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 4(August):355–385, 1997.
- [2] M. Billinghurst, H. Kato, and S. Myojin. Advanced Interaction Techniques for Augmented. pages 13–22, 2009.
- [3] O. Bimber, R. Raskar, and M. Inami. *Spatial augmented reality*. Wellesey, Mass, 2005.
- [4] B. Blankertz, G. Dornhege, M. Krauledat, K.-r. Müller, V. Kunzmann, and F. Losch. The Berlin Brain – Computer Interface : EEG-Based Communication Without Subject Training. 14(2):147–152, 2006.
- [5] A. Bulling, D. Roggen, and G. Tröster. Wearable EOG goggles: eye-based interaction in everyday environments. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, pages 157–171, 2009.
- [6] J. Carmigniani, B. Furlht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani, and M. Ivkovic. Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1):341–377, Dec. 2010.
- [7] B. Dumas, D. Lalanne, and S. Oviatt. Multimodal interfaces: A survey of principles, models and frameworks. *Human Machine Interaction*, pages 1–25, 2009.
- [8] B. Furht. *Handbook of augmented reality*. Springer, 2011.
- [9] L. Garber. Interfaces : Technology You Can Touch. *Computing Now*, 45:15–18, 2012.
- [10] D. Goldberg and R. Vogelstein. Toward a wearable, neurally-enhanced augmented reality system. *Proceeding FAC'11 Proceedings of the 6th international conference on Foundations of augmented cognition: directing the future of adaptive systems*, pages 493–499, 2011.
- [11] W. Hürst and C. V. Wezel. Multimodal Interaction Concepts for Mobile Augmented Reality Applications. pages 157–167, 2011.
- [12] A. Hyrskykari, H. Istance, and S. Vickers. Gaze gestures or dwell-based interaction? *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, (2010):229–232, 2012.
- [13] J. C. Lee and D. S. Tan. Using a low-cost electroencephalograph for task classification in HCI research. *Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '06*, page 81, 2006.
- [14] J.-y. Lee, H.-m. Park, S.-h. Lee, T.-e. Kim, and J.-s. Choi. Design and Implementation of an Augmented Reality System Using Gaze Interaction. *2011 International Conference on Information Science and Applications*, pages 1–8, Apr. 2011.
- [15] a. R. Lingley, M. Ali, Y. Liao, R. Mirjalili, M. Klonner, M. Sapanen, S. Suikkonen, T. Shen, B. P. Otis, H. Lipsanen, and B. a. Parviz. A single-pixel wireless contact lens display. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 21(12):125014, Dec. 2011.
- [16] P. Milgram and H. Takemura. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Proceedings of Telem manipulator and Telepresence Technologies*, 2351:282–292, 1994.
- [17] P. Mistry, T. Kuroki, and C. Chang. TaPuMa: tangible public map for information acquirement through the things we carry. *Proceedings of the First International Conference on Ambient Media and Systems*, 2008.
- [18] K. Navarro. Wearable, wireless brain computer interfaces in augmented reality environments. *International Conference on Information Technology: Coding and Computing, 2004. Proceedings. ITCC 2004.*, (1):643–647 Vol.2, 2004.
- [19] G. Papagiannakis. A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. *Computer Animation And Virtual Worlds (2008)*, pages 3–22, 2008.
- [20] J. Patten, H. Ishii, J. Hines, and G. Pangaro. Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interfaces. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 253–260, 2001.
- [21] S. S. Rautaray and A. Agrawal. Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey. *Artificial Intelligence Review*, Nov. 2012.
- [22] D. Schmalstieg, A. Bornik, G. Müller-Putz, and G. Pfurtscheller. Gaze-directed ubiquitous interaction using a Brain-Computer Interface. *Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference on - AH '10*, pages 1–5, 2010.
- [23] K. Simsarian and K. Akesson. Windows on the world: An example of augmented virtuality. *Interfaces*, 1997.
- [24] J. Underkoffler and H. Ishii. Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human . . .*, 1999.
- [25] S. White, L. Lister, and S. Feiner. Visual hints for tangible gestures in augmented reality. *2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 1–4, Nov. 2007.
- [26] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 113(6):767–91, June 2002.
- [27] F. Zhou, H. Duh, and M. Billinghurst. Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. *2008 7th IEEEACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 193–202, Sept. 2008.