



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Mobiles Wrapped Prototyping für Mixed-Realities

Raimund Wege

AW1 Ausarbeitung

Raimund Wege

AW1 Ausarbeitung

Mobiles Wrapped Prototyping für Mixed-Realities eingereicht im Rahmen der AW1 Ausarbeitung

im Studiengang Master of Science Verteilte Systeme
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Birgit Wendholt

Eingereicht am: 25. Juli 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziele	2
1.3	Gliederung	3
2	Grundlagen	4
2.1	Mixed-Reality	4
2.2	Entwicklungsumgebungen und Tools	5
2.3	Hardware	5
3	Technologien	6
3.1	Touch und Gestenerkennung	6
3.2	3D-Rekonstruktion	6
3.3	Head-Tracking	7
4	Bisherige Arbeiten	8
4.1	Publikationen	8
4.2	Arbeitsgruppe	9
4.3	Konferenzen	9
5	Ausblick	10
5.1	Einsatzmöglichkeiten	10
5.2	Risiken	10
5.3	Weiteres Vorgehen	11

1 Einleitung

1.1 Motivation

In naher Zukunft könnte sich in vielen Haushalten, neben einem einfachen Drucker für Dokumente, auch ein 3D-Drucker befinden, mit dessen Hilfe sich z.B. Ersatzteile für den heimischen Gebrauch reproduzieren lassen. Doch ein 3D-Drucker bietet einem auch die Gelegenheit selbst kreativ zu werden und eigene, zum Teil sogar mechanische Bauteile bzw. Geräte zu erschaffen. Bislang wird hierfür der Umgang mit komplexen 3D-Editoren wie z.B. CAD, Blender, Cinema4D oder Maya3D vorausgesetzt. Damit es in Zukunft einfacher wird eigene 3D-Objekte herzustellen, wäre eine intuitive Umgebung wünschenswert, die sich zudem leicht überall mit hinnehmen ließe und die es durch eine Augmented-Reality (AR) Brille ermöglicht das Objekt innerhalb einer Mixed-Reality dort zu modellieren, wo es später auch einmal eingesetzt werden soll.

Wie begehrt die Weiterentwicklung von Mixed-Realities ist, hat sich in den vergangenen Monaten durch den Aufkauf vieler namenhafter Firmen gezeigt, die seit Jahren auf diesem Gebiet forschen. Unter anderem hat Facebook den Virtual-Reality (VR) Brillen Hersteller Oculus Rift gekauft [gua14] und Apple hat sich erweitert durch die Übernahme von PrimeSense, die bereits für die Entwicklung der ersten Microsoft Kinect verantwortlich waren. Google ist ebenfalls stark vertreten durch die AR Brille Google Glasses und das sehr interessante Project Tango [ATA14], wobei es sich um ein Smartphone- und Tablet-Projekt von Google's Advanced Technology and Projects Group handelt. Der dabei entstandene Prototyp ist ein Android-Smartphone ähnliches Gerät, das die eigene 3D-Bewegung erfasst und in der Lage ist ein Modell der gesamten Umgebung zu erstellen.

1.2 Ziele

Innerhalb des Master-Studiums wird ein 3D-Editor entwickelt, mit dessen Hilfe es möglich sein soll, eigene 3D-Objekte zu erzeugen und zu modellieren. Damit sie anschließend anderen Mixed-Reality Anwendungen zur Verfügung gestellt werden können oder um sie auch einfach nur auszudrucken. Die Steuerung der Umgebung soll durch möglichst intuitive Befehle, Gesten und Werkzeuge umgesetzt werden.

Die Umgebung könnte geschaffen werden durch ein Tablet, das der Anwender vor sich auf einer Oberfläche platziert. Das Tablet wird ausgestattet mit einem 3D-Sensor, wobei der Sensor auf den Anwender ausgerichtet wird. Der 3D-Sensor wird benötigt um die Position und die Bewegungen bzw. die Gesten des Anwenders zu erfassen. Über dem Tablet wird durch die Verwendung einer AR oder VR Brille eine Virtuelle Realität geschaffen, in die der Anwender durch seine Hände mittels Gesten und durch die Touch-Oberfläche des Tablets eingreifen können soll. Ein Smartphone könnte die Umgebung ergänzen, in dem es bei bestimmten Bearbeitungsschritten ein passendes Werkzeug anbietet, wie z.B. eine Material- oder Farbpalette zur Bestimmung der Oberflächen-Beschaffenheit des 3D-Objekts. Der Aufbau wird in Abbildung 1.1 dargestellt.

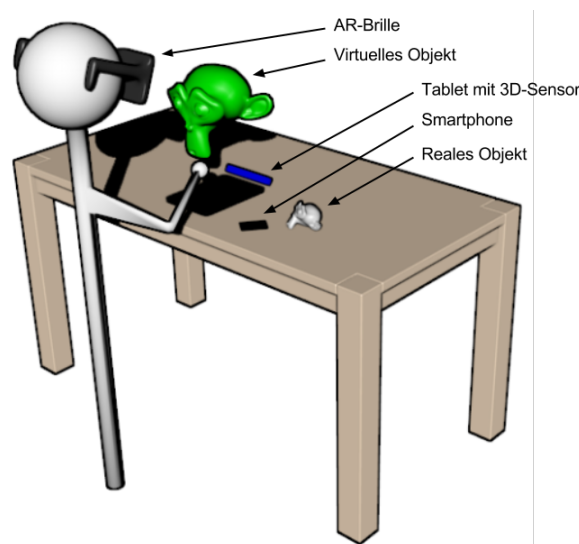


Abbildung 1.1: Möglicher Aufbau der mobilen Arbeitsumgebung

Die notwendigen Schritte, die für das Erschaffen eines neuen virtuellen Objekts durchgeführt werden könnten, sind in Abbildung 1.2 skizziert. A) Für den ersten Schritt werden zwei Lego Bausteine, die später miteinander verbunden werden sollen, eingescannt und in den virtuellen Raum projiziert. B) Anschließend werden die Objekte im virtuellen Raum durch den Anwender mit Hilfe von Gesten so ausgerichtet, wie sie später in der Realität durch ein neues Bauteil zusammengehalten werden sollen. Für das neue Bauteil wird zunächst eine einfache Plane unter den angeordneten Bauteilen erzeugt. C) Danach wird die Plane in diesem Szenario auf der Y-Achse gestreckt, um eine Box zu erzeugen, die beide Objekte erfasst. D) Zuletzt werden die eingescannten Bauteile aus der nun entstandenen Box entfernt, wodurch ein neues Bauteil erschaffen wurde, das durch einen 3D-Drucker in die Realität geholt werden kann.

Ein Ansatz, um neue Objekte zu erschaffen, ist die Hinzunahme der Touch-Oberfläche des Tablets. So könnte der Anwender beispielsweise die Plane aus dem vorherigen Szenario erzeugen, in dem er ein einfaches Rechteck auf dem Touchscreen zeichnet, und es anschließend über dem Tablet erscheint.

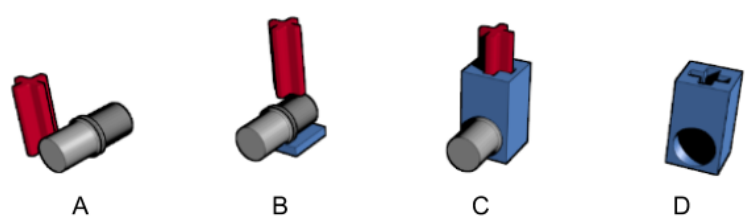


Abbildung 1.2: Mögliche Arbeitsschritte für die Erzeugung eines neuen 3D-Objekts

1.3 Gliederung

In Kapitel 2 werden die „Grundlagen“ näher erläutert und es werden mögliche Entwicklungsumgebungen und evtl. benötigte Hardware vorgestellt. Für die Realisierung müssen viele Teil-Disziplinen der Informatik miteinander verbunden werden, wie z.B. die Gestenerkennung für die Objekt-Modellierung und das Head-Tracking für eine präzise Projektion. Einen Überblick der notwendigen Technologien bietet daher Kapitel 3 „Technologien“. „Bisherige Arbeiten“ werden in Kapitel 4 vorgestellt, wozu auch die Vorstellung der HAW Arbeitsgruppe I²E (Immersive Interactive Environments) zählt. Schließlich wird in Kapitel 5 „Ausblick“ auf mögliche Einsatzgebiete, Risiken und das weitere Vorgehen innerhalb der Projektphase eingegangen.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel bietet einen groben Überblick über die Thematik Mixed-Realities, in dem es die Abgrenzungen zwischen der Realen und Virtuellen-Welt näher erläutert. Des Weiteren werden Entwicklungsumgebungen und Tools vorgestellt, sowie Hardware, die verwendet werden könnte, um den 3D-Editor zu entwickeln.

2.1 Mixed-Reality

Unter Mixed-Reality, bzw. Gemischte Realität, werden Umgebungen und Systeme zusammengefasst, die die reelle physische Welt mit einer virtuellen Realität vermischen. Neben einer rein virtuellen Realität sind dies insbesondere Systeme der erweiterten Realität und der erweiterten Virtualität. Dieses Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum ist in Abbildung 2.1 grafisch dargestellt. Der Begriff Mixed-Reality wurde geprägt durch Paul Milgram, der es wie folgt definiert [MK94]:

“The most straightforward way to view a Mixed Reality environment, therefore, is one in which real world and virtual world objects are presented together within a single display, that is, anywhere between the extrema of the virtuality continuum.”

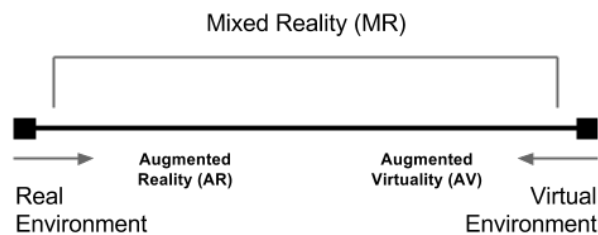


Abbildung 2.1: Mixed-Reality

2.2 Entwicklungsumgebungen und Tools

Auf mobilen Geräten finden intensive Grafikberechnungen derzeit mit Hilfe des Industriestandards OpenGL Embedded Systems (ES) ab Version 2.0 statt, wodurch auch Grafik Shader unterstützt werden. Eine gute Referenz zu diesem Thema ist ein Nachfolger des Orange Books, welches auf die Besonderheiten von OpenGL ES 2.0 eingeht [MGS09]. Bekannte Frameworks bzw. Engines, die auf OpenGL aufbauen und für die Realisierung verwendet werden könnten, sind Unity3D, libGDX und die Unreal Engine. Alle Frameworks bzw. Engines sind Cross-Plattform mächtig und somit auch auf mobilen Plattformen verfügbar und im Rahmen der Master-Thesis kostenlos einsetzbar.

2.3 Hardware

Für die Realisierung werden neben einem gängigen Tablet und evtl. einem Smartphone auch Sensoren zur Erfassung, und Projektoren zur Darstellung von 3D-Informationen benötigt. Die Erfassung von 3D-Informationen hat in vielen Haushalten bereits durch Microsofts Kinect stattgefunden und ab August 2014 wird mit dem StructureIO Sensor auch der Smartphone-Markt mit einem 3D-Sensor versorgt. Die Verbreitung von AR und VR Brillen befindet sich jedoch noch auf dem Vormarsch. Während die VR Brille Oculus Rift bereits eine grafisch sehr überzeugende virtuelle Realität bietet, halten sich Hersteller von AR Brillen, wie beispielsweise der Hersteller META [Met14] noch sehr bedeckt und verschieben regelmässig den Veröffentlichungstermin nach hinten.

3 Technologien

3.1 Touch und Gestenerkennung

Die Modellierung der 3D-Objekte soll durch eine Kombination aus Touch-Gesten, die auf dem Tablet ausgeführt werden können, und durch Hand-Gesten erfolgen, die mit einem an das Tablet angeschlossenen 3D-Sensor erfasst werden. Für die Hand-Gestenerkennung wird auf ein Teilergebnis aus der Arbeitsgruppe I²E, die im nächsten Kapitel vorgestellt wird, zurückgegriffen. Alternative zu einem 3D-Sensor wäre auch ein Sensor denkbar, der sich an der Hand des Anwenders befindet. Ein solcher 3D-Touch Sensor wird beschrieben in [NB14].

3.2 3D-Rekonstruktion

In dem Szenario aus dem ersten Kapitel wurde erwähnt, dass reale Objekte eingescannt werden können, um sie in der virtuellen Welt zu verwenden. Das Einscannen könnte mit einer Tiefenbildkamera erfolgen. Während Tiefenbildkameras nicht konzeptionell neu sind, so hat es die Kinect jedoch ermöglicht, dass jeder nun Zugang zu dieser Technologie bekommen hat. In Anbetracht der Qualität und der geringen Kosten, sowie der Echtzeit-Fähigkeit des Sensors, ist er für viele Forscher und Enthusiasten verlockend geworden. Dadurch gewann der Sensor schnell an Popularität. Die Kinect Kamera verwendet die sogenannte Structured Light Technique, um in Echtzeit eine Tiefen-Karte zu erzeugen.

Diese Daten können als ein Set von diskreten 3D-Punkten oder auch in Form von Punktwolken anschließend reproduziert werden. Tiefenmessungen schwanken für gewöhnlich sehr stark und es kann dazu führen, dass sich Löcher auf der Oberfläche bilden können, Genau dort wo keine Messwerte abgelesen werden konnten. Die Kinect kann dies im Vergleich zu anderen Tiefenbildkameras allerdings recht gut kompensieren. Damit ein 3D Model für Anwendungen wie z.B. Spiele, Physiksimulationen oder CAD verwendet werden kann, wird eine hoch aufgelöste Oberflächen Geometrie benötigt, die von den Rauschbehafteten 3D-Punkt Daten abgeleitet werden können. Ein einfacher Ansatz macht dafür strenge Annahmen über die Verbundenheit von benachbarten Punkten, jedoch entsteht auf diese Weise nur ein Mesh mit geringer Qualität. Des Weiteren wird auf diese Weise auch nur ein Objekt erzeugt, dass von

einem bestimmten Ansichtspunkt als vollständig betrachtet werden kann. Daher ist es von der Natur der Sache her notwendig, dass das Objekt aus verschiedenen Ausgangspunkten aufgenommen werden muss und am Ende alle Aufnahmen in einem Mesh zusammengeführt werden [IKH⁺11].

3.3 Head-Tracking

Damit die Szene stets aus der richtigen Perspektive gerendert wird und es bei einer schnellen Kopfbewegung nicht zu einer falschen Transformation der virtuellen Objekte kommt, ist es notwendig jederzeit und das möglichst genau die Position des Kopfes bestimmen zu können. Dies könnte durch Head-Tracking realisiert werden. Zur Unterstützung könnte ein Beschleunigungssensor, sowie ein Gyroscope herangezogen werden, welche sich idealerweise in der AR Brille befinden. Sofern die AR Brille auch über eine Kamera bzw. einen 3D-Sensor verfügt, könnte auch das Tablet auf dem Tisch erkannt werden. Anhand des Umrisses könnte dann der Blickwinkel bestimmt werden.

4 Bisherige Arbeiten

Durch neueste Entwicklungen auf den Gebieten der Natural User Interfaces [ZLP⁺13] und Computer Vision wie Online 3D Rekonstruktion [KLL⁺13] und 3D Markerless Motion Tracking [SSK⁺13] erlebt das Forschungsgebiet “Mixed-Realities” heute eine Renaissance. In Kombination mit aktuellen Technologien wie See-Through-Brillen und -Displays [HKI⁺12], Tiefen- und Bewegungssensoren [CLWP13] lassen sich mit vergleichsweise einfacher Ausstattung innovative Lösungen entwickeln. Einen großen Überblick über den derzeitigen Stand und die zukünftige Entwicklung von virtuellen Welten bietet [DIG13].

4.1 Publikationen

Die Umsetzung einer platzgebundenen Mixed-Reality-Umgebung zur Fertigung von 3D-Objekten wird beschrieben in [WLK⁺14]. Dabei handelt es sich um einen funktionsfähigen Prototypen, der mit einer Kinect, einem See-Through-Display und einem kleinen Drehteller in einem Gestell zusammengefasst ist. Die Kinect wird dabei verwendet um einerseits die Gesten des Anwenders zu erfassen und andererseits um Objekte die auf den Drehteller gestellt werden ein zu scannen. In Abbildung 4.1 wird dargestellt, wie durch einfache Gesten ein Büro-Artikel gestaltet werden kann.

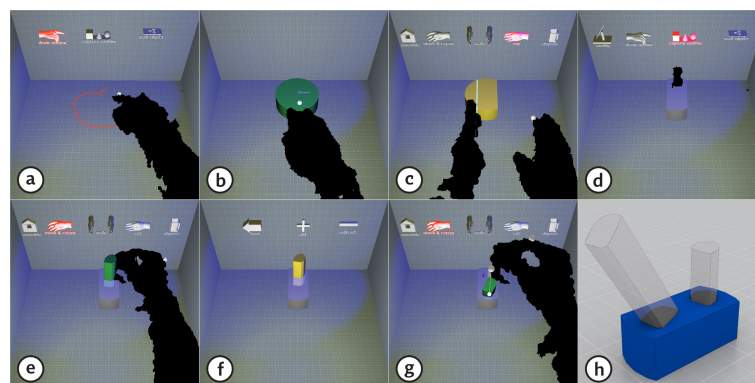


Abbildung 4.1: MixFab: Walkthrough

4.2 Arbeitsgruppe

Die Entwicklung der mobilen Mixed-Reality-Umgebung wird im Rahmen der HAW-Arbeitsgruppe I²E (Immersive Interactive Environments) stattfinden. Innerhalb dieser Arbeitsgruppe entsteht ein kollaborativer Arbeitstisch mit dessen Hilfe es Anwendern möglich gemacht werden soll an unterschiedlichen Orten gleichzeitig an einem oder mehreren virtuellen Objekten zu arbeiten (siehe Abbildung 4.2).



Abbildung 4.2: Ein kollaborativer Arbeitstisch

4.3 Konferenzen

Da bereits seit Jahren an der Entwicklung von Mixed-Realities und an dem Thema der Mensch-Computer-Interaktion gearbeitet wird, gibt es ein entsprechend breites Feld an Publikationen, Arbeitsgruppen und Konferenzen. Die wichtigsten Special Interest Groups sind die SIGCHI für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine, sowie die SIGGRAPH für die Entwicklung von Algorithmen zur Erzeugung von Computer-Grafiken.

5 Ausblick

5.1 Einsatzmöglichkeiten

Der zu entwickelnde Editor könnte in sehr vielen Bereichen des privaten und industriellen Modellbaus eingesetzt werden, um bereits existierende Modelle zu ergänzen, zu reparieren oder ein komplett neues Modell bzw. Mockup für eine bereits existierende Szene zu erschaffen. Sollten die Modelle nicht ausgedruckt werden, so könnten sie dennoch in anderen Anwendungen, in Spielen oder auch in der Kunst wie z.B. in einem Animationsfilm verwendet werden.

5.2 Risiken

Es gilt einige Risiken zu beachten, die während der Realisierung auftreten könnten. Dazu gehören zum einen die Abhängigkeiten innerhalb der Arbeitsgruppe, wie beispielsweise die Entwicklung der Gestenerkennung, als auch der eventuelle Ausfall von Hardware oder die erneute Verschiebung von Veröffentlichungsterminen benötigter Hardware. Dies betrifft besonders die Anschaffung einer geeigneten AR Brille. Im Ernstfall könnte hier auf die Open Source VR Brille Open Dive zurückgegriffen werden, wofür innerhalb der AW1 Veranstaltung bereits ein funktionsfähiger Prototyp aus Lego gebaut wurde. Allerdings hat eine VR Brille die Einschränkung, dass Informationen nur durch zwei bzw. bei der Open Dive nur durch einen kleinen Bildschirm, der sich direkt vor den Augen des Anwenders befindet, wahrgenommen werden können und dient daher nur bedingt. Eine VR Brille könnte zwar durch eine Kamera auch äußere Eindrücke aufzeichnen und sofort wiedergeben, aber dies stellt einen zusätzlichen Rechenaufwand dar und trägt durch die Verzerrte Wahrnehmung dazu bei, dass dem Anwender unwohl bzw. übel werden kann. Der Aspekt des Unwohlseins ist ohnehin noch ein bekanntes Problem, dass bei einigen Anwendern bereits nach wenigen Minuten auftritt. Ursachen hierfür sind z.B. auch eine zu langsame Transformation von virtuellen Objekten, bei einer schnellen Kopfbewegung. Während der Entwicklung des Editors muss daher auch auf eine sehr schnelle Reaktion und eine hohe Bildwiederholfrequenz geachtet werden. Dies führt wiederum zu einer hohen CPU/GPU Last und wirkt sich negativ auf die Laufzeit des Akkus aus. Ebenfalls negativ wirkt sich der 3D-Sensor auf den Akku aus sofern dieser über keinen eigenen verfügt.

Weiterhin steht und fällt die Qualität der zu entwickelnden Umgebung mit der Leistung der verwendeten Hardware. Infrarot basierende 3D-Sensoren haben bei direktem Tageslicht eine geringe bis keine Funktion mehr, aufgrund des zu hohen Anteils von Infrarotstrahlung im Sonnenlicht.

5.3 Weiteres Vorgehen

Zu Beginn der ersten Projektphase wird die notwendige Hardware zusammengestellt und ein Entschluss darüber getroffen, welche Laufzeitumgebungen verwendet werden und mit welchen Frameworks bzw. Engines gearbeitet werden soll. Der Prototyp sollte am Ende der Projekt 1 Veranstaltung in der Lage sein, durch eine entsprechende Brille, vorzugsweise eine AR Brille, ein virtuelles Modell über dem Tablet erscheinen zu lassen. Das bedeutet, es muss an einer Kalibrierung gearbeitet werden, die eine flüssige Darstellung der virtuellen Szene über dem Tablet ermöglicht. Als Eingabeparameter für die Kalibrierung dienen unter anderem die Daten des 3D-Sensors am Tablet und möglicherweise die Daten von einem Gyroscope, einem Accelerometers und einen weiteren 3D-Sensor. Diese Sensoren befinden sich im Idealfall direkt in der AR Brille.

Es gilt also, auf Basis einer Hardware-Komponente (AR Brille) einen 3D-Editor für eine Mixed-Reality zu entwickeln, der es einem Benutzer ermöglicht, per Gestensteuerung und Touch-Interaktion (z.B. auf einem Tablet) 3D-Modelle zu entwickeln. Somit soll die Erstellung von vielfältig nutzbaren 3D-Modellen erleichtert und für Nicht-Spezialisten nutzbarer gemacht werden.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Möglicher Aufbau der mobilen Arbeitsumgebung	2
1.2	Mögliche Arbeitsschritte für die Erzeugung eines neuen 3D-Objekts	3
2.1	Mixed-Reality	4
4.1	MixFab: Walkthrough	8
4.2	Ein kollaborativer Arbeitstisch	9

Literaturverzeichnis

- [ATA14] ATAP, Google: *Google - Project Tango @ONLINE*. <https://www.google.com/atap/projecttango/#project>. Version: März 2014
- [CLWP13] CHEN, Ke-Yu ; LYONS, Kent ; WHITE, Sean ; PATEL, Shwetak: uTrack: 3D Input Using Two Magnetic Sensors. In: *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA : ACM, 2013 (UIST '13). – ISBN 978-1-4503-2268-3, 237-244
- [DIG13] DIONISIO, John David N. ; III, William G. B. ; GILBERT, Richard: 3D Virtual worlds and the metaverse: Current status and future possibilities. In: *ACM Comput. Surv.* 45 (2013), Nr. 3, 34. <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/csur/csur45.html#DionisioBG13>
- [gua14] GUARDIAN the: *Facebook closes its \$ 2bn Oculus Rift acquisition. What next? @ONLINE*. <http://www.theguardian.com/technology/2014/jul/22/facebook-oculus-rift-acquisition-virtual-reality>. Version: März 2014
- [HKI⁺12] HILLIGES, Otmar ; KIM, David ; IZADI, Shahram ; WEISS, Malte ; WILSON, Andrew: HoloDesk: Direct 3D Interactions with a Situated See-through Display. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2012 (CHI '12). – ISBN 978-1-4503-1015-4, 2421-2430
- [IKH⁺11] IZADI, Shahram ; KIM, David ; HILLIGES, Otmar ; MOLYNEAUX, David ; NEWCOMBE, Richard A. ; KOHLI, Pushmeet ; SHOTTON, Jamie ; HODGES, Steve ; FREEMAN, Dustin ; DAVISON, Andrew J. ; FITZGIBBON, Andrew W.: KinectFusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera. In: PIERCE, Jeffrey S. (Hrsg.) ; AGRAWALA, Maneesh (Hrsg.) ; KLEMMER, Scott R. (Hrsg.): *UIST*, ACM, 2011. – ISBN 978-1-4503-0716-1, 559-568

- [KLL⁺13] KELLER, Maik ; LEFLOCH, Damien ; LAMBERS, Martin ; IZADI, Shahram ; WEYRICH, Tim ; KOLB, Andreas: Real-Time 3D Reconstruction in Dynamic Scenes Using Point-Based Fusion. In: *3DV*, IEEE, 2013. – ISBN 978-0-7695-5067-1, 1-8
- [Met14] META: *Meta - SpaceGlasses @ONLINE*. <https://www.spaceglasses.com/>. Version: März 2014
- [MGS09] MUNSHI, Aaftab ; GINSBURG, Dan ; SHREINER, Dave: *The OpenGL ES 2.0 programming guide*. Upper Saddle River, NJ : Addison-Wesley, 2009
http://www.amazon.com/OpenGL-ES-2-0-Programming-Guide/dp/0321502795/ref=sr_1_1?ie=UTF8&s=books&qid=1205015713&sr=8-1.
 – ISBN 9780321502797 0321502795
- [MK94] MILGRAM, P. ; KISHINO, F.: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. In: *IEICE Trans. Information Systems* E77-D (1994), Dezember, Nr. 12, S. 1321–1329
- [NB14] NGUYEN, Anh ; BANIC, Amy: 3DTouch: A wearable 3D input device with an optical sensor and a 9-DOF inertial measurement unit. In: *CoRR* abs/1406.5581 (2014)
- [SSK⁺13] SHOTTON, Jamie ; SHARP, Toby ; KIPMAN, Alex ; FITZGIBBON, Andrew W. ; FINOCCHIO, Mark ; BLAKE, Andrew ; COOK, Mat ; MOORE, Richard: Real-time human pose recognition in parts from single depth images. In: *Commun. ACM* 56 (2013), Nr. 1, 116-124. <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/cacm/cacm56.html#ShottonSKFFBCM13>
- [WLK⁺14] In: WEICHEL, Christian ; LAU, Manfred ; KIM, David ; VILLAR, Nicolas ; GELLERSEN, Hans: *MixFab : a mixed-reality environment for personal fabrication*. ACM, 2014
- [ZLP⁺13] ZHAO, Xin ; LI, Xue ; PANG, Chaoyi ; ZHU, Xiaofeng ; SHENG, Quan Z.: Online human gesture recognition from motion data streams. In: JAIMES, Alejandro (Hrsg.) ; SEBE, Nicu (Hrsg.) ; BOUJEMAA, Nozha (Hrsg.) ; GATICA-PEREZ, Daniel (Hrsg.) ; SHAMMA, David A. (Hrsg.) ; WORRING, Marcel (Hrsg.) ; ZIMMERMANN, Roger (Hrsg.): *ACM Multimedia*, ACM, 2013. – ISBN 978-1-4503-2404-5, 23-32