Konzept für ein VR-System zur intuitiven Modellierung durch natürliche Interaktion

Marius Fechter · Sandro Wartzack

1. Einführung

Kreative Ideen sind die Grundlage für Unternehmen, um eigene Produkte an sich verändernde Marktbedingungen anzupassen, neue Möglichkeiten zu nutzen und auf dem Markt zu bestehen (Shalley et al. 2004). Organisationen versuchen deshalb, kreativitätsfördernde Arbeitsbedingungen zu schaffen, indem die Unternehmenskultur und Arbeitsumgebungen entsprechend gestaltet oder spezielle Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden.

Ein im Produktentwicklungsprozess häufig eingesetztes Werkzeug ist das parametrisch assoziative CAD-System (Computer-Aided Design). Die effiziente Bedienung einer umfangreichen WIMP (Window, Icon, Menu, Pointing)-basierten Software muss durch umfangreiche Schulungen erlernt und regelmäßig angewendet werden, um die Modellierfähigkeiten zu erhalten. Die zur Bedienung erforderliche kognitive Leistung führt häufig zur Beeinträchtigung der Kreativität eines Konstruktionsingenieurs (Chandrasegaran et al. 2013), v. a. bei wenig geübten Nutzergruppen. Am Übergang zwischen Konzeptphase und der frühen Entwurfsphase (Arbeitsabschnitt 5 der VDI 2221) wird deshalb vorwiegend mit Skizzen und noch nicht im parametrischen CAD-System gearbeitet (VDI 2223 2004). Für die Erstellung der Vorentwürfe wäre es im Sinne des „Frontloading" jedoch wünschenswert, früh erste rechnergestützte Methoden zur Gestaltung einsetzen zu können. Durch den Einsatz von virtueller Realität (VR) eröffnet sich die Möglichkeit zur Entwicklung intuitiver Interaktionsmethoden, die eventuell neue Modellierstrategien ermöglichen. Diese erlauben dem Produktentwickler, natürlich mit den virtuellen Modellen umzugehen. Durch die im Vergleich zum parametrisch assoziativen CAD-System intuitive Bedienung würde die Kreativität bei der groben Gestaltung der Vorentwürfe weniger eingeschränkt.

Da sich bisher für die VR-basierte CAD-Modellierung kein System etabliert hat, ist das Ziel dieses Beitrags zunächst die Entwicklung eines Hard- und

Softwarekonzepts, das durch die Nutzung der virtuellen Realität die Entwicklung intuitiver Benutzungsschnittstellen am herkömmlichen CAD-Arbeitsplatz ermöglicht. Es gilt zu klären, ob eine natürliche Interaktionsform grundsätzlich geeignet ist, um mit virtuellen Modellen umzugehen.

Dazu werden in einem ersten Schritt die Anforderungen an die Visualisierungs- und Tracking-Hardware aufgestellt, bevor unterschiedliche Ansätze zur natürlichen Interaktion betrachtet werden. Anschließend folgt eine Beschreibung des aufgestellten Hard- und Softwarekonzepts. Die Funktions- und Leistungsfähigkeit des konzipierten Systems wird anhand des beispielhaften Anwendungsfalls „Zusammenbau von Patrone und Deckel" gezeigt. Der Beitrag endet mit einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick auf das weitere Vorgehen.

2. Der „hybride Arbeitsplatz" und Ansätze zur natürlichen Interaktion

Zur in diesem Beitrag konzeptionierten Benutzungsschnittstelle, die nach DIN EN ISO 9241-110 definiert ist, zählen drei Komponenten. Für diese werden jeweils mehrere Alternativen mitsamt Vor- und Nachteilen betrachtet:

- Hardware zur Erfassung von Kopf- und Fingerpositionen
- Hardware zur stereoskopischen Visualisierung der virtuellen Umgebung
- Algorithmen, die Fingerdaten nutzen, um eine Interaktion mit virtuellen Objekten zu ermöglichen

2.1 Der „hybride Arbeitsplatz"

Um von den Vorteilen einer intuitiven Bedienung sowie einer stereoskopischen Visualisierung profitieren zu können und zugleich minimalen Einfluss auf den Arbeitsprozess des Produktentwicklers zu nehmen, muss die zusätzliche Peripherie nahtlos in den herkömmlichen CAD-Arbeitsplatz integriert werden. Daraus entsteht der „hybride Arbeitsplatz", der die Vorteile der virtuellen Realität bietet und gleichzeitig die gewohnten Arbeitsvorgänge weiterhin ermöglicht. Vorgänge, welche die bisher unerreichte Genauigkeit der Mauseingabe benötigen, wie z. B. die Erzeugung von Geometrie durch Skizzen, erfolgen weiterhin über die Bedienung mit Maus und Tastatur. Andere Vorgänge, die von den Vorteilen der VR profitieren, werden in einer virtuellen Umgebung am hybriden Arbeitsplatz durchgeführt. Ein Beispiel für eine solche Anwendung ist der Zusammenbau einer Baugruppe in einer virtuellen Umgebung alleine durch Tippen, Greifen und Verschieben der virtuellen Modelle.

Für die Erfassung der Hand- und Fingerbewegungen werden in diesem Beitrag zwei unterschiedliche Ansätze betrachtet. Zum einen werden Datenhandschuhe verwendet (Holz et al. 2008, Lu et al. 2012), zum anderen markenlose optische Trackingverfahren, die RGB-D-Kameras wie die Microsoft Kinect (Fechter et al. 2014, Palacios et al. 2013) oder den Leap Motion-Sensor (Marin et al. 2014) verwenden. Datenhandschuhe weisen den Nachteil auf, dass sie vor Benutzung der Schnittstelle angezogen und kalibriert werden müssen. Hinsichtlich der Trackingqualität sind sie gegenüber den markenlosen Sensoren im Vorteil, da es durch Verdeckung zu Sprüngen bei den Fingerpositionen kommen kann.

Zur Erfassung der Kopfposition sowie zur optischen Ausgabe der virtuellen Umgebung werden Virtual Reality- bzw. Augmented Reality (AR)-Brillen betrachtet. Großflächige Projektionen werden ausgeschlossen, da die Integration in den hybriden Arbeitsplatz unzweckmäßig erscheint. VR-Brillen haben den enormen Nachteil, dass sie den Benutzer von der Umgebung abschneiden. Jedoch haben sich diese durch das industrielle Interesse aktuell stark weiterentwickelt, sodass die Darstellungs- und die Trackingqualität sehr hoch ist. Durchsicht-Head-Mounted Displays (HMD) lassen neben der Einblendung von virtuellen Inhalten auch eine Interaktion mit der realen Umgebung des Benutzers zu. Technische Details wie die schlechtere Trackingqualität und das kleinere Sichtfeld, in dem virtuelle Inhalte angezeigt werden können, sowie die mangelnde Verfügbarkeit sind klare Nachteile von AR-Brillen.

2.2 Ansätze zur natürlichen Fingerinteraktion

Im Zusammenhang mit virtueller und augmentierter Realität werden häufig natürliche Formen von Schnittstellen eingesetzt, so genannte Natural User Interfaces (NUI), wie z. B. Berührungs-, Gesten- oder Sprachsteuerungen (Pietschmann 2014). Da diese Schnittstellen auf Alltagserfahrungen basieren, sind die Techniken einfach zu erlernen und erscheinen dem Nutzer „natürlich" (Dörner et al. 2014). Im Folgenden werden drei Ansätze betrachtet, die jeweils die Interaktion mit virtuellen Objekten durch Hand- und Fingerbewegungen ermöglichen. Bei gestenbasierten Ansätzen (Fechter et al. 2014, Huang & Rai 2014, Kim et al. 2005, Lu et al. 2012, Song et al. 2014) findet die Interaktion durch mit den Händen oder Fingern ausgeführte Gesten statt. Eine „Geste" stellt in diesem Kontext eine definierte Hand- oder Fingerhaltung dar, die eine Aktion auslöst. Heuristische Ansätze (Burns et al. 2006, Holz et al. 2008, Ullmann & Sauer 2000) validieren ob die Handhaltung den gültigen Griff eines virtuellen Objekts darstellt. Die dritte Alternative ist die Nachahmung der Realität durch die Verwendung einer Physiksimulation (Borst & Indugula 2006, Jacobs & Froehlich 2011, Talvas 2014).

Gestenbasierte Ansätze haben den Vorteil, dass die Implementierung im Vergleich zu heuristischen Ansätzen oder solchen, die auf einer Physiksimulation basieren, wenig aufwendig ist. Allerdings muss der Benutzer vor der Anwendung für verschiedene Befehle unterschiedliche Gesten erlernen. Für eine realitätsnahe und natürliche Interaktion, also z. B. das Greifen von virtuellen Objekten, erscheinen heuristische und Physik-basierte Ansätze besser geeignet. Eine genauere Beschreibung der Vor- und Nachteile von heuristischen bzw. Physik-basierten Ansätzen erfolgt in Abschnitt 3.3, in dem der konzipierte Interaktionsalgorithmus erläutert wird.

3. Hard- und Softwarekonzept

3.1 Verwendete Hardware

Da der Produktentwickler am hybriden Arbeitsplatz zügig in die virtuelle Umgebung wechseln können muss, werden die Nachteile der Datenhandschuhe im Hinblick auf das Anziehen und Kalibrieren im Vergleich zu selten vorkommenden Sprüngen nach Verdeckungen bei den sich stets verbessernden markenlosen optischen Trackingverfahren als zu groß erachtet. Der verwendete Leap Motion-Sensor ist direkt am HMD befestigt, sodass dieser immer auf den Arbeitsbereich vor dem Benutzer blickt (siehe Abbildung 1).

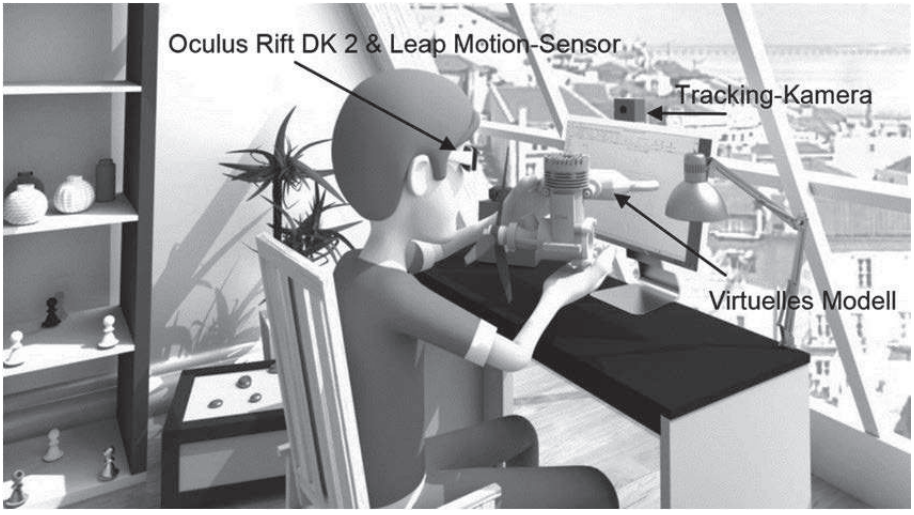

Abbildung 1: Aufbau des Hardwarekonzepts bestehend aus einer VR-Brille mit Tracking-Kamera und einem am HMD befestigten Leap Motion-Sensor

Für die stereoskopische Visualisierung wird ein Oculus Rift Development Kit 2 verwendet, welches eine Infrarot-Tracking-Kamera für die Positionserfassung nutzt. Eine gegenseitige Beeinflussung von dem mit Infrarot-Licht arbeitenden Leap Motion-Sensor und der Tracking-Kamera ist nicht bekannt. Aufgrund des kleineren Sichtfelds und der besseren Verfügbarkeit wird die VR- der AR-Brille vorgezogen. Nach einer Verbesserung der technischen Details wird eine AR-Brille langfristig jedoch als geeigneter angesehen, da der Benutzer nicht von der Umgebung abgeschottet ist.

3.2 Softwarearchitektur

Die Struktur des konzipierten Systems ist nach den vier Hauptaufgaben gegliedert – aufgeteilt in vier Softwaremodule. Ein Modul ist für die CAD-Funktionen zuständig, eines für die Visualisierung, eines für die Simulation der Objekt-Interaktionen und eines für die Bereitstellung der Handdaten. Die grundlegende Struktur, die Module und der Datenfluss sind in Abbildung 2 dargestellt. Alle vier Module laufen in separaten Threads.

Im Hinblick auf die geplante Verwendung des Systems für Vorentwürfe wird der Direktmodellierer SpaceClaim verwendet. Er bietet Schnittstellen zu allen gängigen CAD-Systemen, sowie eine gute Programmierschnittstelle. Für die Visualisierung wird der auf OpenGL aufbauende quelloffene Szenengraph OpenSceneGraph (OSG) genutzt. Die Physiksimulation Nvidia PhysX bietet im Vergleich zu quelloffenen Alternativen ein deutliches Leistungsplus. Die Bereitstellung der Trackingdaten der Hand erfolgt mithilfe der Leap Motion SDK. Die Kommunikation zwischen CAD-Software und Physiksimulation besteht aus vielen Befehlen. Herkömmliche CAD-Funktionen, wie ein Modell laden oder eine Abhängigkeit einfügen sind damit möglich. Zusätzlich werden Methoden benötigt, die die geometrische und kinematische Übereinstimmung zwischen CAD-Modell und Physiksimulation sicherstellen. Bevor eine Abhängigkeit zwischen zwei Bauteilen eingefügt wird, muss sichergestellt sein, dass die Positionen und Rotationen dieser zwischen den Modulen übereinstimmt. Außerdem müssen die Lagedaten übertragen werden, sobald ein Objekt bewegt wird.

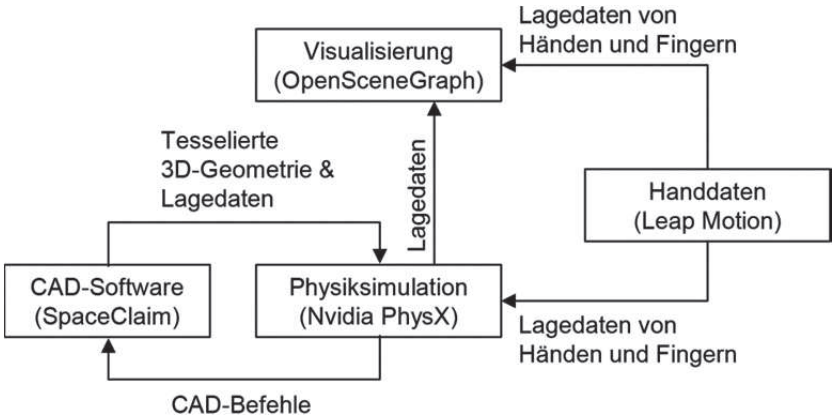

Abbildung 2: Softwarearchitektur des konzipierten Systems mit den vier Hauptmodulen

3.3 Interaktionsalgorithmus

Für die Interaktion mit virtuellen Objekten wird ein Algorithmus für ein Feder-Dämpfer-Modell verwendet, der auf Borst & Indugula (2006) aufbaut, aber zusätzlich noch heuristische Aspekte betrachtet. Das Greifen von Objekten mit rein physikalisch simulierten Ansätzen wurde im Rahmen dieses Beitrags ausprobiert und funktioniert für kleinere Elemente sehr gut. Da bei Konstruktionen jedoch des Öfteren Bauteile vorkommen, die mit einer Hand aufgrund der Massenträgheit nur schwer bewegt werden können oder nur schwer greifbar sind, wurde der oben genannte Ansatz im Rahmen dieses Beitrags erweitert. Im Folgenden soll auf die heuristische Erweiterung eingegangen werden.

In einem ersten Schritt wird überprüft, ob beim Daumen und bei den anderen vier Fingern eine Überschneidung mit einem Objekt vorliegt. Falls das bei dem Daumen und noch zwei zusätzlichen Fingern der Fall ist, wird überprüft, ob die Hand über mehrere Zeitschritte eine Greifbewegung ausführt. Falls dies so ist, gilt das Objekt, mit dem die Überschneidung vorgelegen hat, als gegriffen. Dann folgt das Objekt der Hand solange, bis der Griff aufgelöst wird. Aufgelöst werden kann der Griff durch das Öffnen der Hand. Auch hier werden mehrere Zeitschritte betrachtet, um ein versehentliches Lösen des Griffs zu vermeiden. Zusätzlich zur Heuristik kann ebenso das oben angesprochene Feder-Dämpfer-Hand-Modell verwendet werden.

4. Fallstudie: Zusammenbau von Patrone und Deckel

Link zu einem Video zum Beitrag: https://vimeo.com/159390784

Um die Funktionalität des konzipierten Systems und des entwickelten Interaktionsalgorithmus zu demonstrieren, dient die Montage eines Deckels auf eine Patrone als einfaches Beispiel. Zu Beginn des Prozesses schweben beide Bauteile vor dem Benutzer im Raum. Die Patrone ist an einem Punkt im virtuellen Raum fixiert und kann nicht bewegt werden. Das Ziel ist nun, den Deckel an der Patrone zu montieren. Dazu wird zuerst die zylindrische Fläche an der Patrone angetippt, die in den Deckel gefügt werden soll. Daraufhin wird das andere Objekt (die Patrone) nach zylindrischen Flächen durchsucht, die einen ähnlichen Radius (+/-3%) haben. Falls eine solche Fläche gefunden wird, erscheint jeweils eine rote Linie in der Mittelachse der zusammenpassenden Flächen an beiden Bauteilen (siehe Abbildung 3).

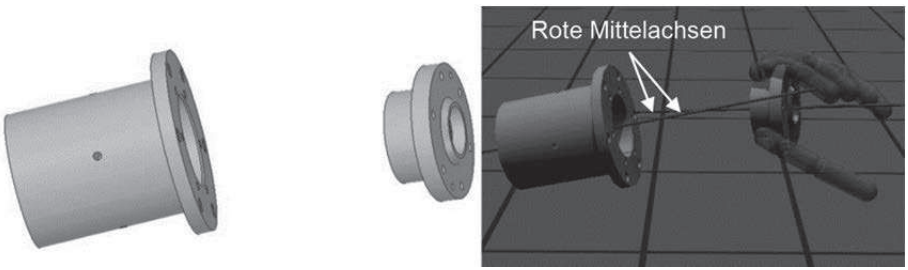

Abbildung 3: Überprüfung der Koaxialität der roten Mittelachsen

Bewegt der Benutzer den Deckel nun so zur Patrone, dass die beiden zylindrischen Flächen nahezu koaxial liegen, wird dies erkannt und es wird eine koaxiale Abhängigkeit eingefügt. Der Winkelunterschied hierbei darf maximal 10° und die translatorische Abweichung darf maximal 2 cm betragen. Gleichzeitig zur koaxialen Abhängigkeit ändert sich die Farbe der Mittellinien von Rot zu Grün (siehe Abbildung 4). Nun lässt sich der Deckel lediglich entlang der Mittelachse bewegen.

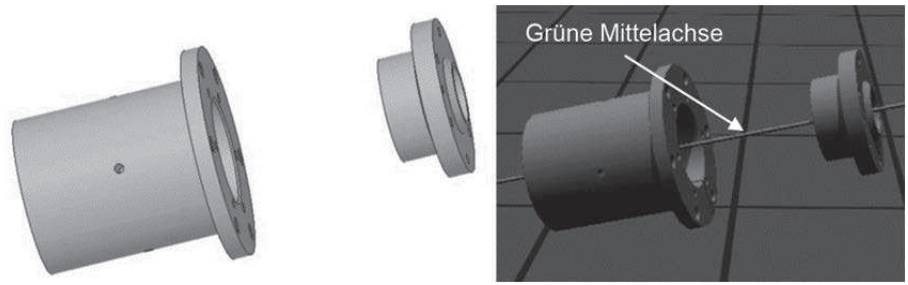

Abbildung 4: Koaxialität der Mittelachsen als Abhängigkeit der beiden Bauteile

Im nächsten Schritt müssen nun die beiden zueinander gehörenden ebenen Flächen zusammengefügt werden. Nachdem die koaxiale Abhängigkeit der beiden zylindrischen Flächen eingefügt wurde, werden die beiden Objekte anhand des Radius nach zusammenpassenden Flächen durchsucht. Sind zwei Flächen identifiziert worden, wird der Abstand dieser ermittelt. Falls er 1,5 cm unterschreitet, wird eine Abhängigkeit eingeführt, sodass diese zusammenfallen. Gleichzeitig werden die grünen Mittellinien ausgeblendet (siehe Abbildung 5). Anschließend lässt sich der Deckel nur noch um die Mittelachse der beiden zylindrischen Flächen drehen.

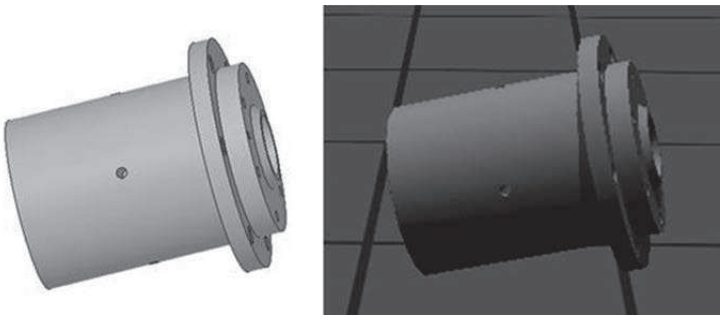

Abbildung 5: Aneinander montierte Bauteile

5. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, das die Nutzung der virtuellen Realität in Verbindung mit natürlichen Interaktionsmethoden am herkömmlichen Arbeitsplatz ermöglicht. Durch die intuitive Interaktion und die realitätsnahe stereoskopische Visualisierung kann der Produktenwickler dreidimensionale Arbeitsvorgänge analog zur Realität durch Tippen, Greifen und Verschieben durchführen.

In einem ersten Schritt zur Entwicklung des Konzepts werden der „hybride Arbeitsplatz" und seine Anforderungen beschrieben, um anschließend auf natürliche Interaktionsansätze aus der Literatur einzugehen. Darauf aufbauend wird ein Systemkonzept erläutert, das aus aktueller Hardware, leistungsfähigen Softwarebibliotheken und intuitiven Interaktionsalgorithmen besteht. Um die Funktionsfähigkeit des Konzepts zu demonstrieren, werden zwei relativ simple Bauteile durch Fingerinteraktion montiert. Das Ergebnis ist eine prototypische Anwendung, die dem Produktentwickler die Vorteile der stereoskopischen Visualisierung bietet, während er mit aus dem Alltag gewohnten Interaktionen im CAD-System eine Baugruppe montiert.

In einem nächsten Schritt soll das System auf eine größere Baugruppe angewendet werden. Dabei ist es notwendig, dass weitere Arten von Abhängigkeiten zwischen Bauteilen genutzt werden. Außerdem ist es notwendig, die Bauteile über ein Menü innerhalb der virtuellen Umgebung einzufügen. Im Rahmen einer Nutzerstudie sollte ein Vergleich des entwickelten Konzepts mit der herkömmlichen Vorgehensweise mit Maus und Tastatur hinsichtlich Usability durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

Borst, C. & Indugula, A. 2006: A Spring Model for Whole-Hand Virtual Grasping. In: Presence, 15 (1), 47-61

Burns, E., Razzaque, S., Panter, A., Whitton, M., McCallus, M. & Brooks, F. 2006: The Hand Is More Easily Fooled than the Eye: Users Are More Sensitive to Visual Interpenetration than to Visual-Proprioceptive Discrepancy. In: Presence, 15 (1), 1-15

Chandrasegaran, S.K., Ramani, K., Sriram, R.D., Horváth, I., Bernard, A., Harik, R.F. et al. 2013: The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. In: Computer-Aided Design, 45 (2), 204-228

Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (Hrsg.). 2014: Virtual und Augmented Reality. Berlin, Heidelberg: Springer

Fechter, M., Miehling, J., Stangl, T. & Wartzack, S. 2014: Intuitive Virtual Reality - CAD Assembly System. In: D. Marjanovic, S. Culley, U. Lindemann, T. McAloone & C. Weber (Hrsg.), Proceedings of the 13th International Design Conference, 1053-1062, Dubrovnik, Kroatien

Holz, D., Ullrich, S., Wolter, M. & Kuhlen, T. 2008: Multi-Contact Grasp Interaction for Virtual Environments. In: Journal of Virtual Reality and Broadcasting, 5 (7)

Huang, J. & Rai, R. 2014: Hand Gesture Based Intuitive CAD Interface, In: ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, V01AT02A094

Jacobs, J. & Froehlich, B. 2011: A soft hand model for physically-based manipulation of virtual objects. In: Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference, 11-18

Kim, H., Albuquerque, G., Havemann, S. & Fellner, D.W. 2005: Tangible 3D: Hand Gesture Interaction for Immersive 3D Modeling. In: Blach, R. & Kjems, E. (Hrsg.): Proceedings of 9th Int. Workshop on Immersive Projection Technology, 191-199

Lu, G., Shark, L., Hall, G. & Zeshan, U. 2012: Immersive manipulation of virtual objects through glove-based hand gesture interaction. In: Virtual Reality, 16 (3), 243-252

Marin, G., Dominio, F. & Zanuttigh, P. 2014: Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices. In: Proceedings of the International Conference on Image Processing (ICIP) 2014, 1565-1569

Palacios, J.M., Sagüés, C., Montijano, E. & Llorente, S. 2013: Human-Computer Interaction Based on Hand Gestures Using RGB-D Sensors. In: Sensors, 13 (9), 11842-11860

Pietschmann, D. 2014: Spatial Mapping in virtuellen Umgebungen. Springer Fachmedien Wiesbaden.

Shalley, C.E., Zhou, J. & Oldham, G. R. 2004: The Effects of Personal and Contextual Characteristics on Creativity: Where Should We Go from Here? In: Journal of Management, 30 (6), 933-958

Song, J., Cho, S., Baek, S.-Y., Lee, K. & Bang, H. 2014: GaFinC: Gaze and Finger Control interface for 3D model manipulation in CAD application. In: Computer-Aided Design, 46, 239-245

Talvas, A. 2014: Bimanual haptic interaction with virtual environments. Dissertation, INSA de Rennes

Ullmann, T. & Sauer, J. 2000: Intuitive virtual grasping for non haptic environments. In: B.A. Barsky, Y. Shinagawa & W. Wang (Hrsg.): Proceedings of the Eighth Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 373-457

VDI 2223 2004: Methodisches Entwerfen technischer Produkte.

Kontakt

Marius Fechter, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
91058 Erlangen
www.mfk.uni-erlangen.de