

Immersive Simulation eines Magneten durch die Kombination einer VR-Brille mit Force Feedback

Eine Studie zur Evaluation von intuitiv bedienbaren Virtual Reality Anwendungen

Ronja Scherz

Centigrade GmbH
Science Park 2
66123 Saarbrücken
ronja.scherz@centigrade.de

Thomas Immich

Centigrade GmbH
Science Park 2
66123 Saarbrücken
thomas.immich@centigrade.de

Abstract

Das Thema Virtual Reality (VR) hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Neu entwickelte VR-Brillen ermöglichen ihren Trägern den visuellen Zugang zu virtuellen Welten in einer bislang nicht gewohnten Qualität und Zuverlässigkeit. Zwar erlauben VR-Anwendungen häufig die Interaktion mit der dreidimensionalen Umgebung über Gesten- oder Sprachsteuerung, doch meist bricht die Illusion, sobald ein Nutzer einen virtuellen Gegenstand berührt, da die haptische Rückmeldung fehlt. Um eine möglichst natürliche Interaktion mit einer virtuellen Umgebung zu erreichen, wurde ein Prototyp entwickelt, der das visuelle Feedback einer VR-Brille mit Force Feedback verbindet. In einer Studie wurde die Wirkung dieser Kombination auf die Realitätswahrnehmung von 38 Probanden getestet. Im Rahmen der Studie konnte gezeigt werden, dass Testpersonen Schwierigkeiten haben, zwischen simulierten und realen magnetischen Kräften zu unterscheiden, wenn die VR-Anwendung sowohl Seh- als auch Tastsinn anspricht.

Keywords

Virtual Reality, Force Feedback, Oculus Rift, Magnetsimulation, haptisches Feedback, 3D Interaktion

Einleitung

Schon heute ist Virtual Reality längst nicht mehr nur für die Spieleentwicklung von Interesse, sondern hat auch in vielen anderen Bereichen, wie beispielsweise Medizin und

Industrie, Einzug gefunden. Realitätsnahe Simulationen ermöglichen es Auszubildenden, aus den unterschiedlichsten Bereichen, Übungen an virtuellen Modellen durchzuführen, ohne dabei realen Schaden zu verursachen (Fang et al. 2013). Im psychologischen Bereich werden VR-Anwendungen bereits häufig eingesetzt, um beispielsweise Phobien mit entsprechenden virtuellen Umgebungen²³, oder Schizophrenie mittels virtueller Avatare zu behandeln (DeAngelis 2012). Auch für die Industrie ist, vor allem für die Fernsteuerung und -überwachung, mit Fortschritten zu rechnen, da es durch VR möglich wird, sich visuell an einen anderen Ort zu versetzen und die Geschehnisse dort zu steuern (Gravier et al. 2011).

Dabei ist nicht nur der visuelle Zugang zur virtuellen Welt eine Herausforderung, sondern auch die Frage, wie Nutzer mit der dreidimensionalen Umgebung interagieren. Die Verwendung von Maus und Tastatur für die Steuerung in einer virtuellen Umgebung ist eher hinderlich als nützlich. Gerade da durch VR-Brillen der Eindruck vermittelt wird, sich unmittelbar innerhalb einer virtuellen Umgebung zu befinden, ist eine indirekte Interaktion mit den dort befindlichen Objekten nicht intuitiv oder benutzerfreundlich. Daher ist es bei vielen VR-Anwendungen bereits möglich, die eigenen Hände in der virtuellen Umgebung zu erkennen und mithilfe von Gesten die vorhandenen Gegenstände zu manipulieren (Xu 2006). Auch Sprachsteuerung wird teilweise zur Steuerung im virtuellen Raum verwendet (Muller et al. 1998).

Dennoch fehlt bei der 3D-Interaktion bisher meist die haptische Komponente, die es Nutzern ermöglicht, spürbare Rückmeldungen von virtuellen Objekten zu erhalten. Zwar wird durch die virtuelle Berührung eines Gegenstandes häufig ein visuelles Feedback ausgelöst, dennoch fällt es schwer, die Illusion einer virtuellen Realität aufrecht zu erhalten, wenn der Nutzer bei seiner Berührung keinen Widerstand spürt, sondern ins Leere greift (Huang et al. 2014).

Um eine vollständige Immersion, bis hin zur sogenannten „Präsenz“, zu erreichen, ist es notwendig, möglichst viele Sinne des Nutzers anzusprechen und ihm den Eindruck zu vermitteln, er befände sich tatsächlich innerhalb der virtuellen Umgebung (Lombard & Ditton 1997). Dabei ist die Möglichkeit der direkten Interaktion mit den virtuellen Objekten von entscheidender Bedeutung (Witmer & Singer 1998).

Als Grundlage für die Studie sollte mittels der Entwicklung eines Prototyps, der visuelles und haptisches Feedback kombiniert, ein Weg gefunden werden, direkt mit einer virtuellen Umgebung zu interagieren. Der Prototyp sollte die Simulation verschiedener magnetischer Kräfte beinhalten, um ein möglichst komplexes haptisches Verhalten abzubilden. Um die Wirkung der Kombination aus visuellem und haptischem Feedback hinsichtlich der Immersion der Nutzer zu erforschen, sollte der Prototyp von Probanden getestet und ihre Wahrnehmung des Realitätsgrades der Simulation evaluiert werden.

Unabhängig von der zusätzlichen haptischen Komponente sollte der Prototyp eine natürliche Steuerung ermöglichen, sodass Nutzer die Anwendung intuitiv bedienen können. Im

²³ <http://www.vrphobia.com/>

Gegensatz zu den üblichen Interaktionsmöglichkeiten, der sogenannten Natural User Interfaces (NUI), wie Touch- oder Gestensteuerung, sollten Nutzer in diesem Prototyp daher direkt mit den virtuellen Gegenständen interagieren.

Der visuelle Zugang zum virtuellen Raum wurde über die VR-Brille Oculus Rift, Development Kit 2, realisiert. Für das haptische Feedback wurde ein Novint Falcon²⁴ verwendet. Die Anwendung selbst wurde mit der Engine Unity3D²⁵ entwickelt.

Entwicklung eines Prototyps zur Magnetsimulation

Der entwickelte Prototyp sollte Anwender über das Head Mounted Display (HMD) Oculus Rift visuell in eine dreidimensionale Umgebung versetzen, mit der sie über das Force Feedback-Gerät Novint Falcon interagieren können. Dabei sollte der Schwerpunkt des Projekts nicht auf einem möglichst hohen Realitätsgrad der Szene, sondern auf der Kombination von Optik und Haptik liegen. Nutzer sollten nicht in der Lage sein, sich mit ihrem gesamten Körper im virtuellen Raum zu bewegen, sondern lediglich ihre Hand zu steuern und mit ihr haptisches Feedback wahrzunehmen. Im folgenden Abschnitt wird das Szenario beschrieben, das für den Prototyp entwickelt wurde. Zudem wird auf die Umsetzung der Steuerung im dreidimensionalen Raum und auf die Erzeugung des haptischen Feedbacks eingegangen.

Das Szenario

Nutzer sollten beim Bedienen des Prototyps in die Rolle eines männlichen Lagerarbeiters schlüpfen. Daher wurde eine Lagerhalle als visuelle Umgebung modelliert. Damit sich Anwender, wenn sie die VR-Brille aufsetzen, mit ihrem virtuellen Ich identifizieren können, wurde das Modell eines Körpers in der Szene positioniert. Die Kamera wurde so auf dem Hals dieses Modells platziert, dass Nutzer die Möglichkeit hatten, an sich hinab zu sehen und ihren virtuellen Körper zu begutachten. Durch die Oculus Rift war es möglich, sich in der Szene durch Kopfbewegungen umzublicken und die virtuelle Umgebung aus Sicht des Arbeiters zu betrachten.

²⁴ www.novint.com

²⁵ www.unity3d.com



Abbildung 1: Aufbau der Szene

Im virtuellen Raum wurde direkt vor dem Nutzer ein Tisch positioniert, auf dem sich die Gegenstände befanden, mit denen er interagieren konnte. Bevor auf die Umsetzung der Steuerung eingegangen wird, sollen an dieser Stelle kurz die einzelnen Gegenstände und die Interaktionsmöglichkeiten beschrieben werden.

Interaktion mit virtuellen Objekten

Auf dem Tisch wurden zwei magnetische Platten platziert, sowie ein ebenfalls magnetischer Würfel. Der Nutzer selbst hält in seiner virtuellen Hand einen Stabmagneten, mit dem er den Würfel aufheben und zu den beiden Platten bewegen kann. Eine der Platten wirkt auf den Würfel eine abstoßende Kraft aus, die andere zieht ihn zu sich heran. Daraus ergibt sich folgender Interaktionsablauf:

1. Beim Start der Anwendung kann der Nutzer sich mit dem Stabmagneten dem Würfel nähern und spürt die dabei wirkende Anziehungskraft. Bei Berührung werden die beiden Gegenstände aneinander geheftet.
2. Hebt der Anwender den Stabmagneten mit dem Würfel hoch, so wird das zusätzliche Gewicht des Würfels simuliert. Er hat nun die Möglichkeit, sich den beiden magnetischen Platten zu nähern und ihre abstoßenden und anziehenden Kräfte zu spüren.
3. Berührt der Würfel die anziehende Platte, so kann er von dort nicht mehr abgehoben werden, da die magnetischen Kräfte der Platte stärker eingestellt wurden, als die des Stabmagneten.

4. Der Nutzer hat nun noch die Möglichkeit, den Stabmagneten vom Würfel zu lösen. Anschließend ist die Interaktion abgeschlossen.

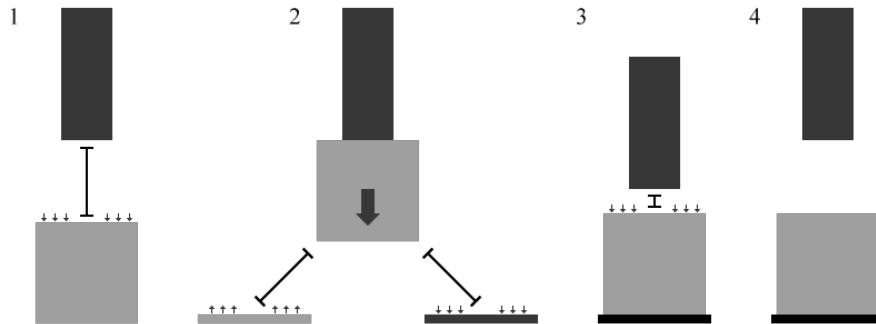


Abbildung 2: Die magnetischen Gegenstände in den verschiedenen Interaktionsphasen

Interaktion im virtuellen Raum

Damit Anwender den Stabmagneten in der Szene steuern konnten, musste zunächst eine Verbindung zwischen den realen Handbewegungen des Nutzers und den Bewegungen der modellierten Figur in der Szene hergestellt werden. Da Nutzer die Kraftwirkungen der virtuellen Magnete direkt haptisch wahrnehmen sollten, wurde zu diesem Zweck der Novint Falcon verwendet. An diesem wurde ein Griff befestigt, sodass alle Anwender das Steuerelement intuitiv auf die gleiche Art mit ihrer Hand umschließen sollten. Auch am 3D-Modell des Stabmagneten wurde ein Griff angebracht, sodass dieser als verbindendes Element zwischen Realität und virtueller Umgebung diente. Anwender spürten somit während der Interaktion mit dem Prototyp den realen Griff in ihrer Hand, während sie in der virtuellen Umgebung auch eine visuelle Repräsentation des Griffs in ihrer Hand sahen.

Die Handbewegungen des Nutzers wurden mit dem Novint Falcon getrackt und auf die virtuelle Figur übertragen. Dadurch waren Anwender in der Lage, den Arm der virtuellen Figur so zu bewegen, als wäre es ihr eigener. Sobald ein Nutzer in den Wirkungsbereich eines Magneten eintrat, wurde die Simulation der magnetischen Kräfte am Force Feedback Gerät ausgelöst.

Testdurchführung

Um zu evaluieren, wie realistisch die magnetischen Kräfte durch diesen Prototyp simuliert werden können, wurde ein Test mit zwei Gruppen durchgeführt. Beide Gruppen zählten gleich viele Probanden und bestanden sowohl aus Personen mit großer Erfahrung im Informatik-Bereich als auch aus Teilnehmern mit nur wenig Computerkenntnissen.

Es nahmen 22 männliche (57,9%) und 16 weibliche (42,1%) Probanden teil. Davon waren 23,7% der Teilnehmer zwischen 18 und 25, 39,4% zwischen 26 und 35, 13,2% zwischen 36 und 50 und 23,7% über 50 Jahre alt. 57,9% der Testpersonen hatten keine oder nur wenig Erfahrung mit Videospielen. Die VR-Brille Oculus Rift hatten 23,7% der Probanden bereits zuvor verwendet.

Beide Gruppen sollten während des Tests die Oculus Rift tragen und sich folglich visuell in der gleichen Szene befinden. Auch bekamen beide Gruppen die gleiche Aufgabenstellung: Die Teilnehmer sollten mit den Magneten in der Szene interagieren und anschließend eine Aussage darüber treffen, ob sie die gespürten Kräfte für echt oder für simuliert hielten. Diese Frage wurde sowohl in einem Interview mündlich beantwortet und begründet, als auch in einem Fragebogen festgehalten.

Während die erste Gruppe (Gruppe Sim) beim Test mit der Simulation arbeitete, wurden bei der zweiten Gruppe (Gruppe Echt) unterhalb des Novint Falcon echte Magneten aufgebaut. In dieser Kontrollgruppe diente das Gerät somit lediglich zum Tracking der Handposition des Nutzers, simulierte jedoch keine magnetischen Kräfte.

Während des Tests wurden den Teilnehmern Anweisungen gegeben, zu welchem Objekt sie sich wann bewegen sollten, um den Testablauf bei jedem Probanden gleich zu gestalten.

Jeder Teilnehmer absolvierte den Test zweimal in Folge. Anschließend bekamen die Probanden im Rahmen eines Interviews die Möglichkeit, ihre Empfindungen während der Arbeit mit dem Prototypen zu beschreiben und zu entscheiden, ob sie die magnetischen Kräfte als echt oder simuliert einstufen. Im Anschluss an das Interview füllten die Probanden einen Fragebogen aus. Dieser wurde speziell für dieses Projekt im Hinblick auf die Kernelemente Interaktion und Immersion entwickelt.

Er enthielt daher sowohl Fragen bezüglich der Einschätzung des Realitätsgrades der simulierten Kräfte, als auch Fragen zur Steuerung und Identifikation mit der virtuellen Figur. Die einzelnen Frageelemente konnten dabei anhand von Ordinalskalen bewertet werden.

Während des Tests wurden die Hand- und Kopfbewegungen der Teilnehmer aufgezeichnet. Außerdem wurde bei den Interviews der Ton mitgeschnitten. Dadurch konnten umfassende Daten zum Testablauf gewonnen und bei der Auswertung der Fragebögen mit einbezogen werden.

Testauswertung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Studie dargestellt. Dabei wird zunächst auf individuelle Aussagen und Reaktionen während der Interviews eingegangen. Anschließend wird die Auswertung der Fragebögen abgebildet.

Auswertung der Interviews

Im Rahmen der Interviews wurden den Testpersonen folgende Fragen gestellt:

1. War der getestete Magnet echt oder simuliert?
2. Was hat dich davon überzeugt?
3. Wie hat sich die Abstoßung für dich angefühlt?
4. Wie hat sich die Anziehung angefühlt?
5. Wie hast du den Test erlebt? Kannst du deine Gedanken dazu beschreiben?
6. Hat dich etwas gestört?
7. Wie hast du die Kombination aus Haptik und Visuell erlebt?

Nachdem die Probanden eine Entscheidung bezüglich ihrer Einschätzung zur Echtheit des Magneten getroffen hatten, hatten sie so anhand des Leitfadens die Gelegenheit, diese zu begründen. Die weiteren Fragen dienten dazu, die Wahrnehmung der virtuellen Umgebung und der Interaktionsmöglichkeiten durch die Teilnehmer zu erörtern.

Die Befragung ergab, dass 29 der 38 Probanden ihr Urteil über die Echtheit des Magneten hauptsächlich von dem Gefühl der Abstoßung abhängig machten. In beiden Testgruppen beschrieben viele dabei das „Wegrutschen“ oder „Vorbeigleiten“ zu den Seiten, das ein Absetzen des Würfels auf der Platte unmöglich machte, als Indiz für einen realen Magneten. Die Anziehung wurde hingegen von 13 Teilnehmern als „zu kurz“ oder „zu schnell“ beschrieben, um anhand dessen eine Aussage über die Echtheit treffen zu können. Nur fünf Probanden trafen ihre Entscheidung bezüglich der Echtheit des Magneten auf Grundlage der Anziehungskräfte. Insgesamt wurden die Kräftewirkungen, unabhängig von der Entscheidung für oder gegen einen echten Magneten, von der Hälfte der Teilnehmer als „sehr realistisch“ oder „natürlich“ beschrieben.

Bei der Beantwortung von Frage 5 sprachen 17 Probanden von dem Gefühl, tatsächlich „in“ dem virtuellen Raum zu stehen, das die VR-Brille bei ihnen ausgelöst hatte. Zu Frage 7 sagten 23 Teilnehmer, dass die Identifikation mit der virtuellen Figur und die Möglichkeit, direkt, ohne Interface, mit den virtuellen Objekten zu interagieren, diesen Eindruck verstärkt hätten.

Die haptische Komponente gab einigen Probanden ein „Gefühl der Kontrolle“. Allgemein wurde die Steuerung als sehr „natürlich“ und „einfach“ empfunden. Ein Teilnehmer formulierte: „Sobald ich den Griff in der Hand hatte, bin ich eingetaucht in diese virtuelle Welt.“ Auch Testpersonen, die im Alltag sehr wenig mit Computern arbeiten, sagten aus, sie hätten die Bedienung des Systems schnell erlernt und als „erstaunlich leicht“ empfunden. Eine große Anzahl der Testpersonen beschrieb die Kombination aus Fühlen und Sehen im virtuellen Raum als ein „neues Erlebnis“, das die Immersion verstärkte und Orientierung und Steuerung vereinfachte.

Auswertung der Fragebögen

Die Aufteilung der Probanden in zwei Testgruppen diente dem Zweck, die Aussagen über die Echtheit des getesteten Magneten gegenüberstellen zu können. Die Auswertung der

Fragebögen zeigt, dass die Anzahl der Probanden, die den getesteten Magneten für echt hielten, in beiden Testgruppen etwa gleich groß war. Als Antwort auf die Frage nach der Echtheit der getesteten Magneten wählten in Gruppe Sim 10 Personen „simuliert“ und 9 Personen „echt“. In Gruppe Echt wurde die Frage von 10 Probanden mit „echt“ und von 9 mit „simuliert“ beantwortet (siehe Abbildung 3).

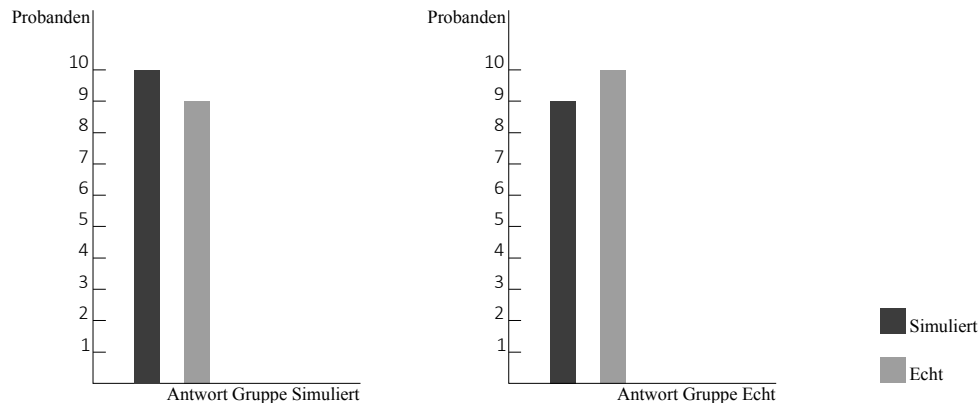


Abbildung 3: Gegenüberstellung der Aussagen der beiden Testgruppen über die Echtheit des Magneten

Auch wenn das Benutzererlebnis des simulierten Magneten nicht vollständig mit dem eines echten übereinstimmte, so war es dennoch für die Hälfte der Testpersonen überzeugend. Durch die Kontrollgruppe, die mit dem echten Magneten arbeitete, wurde deutlich, dass auch ein realer Magnet nicht mehr zuverlässig als solcher identifiziert werden kann, wenn der Nutzer sich lediglich auf die Haptik konzentriert und die direkte visuelle Verbindung fehlt. Auch in dieser Gruppe antwortete nur die Hälfte der Teilnehmer mit „echt“, während die andere die magnetischen Kräfte für simuliert hielt.

Somit kann davon ausgegangen werden, dass der Realitätsgrad des simulierten und des echten Magneten nahezu identisch empfunden wurde. Das Ergebnis dieser Studie spricht daher dafür, dass es durch die Kombination von visuellem und haptischem Feedback möglich ist, einen Gegenstand so realistisch zu simulieren, dass Testpersonen die Simulation nicht mehr zuverlässig als solche erkennen können.

Neben der Gegenüberstellung der Aussagen der beiden Testgruppen zur Echtheit des Magneten wurden auch die Angaben zu Immersion und Steuerung betrachtet. So trug die Kombination aus Optik und Haptik bei 92,1% aller Teilnehmer entscheidend dazu bei, dass sie sich auf die virtuelle Umgebung einlassen konnten. Auch der Körper der virtuellen Figur wurde von 79% der Probanden beider Gruppen als hilfreich für die Immersion empfunden. Die Steuerung in der Szene wurde im Mittel mit 4,21 bewertet, wobei Werte zwischen 1 (nicht realistisch) bis 5 (sehr realistisch) vergeben werden konnten. Dies zeigt, dass die Möglichkeit der direkten Interaktion mit einer virtuellen Umgebung ohne Interface eine

intuitive und natürliche Art der Steuerung darstellt, die von Probanden positiv aufgenommen wird.

Bei der inferenzstatistischen Auswertung wurde mit Spearman-Rho ein Zusammenhang zwischen der angegebenen Immersion der Testpersonen mit der Empfindung der Kombination aus visuellem und haptischem Feedback überprüft. Dabei konnte ein stark signifikanter Zusammenhang festgestellt werden ($p < 0,01$).

Auch die Wahrnehmung der Figur und ihrer Bewegungen weist eine starke Korrelation mit der Immersion auf (Spearman-Rho, $p < 0,01$). Dies zeigt, dass vor allem die Steuerung und die dabei wahrgenommenen Rückmeldungen einen großen Einfluss auf die Immersion der Probanden hatten.



Abbildung 4: Bewertung der Steuerung und der persönlichen Immersion durch die Testpersonen beider Gruppen

Fazit

Anhand der im Rahmen dieses Beitrags vorgestellten Studie konnte gezeigt werden, dass der Bereich Virtual Reality eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Entwicklung neuer, intuitiver Interaktionssysteme bietet. Virtual Reality ermöglicht die Verwendung von natürlichen Bewegungen als Interaktionsmittel. Die Teilnehmer der hier vorgestellten Studie waren daher in der Lage, das System ohne hohen Lernaufwand zu bedienen.

Zudem wurde gezeigt, dass die Kombination aus visuellem und haptischem Feedback eine starke Immersion erzeugt, die es möglich macht, reale Begebenheiten realistisch nachzubilden. Gerade für Training und Ausbildung in den verschiedensten Bereichen könnten VR-Simulationen als risikofreie und wirtschaftliche Lernanwendungen zum Einsatz kommen. Auch kann haptisches Feedback bei industriellen Arbeitsprozessen als Unterstützung dienen, um Bewegungsabläufe zu trainieren und Nutzern bei kritischem Verhalten Rückmeldung zu geben.

Die durchgeführte Studie hat gezeigt, dass auch Personen, die wenig Erfahrung im Umgang mit Computern hatten, die Bedienung des VR-Systems schnell erlernen konnten. So hatte keiner der Probanden Schwierigkeiten, den Anweisungen der Testleitung zu folgen oder sich in der Szene zu orientieren.

Durch die Kombination aus visuellem und haptischem Feedback wird somit eine natürliche Mensch-Computer-Interaktion im dreidimensionalen Raum für Nutzer aus verschiedensten Zielgruppen möglich.

Literatur

- Brill, M. (2009). *Virtuelle Realität*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- DeAngelis, T. (2012). A second life for practice? *Monitor on Psychology*, Vol. 43 No.3. New York: APA, S. 48
- Gravier, C., Fayolle, J., Yankelovich, N. & Kim E. (2011). Remote lab in virtual world for remote control of industrial processes *Conference: Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*.
- Jetter, H., Gerken, J. & Reiterer, H. (2010). Natural User Interfaces: Why We Need Better Model-Worlds, Not Better Gestures. *CHI 2010*. Atlanta, Georgia, USA: ACM.
- Lombard M. & Ditton T.: At the Heart of It All: The Concept of Presence (1997). *Journal of Computer-Mediated Communication* 3(2). S. 0.
- Norman, D. (2010). Natural User Interfaces Are Not Natural. *CHI magazine, Interactions*, volume 17, issue 3. New York, USA: ACM.
- Fang, T., Wang, P., Liu, C., Su, M. & Yeh, S. (2013). Evaluation of a haptics-based virtual reality temporal bone simulator for anatomy and surgery training. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* Vol. 113. Taiwan: Elsevier Ireland Ltd.
- Wellner, M., Sigrist, R. & Riener, R. (2010). Virtual Competitors Influence Rowers. *Presence*, 19(4). Zürich: MIT Press Journals, S. 313 – 330.
- Witmer, B. & Singer, M. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3). Massachusetts: MIT Press Journals. S. 225 – 240.
- Huang C. & Tang S. (2014). The interactive haptics technique of virtual objects on augmented reality environment. *Control & Automation (ICCA), 11th IEEE International Conference on*. Taichung: IEEE. S. 584 – 589.
- Muller J., Krapichler C., Nguyen L.S. & Englmeier K.-H. (1998). Speech interaction in virtual reality. *Acoustics, Speech and Signal Processing, 1998. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on* Vol. 6. Seattle, WA: IEEE. S. 3757 – 3760.
- Xu D. (2006). A Neural Network Approach for Hand Gesture Recognition in Virtual Reality Driving Training System of SPG. *Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference on* Vol. 3. Hong Kong: IEEE. S. 519 – 522.