

Selektion von Objekten in Virtuellen Umgebungen mit der Improved Virtual Pointer-Metapher

Frank Steinicke, Timo Ropinski und Klaus Hinrichs
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Einsteinstraße 62
48149 Münster
Tel.: +49 (0)251-833 8442
Fax: +49 (0)251-833 3755
E-Mail: {fsteini,timo,khh}@math.uni-muenster.de

Abstract: In dieser Arbeit beschreiben wir Techniken und Metaphern zur Selektion von Objekten in virtuellen Umgebungen (engl. virtual environments) (VEs). Die von uns vorgestellte Improved Virtual Pointer-Metapher ist eine, durch Kombinationen und Erweiterungen bekannter Techniken, verbesserte Selektionsmetapher für VEs. Sie basiert auf einem flexiblen Strahl, der durch eine quadratische Beziér-Kurve visualisiert wird. Während ein gerader Strahl die Richtung des virtuellen Eingabegerätes anzeigt, zeigt der flexible Strahl auf das nächste selektierbare Objekt. Neben Details zur Umsetzung der Improved Virtual Pointer-Metapher werden wir Strategien zur Bestimmung des nächsten selektierbaren Objektes vorstellen und vergleichen.

Stichworte: Virtual Reality, Interaktionsmetaphern, Selektionstechniken

1 Einleitung

In verschiedenen Anwendungsgebieten hat sich gezeigt, welches Potential virtuelle Umgebungen (engl. virtual environments) (VEs) als intuitive und natürliche Form der Mensch-Computer Schnittstellen haben. Um jedoch die Akzeptanz von Virtual Reality (VR) Technologien zu erhöhen, müssen die grundlegenden Interaktionstechniken weiter optimiert werden, damit die Benutzerfreundlichkeit verbessert wird und somit leistungsfähigere Mensch-Computer Schnittstellen ermöglicht werden.

Bevor ein VR Benutzer mit virtuellen Objekten interagieren kann, muss das Zielobjekt für die gewünschte Interaktion spezifiziert werden. Diese *Selektion* wird im Allgemeinen als eigene Interaktionstechnik angesehen. Eine Selektion von virtuellen Objekten in VEs lässt sich durch direkte Selektion oder indirekte Selektion realisieren. Die Auswahl eines gewünschten Objektes erfolgt bei der direkten Selektion durch Gesten, wie das fiktive Berühren oder Zeigen auf virtuelle Objekte. Indirekte Selektionstechniken bedienen sich im Allgemeinen Listen von Objekten, aus denen, beispielsweise unter Verwendung eines Menüs oder durch Spracheingabe, einzelne Objekte selektiert werden können.

In dieser Arbeit werden ausschließlich direkte Interaktionsmetaphern für die Selektion von Objekten in VEs behandelt. Bei der direkten Selektion wird, um eine Selektion von virtuellen Objekten durchführen zu können, eine Menge von *selektierbaren* Objekten, eine Technik für die

Identifikation des zu wählenden Objektes und ein Mechanismus um den Zeitpunkt der Selektion zu bestimmen, benötigt. Außerdem sollte der Benutzer ein angemessenes Feedback, z.B. in visueller, akustischer oder haptischer Form, zu einer möglichen oder bereits durchgeführten Selektion, erhalten.

Die Improved Virtual Pointer-Metapher vereinfacht die Selektion von virtuellen Objekten, wobei die folgenden Eigenschaften und Verbesserungen gegenüber den bisherigen Techniken von Bedeutung sind:

- mögliche Selektion von nahe sowie entfernt liegenden Objekten,
- Verminderung von Ungenauigkeiten und Mehrdeutigkeiten,
- Erfordernis von lediglich 2 DoF zur Steuerung des virtuellen Eingabegerätes in vielen Anwendungsgebieten und
- mögliche Selektion von partiell oder völlig verdeckten Objekten.

Diese Arbeit gliedert sich wie folgt. In Abschnitt 2 werden vorhandene Metaphern zur Selektion von virtuellen Objekten sowie ihre Vor- und Nachteile beschrieben. Die Improved Virtual Pointer-Metapher wird in Abschnitt 3 detailliert erläutert. Anwendungsgebiete, die vom Einsatz der Improved Virtual Pointer-Metapher profitieren, werden in Abschnitt 4 beschrieben. Im letzten Abschnitt werden eine Zusammenfassung der Ergebnisse und ein Ausblick auf zukünftige Arbeiten präsentiert.

2 Überblick über bisherige Arbeiten

Auf dem Gebiet der VR wurden bereits viele grundlegende Ansätze für Interaktionstechniken entwickelt. In [PoBiWe1998] werden verschiedene Metaphern zur Manipulation von Objekten in VEs verglichen. Dabei wird sowohl die Virtual Hand- als auch die Virtual Pointer-Metapher beschrieben. Beide Metaphern benutzen ein virtuelles Werkzeug, welches durch ein reales Eingabegerät gesteuert wird. Die wesentlichen Unterschiede liegen dabei in der Art und Weise wie eine Selektion durchgeführt wird.

Bei der Verwendung der Virtual Hand-Metapher ist eine Selektion dann möglich, wenn das virtuelle Eingabegerät das gewünschte Objekt schneidet. Deshalb müssen zur Selektion von entfernten Objekten, die sich außerhalb der Reichweite des Benutzers befinden, alternative Strategien angewendet werden. Die Go-Go-Technik ([PoBiWe1996]) unterstützt entfernte Selektion von virtuellen Objekten, durch Verwendung einer nicht-linearen Funktion, die den gemessenen Abstand vom Kopf des Anwenders zu seiner Hand auf den Kontrollabstand zwischen der realen und der virtuellen Hand abbildet.

Eine Alternative zu diesem Ansatz ist eine Selektion mit Hilfe von Virtual Pointer-Metaphern, wobei ein virtueller Strahl vom Eingabegerät in die Szene geschickt wird. Bei diesen so genannten Ray-Casting-Techniken ([JaFeHu1994], [PiFoCo1997]) ist eine Selektion dann möglich, wenn der virtuelle Strahl das gewünschte Objekt trifft. Beim Vergleich zwischen der Go-Go- und einer einfachen Ray-Casting-Technik ([PoBiWe1998]) werden ähnliche Ergebnisse bei loka-

len Selektionen, innerhalb der Reichweite des Benutzers, erzielt. Bei Vergrößerung des Abstandes zum virtuellen Objekt, insbesondere wenn eine höhere Genauigkeit erforderlich wird, hat die Go-Go-Technik einen erheblichen Leistungsvorteil. Ein weiteres Problem von Ray-Casting-Metaphern tritt bei der Rotation entfernter Objekte auf. Im Allgemeinen befindet sich das Rotationszentrum nicht im Objektzentrum, sondern im Zentrum des virtuellen Eingabegerätes. Dies führt zu schwieriger kontrollierbaren Rotationen von virtuellen Objekten als bei der Verwendung von Virtual Hand-Metaphern. Eine hybride Kombination von Ray-Casting- und Virtual Hand-Metaphern soll diese Nachteile vermeiden. Diese HOMER-Technik ([BowHod1997]) benutzt Ray-Casting zur Selektion von Objekten und bewegt das Eingabegerät nach einer durchgeführten Selektion zum gewünschten Objekt. Alle dort angewendeten Transformationen werden mit dem Objekt im Zentrum der Manipulation durchgeführt.

Ein weiteres Problem, welches sowohl bei der Verwendung von Virtual Hand- als auch bei Virtual Pointer-Metaphern auftritt, ist das exakte Anvisieren von kleinen, entfernt liegenden virtuellen Objekten. Diese Ungenauigkeiten, die während der Selektion entfernter Objekte auftreten, werden in der Spotlight-Technik ([LiaGre1994]) verringert, da ein Kegel anstelle eines Strahls verwendet wird. Allerdings können hierbei mehrere virtuelle Objekte in dem Selektionskegel liegen. In [FoHeZe1996] wird eine Erweiterung der Spotlight-Technik beschrieben, die diese Mehrdeutigkeiten vermindert, indem ein Selektionskegel mit variabler Größe zur Verfügung gestellt wird.

Zur Selektion partiell oder völlig verdeckter virtueller Objekte, haben Olwal und Feiner einen elastischen Zeiger vorgestellt ([OlwFei2003]), der ebenfalls durch eine Kurve repräsentiert wird. Allerdings basiert dieser Ansatz auf einer manuellen und beidhändigen Steuerung der Kurve, wobei der Vektor, der durch die Position der Hände gebildet wird, die Richtung der Kurve festlegt. Die Biegung wird durch die Orientierung beider Hände bestimmt.

3 Die Improved Virtual Pointer-Metapher

Die Verwendung von Virtual Pointer-Metaphern in VEs haben gezeigt, dass sie für den Benutzer äußerst intuitiv und zudem mit wenig Lernaufwand für lokale und entfernte Selektion eingesetzt werden können. Da jedoch die Anvisierung kleiner, entfernt liegender Objekte bisweilen nur sehr schwierig zu realisieren ist, haben wir die Improved Virtual Pointer-Metapher entwickelt, mit deren Einsatz viele Nachteile bestehender Selektionstechniken ausgeschlossen werden können.

In unserem Ansatz kombinieren wir die in Abschnitt 2 beschriebenen Metaphern und erweitern sie, um einen intuitiven Mechanismus zur Selektion von virtuellen Objekten zur Verfügung zu stellen. Die vorgestellte Technik erlaubt ein gewünschtes Objekt zu selektieren, ohne dass ein exakter Treffer erforderlich ist. Ein gerader Strahl wird benutzt, um die Richtung des virtuellen Eingabegerätes anzuzeigen, während sich ein zusätzlich visualisierter flexibler Strahl zum nächsten selektierbaren Objekt biegt. Dieses Objekt, welches nun im Falle einer Selektion gewählt werden würde, nennen wir im Folgenden das *aktive Objekt*.

3.1 Abstandsberechnung

Zur Verbesserung der Selektion von virtuellen Objekten wird, falls kein Objekt vom geraden virtuellen Strahl getroffen wird, das Objekt mit dem minimalen orthogonalen Abstand zu diesem aktiv. Dieser minimale orthogonale Abstand kann sich auf unterschiedliche Punkte eines gewünschten Objektes beziehen, wie beispielsweise die Mitte der Bounding Box, die nächste Ecke, der nächste Rand des Objektes etc. ([AmFiSt2001]). Wenn mehrere Objekte den gleichen Abstand zum virtuellen Strahl haben, müssen zur eindeutigen Identifikation des gewünschten Objektes weitere Strategien verwendet werden, wie beispielsweise eine Aktivierung des Objektes, welches dem Benutzer am nächsten ist. Der minimale Abstand ist durch den senkrecht zum Strahl stehenden Vektor bestimmt, der die Bezugspunkte aller betrachteten Objekte mit dem virtuellen Strahl verbindet. Abbildung 1 veranschaulicht, wie solch ein Abstandsvektor d_i , vom virtuellen Strahl zu einem Bezugspunkt eines Objektes obj_i , errechnet wird. In diese Berechnung geht die Strahlrichtung, der Vektor von der virtuellen Position des Eingabegerätes zum Bezugspunkt von obj_i und der Krümmungswinkel α_{obj_i} zwischen ihnen, ein.

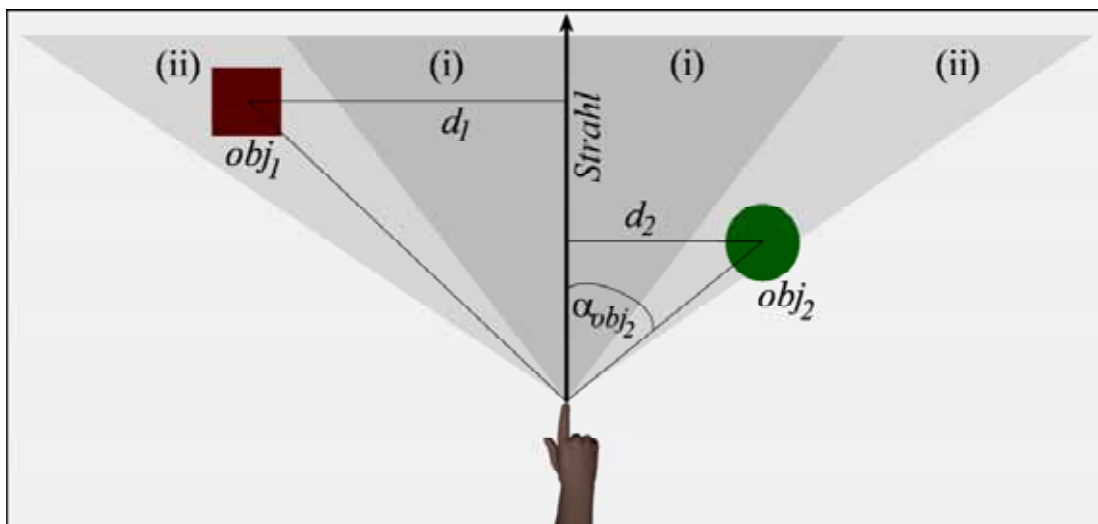


Abbildung 1: Beispielkonfiguration zur Abstandsberechnung innerhalb eines initialen (i) und erweiterten (ii) Kegels.

Die Abstandsberechnung muss für jedes betrachtete Szeneobjekt durchgeführt werden. Jedoch kann die in den meisten Computergrafischen Systemen verwendete Szenegraphstruktur ausgenutzt werden, um die Berechnung dieser Abstände ohne größeren Zusatzaufwand durchzuführen. Daher erhalten wir nahezu die gleichen Frameraten wie bei der Verwendung der klassischen Virtual Pointer-Metapher. Die Resultate der Abstandsberechnungen werden in einer geordneten Liste gespeichert. Diese Liste kann beispielsweise zum Wechseln zwischen selektierbaren Objekten verwendet werden, um z.B. ein verdecktes Objekt aus dieser geordneten Liste zu wählen.

3.2 Bereichsuntersuchung

Die Anzahl der zu betrachtenden Objekte hängt von der Szenenstruktur und von dem zu untersuchenden Bereich ab. Wenn der Benutzer das virtuelle Eingabegerät durch die VE bewegt, muss das Objekt, welches dem virtuellen Strahl innerhalb eines entsprechenden Bereichs am nächsten

ist, bestimmt werden. Die optimale Wahl für Struktur und Größe dieses Bereichs hängt von der Konfiguration der Szene ab, d.h. von der Anzahl und der Anordnung der selektierbaren Objekte. Wir unterscheiden zwischen zwei möglichen Konzepten:

- Einschränkung der Anzahl der zu betrachtenden Abstände abhängig von Schnitten mit geometrischen Körpern oder
- Abstandsberechnung für alle selektierbaren Objekte.

Im ersten Fall werden nur Objekte betrachtet, die einen vordefinierten Körper schneiden. Mögliche Körper sind Kegel, Zylinder, Quader etc., die an das virtuelle Eingabegerät angehängt oder fest in der Szene platziert werden können. Diese Körper werden nur für die internen Abstandsberechnungen verwendet, ohne dabei visualisiert zu werden. Wenn ein oder mehrere selektierbare Objekte solch einen Körper schneiden, wird das Objekt mit dem kleinsten Abstand zum Strahl aktiv und der flexible Strahl biegt sich zu diesem Objekt. Falls kein Objekt den Körper schneidet, wird dieser vergrößert und in diesem erweiterten Bereich nach Schnitten gesucht. Dieser Vergrößerungsprozess wird solange wiederholt, bis entweder ein Schnitt gefunden wird oder die gesamte Szene ohne Erfolg überprüft worden ist, was einer leeren Szene ohne Objekte entsprechen würde.

Abbildung 1 veranschaulicht eine Beispielkonfiguration. Da der virtuelle Strahl kein Objekt schneidet, wird ein kegelförmiger Bereich (i) überprüft. Nachdem ebenfalls kein Objekt diesen Ausgangskegel schneidet, wird ein vergrößerter Bereich analysiert. Da nun zwei Objekte den Kegel (ii) schneiden und $|d_2| < |d_1|$ gilt, wird obj_2 zum aktiven Objekt. Diese Strategie ist vor allem für extrem dicht besetzte Szenen vorteilhaft, allerdings hängt die passende Größe des zu überprüfenden Bereichs von der Topologie der Szene ab.

Alternativ zur beschriebenen Bereichsuntersuchung kann der Abstand für alle selektierbaren Objekte errechnet werden. Dieses kann in VEs vorteilhaft sein, in denen der zu überprüfende Ausgangsbereich häufig keine Objekte schneiden würde. Somit kann eine mehrfache Untersuchung von Bereichen vermieden werden. Aber dies bedeutet, dass der Abstand zum Strahl für alle selektierbaren Objekte in einem Szenendurchlauf errechnet werden muss. Da die beschriebenen Abstandsberechnungen jedoch nicht sehr aufwändig sind, ist dieser Ansatz für die meisten VEs vorzuziehen.

3.3 Die „Sticky-Ray“-Metapher

In VEs mit großen Objekten, die nur durch kleine Zwischenräume voneinander getrennt sind, kann die Anwendung einer anderen Strategie vorteilhaft sein. Im Gegensatz zu den in Abschnitt 3.2 vorgestellten Ansätzen wird ein Objekt nur dann aktiv, wenn es von dem geraden Richtungsstrahl des virtuellen Eingabegerätes getroffen wird. Das einmal aktive Objekt bleibt nun solange aktiv, bis der Strahl ein anderes selektierbares Objekt trifft. Die Selektion wird somit vereinfacht, da nur ein einzelner Treffer mit dem Selektionsstrahl erforderlich ist, um ein Objekt für eine Selektion zu aktivieren. Des Weiteren muss dieser Treffer nicht zeitgleich mit dem eigentlichen Selektionsvorgang erfolgen. Der beschriebene Ansatz führt zu einer „Sticky-Ray“-Metapher, wie in Abbildung 2 veranschaulicht.

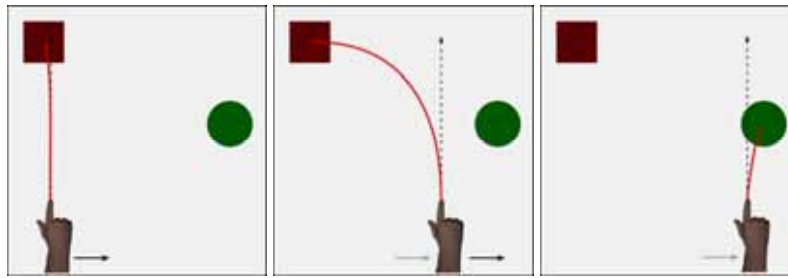


Abbildung 2: Verhalten der „Sticky-Ray“-Metapher während einer Bewegung eines virtuellen Eingabegerätes von links nach rechts.

Am Anfang trifft der virtuelle Strahl die rote Box, die somit aktiv wird und bei einer eventuell durchgeführten Selektion ausgewählt würde (linkes Bild). Während einer Bewegung des Eingabegerätes nach rechts bleibt die rote Box zunächst aktiv, veranschaulicht durch die rote Kurve. Auch wenn die grüne Kugel näher an dem virtuellen Strahl liegt, bleibt die rote Box aktiv, da der virtuelle Strahl noch kein anderes Objekt getroffen hat (mittleres Bild). Erst bei einer weiteren Bewegung nach rechts und einem Treffer der grünen Kugel durch den Strahl wird die Kugel zum aktiven Objekt (rechtes Bild).

Die „Sticky-Ray“-Metapher zeichnet sich dadurch aus, dass sie im Gegensatz zu den im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Konzepten keine Abstandsberechnung benötigt.

3.4 Visualisierung des virtuellen Strahls

Um für eine mögliche Selektion ein geeignetes visuelles Feedback geben zu können, wird sowohl die Strahlrichtung als auch die Position des aktiven Objektes angezeigt. Zur Visualisierung des aktiven Objektes, wird zusätzlich zur Strahlrichtung eine quadratische Beziér-Kurve

$$B(x) = \sum_{i=0}^2 p_i \cdot \binom{2}{i} \cdot x^i (1-x)^{2-i}, \quad (1)$$

mit $x \in \mathbb{R}^3$ und drei Punkten p_i aus \mathbb{R}^3 , $i = 0, \dots, 2$, dargestellt.

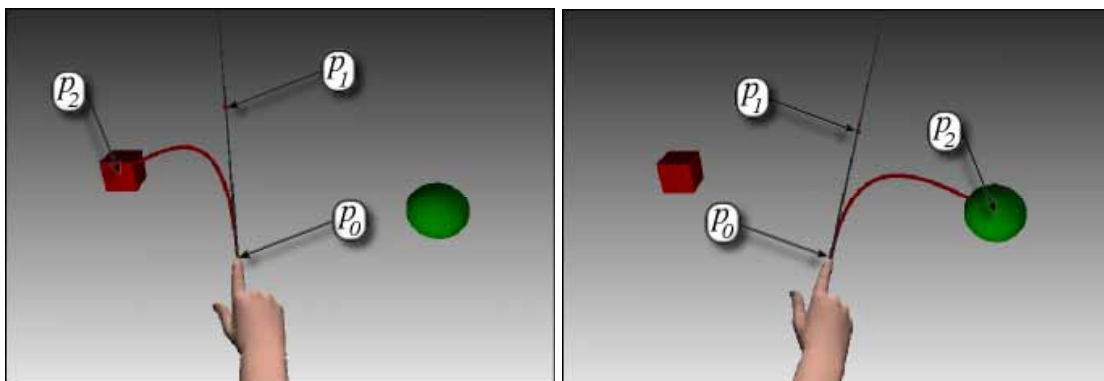


Abbildung 3: Die rote Box ist aktiv, obwohl sie nicht durch den virtuellen Strahl getroffen wird (linkes Bild). Nach einer geringen Rotation ist die grüne Kugel näher an dem Strahl und wird somit aktiv (rechtes Bild).

Die Punkte p_0 und p_2 werden durch die Position des virtuellen Eingabegerätes, sowie durch die Position des Bezugspunktes des aktiven Objektes, beispielsweise dem Mittelpunkt, definiert.

Zwischen diesen Anfangs- und Endpunkten der Kurve ist der Kontrollpunkt p_1 auf dem Strahlrichtungsvektor positioniert und bestimmt die Krümmung der Beziér-Kurve.

Gilt $p_1 = p_0$, so ist die Krümmung der Beziér-Kurve minimal und sie entspricht der Geraden, die von der Position des Eingabegerätes zum Bezugspunkt des Objektes zeigt. Je größer $|p_0 - p_1|$ wird, desto stärker ist die Beziér-Kurve gekrümmt. Unsere Tests haben gezeigt, dass für ein natürlich wirkendes Verhalten der Bezier-Kurve die Beziehung $0 < |p_0 - p_1| < |p_0 - p_2|$ erfüllt sein sollte.

Abbildung 3 zeigt eine virtuelle Szene, in der die Bezier-Kurve für zwei selektierbare Objekte mit p_1 so gewählt ist, dass $|p_0 - p_1| = \frac{4}{5}|p_0 - p_2|$.

4 Anwendungen

Aufgrund ihrer natürlichen und intuitiven Verwendung kommen Virtual Pointer-Metaphern in vielen VR Anwendungen zum Einsatz. Besonders VR Systeme, in denen die Selektion entfernt liegender Objekte notwendig ist, verwenden Ray-Casting-Techniken und profitieren daher von den von uns vorgestellten Konzepten. In diesem Abschnitt sollen kurz zwei Anwendungsgebiete vorgestellt werden, in denen wir die erläuterten Konzepte erfolgreich einsetzen. Die beiden beschriebenen Anwendungen können sowohl auf einer Responsive Workbench als auch in einer Desktop-Umgebung ausgeführt werden. Die Steuerung des virtuellen Eingabegerätes geschieht dabei entweder durch ein optisch getracktes 6 DoF Eingabegerät oder durch eine Spacemaus.

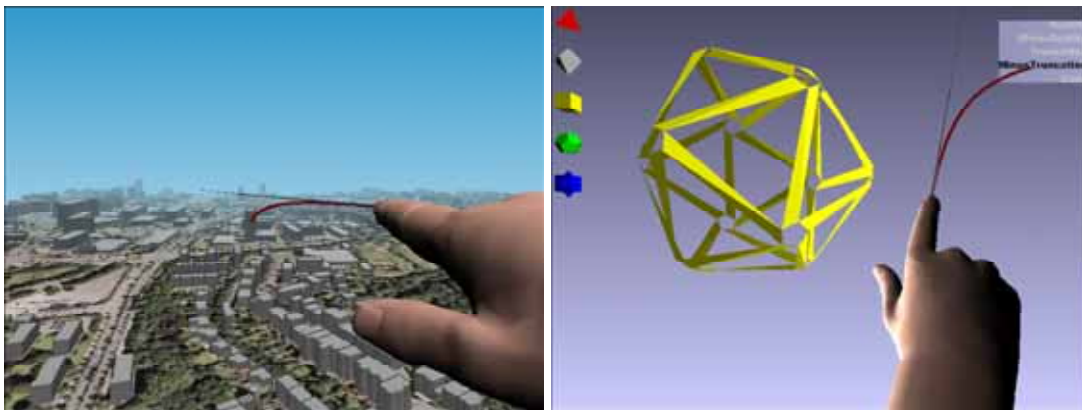


Abbildung 4: Verwendung der Improved Virtual Pointer-Metapher zur Interaktion mit einer räumlichen Stadtplanungsumgebung (linkes Bild) und mit einer menübasierten VE (rechtes Bild).

In Abbildung 4 (links) wird gezeigt, wie die Improved Virtual Pointer-Metapher in einer räumlichen Stadtplanungsumgebung zur Selektion und Manipulation von Gebäuden benutzt wird. Abbildung 4 (rechts) zeigt die Verwendung der Metapher in einer menübasierten VE, die es dem Benutzer ermöglicht mit platonischen Soliden zu experimentieren. Zusätzlich zu den Soliden kann der Zugriff auf die einzelnen Menüpunkte mit Hilfe der Virtual Pointer-Metapher erfolgen. In beiden beschriebenen Anwendungsfällen konnte die Interaktion durch die Verwendung der

Improved Virtual Pointer-Metapher signifikant verbessert werden. Außerdem haben wir während der Verwendung der Improved Virtual Pointer-Metapher festgestellt, dass unser Ansatz eine verbesserte Interaktion sowohl für VR Anfänger als auch für fortgeschrittene VR Benutzer bietet.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit haben wir eine verbesserte Interaktionsmetapher für Selektionsaufgaben in VEs vorgestellt. Wir haben ihre Vorteile beschrieben und einige Anwendungsbeispiele aufgezeigt. Die vorgeschlagene Metapher verspricht eine verbesserte und intuitivere Interaktion in VEs.

Weitere Leistungsfortschritte können durch passende Kombinationen der Ansätze aus Abschnitt 3 erzielt werden. Zurzeit entwerfen wir eine Benutzerstudie, um die Nutzbarkeit der vorgestellten Konzepte zu überprüfen. In dieser Studie werden wir die unterschiedlichen Strategien vergleichen und verschiedene Techniken zur Selektion von verdeckten Objekten testen. Außerdem soll ermittelt werden, in wie weit unterschiedliche Positionen für den Kontrollpunkt p_1 und ein Verzicht auf die Visualisierung des geraden Strahls, der die Richtung des Eingabegerätes anzeigt, die Benutzerinteraktion beeinflusst.

6 Literatur

- [AmFiSt2001] De Amicis R., Fiorentino, M., Stork, A.: Parametric interaction for CAD application in virtual reality environment. In XII ADM INTERNATIONAL CONFERENCE on Design Tools and Methods in Industrial Engineering, Seite D3/43–D3/52, 2001.
- [BowHod1997] Bowman, D., Hodges, L.: An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. In ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, Seite 35–38, 1997.
- [FoHeZe1996] Forsberg, A., Herndorn, K., Zeleznik, R.: Aperture based selection for immersive virtual environments. In ACM Symposium on User Interface Software and Technology, Seite 95–96, 1996.
- [JaFeHu1994] Jacoby, R., Ferneau, M., Humphries, J.: Gestural interaction in a virtual environment. In Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems: The Engineering of Virtual Reality, Seite 355–364. SPIE, 1994.
- [LiaGre1994] Liang, J., Green, M.: JDCAD: A highly interactive 3D modeling system. Computers & Graphics, 18(4): Seite 499–506, 1994.
- [OlwFei2003] Olwal, A.,Feiner S.: The flexible pointer: An interaction technique for selection in augmented and virtual reality. In ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST Conference Supplement), Seite 81–82, 2003.

- [PiFoCo1997] Pierce, J., Forsberg, A., Conway, M., Zeleznik, R., Hong, S., Mine, M.: Image plane interaction techniques in 3D immersive environments. In ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, Seite 39–44, 1997.
- [PoBiWe1996] Poupyrev, I., Billinghurst, M., Weghorst, S., Ichikawa, T.: The Go-Go interaction technique: Non-linear mapping for direct manipulation in VR. In ACM Symposium on User Interface Software and Technology, Seite 79–80, 1996.
- [PoBiWe1998] Poupyrev, I., Billinghurst, M., Weghorst, S., Ichikawa, T.: Egocentric object manipulation in virtual environments: Empirical evaluation of interaction techniques. Computer Graphics Forum, 17(3): Seite 41–52, 1998.