

3D-Manipulationstechnik für mobile Endgeräte mit berührungssensitivem Bildschirm

David Donszik, Bastian Lengert, Gerd Bruder, Klaus Hinrichs, Frank Steinicke

Arbeitsgruppe Visualisierung und Computergrafik

Institut für Informatik

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Einsteinstr. 62, 48149 Münster

E-Mail: {d_dons01|b_leng01|g_brud01|khh|fsteini}@uni-muenster.de

Zusammenfassung: Heutige berührungssensitive Bildschirme ermöglichen es dem Benutzer auf natürliche Art und Weise mit Anwendungen auf mobilen Endgeräten zu interagieren. Darüber hinaus verfügen aktuelle Smartphones über rotationssensitive Lagesensoren, mit deren Hilfe die Orientierung der Bildschirmfläche bestimmt werden kann. Allerdings werden häufig entweder nur die Berührungen auf dem Bildschirm oder die dreidimensionalen (3D-)Daten der Lagesensoren für die Interaktion verwendet. In diesem Kontext sind bisher nur wenige Konzepte untersucht worden, welche beide Ansätze kombinieren.

In dieser Arbeit stellen wir eine Technik vor, die sowohl die Eingaben auf dem berührungssensitivem Bildschirm als auch die Orientierungsdaten der Lagesensoren zur Spezifikation von 3D-Manipulationen berücksichtigt. In einer Benutzerstudie haben wir zwei andere Techniken zur 3D-Manipulation eines virtuellen Avatars mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz verglichen. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass im Vergleich zu den beiden anderen Techniken unsere Manipulationstechnik von den Teilnehmern als effizienter und intuitiver evaluiert worden ist.

Stichworte: 3D-Manipulation, mobile Endgeräte

1 Einleitung

Mobile Endgeräte sind in den letzten Jahren allgegenwärtig geworden. Mit einem leistungsstarken Prozessor, einem hochauflösenden Farbbildschirm und einem dedizierten Grafik-Prozessor werden Smartphones immer interessanter für 3D-Interaktion [Bow99, BKLP04]. Die Hardware-Entwicklung der letzten Jahre hat dazu geführt, dass auch für Smartphones 3D-Grafikbibliotheken und Programmierschnittstellen entwickelt wurden, die die Realisierung von 3D-Anwendungen mit Hilfe höherer Programmiersprachen und -techniken für diese Geräte ermöglichen. Auf Grund der universellen Einsetzbarkeit eines Smartphones sowie der Ein- und Ausgabe-Modalitäten, zum Beispiel berührungssensitive und miniaturisierte Bildschirme, sind neue Anwendungsfälle und Interaktionstechniken möglich geworden. Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Smartphones erlauben dem Nutzer natürliche Interaktion durch Berührungen auf der Bildschirmoberfläche, welche von den Smartphones erkannt wer-

den können. Heutzutage sind viele Smartphones sogar in der Lage mehrfache Berührungen gleichzeitig zu registrieren (engl. *multi-touch*). Als zusätzliche Technologie werden in aktuellen Smartphones meist noch Sensoren zur 3D-Lage- und Bewegungserkennung eingesetzt. Diese können für simple Aufgaben von der Ausrichtung grafischer Elemente bis hin zu Gestenerkennung oder 3D-Eingaben verwendet werden.

In dieser Arbeit beschreiben wir eine neue 3D-Manipulationstechnik, die zeitgleich sowohl die Orientierungsdaten des Smartphones für 3D-Rotationen als auch Berührungen auf dem zweidimensionalen Bildschirm für Translationen verwendet. Durch die Kombination dieser Eingabemöglichkeiten kann ein virtuelles Objekt im 3D-Raum simultan um ein Zentrum rotiert und verschoben werden. Somit sind homogene Bewegungen im 3D-Raum möglich.

Wir haben die vorgestellte Interaktionstechnik bezüglich Anwendbarkeit, Effizienz, Intuitivität und Natürlichkeit evaluiert. Dazu haben wir zum Vergleich zwei weitere Ansätze implementiert, die auf typischen Interaktionstechniken heutiger Smartphones basieren. In der von uns durchgeführten Benutzerstudie evaluieren wir die Techniken für den Anwendungsfall der Steuerung eines virtuellen Avatar-Modells. Die von den Benutzern in der Studie durchzuführenden Aufgaben bestehen darin, den 3D-Avatar in vorgegebene Posen zu versetzen und Bewegungen mit seinem Szenengraph-basierten Skelettmodell durchzuführen.

Die Arbeit ist in die folgenden Abschnitte unterteilt: Abschnitt 2 gibt einen Überblick über verwandte Arbeiten. In Abschnitt 3 stellen wir die Interaktionstechnik für Smartphones vor, die Berührungseingaben und Rotationen kombiniert. In Abschnitt 4 beschreiben wir die Benutzerstudie, anhand der wir die vorgestellten Ansätze vergleichen und diskutieren. Abschnitt 5 beschließt die Arbeit und gibt einen Ausblick über zukünftige Forschungen.

2 Verwandte Arbeiten

Aufgrund aktueller Entwicklungen im Unterhaltungs- und Mobilgerätebereich haben touch-basierte Eingabetechniken erhebliche Aufmerksamkeit erhalten - sowohl für mobile Endgeräte als auch für große Displaywände [DL01, SHB⁺10, ML04]. Touch-basierte Interaktion bezieht sich auf die Eingabetechniken und -geräte, die es erlauben, auf einer zweidimensionalen Oberfläche mit einer oder mehreren parallelen Berührungen Eingabeaktionen durchzuführen. Die meisten touch-basierten Eingabeplattformen erkennen den direkten Kontakt von Fingern mit der Displayoberfläche, wodurch der Benutzer propriozeptives und taktiles Feedback bei Eingaben erhält. Da Menschen in ihrem täglichen Leben gewöhnlich Hände und Finger für Interaktionen mit ihrer realen Umgebung einsetzen, haben touch-basierte Eingabegeräte die Möglichkeit, mehr intuitive und natürliche Schnittstellen für die Interaktion mit zwei- und dreidimensionalen Datensätzen zu schaffen. Berührungssensitive Oberflächen können durch verschiedene Technologien realisiert werden, zum Beispiel basierend auf Kapazitätsmessungen oder Videoanalyse von Infrarot- oder Farbbildern [DL01, Han05, ML04].

Durch touch-basierte Eingabetechniken wird natürliche Interaktion mit auf der Displayoberfläche dargestellten zweidimensionalen Daten ermöglicht, zum Beispiel können grafische Elemente oder Fenster auf der Oberfläche verschoben werden. Darüber hinaus wurden meh-

rere Ansätze vorgestellt, um zweidimensionale touch-basierte Eingabetechniken auf die Interaktion mit Projektionen von dreidimensionalen Daten zu erweitern. Z.B. haben Hancock und andere ein-, zwei- und drei-Finger-Techniken für die Manipulation von 3D-Objekten auf festen Displayoberflächen vorgestellt [HCC07]. Martinet und andere haben eine *multi-view* Technik für direkte und eine *single-view* Technik für indirekte Positionierung eines 3D-Objektes vorgestellt [MCG10]. Reisman und andere stellten eine Technik für die Adaption von 2D-Interaktionen an 3D-Transformationen mit dem Ziel der Energieminimierung vor [RDH09]. Vorteile von Physiksimulationen für Berührungseingaben wurden von Wilson und anderen diskutiert [WIH⁺08].

Obwohl die Anwendbarkeit von touch-basierten Interaktionstechniken für zwei- und dreidimensionale Aufgaben für statische Displays gezeigt wurde, sind dreidimensionale Aufgaben bis jetzt nur selten auf mobilen Displays untersucht worden. Im Bereich von Projektionswänden wurden verschiedene Konzepte vorgestellt, mit Hilfe von *transparenten Props* berührungssensitive Oberflächen von Displayoberflächen zu trennen [SES99]. Die beweglichen, transparenten Oberflächen erlauben die Positionierung und Registrierung der zweidimensionalen Eingabeoberfläche mit verschiedenen Oberflächen im dreidimensionalen Raum, wodurch die Notwendigkeit für weniger intuitive Eingabetechniken für die Interaktion mit orthogonal zur Eingabeoberfläche ausgerichteten virtuellen Objekten reduziert werden konnte. Dazu wurde die Position und Ausrichtung der berührungssensitiven transparenten Oberflächen durch Rotations- und Translationssensoren bzw. an die Props angebrachte Marker für optisches Tracking gemessen, wodurch es dem Benutzer ermöglicht wurde, das Prop zu drehen und zu bewegen, bis die Eingabeoberfläche anhand der Zielebene im virtuellen Raum ausgerichtet ist. Alternative Ansätze im Bereich mobiler Endgeräte, insbesondere im Bereich der Smartphones, identifizieren die Oberfläche für Berührungseingaben mit der Displayoberfläche. Orientierungssensoren in vielen aktuell verfügbaren Smartphones erlauben Interaktionen mit zwei (z.B. iPhone 3G), bzw. drei (z.B. iPhone 3GS) Freiheitsgraden durch inertielle Erkennung der räumlichen Lage des Gerätes. Dagegen bieten heutige Smartphones keine Funktionen für die Erkennung von Translationen im Raum, beziehungsweise begrenzt die zu geringe Genauigkeit der Sensordaten die Anwendbarkeit darauf aufbauender Eingabetechniken. Z.B. evaluieren Henrysson und andere Eingabetechniken mit 6 Freiheitsgraden für mobile Geräte, welche mit zusätzlichen Markern durch optische Trackingsysteme verfolgt werden [HB07]. Wir stellen in dieser Arbeit drei Eingabetechniken für mobile Endgeräte vor und beschreiben eine Benutzerstudie, in der wir die Techniken in Bezug auf natürliche Interaktion und Effizienz am Beispiel eines virtuellen Datensatzes ausgewertet haben.

3 Eingabetechnik

Die von uns vorgeschlagene Interaktionstechnik für mobile Geräte besteht aus zwei Eingabeformen. Zum einen bilden wir die über Bewegungssensoren gemessene Rotation des Gerätes auf eine Rotation der virtuellen Welt ab, und zum anderen benutzen wir die berührungssensitive Oberfläche des Smartphones, um Translationen durchzuführen.

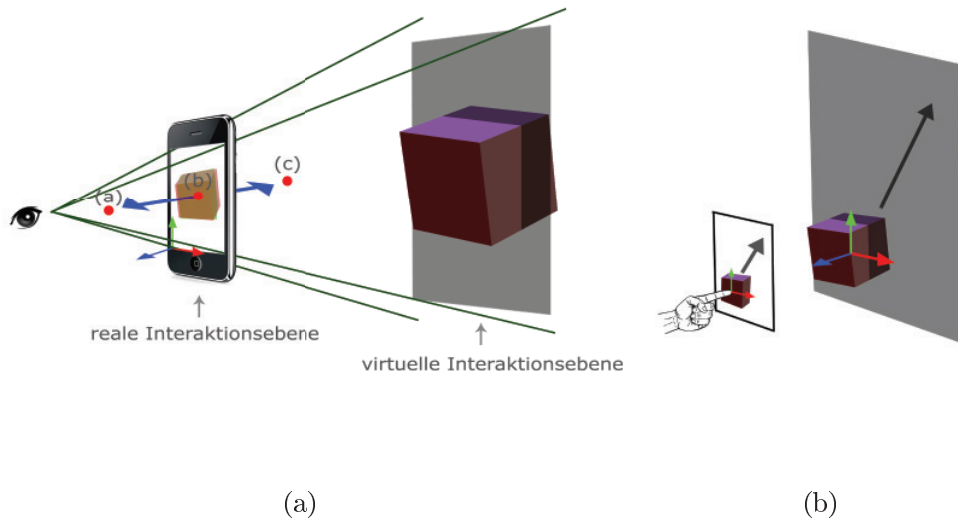


Abbildung 1: (a) Darstellung der realen Interaktionsebene eines berührungssensitiven Eingabegerätes und der virtuellen Interaktionsebene bezüglich eines selektierten Objektes. (b) Illustration einer Translationsbewegung bezüglich realer und virtueller Interaktionsebene.

Da von berührungssensitiven Displays nativ nur zweidimensionale Eingaben unterstützt werden, definieren wir bei unserem Ansatz eine virtuelle Interaktionsebene im Raum, auf der zweidimensionale Translationen ausgeführt werden (vgl. Abbildung 1). Die Eingabe auf der realen Interaktionsebene, d.h. dem berührungssensitiven Display, wird entsprechend auf die virtuelle Ebene abgebildet. Wie in Abbildung 1(a) gezeigt wird, berechnet sich die virtuelle Interaktionsebene aus der Normalen, der realen Interaktionsebene und dem Mittelpunkt des gewählten Objektes. Es ergibt sich eine zur realen Interaktionsebene parallele Ebene. Für Rotationen legen wir ein Rotationszentrum (engl. *center of rotation*, CoR) fest. Bei der Wahl des CoR sind folgende Möglichkeiten denkbar: (a) vor, (b) auf und (c) hinter der realen Interaktionsebene, die in Abbildung 1(a) dargestellt sind. Durch Eingaben über den Bewegungssensor erhalten wir Rotationsinformationen, die wir auf die virtuelle Welt um den CoR abbilden. Die virtuelle Interaktionsebene wird stets anhand der realen Interaktionsebene neu berechnet.

Um nun eine Translation auf der virtuellen Interaktionsebene zu erreichen, kann das gewünschte Objekt selektiert und verschoben werden, wie in Abbildung 1(b) verdeutlicht wird.

Bei der Wahl des CoR sind verschiedene Methoden denkbar. Der CoR könnte durch Selektion eines Objektes als dessen Mittelpunkt festgelegt werden oder auf einer Ebene frei wählbar sein. Wir haben uns darauf beschränkt, die Technik mit fixem CoR zu analysieren.

Für die Rotation betrachten wir zunächst den Fall, dass der CoR im Zentrum unseres gewählten Objektes und hinter der realen Interaktionsebene liegt. Rotationen von Objekten können dadurch erreicht werden, dass zuerst das Objekt per Berührungsgeste selektiert und

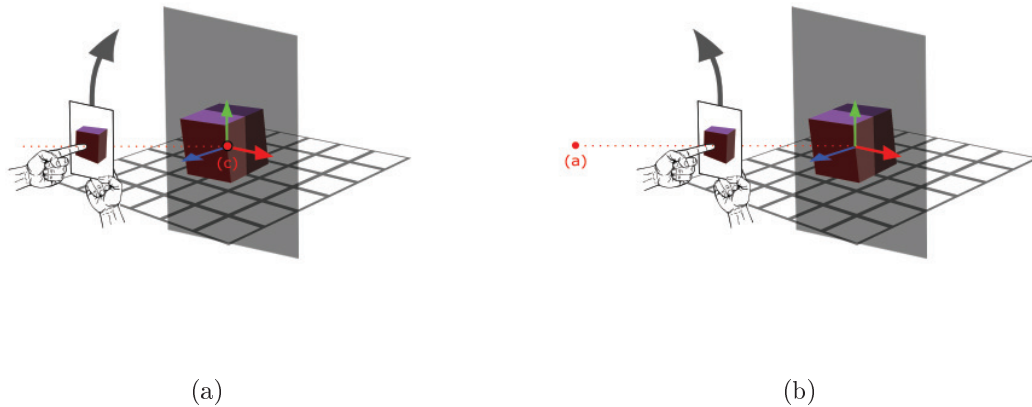


Abbildung 2: Illustration der Bedeutung eines CoR (a) hinter und (b) vor der realen Interaktionsebene für die Interpretation der Rotationen des mobilen Eingabegerätes.

anschließend das Gerät rotiert wird. Die Rotation des Gerätes wirkt sich dann nicht nur auf die reale und virtuelle Interaktionsebene aus, sondern auch auf das gewählte Objekt. Dies wird in Abbildung 2(a) veranschaulicht.

Falls der CoR vor der realen Interaktionsebene liegt, wird ein gewähltes Objekt nicht nur rotiert, sondern auch auf dem Pfad der Rotation bewegt, wie in Abbildung 2(b) dargestellt. Diese simultane Rotation und Translation ermöglicht es, komplexere, homogene Bewegungen zu realisieren. Des Weiteren kann das Interaktionsobjekt während der Rotation und Bewegung auf dem Rotationspfad auch noch über das berührungssensitive Display auf der virtuellen Interaktionsebene bewegt werden.

4 Experiment

In diesem Abschnitt beschreiben wir eine qualitative Evaluation der beschriebenen Interaktionsmethode, durch die wir die Effizienz dieser im Vergleich zu anderen Techniken ermitteln. Insbesondere haben wir die Zeit der einzelnen Telexperimente für jede Methode gemessen, um festzustellen, mit welcher Technik die Ergebnisse am schnellsten erzielt werden konnten.

4.1 Teilnehmer

Es haben insgesamt 8 Probanden an der Evaluation teilgenommen. Aus technischen Gründen wurden die Zeiten von einem dieser Probanden nicht erfasst. Es gab sieben männliche und eine weibliche Probandin. Bei ihnen handelte es sich um Studierende und Mitarbeiter der Universität Münster aus den Fachbereichen Informatik, Geowissenschaften, Mathematik und Psychologie. Die Erfahrungen mit der Benutzung einer berührungssensitiven Oberfläche unterschieden sich bei den Probanden stark. Es hatten 50% sehr viel und die anderen 50% kaum Erfahrung damit. Auch die Vorerfahrung mit 3D-Modellierung war gespalten, denn

vier Teilnehmer hatten keinerlei Erfahrung und vier gaben praktische Kenntnisse in diesem Bereich an. Fast alle Probanden hatten viel Erfahrung mit 3D-Umgebungen in Form von Computerspielen; drei Probanden hatten Erfahrungen mit immersiven virtuellen Umgebungen.

4.2 Design des Experiments

Für die Evaluation wurde eine iPhone-Applikation geschrieben. Wir nutzen die Unity3D-Engine, um einen 3D-Avatar in einer Szene zu rendern und die Berührungseingaben sowie Bewegungsdaten zu verarbeiten. Für die Vergleichbarkeit haben wir zwei existierende Eingabemethoden zur Steuerung eines Avatars mit dem iPhone implementiert. Die Unity3D-Engine bietet außerdem eine Physik-Engine, die wir für inverse Kinematik in zwei der Techniken genutzt haben. Die folgenden Techniken beschreiben die in der Evaluation eingesetzten Interaktionsmethoden, um die Extremitäten des Avatars zu bewegen (vgl. Abbildung 3).

Technik T1

Hierbei handelt es sich um die in Abschnitt 3 beschriebene Technik. Die Extremitäten des Avatars lassen sich über die berührungssensitive Oberfläche selektieren und unter Verwendung der Physik-Engine auf der virtuellen Interaktionsebene verschieben. Wir haben uns entschlossen, das Rotationszentrum in den Mittelpunkt des Avatars zu legen. Es ist mit dieser Technik möglich - aber nicht notwendig - durch multi-touch Eingaben mehrere Extremitäten gleichzeitig zu bewegen.

Technik T2

Wir benutzen das berührungssensitive Display, um eine der Extremitäten des 3D-Avatars zu selektieren. Durch das Interagieren mit Steuerelementen, die auf dem Display angezeigt werden, kann das Objekt dann auf den 3 Rotationsachsen bewegt werden. In unserer Umsetzung haben wir uns für Joysticks als Steuerelemente entschieden. Die Joysticks rotieren das ausgewählte Objekt nicht anhand absoluter Winkel, sondern geben dem Objekt auf den verschiedenen Achsen eine entsprechende Geschwindigkeit.

Technik T3

Diese Technik benutzt Gelenk-Rotationen, um die Extremitäten des Avatars in die gewünschten Posen zu versetzen. Die Rotation an sich erfolgt durch das Bewegen eines Fingers auf einem für den Benutzer an der Fingerposition dargestellten Raster. Das Raster stellt eine zweidimensionale Grafik dar, in der jedes Pixel einer absoluten Rotation des Gelenkes entspricht.

Das verwendete iPhone 3G macht mit seinem Beschleunigungsmesser und dem berührungssensitiven Display die gewünschte Interaktion für alle drei Techniken möglich. Allerdings

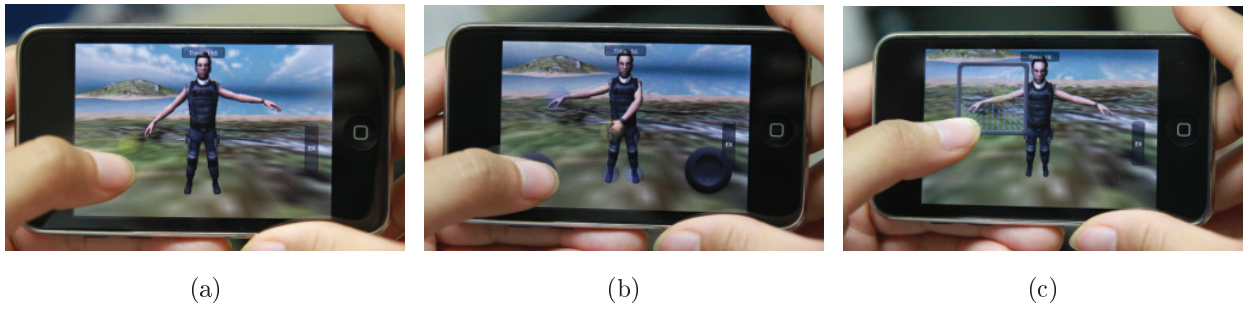


Abbildung 3: Aufnahmen der Techniken (a) T1, (b) T2 und (c) T3 in der Evaluation.

mussten die Rotationsmöglichkeiten in Technik T1 auf die x- und y-Achse beschränkt werden. Auf einem Smartphone mit Gyroskop wäre eine Rotation auch um die z-Achse möglich. Weil wir uns in unserer Umsetzung dazu entschieden haben, den Mittelpunkt des 3D-Avatars als Rotationspunkt zu verwenden, befindet sich das Rotationszentrum immer an einer festen Position hinter der realen Interaktionsebene. Dadurch wird der Avatar auch bei Rotationen immer in der Mitte dargestellt.

4.3 Material und Methoden

Bei einer dreiminütigen Einführung hatten die Teilnehmer die Möglichkeit, die drei verschiedenen Techniken zu testen. Unter zwei verschiedenen Bedingungen sollte dann pro Interaktionstechnik der Avatar gesteuert werden. Die Reihenfolge der drei Techniken mit je zwei Bedingungen wurde über die Anzahl der Teilnehmer gleichmäßig variiert.

Unter Bedingung 1 mussten die Teilnehmer den Avatar in eine vorgegebene Position bringen. Es sollten nacheinander in zufälliger Reihenfolge vier verschiedene Positionen eingenommen werden. Der Proband konnte sich jeweils die Position aus zwei verschiedenen Perspektiven als Screenshot ansehen. Der Screenshot war ständig als Icon im Display zu sehen und ließ sich nach Belieben minimieren und wieder vergrößern. Nach dem Drücken eines Startbuttons wurde die Manipulation des Avatars freigeschaltet und ein Timer sichtbar für den Probanden gestartet. Daraufhin sollte mit der jeweiligen Interaktionsmethode die dargestellte Position des Avatars erreicht werden. Ein Beispiel für eine einzunehmende Position des Avatars war es, dass dieser beide Arme gerade nach vorne ausstrecken sollte. Sobald der Avatar die korrekte Position erreicht hat, sollte der Proband auf den Stopbutton drücken. Damit wurde die Zeit gestoppt und der nächste Testdurchlauf initiiert.

Bedingung 2 erforderte eine Interaktion mit dem Avatar, so dass eine bestimmte Bewegung ausgeführt wurde. Drei Bewegungen sollten ebenfalls in zufälliger Reihenfolge durchgeführt werden. So musste zum Beispiel in einem Durchgang mit dem rechten Fuß des Avatars ein davor liegender Ball getreten werden. Vor jedem dieser Tests erhielten die Probanden eine kurze Anleitung, welche Aufgabe sie erledigen mussten. Anschließend wurde der Test gestartet und der Timer aktiviert. Sobald die Teilnehmer die Aufgabe erfolgreich absolviert hatten, wurde der Timer automatisch beendet und die nächste Aufgabe eingeleitet.

Nachdem ein Proband jedes Szenario mit jeder Interaktionsmethode abgeschlossen hatte, folgte eine Nachbesprechung. In dieser wurden unter anderem demographische Daten der Teilnehmer aufgenommen. Zusätzlich erfragten wir die Vorerfahrungen der Teilnehmer mit berührungssensitiven Oberflächen, 3D-Modellierung und virtuellen Welten. Zuletzt befragten wir die Probanden bezüglich ihrer subjektiven Einschätzung der einzelnen Techniken.

4.4 Ergebnisse und Diskussion

In einer subjektiven Benutzerbefragung haben wir die Teilnehmer gebeten, die Techniken hinsichtlich der Intuitivität einzuschätzen. Sieben von acht Teilnehmern kennzeichneten die Technik T1 als die intuitivste Technik; ein Teilnehmer befand T1 und T2 jeweils für die Hälfte der Aufgaben als intuitiver.

Bezüglich der eingeschätzten Natürlichkeit der Interaktion gaben sieben der acht Teilnehmer an, dass T1 den übrigen Techniken überlegen ist. Nach dem Experiment in der Interviewphase gab ein Teilnehmer an: „Ich konnte mit der virtuellen Figur so natürlich und direkt interagieren als wäre sie da.“

Auf die Frage nach der Genauigkeit und Präzision der Eingaben favorisierten drei Technik T1, einer T2 und vier T3. Subjektive Kommentare der Teilnehmer begleitend zu ihrer Einschätzung zeigten, dass Eingaben mit Hilfe von Technik T3 auf Grund des absoluten Referenzkoordinatensystems des dargestellten Gitters direktere Eingaben ermöglicht. Technik T2 wurde dagegen auf Grund der Limitierungen der Kombination von Physik-Engine und Joystick-Interaktion von den meisten Teilnehmern als unpräzise eingeschätzt.

Abschließend in der Interviewphase forderten wir die Teilnehmer auf, einzuschätzen, welche der vorgestellten Techniken für die gestellten Aufgaben für den praktischen Einsatz am wenigsten anwendbar sind. Vier Teilnehmer kennzeichneten die Technik T2 als am wenigsten praktisch anwendbar, weil das Ergebnis der Interaktion schwer abzuschätzen war. Von den übrigen Probanden wurde Technik T3 aufgrund der unintuitiven Raster-basierten Interaktion als am wenigsten anwendbar eingestuft.

Abbildung 4 zeigt die gemessenen Zeiten für die einzelnen Tests der Bedingungen für die drei Techniken (vgl. Abschnitt 4.3). Die y-Achse zeigt die gemittelten Bearbeitungszeiten aller Teilnehmer in Sekunden. Die Farbe der Balken repräsentiert die drei Interaktionstechniken: T1 (dunkelblau), T2 (hellblau) und T3 (mittelblau). Die vertikalen Balken stellen die einzelnen Testdurchgänge für die drei Techniken dar. Der erste bis dritte Balken für jede Technik entspricht Bedingung 2 und der vierte bis siebte Balken entspricht Bedingung 1.

Gemittelt über alle Testdurchgänge von Bedingung 1 ergibt sich für Interaktionstechnik T1 eine Zeit von 20,97 Sekunden, für T2 eine Zeit von 27,59 Sekunden und für T3 eine Zeit von 40,54 Sekunden. Gemittelt über alle Testdurchgänge von Bedingung 2 ergibt sich für Interaktionstechnik T1 eine Zeit von 7,45 Sekunden, für T2 eine Zeit von 9,93 Sekunden und für T3 eine Zeit von 19,48 Sekunden. Die Ergebnisse zeigen, dass Interaktionstechnik T1 im Vergleich zu der nächst schnelleren Technik T2 einen Performancegewinn von 24,21% ergab. Interaktionstechnik T2 war um 36,45% effizienter als T3.

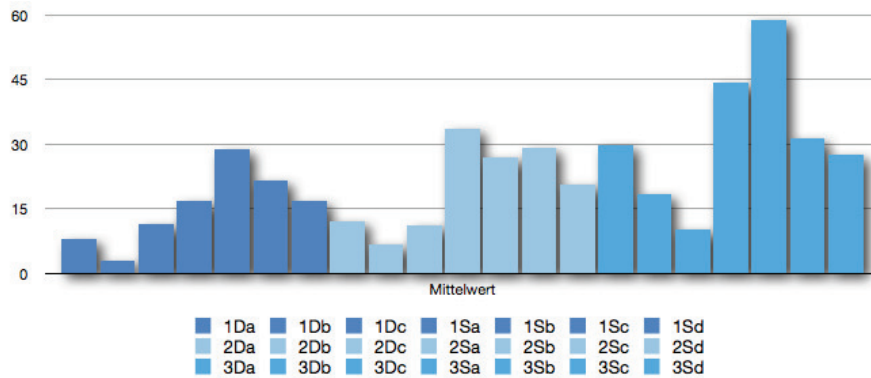


Abbildung 4: Mittelwerte der gemessenen Zeiten (in Sekunden) pro Test für alle Teilnehmer. Die Legende setzt sich wie folgt zusammen: 1/2/3 bezeichnen die entsprechenden Techniken, S/D bezeichnen die zugehörige Bedingung 1/2, a-d bezeichnen den jeweiligen Testdurchlauf.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit haben wir eine 3D-Interaktionstechnik vorgestellt, welche sich durch homogene Kombination und Integration von Berührungseingaben und Bewegungsdaten bezüglich der räumlichen Lage eines mobilen Gerätes kennzeichnet. In einer durchgeführten Benutzerstudie haben wir die vorgestellte Interaktionstechnik in Relation zu zwei weiteren Ansätzen gestellt, welche auf typischer Widget-Manipulation bzw. absoluter Eingaben bezüglich eines dargestellten Koordinatengitters basieren. Bezüglich mehrerer Selektions- und Manipulationsaufgaben am Beispiel eines dargestellten virtuellen Avatars hat sich die vorgestellte Interaktionstechnik im Mittel als 30,33% effizienter als die Vergleichstechniken gezeigt. Darüber hinaus haben subjektive Antworten der Teilnehmer gezeigt, dass die vorgestellte Technik in den Bereichen Intuitivität und Einschätzung der Anwendbarkeit den Vergleichstechniken überlegen ist.

In der Zukunft werden wir mit den aus der Benutzerstudie gewonnenen Erkenntnissen die vorgestellte Technik verfeinern und die Evaluation auf weitere Interaktionsszenarien und Anwendungsfälle ausweiten, zum Beispiel auf homogene Eingaben zur Echtzeit-Manipulation des Skelettmodells eines Avatars in 3D-Modellierungsumgebungen. Dazu werden wir die vorgestellte mobile Lösung mit bereits vorhandenen Techniken auf Desktop-Systemen vergleichen und Kombinationsmöglichkeiten evaluieren.

Literatur

- [BKLP04] BOWMAN, D., E. KRUIJFF, J. LAVIOLA und I. POUPYREV: *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Addison-Wesley, 2004.
- [Bow99] BOWMAN, D.: *Interaction Techniques for Common Tasks in Immersive Virtual Environments: Design, Evaluation, and Application*. Doktorarbeit, Georgia

Institute of Technology, 1999.

- [DL01] DIETZ, P. und D. LEIGH: *DiamondTouch: A Multi-user Touch Technology*. ACM UIST'01, Seiten 219–226, 2001.
- [Han05] HAN, J.Y.: *Low-cost Multi-touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection*. In: *ACM UIST '05*, Seiten 115–118, USA, 2005.
- [HB07] HENRYSSON, A. und M. BILLINGHURST: *Using a Mobile Phone for 6 DOF Mesh Editing*. In: *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI New Zealand chapter's international conference on computer-human interaction*, Seiten 9–16. ACM Press, 2007.
- [HCC07] HANCOCK, M., S. CARPENDALE und A. COCKBURN: *Shallow-depth 3D Interaction: Design and Evaluation of one-, two- and three-touch Techniques*. In: *SIGCHI human factors in computing systems*, Seiten 1147–1156, 2007.
- [MCG10] MARTINET, A., G. CASIEZ und G. GRISONI: *The Design and Evaluation of 3D Positioning Techniques for Multi-touch Displays*. In: *IEEE 3DUI '10*, 2010.
- [ML04] MALIK, S. und J. LASZLO: *Visual Touchpad: A Two-handed Gestural Input Device*. In: *ACM ICMI '04*, Seiten 289–296, USA, 2004.
- [RDH09] REISMAN, J. L., P. L. DAVIDSON und J. Y. HAN: *A Screen-space Formulation for 2D and 3D Direct Manipulation*. In: *ACM UIST '09*, Seiten 69–78, 2009.
- [SES99] SCHMALSTIEG, D., L.M. ENCARNAÇÃO und Z. SZALAVÁRI: *Using Transparent Props for Interaction with the Virtual Table*. In: *Proceedings of the symposium on interactive 3D graphics*, Seiten 147–153. ACM Press, 1999.
- [SHB⁺10] SCHÖNING, J., J. HOOK, T. BARTINDALE, D. SCHMIDT, O. OLIVIER, F. ECHTLER, N. MOTAMEDI, P. BRANDL und U. VON ZADOW: *Building Interactive Multi-touch Surfaces*. Springer, 2010.
- [WIH⁺08] WILSON, A. D., S. IZADI, O. HILLIGES, A. GARCIA-MENDOZA und D. KIRK: *Bringing Physics to the Surface*. In: *ACM UIST '08*, Seiten 67–76, 2008.