

Virtuelle Werkstatt

**Dr.-Ing. B. Jung, Dr. M. Latoschik,
Dipl.-Inform. P. Biermann, Prof. Dr. I. Wachsmuth**
*Technische Fakultät, Universität Bielefeld
Labor für Künstliche Intelligenz und Virtuelle Realität
D-33594 Bielefeld
Tel.: 0521/106-2923, Fax.: 0521/106-2962
E-mail: jung|marcl|pbierman|jpke@techfak.uni-bielefeld.de*

Zusammenfassung

Das Projekt "Virtuelle Werkstatt" will Forschungsarbeiten aus den Bereichen Multimodale Interaktion und Virtuelles Konstruieren erweitern und derart zusammenführen, daß ihre realitätsnahe Erprobung in der Virtuellen Realität (VR) demonstrierbar wird. Multimodale Interaktion betrifft die unmittelbare Umsetzung von Benutzereingriffen in einer visualisierten 3D-Szene aufgrund von sprachbegleiteten Gesteneingaben. Virtuelles Konstruieren betrifft die Erstellung und Erprobung computergraphisch visualisierter 3D-Modelle geplanter mechanischer Konstruktionen (sog. virtueller Prototypen), um eine realistische Vorabexploration von Entwürfen per Simulation in der Virtuellen Realität zu ermöglichen. Der Einsatz eines Cave-artigen VR-Großdisplays macht hierbei gleichzeitig Benutzerinteraktionen mit sprachbegleiteten Gesteneingaben im Greifraum wie auch im Fernraum erforschbar.

Schlüsselwörter

Künstliche Intelligenz, Virtuelle Realität, Virtuelles Prototyping, multimodale Mensch-Maschine-Kommunikation

1 Einleitung: Konstruieren in Virtueller Realität

Im Bereich des Designs und der Konstruktion ist die rechnergestützte Darstellung synthetischer Geometriedaten durch Techniken der Virtuellen Realität (VR) zunehmend wichtig. Ein Hauptziel gegenwärtiger Arbeiten zur VR ist der Brückenschlag zwischen den hauptsächlich generierungsorientierten Bilderzeugungssystemen, welche errechnete Visualisierungen einem überwiegend passiven Benutzer zur Verfügung stellen, und interaktiven Systemen, die in der Lage sind, Benutzereingriffe in einer visualisierten Szene unmittelbar umzusetzen. Für Anwendungen im Konstruktionsbereich sind dabei insbesondere VR-Systeme interessant, mit denen sich Modelle realer Objekte und deren Herstellungsprozesse bereits in der Konzeptphase realistisch darstellen und explorieren lassen, vor dem Bau eines physikalischen Produktmodells (Physical Mock-Up). Die Modellierung am Computer ermöglicht einerseits die Übernahme vorhandener CAD-Modelldatenbanken und andererseits ein Probedarstellen ohne Materialverbrauch

und mit leichter Veränderbarkeit des (immateriellen) Modells. Allerdings ist Wechselwirkung mit den visualisierten Modellen derzeit nur eingeschränkt möglich. Hier bildet die Unterstützung der VR-Technik durch intelligente Funktionen, insbesondere durch semantisch verarbeitbare Repräsentationen, den Ausgangspunkt für ein "Virtuelles Konstruieren", das die Gebiete Virtuelle Realität und Künstliche Intelligenz gemeinsam betrifft. Unter Virtuellem Konstruieren wird im folgenden die Erstellung und Erprobung computergraphisch visualisierter 3D-Modelle geplanter mechanischer Konstruktionen sog. virtueller Prototypen (Digital Mock-Ups) mit VR-Techniken verstanden. Die Erstellung virtueller Prototypen erfolgt durch Manipulation CAD-basierter parametrischer Grundbauteile, die zu komplexen Funktionseinheiten zusammengesetzt werden.

1.1 Verwandte Arbeiten

Unter dem Begriff „Virtual Assembly“ werden in der Literatur mindestens zwei Klassen von VR-Systemen betrachtet. Zum einen handelt es sich dabei um VR-Systeme für (De-)Montageprüfungen von virtuellen Prototypen, welche zuvor in einem externen CAD-System modelliert wurden (z.B. [BS98], [JJW+99], [LS01], [ZR01]). Empirische Untersuchungen belegen einen signifikanten Effizienzgewinn beim Einsatz von VR-Technologien gegenüber traditionellen Desktop-Systemen für diesen Aufgabenbereich [BBYD99]. Allerdings implizieren rein auf Montageprüfungen zielende VR-Systeme einen „closed-loop“ Arbeitsablauf: Wird ein Problem mit der (De-)Montage des virtuellen Prototypen in VR erkannt, so ist zur Überarbeitung des Prototypen der Rückgriff auf einen externen CAD-Modellierer notwendig, d.h. eine Variantenkonstruktion in VR ist nicht möglich.

Zum anderen werden daher Virtual Assembly Systeme betrachtet, welche auf die Unterstützung von Konstruktionsprozessen direkt in der Virtuellen Realität („Virtuelles Konstruieren“) zielen. Dabei wird typischerweise von spezifischen Bauteilsätzen ausgegangen, deren Bauteile um explizite Repräsentationen ihrer Verbindungsmöglichkeiten angereichert werden, so daß ein interaktiver, i.a. durch „Schnapp“-Mechanismen unterstützter Zusammenbau zu neuen Baugruppen ermöglicht wird. Allerdings sind Systeme zum virtuellen Konstruieren oft auf einfach geformte Grundobjekte beschränkt (z.B. [BDHO92], [KTK+96], [KTY99]) oder modellieren die Verbindungsstellen als einfache Referenzpunkte (z.B. [DW98], [GGW98], [Sym00]). Im MAESTRO-System werden die Bauteile um 'sensitive Polygone' angereichert, durch welche die Bauteilbewegung schon bei der Annäherung an ein Verbindungsobjekt eingeschränkt wird [SK01]. In Salford entwickeln Fernando et al. eine virtuelle Umgebung zur Modellierung von Baugruppen, welche ähnlich zu CAD-Systemen auf der sukzessiven Definition von räumlichen Relationen wie *concentric*, *coincident* etc. zwischen Bauteil-Features beruht [FMTW99]. Im Gegensatz zu den Arbeiten in Salford beruht unser Ansatz auf einem aufgabenorientierten Interaktionsdesign, d.h. eine logische Montageoperation wird nicht auf die sukzessive Definition mehrerer räumlichen Relationen, sondern auf genau eine Benutzerinteraktion abgebildet. In Ergänzung zu den in anderen Arbeiten betrachteten direkten Manipulationen zielen unsere Arbeiten in der virtuellen Werkstatt des weiteren auch auf die Verarbeitung von natürlichsprachlichen, z.T. durch koverbale Gestik begleiteten Instruktionen zur Interaktion mit der virtuellen Konstruktionsumgebung.

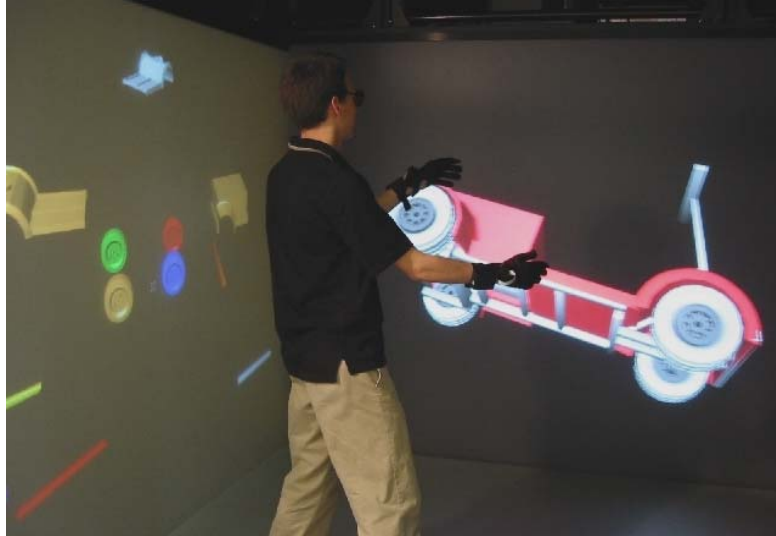


Abbildung 1: Im Projekt „virtuelle Werkstatt“ soll die Konstruktion und Evaluation von Citymobil-Varianten in einer Cave-artigen VR-Installation ermöglicht werden.

1.2 Virtuelle Werkstatt

Das Ende 2001 begonnene Projekt "Virtuelle Werkstatt" will als übergeordnetes Ziel Forschungsarbeiten aus den Bereichen Multimodale Interaktion in der Virtuellen Realität (VR) und Virtuelles Konstruieren erweitern, vertiefen und derart zusammenführen, daß ihre realitätsnahe Erprobung auf einer generischen Handhabungsplattform demonstrierbar wird. An der Erprobungsdomäne des virtuellen Entwurfs und der virtuellen Montage von CAD-Teilen und Baugruppen eines Kleinfahrzeugs ("Citymobil") verfolgt das Projekt folgende Teilziele:

- Im Bereich der multimodalen Mensch-Maschine-Interaktion mit virtuellen Umgebungen wird ein allgemeines und integratives Rahmenwerk für die Erkennung, Interpretation und Umsetzung gestischer und sprachlich-gestischer Eingriffe in der Virtuellen Realität entwickelt, das sowohl sprachbegleitete Gestik wie auch direkte Manipulationen unterstützt.
- Im Bereich des Virtuellen Konstruierens werden aufbauend auf bisherigen Arbeiten (z.B. [JKL+00]; siehe auch 3.1) Methoden entwickelt, die eine komfortable Erstellung, Modifikation und funktionale Überprüfung von Variantenkonstruktionen in der virtuellen Umgebung ermöglichen.
- Als technisches Ziel wird ein Demonstrator für den Entwurf von Variantenkonstruktionen eines Kleinfahrzeugs in der virtuellen Realität entwickelt. Die Veränderung der Konstruktionsentwürfe ist mittels zweihändigen Manipulationen möglich, ergänzt durch Möglichkeiten der kommunikativen Gestik und sprachlicher Eingaben. Grundsätzlich werden im Demonstratorsystem Besonderheiten der Virtuellen Realität wie 1:1-Darstellung, visuell-auditive Präsentation und Immersion ausgenutzt.

2 VR-Installation

Die Forschungsarbeiten in der Virtuellen Werkstatt werden in einem neu errichteten Großdisplay-Setup realisiert (Abb. 1). Bei der Auswahl der Komponenten wurde besonderer Wert auf den Einsatz innovativer, vergleichsweise kostengünstiger Technologien gelegt, welche insbesondere auch ein kabelfreies Arbeiten ermöglichen. Die Cave-artige 3-Seitenprojektion (zwei Wände und ein Boden bilden eine gemeinsame Ecke) der Firma 3Dims arbeitet auf Basis von 6 D-ILA Projektoren mit einer nativen Auflösung von je 1365x1024. Zur Erzeugung des Stereoskopieeffektes kommen dabei Zirkularpolarisationsfilter zum Einsatz. Als Besonderheit dieses Systems lässt sich eine der beiden Seiten zurückfahren, um so etwa einer größeren Anzahl von Zuschauern Einblick zu gewähren. Ein optisches Tracking-System der Firma ART arbeitet Marker-basiert und erreicht eine von äußeren Einflüssen ungestörte effektive Datenrate von 60Hz mit hoher Güte in Bezug auf Latenzzeiten und „Jitter“-Effekte. Als weitere Eingabegeräte kommen zwei kabelfreie Datenhandschuhe sowie ein Funkmikrofon zum Einsatz. Als Simulations- und Render-System dient ein über ein Hochgeschwindigkeitsnetzwerk (Myrinet) verbundenes, unter Linux betriebenes Clustersystem der Firma Artabel. Dieses besteht aus insgesamt 6 Doppelprozessor-Compute-Servern und 8 synchronisierten Render-Nodes (mit NVidia Grafik) auf Basis von PC-Technologien. Die Verteilung der Graphikprimitive auf die Render-Nodes erfolgt dabei über einen speziellen OpenGL Layer, welcher mittels eines sort-first Ansatzes die zu den einzelnen Views (hier den Projektionsseiten) zu schickenden Primitive bestimmt und diese anschließend über das Myrinet an die jeweiligen Render-Nodes versendet.

3 Virtuelles Konstruieren

Im Bielefelder Labor für Künstliche Intelligenz und Virtuelle Realität steht mit dem Virtuellen Konstrukteur seit längerem ein System zur Verfügung, das interaktive Montagesimulationen mit dreidimensional modellierten Grundbausteinen ermöglicht [JKL+00]. Neben den Standardinteraktionen herkömmlicher Graphiksysteme wie Navigation und Objekttranslation erlaubt der Virtuelle Konstrukteur die Echtzeitsimulation folgender montagebezogener Operationen: paßgenaues Fügen und Trennen von Bauteilen und Aggregaten sowie die Modifikation erzeugter Aggregate durch Relativbewegung (Rotation und Translation) von Bestandteilen gemäß verbindungsartspezifischer Freiheitsgrade. Benutzereingaben erfolgen in der Desktop-Version des Virtuellen Konstrukteurs durch mausbasierte Manipulation bzw. einfache sprachliche Instruktion (Abb. 2).

3.1 Wissenbasierte Modellierung von Verbindungseigenschaften

Grundlage der Montagesimulation im Virtuellen Konstrukteur ist ein allgemeiner, wissensbasierter Ansatz zur Modellierung der Bauteilverbindungsmöglichkeiten [Kop98; JKL+00]; er beruht auf der expliziten Modellierung verschiedener Arten von Verbindungsstellen (Ports) der virtuellen Bauteile, wie dem Schaft einer Schraube oder dem Gewinde einer Mutter, sowie verschiedener Typen von Verbindungsbeziehungen zwischen den Ports, z.B. Schrauben oder Stecken. Auf Basis verschiedener Baukastensysteme, die von Baufix-Holzbauteilen bis hin zu

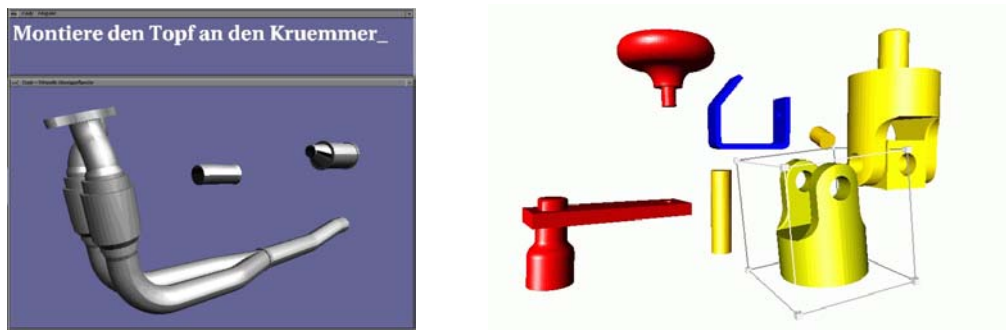


Abbildung 2: Zusammenbau CAD-basierter Bauteile mit dem Virtuellen Konstrukteur: Links wird die Abgasanlage eines Automobils mittels sprachlicher Instruktionen zusammengesetzt (IGES-Datensatz der Volkswagen AG). Rechts wird das aus dem CAD-System "Solidworks" importierte "Universal Joint" (Kreuzgelenk) mittels direkter Manipulation gebaut.

industriellen, CAD-basierten Grundbausteinen (z.B. Auspuffanlage eines VW Polo) reichen, wurde dazu eine Wissensbasis mit taxonomisch angeordneten Porttypen entwickelt. Die Top-level Konzepte sind *ExtrusionPort* (spezialisiert in *GeberPort* und *NehmerPort*), womit z.B. Schraubverbindungen modelliert werden, *PlanePort* für Objektverbindungen an koplanaren Flächen, sowie *PointPort* zur Modellierung punkartiger Verbindungen ohne translatorische Freiheitsgrade. Daneben werden im Virtuellen Konstrukteur verschiedene Verbindungsarten modelliert, wie sie auch in der Konstruktionslehre u.a. nach physikalischen Schlußkräften oder verbleibenden Freiheitsgraden unterschieden werden [Rot94]. So kann in der Montagesimulation z.B. weiter zwischen Stecken (Translation und Rotation ungekoppelt), Schrauben (Translation und Rotation gekoppelt) oder Schweißen (keine Freiheitsgrade) unterschieden werden. Die verschiedenen Verbindungen werden als Relationen zwischen Verbindungsports beschrieben und ebenfalls in einer Hierarchie angeordnet.

Zur Spezifikation von Port- und Verbindungsart-bedingten Bewegungseinschränkungen verbundener Objekte wurde das Beschreibungsmittel der erweiterten Freiheitsmatrizen entwickelt [Kop98]. Diese basieren auf den logischen Freiheitsmatrizen, die in der Konstruktionslehre als digitale Darstellungen der Berührungen zweier Körper in diskreten Punkten definiert sind [Rot94] und ermöglichen u.a. die Beschreibung der verbleibenden möglichen Relativbewegungen von Bauteilen, die in der virtuellen Umgebung verbunden wurden. Bei der Simulation von Fügehandlungen wird Wissen über die Verbindungsports und die Verbindungsarten zur Herstellung und zur weiteren Modifikation von Objektverbindungen ausgenutzt. Zur Überprüfung der prinzipiellen Verbindbarkeit zweier Bauteile werden dabei für jeweils zwei Ports der zu verbindenden Objekte verschiedene Bedingungen getestet (Gleichartigkeit, geeignete Positionierung, ausreichende Kapazitäten, passende Geometrien, kompatible Verbindbarkeiten). Insbesondere stellen diese Bedingungen eine Verallgemeinerung der im Kontext der robotischen Montageplanung formulierten Kontaktbedingungen nach [PAB80] dar und bieten mit erweiterten Freiheitsmatrizen einen allgemeinen Ansatz zur Beschreibung von Objektverbindungen, wie er z.B. in [HN97] gefordert wird.

3.2 Virtueller Entwurf mit Bauteilskalierung

Wesentlich beim Entwurf von Variantenkonstruktionen ist die Größenanpassung der Bauteile an individuelle Erfordernisse. Dabei ist die Möglichkeit nicht-uniformer Skalierung wichtig, z.B. wenn ein Rahmenteil oder der ganze Rahmen länger, aber nicht breiter ausgelegt werden soll. Nicht-uniforme Skalierungen werden derzeit in VR-Prototyping-Umgebungen wenn überhaupt nur für einfache Sonderfälle unterstützt. Hier sind folgende Probleme zu lösen: (1) Datenstrukturen zur Kollisionserkennung sind bei veränderter Bauteilgeometrie dynamisch zu berechnen; (2) Teile der Geometrie müssen charakteristische Formeigenschaften bewahren, z.B. dürfen Bohrungen bei Längenskalierung nicht mit skaliert werden; (3) die Lage von Verbindungsstellen der Bauteile ändert sich bei Skalierung, Modelle der Verbindungsports sind dynamisch anzupassen.

Die Modellierung nichtuniform skalierbarer Teile beruht auf parametrischen Festkörpern, deren Dimensionsparameter (Länge, Breite, Tiefe) zur Laufzeit veränderbar sind. Geometrie-, Verbindungsport- und Kollisionsdaten werden systemseitig in Abhängigkeit von aktuellen Dimensionsparametern angepaßt. Die nicht-uniforme Skalierung der Bauteilgeometrie beinhaltet den Einsatz von CSG (Constructive Solid Geometry) Methoden, welche z.B. das Ausschneiden von Loch-Features aus Primitiven leisten. Einerseits wird zur Realisierung der CSG-Fähigkeit auf das ACIS-Modeling System zurückgegriffen, welches polygongenaue Bauteilgeometrien erzeugt, wie sie etwa zur Kollisionsprüfung benötigt werden.

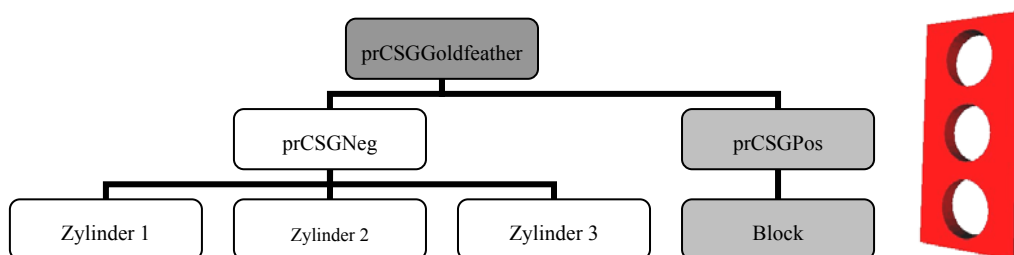


Abbildung 3: Ausschnitt des Szenengraphs für die CSG-Modellierung einer Leiste mit drei zylindrischen Löchern. Die Leiste kann interaktiv in beliebigen Dimensionen skaliert werden, wobei die Kreisförmigkeit der Löcher erhalten bleibt.

Um andererseits den Echtzeitanforderungen der VR gerecht zu werden, etwa bei per direkter Manipulation durchgeführten Skalierungsoperationen, wurde eine alternative Methode entwickelt, welche den Effekt von CSG-Operationen rein visuell erzeugt. Die Repräsentationen der Bauteile und ihrer Assembly-Features werden dazu als besondere Knoten in die vorhandene Szenengraph-Struktur (Avango [Tra99]) eingefügt, welche eine echtzeitfähige Darstellung über OpenGL erlauben. Die Realisierung besteht aus drei Szenengraph-Knoten: einem Hauptknoten (prCSGGoldfeather) und zwei Hilfsknoten (prCSGPos und prCSGNeg), welche die Ausprägung ihrer Kind-Knoten bestimmen. Diese können ein positives oder ein komplementäres CSG-Teilstück darstellen. Abb. 3 zeigt einen Szenen-

graph-Ausschnitt, der eine Leiste mit drei zylindrischen Löchern realisiert. Der Hauptknoten blockiert im Render-Durchlauf die normale Darstellung seiner Kindknoten und löst stattdessen ein eigenes Multipass-Rendering aus, das durch einen modifizierten Goldfeather-Algorithmus [GHF86] realisiert ist. Da die ursprüngliche Realisierung des Goldfeather-Algorithmus in OpenGL stark auf Pixel-Transfers zwischen Tiefen-Buffer und Hauptspeicher setzt, welche in einen Render-Cluster mit verteiltem OpenGL zu Performanzeinbrüchen führt, musste der Algorithmus so angepasst werden, dass die Operationen nur jeweils im lokalen Stencil-Buffer der einzelnen Render-Clients durchgeführt werden. Da dieser Algorithmus im allgemeinen mehr Ebenen des Stencil-Buffers benötigt als der ursprüngliche Goldfeather-Algorithmus, werden weitere Optimierungen vorgenommen, wie z.B. der Test auf Überschneidung von komplementären Teilen (siehe auch [TE00]).

Die beiden CSG-Verfahren werden wie folgt kombiniert: Im Verlauf einer per direkter Manipulation durchgeführten Skalierungsoperation wird das Bauteil rein visuell skaliert, was dem Anwender ein unmittelbares visuelles Feedback ermöglicht. Nach Abschluß der Skalierungsoperation wird eine polygonale Repräsentation der Bauteilgeometrie mithilfe des ACIS-Modelers aufgebaut. Zusätzlich werden auch die Portmodellierungen an die neuen Bauteilgeometrien angepaßt, so daß die Verbindungseigenschaften der Bauteile der aktuellen Geometrie entsprechen.

4 Multimodale Interaktion mit Sprache und Gestik

Die Benutzerinteraktion mit der visualisierten 3D-Szenen erfolgt multimodal mit Hilfe von sprachbegleiteten Gesteneingaben. Im 1999 abgeschlossenen SGIM-Projekt [LJW99] wurden Grundlagentechniken entwickelt, die mittels 6DOF- und Bimetallsensoren Informationen über die Bewegungsrichtung der oberen Extremitäten und die Position eines Benutzers bei der Interaktion mit Großdisplays in Multimedia-Umgebungen erschließen. Dazu gehört die signaltechnische Erfassung und Bedeutungsanalyse von Körpergestik (vor allem Arme und Kopfstellung des Benutzers), die Analyse von Spracheingaben, die Integration der Gesten und Spracheingaben sowie die Kopplung in Echtzeit-basierte immersive Anwendungssysteme. Bei der Umsetzung dieser Aufgaben wurde insbesondere Wert auf eine kompositionelle Zerlegung der benötigten Funktionen unter Berücksichtigung und Erweiterung aktueller Ansätze zur VR-Modellierung gelegt (vgl. Standards VRML97, X3D oder Forschungsprototypen wie AVANGO etc.). Die entwickelten Konzepte wurden als Baukastensystem für die Modellierung multimodaler Interaktion in der VR realisiert. Ein Beispiel für eine damit realisierte Anwendungsmodellierung zeigt Abb. 4.

Die entwickelte Gestenerkennung auf Basis des PrOSA-Rahmensystems [Lat01] basiert auf der Detektion definitiver Merkmale, die sowohl die Form als auch den zeitlichen Verlauf einer Geste betreffen. Als Formmerkmale werden Fingerstellung, Handorientierung und -position betrachtet; expressive Elemente, die auf das Vorliegen einer bedeutungstragenden Geste hinweisen, sind Ruhepunkte, hohe Beschleunigungen, Symmetrien und Abweichungen von Ruhestellungen bei Handspannung und der Handposition. Realisiert wurden bislang Erkennen für die universellen Basisinteraktionen (Pointing, Grasp, GraspRelease, Rotation, Trans-

lation). Bei der sprachlich-gestischen Interaktion werden bislang drei Typen von Gesten ausgewertet: Deiktische Gesten ("nimm <Zeigegeste> dieses Teil") spezifizieren ein Objekt oder einen Ort der virtuellen Umgebung, mimetische Gesten ("drehe es <kreisender Zeigefinger> so herum") qualifizieren die Ausführung einer Aktion, und ikonische Gesten ("das so <Andeutung eines Zylinders durch die Handform> geformte Objekt ...") werden zur Objektreferenz verwendet. Zwei dieser Beispielinteraktionen werden in Abb. 5 veranschaulicht.

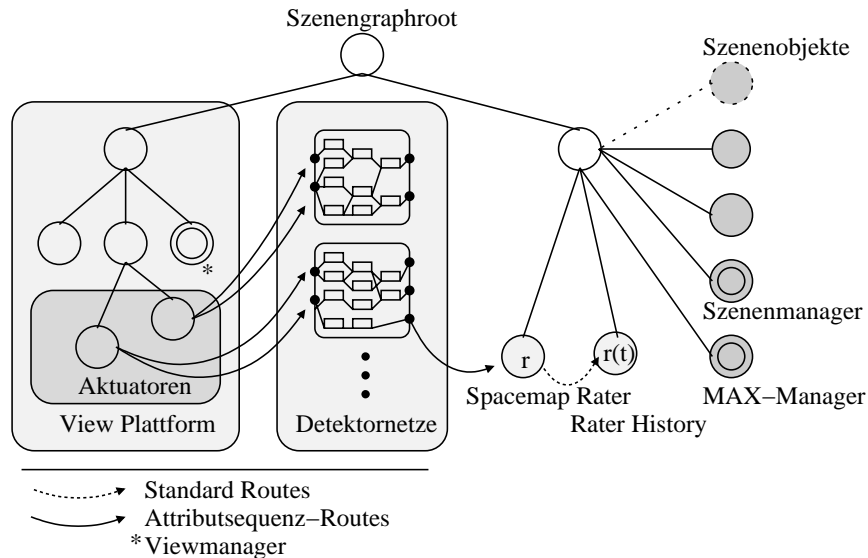


Abbildung 4 Anwendungsstruktur für die Realisierung multimodaler Interaktion in VR: Aktuatoren bilden eine Benutzer- und Sensorikabstraktionsebene. Die Gestenerkennung erfolgt mittels in die Szenenstruktur eingebetteter Detektornetze. Spezielle Szenengraphknoten wie Spacemap und History führen eine Voranalyse der veränderlichen Szene im Hinblick auf eine zeitversetzte Analyse von Zeigegesten durch. Andere Knotentypen (Manager) etablieren eine Kommunikation mit weniger zeitkritischen Komponenten zur Wissensrepräsentation. Attributsequenzen erlauben einfache Datenflussverschaltungen ähnlich den Feldkonzepten bei VRML, arbeiten aber asynchron zur Render-Pipeline.



Abbildung 5 Zwei multimodale Interaktionsbeispiele. Linkes und mittleres Bild: „Nimm [Zeigegeste] dieses Rohr und verbinde es mit [Zeigegeste] dem Teil“. Rechtes Beispiel: „Und nun drehe es so [Start Rotationsgeste] herum [Ende Rotationsgeste]“.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde das Projekt „Virtuelle Werkstatt“ vorgestellt. Die dargestellten Methoden dienen z.B. dazu, ein Citymobil aus seinen Hauptkomponenten in verschiedenen Varianten in VR zusammzusetzen. Über reine Montageprüfungen hinausgehend zielen die Forschungsarbeiten in der virtuellen Werkstatt auch auf die Unterstützung von Konstruktionsaufgaben. Dazu werden u.a. Techniken entwickelt, die eine interaktive Skalierung einzelner Bauteile sowie ganzer Baugruppen unter Aufrechterhaltung ihrer semantisch repräsentierten Verbindungseigenschaften ermöglichen. Die Mensch-Maschine-Interaktion in der Caveartigen VR-Installation beruht auf sprachlichen, durch Gesten ergänzte Eingaben sowie in Zukunft auch auf zweihändigen gestischen Manipulationen. Weitere zukünftige Arbeiten betreffen u.a. funktionale Überprüfungen (z.B. Freigangprüfungen) von interaktiv modellierten Variantenkonstruktionen und die Netzwerkverteilung der virtuellen Umgebung zur Erschließung von Anwendungen im Concurrent Engineering.

Weitere Informationen zur Virtuellen Werkstatt finden sich auf der Projekt-Homepage <http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/wbski/werkstatt/>. Das Projekt "Virtuelle Werkstatt" wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

Literatur

- [BBYD99] A. Banerjee, P. Banerjee, N. Ye, and F. Dech. Assembly planning effectiveness using virtual reality. *Presence*, 8(2):204-217, 1999.
- [BDHO92] J. Butterworth, A. Davidson, S. Hench, and T. M. Olano. 3DM: A three dimensional modeler using a head-mounted display. In *Proc. of the Symposium on Interactive 3D Graphics*, p. 134-138. ACM Press, 1992.
- [BS98] M. Buck and E. Schömer. Interactive rigid body manipulation with obstacle contacts. In *Proceedings 6th International Conference in Central Europe on Computer Graphics and Visualization*, p. 49-56, 1998.
- [DW98] P. Drews and M. Weyrich. Interactive functional evaluation in virtual prototyping illustrated by an example of a construction machine design. In *IECON-98 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, vol. 4, pages 2146-2151. IEEE, 1998.
- [FMTW99] T. Fernando, N. Murray, K. T. W. Tan, and P. Wimalaratne. Software architecture for a constraint-based virtual environment. In *Proc. VRST-99 ACM International Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 1999.
- [GGW98] J. Gausemeier, M. Grafe, and R. Wortmann. Interactive planning of manufacturing systems with construction sets. In *IECON-98 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, vol. 4, p. 2146-2151. IEEE, 1998.
- [GHF86] J. Goldfeather, J. P. M. Hultquist, and H. Fuchs. Fast constructive-solid geometry display in the Pixel-Powers graphics system. In D. C. Evans and R. J. Athay, editors, *Computer Graphics (SIGGRAPH 86 Proceedings)*, volume 20, pages 107-116, August 1986.
- [HN97] B. W. Henson and N. P. Juster. Information requirements for the support of assembly mating conditions. In *Proceedings of DETC'97*, Sacramento, CA, September 1997. ASME.

- [JJW+99] S. Jayaram, U. Jayaram, Y. Wang, K. Lyons, and P. Hart. VADE: A virtual assembly design environment. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(6), 1999.
- [JKL+00] B. Jung, S. Kopp, M.E. Latoschik, T. Sowa & I. Wachsmuth: Virtuelles Konstruieren mit Gestik und Sprache. *KI – Künstliche Intelligenz 2/00*, Themenheft Schwerpunkt "Intelligente virtuelle Umgebungen", April 2000, 5-11.
- [KTK+96] K. Kiyokawa, H. Takemura, Y. Katayama, H. Iwasa, and N. Yokoya. Vlego: A simple two-handed modeling environment based on toy blocks. In *Proc. ACM Symp. on Virtual Reality Software and Technology (VRST '96)*, 1996.
- [KTY99] K. Kiyokawa, H. Takemura, and N. Yokoya. SeamlessDesign: A face-to-face collaborative virtual/augmented environment for rapid prototyping of geometrically constrained 3-d objects. In *Proc. of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Vol. 2, p. 447-453, 1999.
- [Lat01] M. E. Latoschik: A Gesture Processing Framework for Multimodal Interaction in Virtual Reality. In A. Chalmers and V. Lalioti, editors, *Afrigraph 2001, 1st International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality and Visualization in Africa, 5 - 7 November 2001*, New York, NY 10036, 2001, ACM SIGGRAPH, pp. 95-100
- [LJW99] M. E. Latoschik, B. Jung & I. Wachsmuth: Multimodale Interaktion mit einem System zur Virtuellen Konstruktion. In K. Beiersdörfer, G. Engels & W. Schäfer (Hrsg.): *Informatik '99, - Informatik überwindet Grenzen, 29. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik*. Berlin: Springer 1999, 88-97.
- [LS01] A. Looock and E. Schömer. A virtual environment for interactive assembly simulation: From rigid bodies to deformable cables. In *Proceedings 5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI'01)*, vol. 3 (Virtual Engineering and Emergent Computing), pages 325-332, 2001.
- [Kop98] S. Kopp. *Ein wissensbasierter Ansatz zur Modellierung von Verbindungen für die virtuelle Montage*. Diplomarbeit, Technische Fakultät, Universität Bielefeld, März 1998.
- [PAB80] R.J. Popplestone, A. P. Ambler, and I. M. Bellos. An interpreter for a language for describing assemblies. *Artificial Intelligence*, 14(1):79-107, 1980.
- [Rot94] K. Roth. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*, Bd. I., 2. Auflage. 1994.
- [SK01] R. Steffan and T. Kuhlen. Maestro - a tool for interactive assembly simulation in virtual environments. In B. Fröhlich, J. Deisinger, and H.-J. Bullinger (Eds.): *Immersive Projection Technology and Virtual Environments*, p. 141 - 152. Springer, 2001.
- [Sym00] M. Symietz. *Echtzeitbasierte Generierung und Verlegung von Leitungsobjekten in einem digitalen Fahrzeugmodell mit einem Virtual-Reality-System*. PhD thesis, University of Bielefeld, Faculty of Technology, 2000.
- [TE00] R. F. Tobler, G. Erhart. General Purpose Z-Buffer CSG Rendering with Consumer Level Hardware. Technical Report *TR VRVis 2000-003*, VRVis Zentrum für Virtual Reality und Visualisierung Forschungs-GmbH, 2000.
- [Tra99] H. Tramberend: A Distributed Virtual Reality Framework. In *Proceedings Virtual Reality*, 1999.
- [ZR01] G. Zachmann and A. Rettig. Natural and robust interaction in virtual assembly simulation. In *Proceedings Eighth ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications (ISPE/CE2001)*, 2001.

Autoren

Bernhard Jung studierte Informatik und Computerlinguistik an der Universität Stuttgart und an der University of Missouri, St. Louis, USA. Seit 1993 arbeitet er an der Universität Bielefeld, wo er 1996 promovierte und seit 1997 als Wissenschaftlicher Assistent und Projektleiter in der "Virtuellen Werkstatt" beschäftigt ist. Seine Forschungsinteressen liegen in intelligenten virtuellen Umgebungen mit einem Schwerpunkt in der virtuellen Konstruktion.

Peter Biermann studierte Naturwissenschaftliche Informatik an der Universität Bielefeld und ist dort seit 2001 als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigt. Ein Hauptthema seiner gegenwärtigen Forschungsarbeiten betrifft die Variantenkonstruktion mit skalierbaren Bauteilen in virtueller Realität.

Marc Erich Latoschik studierte Informatik an den Universitäten Paderborn, Bielefeld und am New York Institute of Technology (USA). Seine Promotion (2001) über die Entwicklung multimodaler Steuerungssysteme für die Virtuelle Realität - konkret am Beispiel der virtuellen Konstruktion - bildet die Grundlage derzeitiger Forschungsinteressen. Diese beschäftigen sich mit der Modellierung immersiver Echtzeitanwendungen in Verbindung mit KI Ansätzen etwa zur Sprach- und Gestensteuerung.

Ipke Wachsmuth studierte Mathematik und Informatik an der TU Hannover, wo er 1980 promovierte. Nach Lehr- und Forschungstätigkeiten an der Universität Osnabrück, der Northern Illinois University und bei IBM Deutschland habilitierte er sich 1989 an der Universität Osnabrück; im gleichen Jahr wurde er auf die Professur für Wissensbasierte Systeme (Künstliche Intelligenz) an die Universität Bielefeld berufen.