Dreidimensionale Visualisierungstechniken in der Untersuchung von Greifbewegungen

Torsten Kuhlen, Roland Steffan, Karl-Friedrich Kraiss

Lehrstuhl für Technische Informatik
RWTH Aachen, Ahornstr. 55, 52074 Aachen
kuhlen@techinfo.rwth-aachen.de

In einer Kooperation mit der Neurologischen Klinik Düsseldorf entwickelt der Lehrstuhl für Technische Informatik der RWTH Aachen ein System mit dem Namen IMPACT (Interactive Motor Performance Analysis and Classification Tool) zur kinematischen Analyse menschlicher Bewegungen. Der vorliegende Beitrag stellt diejenigen Komponenten von IMPACT vor, in denen dreidimensionale Visualisierungstechniken zur Untersuchung von Greifbewegungen eingesetzt werden. Zum einen werden Tests durchgeführt, in denen Personen nach computergraphisch visualisierten, virtuellen Gegenständen greifen. Zum anderen können die durchgeführten Greifbewegungen anschließend als dreidimensionale Animation dargestellt werden.

Keywords: Bewegungsanalyse, Sensomotorik, Greifbewegungen, Virtuelle Realität

1 Einleitung

In der Erforschung der menschlichen Sensomotorik standen in den letzten 10 Jahren immer wieder Greifbewegungen im Mittelpunkt des Interesses. Insbesondere Greifbewegungen mit Perturbation können Aufschluß über die mentalen Prozesse bei Planung und Durchführung menschlicher Bewegungen geben. Allen bisher dokumentierten Untersuchungen von perturbierten Greifversuchen ist jedoch ein relativ komplizierter mechanischer Versuchsaufbau gemein, der eine einfache Variation der Tests nicht zuläßt. Aus diesem Grund stellen wir hier einen alternativen Ansatz vor, der auf virtuellen Versuchsumgebungen (Virtual Reality, VR) basiert. Der nächste Abschnitt beginnt mit einer Motivation des VR-basierten Ansatzes, gefolgt von einer Beschreibung der verwendeten Visualisierungstechnik zur dreidimensionalen Darstellung der virtuellen Greifobjekte. Erste Ergebnisse von durchgeführten Greifversuchen werden präsentiert. Der dritte Abschnitt zeigt auf, wie der Untersuchende (Mediziner, Biomechaniker etc.) auch während der Bewegungsanalyse von dreidimensionalen Visualisierungstechniken profitieren kann, indem die Greifbewegungen der Versuchspersonen computergraphisch animiert werden.

2 Greifen nach virtuellen Zielobjekten

2.1 Motivation

Angeregt durch die Arbeiten von Marc Jeannerod werden Greifbewegungen bis heute extensiv als eine experimentelle Methode zur Erforschung menschlichen Bewegungsverhaltens und seiner sensomotorischen Kontrollmechanismen eingesetzt. Von besonderem Interesse sind hier Greifbewegungen mit visuellen Perturbationen, in denen z. B. die Größe oder die Position des Zielobjekts verändert wird, während der Proband nach ihm greift. Solche Perturbationsexperimente stellen einen Ansatz zur Verfeinerung des bisher angenommenen, noch recht grob gegliederten Strukturmodells des motorischen Systems dar. Perturbationsexperimente mit gesunden Probanden haben bereits zu einer abgestufteren Auffassung des Systems und einer Untergliederung von Greifbewegungen in separate Komponenten geführt. In [1] stellt M. Jeannerod als ein Ergebnis solcher Versuche die Hypothese von zwei getrennten visuomotorischen Kanälen auf, die anhand extrinsischer (z. B. räumliche Position) bzw. intrinsischer (z. B. Größe und Form) Objekteigenschaften eine separate Programmierung von Transport- und Greifkomponente einer Greifbewegung vornehmen.

Durch getrennte Perturbation der angenommenen Kanäle versuchte man anschließend, die Beziehungen zwischen den beiden Bewegungskomponenten zu ergründen (siehe z. B. [2]). Dabei stellte man eine temporäre Kopplung der Transport- und Greifkomponente fest. Änderungen der extrinsischen Objektcharakteristika führten nicht nur zu Modifikationen im Ablauf der korrespondierenden Transport-, sondern auch zu einer geänderten Ausführung der Greifkomponente innerhalb der Gesamtbewegung. Nachfolgende Studien befassen sich unter anderem mit der temporalen Organisation des Kopplungsmechanismus [3]. Allen Testaufbauten, die in den bisher dokumentierten Greifversuchen verwendet wurden, ist der komplizierte mechanische Aufbau gemein, der eine einfache Variation der Tests nicht zuläßt und sogar zu verfälschten Ergebnissen führen kann [4].

An diesem Punkt setzen VR-basierte Greifversuche an. Durch die Verwendung eines VR-Systems lassen sich das Verhalten wie auch die Eigenschaften von Zielobjekten programmgesteuert vorgeben und damit auch variieren. Im Rahmen des Projekts IMPACT [5] wurde ein Software-Paket entwickelt, mit dessen Hilfe schnell umfangreiche und problemlos modifizierbare Versuchsumgebungen für perturbierte Greifbewegungen erzeugt werden können. Dabei wurde großer Wert auf weitreichende Konfigurationsmöglichkeiten und hohen Bedienkomfort im Umgang mit dem System gelegt. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus der dem Versuchsleiter (z. B. Mediziner) zur Verfügung stehenden Benutzungsoberfläche, welche die Durchführung von Experimenten mit gleichzeitiger Änderung von extrinsischen und intrinsischen Objekteigenschaften, kontinuierlichen oder spontanen Parameteränderungen sowie beliebigen Kombinationen daraus zuläßt. Die Verwendung computergraphisch visualisierter, virtueller Versuchsobjekte erlaubt weiterhin einen abrupten Wechsel der Sichtbarkeit von Objekten sowie den optionalen Einsatz taktilen Feedbacks durch zusätzliche Hardware. Durch die Bereitstellung dieser Konfigurationsmöglichkeiten und die in IMPACT integrierte Möglichkeit der quantitativen Auswertung von Bewegungen gesunder sowie sensomotorisch gestörter Versuchspersonen lassen sich unter Umständen neue Erkenntnisse über den Ablauf und die Parameter der verschie-

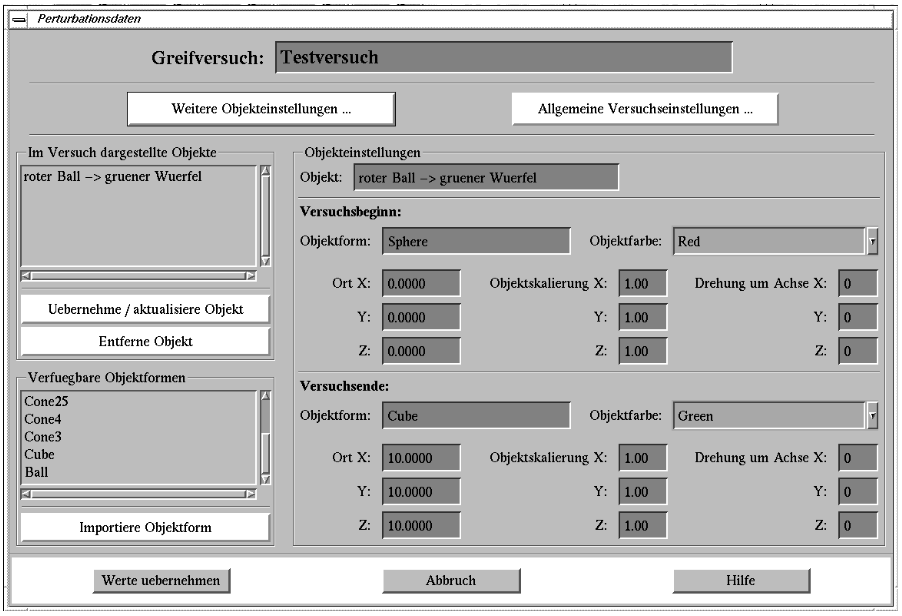

Abbildung 1: Benutzerführung zur Konfiguration VR-basierter Greifversuche

denen Phasen einer Bewegung sowie über Funktion und Zusammenwirken verschiedener Cortexareale gewinnen.

2.2 Visualisierung virtueller Zielobjekte

Damit kein bzw. nur ein determinierbarer Unterschied im Greifverhalten nach realen und virtuellen Zielobjekten auftritt, muß die visuelle Präsentation der virtuellen Objekte folgenden Bedingungen genügen:

1. Die virtuellen Objekte überlagern sich mit der realen Umgebung, so daß die Versuchsperson visuellen Kontakt zu ihrer Greifhand behält.

2. Um ein ungehindertes Greifen zu ermöglichen, müssen die Zielobjekte so visualisiert werden, daß sie als (dreidimensionale) Körper im freien Raum wahrgenommen werden.

3. Die virtuellen Objekte werden (wie reale Objekte) unabhängig von Blickwinkel und Position des Probanden als räumlich konstant wahrgenommen.

In vielen VR-Systemen werden kopffeste Anzeigesysteme, sog. Head-Mounted Displays, verwendet, die ein vollständiges Eintauchen in eine virtuelle Welt erlauben. Hier hat ein Proband jedoch keinerlei Sichtkontakt zu seiner eigenen Hand, die durch ein computergraphisches Pendant repräsentiert werden muß, so daß die erste Bedingung nicht erfüllt ist.

Aus diesem Grund wird in IMPACT eine nicht-immersive Technik verwendet, bei der eine stereoskopische Darstellung auf einem herkömmlichen Graphik-Monitor erfolgt, die

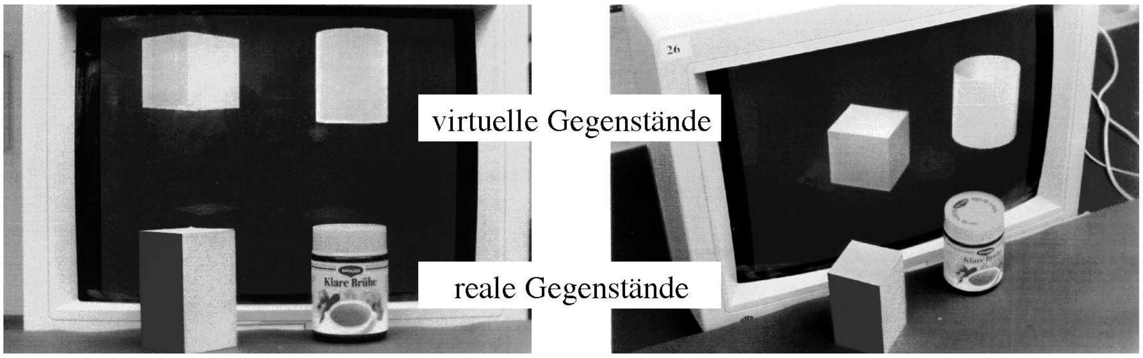

Abbildung 2: Visualisierungstechnik für VR-basierte Greifversuche

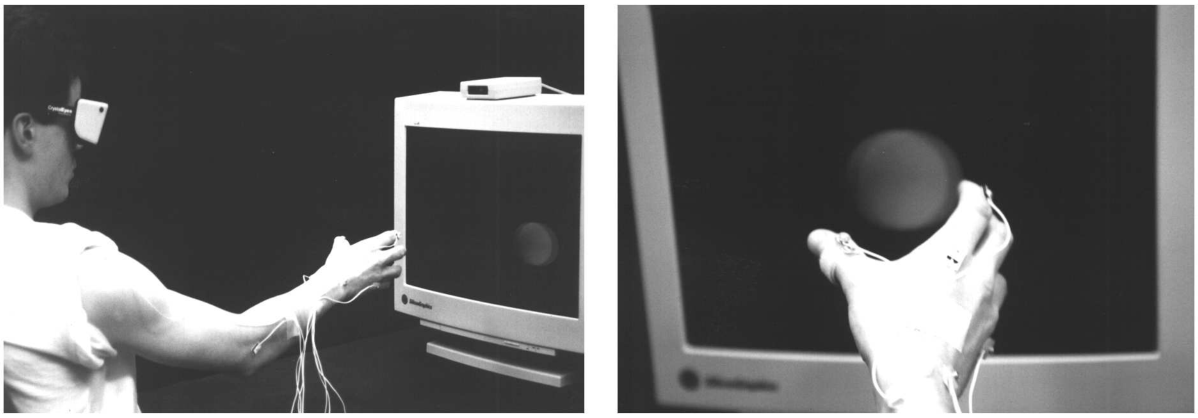

Abbildung 3: Durchführung eines VR-basierten Greifversuchs

der Betrachter mit Hilfe einer Stereo-Brille nach dem Shutter-Prinzip räumlich wahrnehmen kann. Um die räumliche Konstanz der Objektwahrnehmung zu gewährleisten, wird ein elektromagnetisches Trackingsystem eingesetzt, mit dessen Hilfe die Kopfposition und daraus abgeleitet die Position der Augen sowie die Blickrichtung des Betrachters gemessen werden können. Aus den Meßwerten wird die Darstellung virtueller Objekte auf dem Monitor so berechnet, daß die Projektion des Bildes auf der Netzhaut des Betrachters exakt der Projektion eines identischen realen Objekts gleicht.

Diese Visualisierungstechnik erfüllt in nahezu idealer Weise alle oben genannten Bedingungen. Abbildung 2 vermittelt einen Eindruck von dieser Technik. Die Bilder wurden mit einem an der Kamera befestigten Tracking-Sensor aufgenommen.

Abbildung 3 zeigt die Durchführung eines VR-basierten Greifversuchs mit Hilfe der erläuterten Visualisierungstechnik. Die Bewegungsmessung erfolgt über ein aktives optoelektronisches System mit Infrarot-Leuchtdioden.

2.3 Erste Ergebnisse

Der Einsatz eines VR-Systems zur Untersuchung von Greifbewegungen macht letztendlich nur dann Sinn, wenn ein Proband kaum Unterschiede im Greifverhalten nach realen bzw. virtuellen Objekten zeigt oder sich Unterschiede im Bewegungsverlauf zumindest eindeutig vorherbestimmen lassen. Aus diesem Grund werden zur Zeit identische Tests mit realen und virtuellen Objekten durchgeführt [4]. Erste Ergebnisse in Greifversuchen nach einem 10 cm großen realen bzw. virtuellen Ball zeigen, daß nachdem die Probanden sich in einigen Testläufen mit dem Aufbau vertraut gemacht haben, keine Unterschiede in den Transportkomponenten der Greifbewegungen mehr festzustellen sind. Die Greifkomponenten hingegen weisen insofern deutliche Unterschiede hinsichtlich der Apertur zwischen Daumen und Zeigefinger auf, als daß das Loslassen des virtuellen Balls nicht mit einer Öffnung der Finger einhergeht. Momentan wird untersucht, ob sich dieses Greifverhalten bei Einsatz taktilen Feedbacks ändert.

3 3D-Animation von Greifbewegungen

Bislang gestaltet sich ein ergonomischer Zugang zu aufgezeichneten dreidimensionalen Bewegungsdaten, vor allem der oberen Extremitäten, als problematisch. Die sich der Durchführung von Bewegungsaufgaben anschließende Visualisierung und Auswertung der Daten werden durch die eingesetzten Computersysteme nur unzureichend unterstützt. Die Visualisierung der aufgezeichneten Daten wird in der Regel lediglich als zweidimensionaler Plot realisiert, der die dreidimensionalen Daten als Projektion auf eine der drei Ebenen eines kartesischen Koordinantensystems zeigt. Zur Auswertung der Versuchsdaten werden kinematische Parameter wie z. B. die Dauer einzelner Bewegungsabschnitte, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sowie die Werte einzelner Gelenkwinkel in 2D-Diagrammen oder tabellarisch dargestellt.

Die zweidimensionale Darstellung einer dreidimensionalen Bewegung bedingt zwangsläufig einen Verlust an Information, der durch das Zusammensetzen von Abbildungen verschiedener Perspektiven – also räumliches Vorstellungsvermögen – nur teilweise kompensiert werden kann. Hier können 3D-Visualisierungstechniken die konventionellen 2D-Auswertungsverfahren sinnvoll ergänzen. Aus diesem Grund wurde in IMPACT ein Verfahren zur Animation gemessener Hand-Arm-Bewegungen in der Virtuellen Realität entwickelt. Zur Zeit kann die computergraphische Darstellung der oberen Extremitäten wahlweise als einfaches geometrisches Modell [5] oder als Skelettmodell (Abb. 4) ausgeführt werden. Ein annähernd photorealistisches Modell befindet in der Entwicklung. Durch den Einsatz einer Stereobrille kann der Untersuchende eine echte 3D-Darstellung nutzen, die einer lediglich quasi-räumlichen, perspektivischen Darstellung nachweislich überlegen ist. Zur interaktiven, intuitiven Steuerung der Sicht auf die Animation unterstützt IMPACT 3D-Steuergeräte wie SpaceBall oder SpaceMouse. Die Wahl einer beliebigen Wiedergabegeschwindigkeit in Kombination mit der freien Wahl des Beobachterstandpunktes, der Blickrichtung und des Blickwinkels bietet im Vergleich zu einer Videoaufzeichnung den Vorteil, daß die Konzentration auf interessierende Details der Bewegung problemlos möglich ist. Die Untersuchungsmöglichkeiten des zeitlichen Verlaufs einer Bewegung können somit entscheidend verbessert werden.

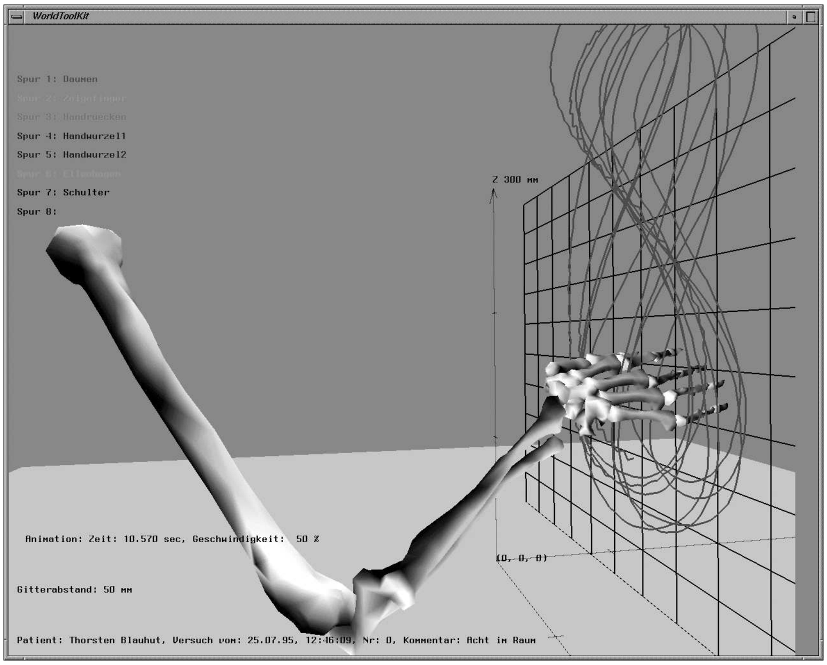

Abbildung 4: Animation der Armbewegung eines Probanden

Literatur

[1] Jeannerod M: The formation of finger grip during prehension: a cortically mediated visuomotor pattern. *Behavioural Brain Research*, 19:99–116, 1986.

[2] Paulignan Y, MacKenzie C, Marteniuk R, Jeannerod M: Selective perturbation of visual input during prehension movements, 1. the effects of changing object position. *Experimental Brain Research*, pp. 502–512, 1991.

[3] Gentilucci M, Chieffi S, Scarpa M, Castiello U: Temporal coupling between transport and grasp components during prehension movements: Effects of visual perturbation. *Behavioural Brain Research*, 47:71–82, 1992.

[4] Kuhlen T, Steffan R, Dohle C, Hefter H, Kraiss KF, Freund HJ: Virtual environments for the study of reach to grasp movements. In *4th International Symposium on 3-D Analysis of Human Movement*, Grenoble, 1996.

[5] Kuhlen T, Dohle C, Walter P, Schmitt M, Hefter H, Kraiss KF, Freund HJ: IMPACT - a VR-based system for diagnosis and therapy of sensorimotor disturbances. In *Virtual Reality World '96*, Stuttgart, 1996. Computerwoche Verlag.