

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Medien
Studiengang Medieninformatik

Mehrbenutzer Multi-Touch-Interaktion mit einem immersiven 3D Bildschirmtisch

Bachelorarbeit

Sebastian Stickert
Geboren am 21.04.1992 in Rostock

Matrikelnummer 110882

1. Gutachter: Prof. Dr. Bernd Fröhlich
Betreuer: Alexander Kulik, André Kunert

Datum der Abgabe: 26. April 2015

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Weimar, den 26. April 2015

.....
Sebastian Stickert

Zusammenfassung

Dieses Dokument dient als Muster für die Ausarbeitung einer Diplomarbeit am Lehrstuhl für Webtechnologie und Informationssysteme. 1 - 2 - 3 Umläut-test.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	4
1.1	Mehrbenutzer VR-Systeme	4
1.2	Multi-Touch Interaktion mit dreidimensionalen Szenen	5
1.3	Ziel der Arbeit	5
2	Finger und Hand Tracking auf Grundlage von Maximally Stable Extremal Regions	6
2.1	Maximally Stable Extremal Regions	6
2.2	Technische Voraussetzungen	6
2.3	Implementierung	6
2.3.1	TUIO Touch Protokoll	6
2.3.2	Umgang mit Jittering	7
3	Anforderungsanalyse	8
3.1	Mehrbenutzer Touch-Eingaben	8
3.2	Tiefenwahrnehmung durch Stereo- und Bewegungsparalaxe	9
3.3	Interaktionsziele	9
3.4	Explizite und implizite Kontrolle der involvierten Freiheitsgrade	9
3.5	Visuelle Rückmeldung	9
4	3D Interaktion mit Multitoucheingaben	10
4.1	Interaktion 1	10
4.2	Interaktion 2	10
4.3	Interaktion 3	10
4.4	Diskussion	10
5	Wahrnehmungskonflikte und Lösungsansätze	11
5.1	Ansatz 1	11
5.2	Ansatz 2	11
5.3	Diskussion	11

6	Explizite Multi-Touch 3D Navigation	12
6.1	Rotation, Translation und Skalierung im Bildraum	12
6.2	3D Translation	13
6.3	3D Rotation	15
6.4	Vorteile und Limitierungen	15
7	Levelling: Implizite Multi-Touch 3D Navigation	17
7.1	Definition und Interaktionsziele	17
7.2	Depth-Levelling	18
7.3	Rotation-Levelling	19
7.4	Vorteile und Limitierungen	19
8	Wechsel zwischen Interaktionstechniken	20
8.1	Evaluierung der Bildschirmkontakte	20
8.2	Interaktionsterritorien	22
8.3	Diskussion	22
9	Abbildung von Touch Eingaben in der Applikationsstruktur	23
9.1	Multi-Touch Input Pipeline	23
9.2	Touch Navigation	24
9.3	Representation im Szenegraph	24
9.4	Diskussion	24
10	Virtuelles Freischneiden der Hand während Berührungseingaben	25
10.1	Ansatz	25
10.2	Implementierung	26
10.3	Vorteile und Limitierungen	26
11	Diskussion	28
11.1	Erfüllung der Vorgaben	28
11.2	Beobachtungen	28
11.3	Hypothesen	28
12	Fazit	29
12.1	Beiträge dieser Arbeit	29
12.2	Vorschläge zur Weiterentwicklung	29
A	Anhang 1	30
	Abbildungsverzeichnis	31
	Tabellenverzeichnis	32

Literaturverzeichnis	33
-----------------------------	-----------

Kapitel 1

Einführung

Hier wird das Kapitel Einführung beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 1.1, 1.2 und 1.3.

1.1 Mehrbenutzer VR-Systeme

Aktuelle Entwicklungen am Lehrstuhl für virtuelle Systeme ermöglichen die Darstellung von komplexen 3D Scans. Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts 3D Pitoti werden beispielsweise umfangreiche Datensätze in verschiedenen Auflösungsstufen, zur Betrachtung von prähistorischen Felsgravuren in Val Camonica zur interaktiven Visualisierung, angeboten.

Um hierbei Oberflächenstruktur im Submillimeterbereich, sowie deren nähere Umgebung, kollaborativ analysieren zu können, werden verschiedene Mehrbenutzer Projektionssysteme genutzt. Eine Projektionswand wird verwendet um Inhalte im 1:1 Maßstab anzuzeigen, während ein Bildschirmtisch gleichzeitig den Überblick über das gesamte Tal liefern kann. Beide Systeme begünstigen die Betrachtung stark vergrößerter Oberflächendetails.

Die Verteilung einer Applikation über mehrere Bildschirme wird nach Seyed et al. [Seyed and Maurer, 2013] auch als *Multi-Display-Umgebung* bezeichnet. In dieser Umgebung können Nutzer in Gruppen variabler Größe, oder allein, mit den Angebotenen Darstellungen interagieren. Des Weiteren können Anwender frei zwischen verschiedenen Bildschirmen wechseln.

1.2 Multi-Touch Interaktion mit dreidimensionalen Szenen

Von einer breiten Masse der Bevölkerung werden Geräte wie Tablets, Smartphones, oder sonstige Touchscreens täglich für unterschiedliche Aufgaben genutzt. Hierbei haben sich verschiedene Gesten zur Kontrolle von zweidimensionalen Inhalten bereits etabliert. Durch diese Erfahrungen erwarten Nutzer intuitiv Eingaben an der Oberfläche eines Bildschirmes durchführen zu können. Auch stereoskopische Bildinhalte sind in der Öffentlichkeit, beispielsweise durch 3D Kinofilme, längst etabliert. Für die Verbindung dieser beiden Techniken gibt es bislang jedoch keine vollständig akzeptierte Lösung.

Stereoskopisches Rendering führt zu positiver, negativer, oder null Parallaxe bei der Darstellung von Bildinhalten. Das heißt virtuelle Modelle erscheinen für die Wahrnehmung unterhalb (positive Parallaxe), oberhalb (negative Parallaxe), oder auf (null Parallaxe) der Tischoberfläche. Bekannte 2D Touch Interaktionen basieren auf direktem Kontakt mit den Objekten der virtuellen Darstellung. Es entsteht eine Bindung die das Gefühl erzeugt Objekte festzuhalten. Dieser Effekt kann auf direkte Weise nur bei null Parallaxe auf eine stereoskopische Anwendung übertragen werden ([Bruder and Sturzlinger, 2013]). Außerdem ruft das Greifen der Hand in negativ parallaxe Bildarealen Störungen der Tiefenwahrnehmung hervor ([de la Rivière et al.,]).

Des Weiteren hat die Integration einer 3D Szene Auswirkungen auf die Freiheitsgrade der Manipulation. Hierbei wird die 2D Translation um die Verschiebung entlang der z-Achse erweitert. Rotation erfolgt im 3D Raum unter Berücksichtigung dreier Achsen. Im 2D Raum wird hierfür lediglich eine Achse benötigt. Da die Eingabeparameter eines Berührungspunktes der Bildschirmfläche zweidimensional sind, ergibt sich eine Herausforderung für die Entwicklung einer geeigneten 3D Manipulationsschnittstelle ([Martinet and Grisoni, 2012]).

1.3 Ziel der Arbeit

Die Verwendung von Projektionstischen zur Darstellung stereoskopischer Bildinhalte begünstigt die Verwendung von taktilen Eingaben. Durch blickabhängige Renderingverfahren werden kollaborative Anwendungen leicht realisierbar. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Mehrbenutzer-Schnittstelle zur touch-basierten Applikationsinteraktion mit dreidimensionalen Inhalten zu entwickeln.

Kapitel 2

Finger und Hand Tracking auf Grundlage von Maximally Stable Extremal Regions

Hier wird das Kapitel Finger und Hand Tracking auf Grundlage von Maximally Stable Extremal Regions beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 2.1, 2.2 und 2.3.

2.1 Maximally Stable Extremal Regions

Hier steht Inhalt zu Maximally Stable Extremal Regions.

2.2 Technische Voraussetzungen

Hier steht Inhalt zu Technischen Voraussetzungen.

2.3 Implementierung

Hier steht Inhalt zur Implementierung. Dieser Abschnitt besteht aus den Unterabschnitten 2.3.1 und 2.3.2.

2.3.1 TUIO Touch Protokoll

Hier steht Inhalt zum TUIO Touch Protokoll.

2.3.2 Umgang mit Jittering

Hier steht Inhalt zum Umgang mit Jittering.

Kapitel 3

Anforderungsanalyse

Hier wird das Kapitel Anforderungsanalyse beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 und 3.5.

3.1 Mehrbenutzer Touch-Eingaben

Anforderung: Fehleingaben durch gleichzeitiges Interagieren verschiedener Nutzer mit dem Bildschirmtisch sollten vermieden werden.

Die meisten Interaktionswerkzeuge können von nicht mehr als einem Nutzer bedient werden. Selbst wenn die Auswirkung der Manipulation die ganze Gruppe betrifft, so obliegt der Umgang mit dem Werkzeug einer Person. Im Gegensatz dazu, steht der Projektionstisch allen Nutzern gleichermaßen zur Verfügung. Da eine Vielzahl verschiedener Fingerpositionen auf dem Touchtisch registriert werden kann, besteht folglich die Möglichkeit, dass der Tisch zur gleichen Zeit von mehreren Personen Eingaben erhält. Diese Eingabekombinationen können leicht zu Manipulationen der Applikation führen, welche vom Nutzer nicht beabsichtigt waren und somit vermieden werden sollten.

Abbildung XX zeigt ein konkretes Anwendungsszenario. Hier versammeln sich eine bestimmte Anzahl Nutzer um gemeinsam Eigenschaften einer virtuellen Welt zu untersuchen. Während ein Nutzer beidhändig eine Interaktionsgeste ausführt, setzt ein anderer Nutzer seine Hand auf einen markanten Inhalt der Szene. Dabei berührt er ebenfalls die Tischfläche. In diesem Fall sollte sichergestellt sein, dass das System die Semantik der Touchpunkte erkennt und eine sinnvolle Entscheidung bezogen auf die abgeleitete Interaktion trifft.

3.2 Tiefenwahrnehmung durch Stereo- und Bewegungsparalaxe

Anforderung: Konflikten der Tiefenwahrnehmung durch Berührung negativ paralaxer Bildareale sollte entgegen gewirkt werden.

Anforderung: Die Interaktion mit positiv und negativ paralaxen Objekten sollte nicht durch Bewegungsparalaxe erschwert werden.

3.3 Interaktionsziele

Anforderung: Manipulationen der Applikation, sollten basierend auf dem Interaktionsziel des Nutzers bestimmt werden.

3.4 Explizite und implizite Kontrolle der involvierten Freiheitsgrade

Anforderung: Das System sollte auch für unerfahrene Nutzer leicht benutzbar sein.

Anforderung: Es sollte dem Nutzer möglich sein, alle für das jeweilige Interaktionsziel erforderlichen Freiheitsgrade getrennt voneinander zu bedienen.

Anforderung: implizite kontrolle????

3.5 Visuelle Rückmeldung

Anforderung: Der Umgang mit der Schnittstelle sollte mit visuellem Output unterstützt werden

Kapitel 4

3D Interaktion mit Multitoucheingaben

Hier wird das Kapitel 3D Interaktion mit Multitoucheingaben beschrieben.
Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 4.1, 4.2, 4.3 und 4.4

4.1 Interaktion 1

Hier steht Inhalt zu Interaktion 1.

4.2 Interaktion 2

Hier steht Inhalt zu Interaktion 2.

4.3 Interaktion 3

Hier steht Inhalt zu Interaktion 3.

4.4 Diskussion

Hier steht Inhalt zur Diskussion.

Kapitel 5

Wahrnehmungskonflikte und Lösungsansätze

Hier wird das Kapitel Wahrnehmungskonflikte und Lösungsansätze beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 5.1, 5.2 und 5.3.

5.1 Ansatz 1

Hier steht Inhalt zu Ansatz 1.

5.2 Ansatz 2

Hier steht Inhalt zu Ansatz 2.

5.3 Diskussion

Hier steht Inhalt zur Diskussion.

Kapitel 6

Explizite Multi-Touch 3D Navigation

In Kapitel 4 wurden einige bekannte Ansätze zur Interaktion durch Multi-Touch Eingaben vorgestellt. Diese werden im Rahmen dieser Arbeit als explizite 3D Multi-Touch Techniken bezeichnet. Wir definieren explizite Multi-Touch Navigation als Strategie, mit welcher verschiedene Freiheitsgrade der Manipulation durch Nutzereingaben direkt steuerbar sind.

In diesem Kapitel wird beschrieben wie anhand dieser Techniken Gesten für die, im Rahmen dieser Arbeit entstandene Applikation zur touch- basierten Navigation, abgeleitet wurden. Abschnitt 6.1 erläutert die Integration der Rotation, Translation und Skalierung im Bildraum, welche im Folgenden mit RTS abgekürzt wird. Abschnitt 6.2 zeigt wie alle Freiheitsgrade der dreidimensionalen Translation in einer Navigationsgeste bedient werden können. In Abschnitt 6.3 wird ein Ansatz zur Steuerung aller Freiheitsgrade der dreidimensionalen Rotation vorgestellt. Abschließend werden in Abschnitt 6.4 die vorgestellten Techniken gegenübergestellt und auf ihre Vorteile und Limitierungen untersucht.

6.1 Rotation, Translation und Skalierung im Bildraum

Zur Umsetzung der RTS-Technik dienen die Erkenntnisse von CITE STICKY-TOOLS. Nach dieser Strategie soll zu jedem Zeitpunkt der Interaktion eine orthogonale Verbindung, zwischen der Eingabeposition auf dem Bildschirm und der darunter liegenden Geometrie, bestehen.

Wird zur Berechnung der Manipulation ein Kontaktpunkt auf dem Bildschirm verfolgt, können mit diesem Ansatz x- und y-Translation der Navigation gesteuert werden. Hierzu ergibt sich die Verschiebung des Viewing-Setups, aus der relativen Bewegung des Kontaktpunkts auf der Projektionsfläche.

Wir definieren $P_1(t) = (x_1, y_1)$ als die Position des Kontaktpunkts P_1 auf der Bildebene, zu einer gegebenen Zeit t . $P_1(t') = (x_1', y_1')$ sei die Position von P_1 zu einer späteren Zeit t' . Die relative Translation $T_r = (x_r, y_r)$ berechnet sich durch $T_r = P_1(t) - P_1(t')$. Um diese Bewegung auszugleichen muss die Navigation um $T = (x_t, y_t) = (-x_r, -y_r)$ verschoben werden. Abbildung XX veranschaulicht diesen Zusammenhang.

Mit der Verwendung eines zweiten Kontaktpunkts P_2 auf dem Bildschirm, wird diese Transformation um die Rotation entlang der Bildschirmnormalen, sowie die symmetrische Skalierung erweitert. Als Referenzpunkt hierfür dient P_1 .

Sei $P_2(t) = (x_2, y_2)$ die Position des Kontaktpunkts P_2 auf der Bildebene, zu einer gegebenen Zeit t und $P_2(t') = (x_2', y_2')$ die Position von P_2 zu einer späteren Zeit t' , so ergibt sich $V = P_2(t) - P_1(t)$, als Richtungsvektor zwischen den Kontaktpunkten vor der Bewegung. $V' = P_2(t') - P_1(t')$ ist folglich der Richtungsvektor nach der Bewegung. Verändert sich die Distanz der Kontaktpunkte auf der Tischfläche, so muss sich die Distanz der Angriffspunkte auf der Geometrie in gleichem Maße ändern. Abbildung XX zeigt wie die Skalierung der Projektionsfläche einer virtuellen Kamera, die Größenrelation der dargestellten Geometrie beeinflusst. Der Skalierungsfaktor S , bestimmt sich nach diesem Zusammenhang aus dem Verhältnis der Distanzen zwischen den Kontaktpunkten zu den Zeiten t und t' . Folglich gilt $S = |V|/|V'|$.

Für die Rotation dienen ebenfalls die Vektoren V und V' zur Berechnung. Als Achse dient die Bildschirmnormale N . Diese kann leicht durch $N = ||V|| \times ||V'||$ bestimmt werden. Der Winkel α für die Transformation ist durch $\alpha = \arccos(||V|| * ||V'||)$ gegeben.

6.2 3D Translation

Die 3D Translation ist einer von den Erkenntnissen der Balloon Selection CITE BALLOON abgeleiteter Ansatz. Durch Berühren der Tischfläche mit einer Hand wird eine direkte Verbindung mit der darunter liegenden Geometrie hergestellt. Diese zur Tischfläche orthogonale Beziehung soll zu jedem Zeitpunkt

der Navigation in diesem Modus gewahrt bleiben. Es leitet sich demnach für die Interaktion mit nur einem Eingabepunkt eine zweidimensionale Translation, nach den in Abschnitt 6.1 beschriebenen Zusammenhängen, ab.

Durch die Verfolgung der Bewegung zweier Eingabepositionen, kann eine dreidimensionale Translation abgebildet werden. Hierzu dient einer der verfolgten Kontakte auf dem Tisch, als Primäreingabe. Die Bewegung dieser Position bestimmt weiterhin die x- und y-Translation im Bildraum. Der zweite Kontakt wird im Folgenden als Sekundäreingabe bezeichnet. Die Einordnung in Primär- und Sekundäreingabe kann durch Auswertung der Startzeit der jeweiligen Eingabe festgelegt werden. Durch Distanzveränderung der Sekundäreingabe zur Primäreingabe kann die z-Verschiebung gesteuert werden. Zur Berechnung dieser bieten sich zwei verschiedene Verfahren an.

Wir definieren $P_1(t) = (x_1, y_1)$ und $P_2(t) = (x_2, y_2)$ als die Positionen der Primäreingabe P_1 und der Sekundäreingabe P_2 auf der Projektionsfläche, zu einer gegebenen Zeit t . $P_1(t') = (x_1', y_1')$ und $P_2(t') = (x_2', y_2')$ seien die Position von P_1 und P_2 zu einer späteren Zeit t' . Weiterhin werden die Richtungsvektoren $V = P_2(t) - P_1(t)$ und $V' = P_2(t') - P_1(t')$ bestimmt. z_t ist die zu ermittelnde z-Translation.

Das erste Verfahren nutzt die Differenz zwischen $|V|$ und $|V'|$ zur Bestimmung der z-Translation. Bei Verlängerung der Distanz zwischen den Eingabepunkten, soll der Abstand zur darunter liegenden Geometrie in gleichem Maße abnehmen. Bei Verkürzung der Strecke zwischen P_1 und P_2 wächst die Distanz zur Geometrie um den Betrag der Differenz. Für ein Viewing Setup, mit Blickrichtung entlang der negativen z-Achse, ergibt sich $z_t = |V| - |V'|$. Der entstehende Effekt lässt sich mit der Anwendung einer Seilwinde vergleichen. Abbildung XX illustriert diesen Zusammenhang.

Im zweiten Verfahren wird das Verhältnis zwischen $|V|$ und $|V'|$ zur Bestimmung der z-Translation genutzt. Verdoppelt sich beispielsweise die Strecke zwischen P_1 und P_2 , so halbiert sich die Distanz zwischen P_1 und der Geometrie.

TODO FORMEL FERTIG

6.3 3D Rotation

Ziel dieser Technik ist die Kontrolle aller Freiheitsgrade, welche für die Rotation im dreidimensionalen Raum benötigt werden. Hierzu wurde der in Abschnitt REF ARCBALL RELATED vorgestellte Ansatz von CITE ARCBALL implementiert.

Für die Bestimmung der Manipulation wird die Hand eines Nutzers mit genau zwei aufgesetzten Fingern verfolgt. Initiiert der Nutzer die Geste durch Aufsetzen der Hand, so wird ein direkter Angriffspunkt auf der Geometrie mit orthogonaler Verbindungsgeraden zur Bildschirmfläche berechnet. Bis zur Beendigung der Geste, durch Anheben der Hand, erfolgt eine Rotation um diesen Punkt.

Gegeben sind $P_h(t)$ und $P_h(t')$ als Positionen des Mittelpunkts der Geraden zwischen den zwei aufgesetzten Fingern zu den Zeiten t und t' . P_g sei der beschriebene Referenzpunkt auf der Geometrie. Zuletzt sind $V_f(t)$ und $V_f(t')$, als zeitabhängigen Richtungsvektoren zwischen den Fingern, gegeben. Es werden für die Interaktion zwei Rotationen getrennt voneinander berechnet.

Die Richtungsvektoren $V_{hg}(t)$ und $V_{hg}(t')$ ergeben sich aus der Verbindung zwischen $P_h(t)$ mit P_g und $P_h(t')$ mit P_g . Die Normale auf die von den Vektoren aufgespannte Ebene bildet die Achse der ersten Rotation. Der Winkel leitet sich aus dem Winkel zwischen $V_{hg}(t)$ und $V_{hg}(t')$ ab. $V_{hg}(t')$ ist außerdem die Achse für eine zweite Rotation, deren Maß durch den Winkel zwischen $V_f(t)$ und $V_f(t')$ bestimmt wird. Abbildung XX stellt das Verfahren an einem Beispiel dar.

6.4 Vorteile und Limitierungen

Durch die Verwendung der RTS-Technik (siehe Abschnitt 6.1) sind eine Vielzahl verschiedener Transformationen im dreidimensionalen Raum gleichzeitig, auch getrennt voneinander zu bedienen. Der anhaltende und direkte Kontakt mit der Geometrie vermittelt dem Nutzer das Gefühl die Szene zu greifen, was zu einer intuitiven Einarbeitung in den Umgang mit dem System führt. Die Technik ist jedoch begrenzt auf dieselben Freiheitsgrade, welche auch im zweidimensionalen Raum verwendet werden. Sie bietet daher nicht die Möglichkeit, die Navigation in jeden, durch die drei Dimensionen gegebenen, Zustand zu bewegen. Dieser Nachteil spiegelt sich bei den übrigen, in diesem Kapitel vorgestellten, Techniken noch stärker wieder. Demzufolge ist durch 3D Translation und 3D Rotation jeweils nur eine Form der Transformation steuerbar. Im Kon-

text ihrer Anwendung zeigen sich 3D Translation, sowie 3D Rotation, ebenfalls als nutzerfreundliche Strategien zur Manipulationen der von ihnen bestimmten Freiheitsgrade.

Die Seilwindenstrategie bei der 3D Translation weist durch ihr direktes Mapping eine hohe Präzision und ein leicht Verständliches Interaktionskonzept auf. Durch die Maße des Tisches und die Reichweite des menschlichen Armes ist der Bewegungsrahmen für die Interaktion eingeschränkt. Ein weit entferntes Objekt in die Nähe der Projektionsebene zu bringen, erfordert somit das wiederholte Anheben und erneute Aufsetzen der Hand. Aus diesem Grund wirkt die Seilwindenstrategie, bei der Arbeit mit weit entfernten Objekten, ungeeignet. Die Translationsberechnung durch das Verhältnis von Eingabepunkt- und Geometrieabstand kann hingegen effektiv für grobe Interaktionen mit weit entfernten Objekten genutzt werden. Kleine Bewegungen auf der Tischfläche führen zu einer zunehmenden Auswirkung, je weiter das berührte Objekt vom Tisch entfernt liegt. Dementgegen ist die Auswirkung von weitreichenden Bewegungen mit Geometrieelementen in Tischebene gering. Somit entstehen leicht Missverständnisse bei der Nutzung mit bildschirmnaher Geometrie.

Die vorgestellte 3D Rotationstechnik kann den Erhalt der Orthogonalität, zwischen dem Geometrie-Eingabe-Vektor und der Bildfläche, nicht gewährleisten. Das hebt die Metapher der direkten Berührung auf, welche sich als nutzerfreundlich erwiesen hat. Wie in Kapitel 5 beschrieben, ist 3D Multi-Touch Interaktion effektiv für Objekte in Null-Parallaxe, verwendbar. Bei der 3D Rotation können geringe Eingabeänderungen zu starken Anpassungen des Rotationswinkels führen, wenn die Distanz zwischen Eingabeposition und Rotationsreferenzpunkt gering ist. Befindet sich der Referenzpunkt auf der Tischfläche ist gar keine Berechnung der Rotation mehr möglich. Des Weiteren wird durch den Übergang zwischen Positiv- und Negativ-Parallaxe die Steuerung der Rotation invertiert.

Kapitel 7

Levelling: Implizite Multi-Touch 3D Navigation

Kapitel 4 zeigt, dass die gleichzeitige Steuerung aller Freiheitsgrade einer 3D Manipulation durch Multi-Touch Eingaben noch immer eine Herausforderung ist. In Kapitel 6 werden Lösungsansätze vorgestellt, mit welchen einzelne Freiheitsgrade der Interaktion explizit manipuliert werden können. Ein modulares System zur Koordination dieser Techniken, wäre ein Ansatz mit allen Freiheitsgrade explizit umzugehen. Die Bedienbarkeit eines solchen Systems könnte jedoch leicht komplex werden.

Wie Anforderung XX vorgibt soll das System für Nutzer, ungeachtet ihres Vorwissens, leicht handhabbar sein. Um diese Anforderung zu unterstützen beschreibt und evaluiert dieses Kapitel eine im Rahmen dieser Arbeit entstandene Navigationstechnik namens Levelling. Hierzu wird in Abschnitt 7.1 eine Definition zu *impliziter* Navigationstechnik, sowie eine Erklärung zum Interaktionsziel von Levelling, gegeben. Im darauf folgenden Abschnitt 7.2 wird die Funktionsweise von Depth-Levelling beschrieben, während in Abschnitt 7.3 auf den erweiterten Ansatz Rotation-Levelling eingegangen wird. Abschließend wird in Abschnitt 7.4 Levelling als Navigationstechnik diskutiert.

7.1 Definition und Interaktionsziele

Wir definieren implizite Navigationstechniken als zusätzliche Transformationen zur Erreichung eines Interaktionsziels, welche der Anwendung expliziter Techniken beigelegt werden und nicht getrennt von diesen bedienbar sind.

Bruder et al. [Bruder and Sturzlinger, 2013] beschreibt, dass eine effektive Interaktion mit dreidimensionalen Inhalten vor allem möglich ist, wenn Objek-

te in null Parallaxe liegen. Levelling ist ein Ansatz zur impliziten Steuerung der Navigation. Ziel der Technik ist es, Applikationsinhalte auf Tischebene zu bewegen. Es wird dabei sowohl die Distanz der Geometrie zur Bildebene verringert, sowie die Orientierung angepasst. Hierzu legt der Nutzer durch berühren des Projektionstisches mit beiden Händen zwei orthogonale Auftreffpunkte auf der Geometrie fest, welche durch die Levelling Technik schrittweise näher an die Bildschirmfläche geführt werden. Da sich beide Punkte auf unterschiedlicher Höhe befinden können, ist außerdem eine Rotation nötig, um beide Punkte auf die Bildebene zu führen. Levelling ist demzufolge ein zweistufiges Verfahren, dessen einzelne Manipulationsschritte durch die von ihnen hervorgerufene Transformation benannt sind. Abbildung XX. zeigt die Auswirkung von Levelling auf eine beispielhafte Visualisierung.

7.2 Depth-Levelling

Depth-Levelling wird durch das Eingeben zweier Kontaktpunkte auf dem Bildschirm initiiert. Des Weiteren werden zwei zugehörige Referenzpunkte auf der Geometrie benötigt. Der Verbindungsvektor zwischen dem jeweiligen Bildschirmpunkt und seinem Geometriereferenzpunkt steht orthogonal zur Bildebene. Folglich ist der Referenzpunkt leicht durch einen Strahlenschnitttest zu ermitteln. Wichtig ist hierbei, negativ parallaxe Modellbereiche nicht zu übersehen. Hierzu muss die z-Koordinate des Startpunkts des Schnittstrahls angehoben werden.

Im nächsten Schritt erfolgt die Zuordnung der Referenzpunkte in Primär- und Sekundärpunkt. Der Primärpunkt liegt bereits näher an der Tischebene, oder ist weiter darüber als der Sekundärpunkt. Ziel des Depth-Levellings ist es, den Primärreferenzpunkt durch Translation auf die Projektionsebene zu bringen. Um dies zu erreichen wird das Viewing Setup schrittweise entlang des Richtungsvektors zwischen Primärpunkt und zugehörigem Bildschirmkontaktpunkte verschoben. Die Schrittweite wird hierbei durch einen Faktor festgelegt welcher aus der expliziten Interaktion abgeleitet ist. Ist die Geometrie bereits in relativer Bildschirmnähe, bietet sich die absolute Differenz der Distanz zwischen den Bildschirmkontaktpunkten, seit der letzten Interaktion, an. Andernfalls kann das Verhältnis zwischen diesen Distanzen zur Berechnung der Bewegungsskalierung genutzt werden. Sollte der ermittelte Faktor größer oder gleich der Länge des Richtungsvektors zwischen dem Primärpunkt und dem zugehörigen Kontaktpunkt sein, so wird stattdessen eine Translation um diesen Richtungsvektor angewandt. Ist eben genanntes Kriterium erreicht, so befindet sich der Primärpunkt auf Tischebene und das Depth-Levelling ist beendet.

7.3 Rotation-Levelling

Nach Translation des in Abschnitt 7.2 beschriebenen Primärpunkts auf die Bildebene, erfolgt beim Rotations-Levelling die Heranführung des Sekundärpunkts an die Projektionsebene. Hierzu kann eine Translation nicht genutzt werden, da dies den Primärpunkt ebenfalls transformieren würde. Stattdessen wird eine Rotation um diesen Punkt vorgenommen. Des Weiteren muss eine Skalierung um selbigen Referenzpunkt erfolgen, um zu gewährleisten, dass der Richtungsvektor zwischen Sekundärpunkt und zugehörigem Kontaktpunkt weiterhin senkrecht auf der Bildebene steht.

Die Parametrisierung der Rotation bestimmt sich durch eine Folge von einfachen geometrischen Grundoperationen. Sei G_2 der Sekundärpunkt und K_2 der zugehörige Kontaktpunkt der Eingabe auf dem Bildschirm, so bestimmt sich $\overline{G_2K_2}$ als Richtungsvektor zwischen G_2 und K_2 . Wie beim Depth-Levelling (siehe Abschnitt 7.2) wird im ersten Schritt die Distanz d der Annäherung an die Bildebene ermittelt. Danach wird ein Punkt G_2' berechnet, welcher die Position von G_2 nach Verschiebung um d entlang $\overline{G_2K_2}$ beschreibt. Als nächstes werden zwei Vektoren $\overline{K_1G_2}$ und $\overline{K_1G_2'}$ bestimmt. $\overline{K_1G_2}$ ist hierbei der Richtungsvektor zwischen dem zugehörigen Kontaktpunkt des Primärpunktes K_1 und G_2 . $\overline{K_1G_2'}$ ist der Richtungsvektor zwischen K_1 und G_2' . Nach der Normalisierung von $\overline{K_1G_2}$ und $\overline{K_1G_2'}$, ermittelt sich der Rotationswinkel aus dem Arkuskosinus des Skalarprodukts zwischen $\overline{K_1G_2}$ und $\overline{K_1G_2'}$. Die Rotationsachse wird zuletzt durch das Kreuzprodukt zwischen den beiden Vektoren berechnet.

Wie bereits erwähnt dient eine Skalierung in Richtung des Primärkontakts zum Erhalt der Orthogonalität zwischen Sekundärpunkt und zugehörigem Kontaktpunkt. Der Skalierungsfaktor ist gegeben durch das Verhältnis zwischen der Länge der Vektoren $\overline{K_1G_2}$ und $\overline{K_1G_2'}$. Befindet sich der Sekundärpunkt nach Anwendung aller Transformationen auf der Bildebene, so ist das Interaktionsziel erreicht und das Rotations-Levelling beendet.

7.4 Vorteile und Limitierungen

Hier steht Inhalt zu Vorteilen und Limitierungen.

Kapitel 8

Wechsel zwischen Interaktionstechniken

Wie in den Kapiteln 6 und 7 erläutert wird, können verschiedene implizite und explizite Navigationstechniken verwendet werden um alle Freiheitsgrade der Manipulation eines Viewing Setups in einer virtuellen Szene zu steuern. Durch die Vielzahl dieser unterschiedlichen Formen der Interaktion, ist es wichtig geeignete Kriterien zu definieren, nach denen zwischen den definierten Techniken gewechselt werden kann.

In Abschnitt 8.1 wird eine implizite Herangehensweise an diese Problematik vorgestellt. Diese bestimmt durch Evaluierung der vom Nutzer platzierten Kontaktpunkte auf dem Bildschirm, welche der Interaktionstechniken für die Touch Navigation genutzt wird. Abschnitt 8.2 zeigt wie durch den Anwender Interaktionsterritorien zur Navigation in einem bestimmten Modus festgelegt werden können. Zuletzt werden in Abschnitt 8.3 beide Ansätze verglichen und auf ihre Stärken und Schwächen untersucht.

8.1 Evaluierung der Bildschirmkontakte

Die in Kapitel 2 beschriebene zugrunde liegende Touch-Eingabeerkennung gibt Aufschluss über vom Nutzer platzierte Bildschirmkontaktpunkte. Desweiteren ermöglicht Sie die Zuordnung dieser Fingerpositionen zu einzelnen Händen. Obwohl hierbei eine genaue Hand-Nutzer Zuweisung nicht möglich ist, kann die Evaluierung der gegebenen Eingabeinformation bereits effektiv als Kriterium zur Festlegung des Navigationszustands genutzt werden.

In kollaborativen Anwendungsszenarien, ist gemeinsame Analyse der gegebenen virtuellen Inhalte stark an das Zeigen auf Bereiche der Visualisierung

gebunden. Wie in der Anforderungsanalyse (siehe Kapitel 3) vorgestellt, verlieren Nutzer durch Stereoparallaxe leicht die visuelle Wahrnehmung des physischen Bildschirms. In Folge dessen, kann es passieren das Nutzer versehentlich mit einem Finger die Bildschirmoberfläche berühren und damit ungewollt Manipulationen an der Applikation vornehmen. Um diesen Eingabekonflikt zu verhindern, wird die Eingabe einer Hand nur für die Interaktion angewandt, falls der Anwender mehr als einen Finger auf die Bildschirmoberfläche legt.

Da für die Berechnung der Manipulationsparameter nur ein Punkt der jeweiligen Hand als Eingabe nötig ist, wird eine Handzentrumsposition ermittelt. Diese wird aus den Positionen aller enthaltenen Finger berechnet. Sie kann wahlweise durch den gemittelten Positionswert aller Kontaktpunkte, oder den Mittelpunkt des fingerumschließenden Rechtecks, definiert sein. Für die Berechnung der Manipulationsparameter wird die relative Translation der gesamten Hand des Nutzers über den Bildschirm auf die jeweiligen Interaktionsmodi übertragen. Hierbei ist zu beachten, dass die berechnete Handzentrumsposition kein fester Punkt auf der Hand des Nutzers ist. Folglich führt das Aufsetzen oder Entfernen von Fingern an der interagierenden Hand ebenfalls zur Verschiebung des Handzentrums. Die Auswirkung dieser Verschiebung auf die Manipulation sollte verhindert werden, da sie zu sprunghaften Veränderungen der Applikation führt. Abbildung XX verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Vergleicht man alle in den Kapiteln 6 und 7 vorgestellten Interaktionsmodi hinsichtlich ihrer benötigten Kontaktpunkte, so wird deutlich, dass keine der Techniken mehr als zwei Inputpositionen über die Zeit verfolgt. Eingabekonflikte entstehen häufig, wenn mehrere Anwender gleichzeitig mit dem Bildschirm interagieren wollen. Dieses Problem kann dadurch begrenzt werden, dass nicht mehr als zwei Hände zur Interaktion zugelassen werden. Demzufolge werden genau die beiden Hände zur Eingabe genutzt, welche den Projektionstisch früher berühren. Abbildung XX illustriert die Auswirkung dieser Technik auf ein beispielhaftes Szenario.

(PROBLEM FÜR EINE HAND UND EINTREFFENDEN 2. Input in Diskussion beleuchten)

Die beschriebenen Navigationstechniken lassen sich ebenfalls durch Auswertung der Kontaktpunkte modular auswählen. Das Aufsetzen eines einzelnen Fingers wird als Zeigegeste interpretiert und hat somit keine Auswirkung auf die Navigation. 2D Translation ist einhändig bedienbar. Gleiches gilt für die in Abschnitt 6.3 beschriebene 3D Rotation falls die interagierende Hand mehr als einen Finger beinhaltet. Hierbei werden die Handzentrumsposition und

der zugehörige Richtungsvektor zum Rotationsreferenzpunkt für die x- und y-Rotation verwendet. Während ein Vektor zwischen zwei Fingern der interagierenden Hand die explizite z-Rotation bestimmt. Letzterer Vektor ließe sich leicht von 2 beliebigen Fingern der Hand berechnen. Zugunsten der Verständlichkeit der Interaktion und um eine klare Definition für die Wahl des Modus zu gewährleisten, wird der 3D Rotationsmodus ausschließlich bei der Eingabe mit zwei Fingern, bei genau einer Aufgelegten Hand gesteuert. Somit bleiben Dreifinger-, Vierfinger- und Fünffinger-Einhand-Interaktion für die Kontrolle der 2D Translation. Da für die in Kapitel 7 eingeführte implizite Levelling Technik die orthogonale geometrische Lage zwischen Bildschirm- und Geometrieauftreffpunkt gewährleistet werden soll, wird Levelling der expliziten Rotation, Translation und Skalierung im Bildraum beigelegt. Für diesen Modus werden zur Berechnung aller Manipulationsparameter zwei Kontaktpunkte benötigt. Selbiges gilt für die in Abschnitt 6.2 vorgestellte 3D Translation. Da letztere Interaktionstechnik jedoch keine Auswirkungen auf Skalierung und Rotation hat, wird ein allgemeiner Translationsmodus definiert. Dieser schließt die Verwendung von einhändiger 2D Translation ein. Setzt ein Nutzer nach einem bestimmten Zeitintervall der Einhand-Interaktion eine zweite Hand auf, wird die 3D-Translation angewandt. Demzufolge wird der Navigationsmodus für Rotation, Translation und Skalierung im Bildraum, zuzüglich Levelling nur betreten, wenn zwei Hände mit zeitlicher Differenz kleiner des bestimmten Zeitintervalls aufgesetzt werden. Ein Zustandsdiagramm (siehe Abbildung XX) verdeutlicht den Umgang mit den Navigationsmodi durch Evaluierung der Bildschirmkontakte.

8.2 Interaktionsterritorien

Hier steht Inhalt zu Interaktionsterritorien.

8.3 Diskussion

Kapitel 9

Abbildung von Touch Eingaben in der Applikationsstruktur

Hier wird das Kapitel Abbildung von Touch Eingaben in der Applikationsstruktur beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 9.1, 9.3, 9.2 und 9.4.

9.1 Multi-Touch Input Pipeline

Die Verarbeitung von Touch Eingaben erfolgt in drei wesentlichen Schritten, welche in Abbildung XX illustriert werden. Schritt 1 wird einmalig zu Applikationsstart ausgeführt. Hierbei wird für die Maximalanzahl an gleichzeitig erkennbaren Händen jeweils ein Touchwerkzeug angelegt. Touchwerkzeuge sind vom Anwender konfigurierbar und sollen die Verbindung zwischen der taktilen Eingabe und der jeweiligen Auswirkung dieses Inputs in der Applikation herstellen. Jedes Touchwerkzeug verarbeitet den Input genau einer Hand. Des Weiteren verfügt jedes dieser Werkzeuge über verschiedene Geometrien zur Visualisierung der Eingabe. Der Input einer Hand wird als Teil des Touchwerkzeugs in einem Datencontainer gehalten, welcher bei Bedarf in Schritt 2 gefüllt wird.

Sobald durch den in Abschnitt 2 beschriebenen MSER Algorithmus Fingerkontaktpunkte ermittelt werden, folgt Schritt 2. An dieser Stelle werden die Daten aus dem TUIO Protokoll Transfer ausgewertet und umstrukturiert. Hierzu werden die angesprochenen Datencontainer gefüllt. Diese identifizieren jede erkannte Hand und enthalten außerdem eine Liste mit Positionen der einzelnen Finger, sowie eine errechnete Handzentrumsposition. Die Handzentrumsposition entspricht dem Mittelpunkt der um alle enthaltenen Finger gespannten Bounding Box.

Da jeder der in Schritt 2 beschriebenen Datencontainer an ein Touchwerkzeug gebunden ist, erfolgt in Schritt 3 zuletzt die Verknüpfung der Eingabe mit der jeweiligen Auswirkung in der Applikation. Hierzu verfügen Touchwerkzeuge über einen Selektionsmechanismus, welcher basierend auf den vorliegenden Eingabedaten und dem aktuellen Applikationsstatus Kontakt zu einem Applikationsmanipulator herstellt.

9.2 Touch Navigation

Hier steht Inhalt zu Touchwerkzeugen und Applikationsmanipulatoren.

9.3 Representation im Szenegraph

Im Gegensatz zu anderen physischen Werkzeugen ist der Multi-Touch Bildschirm nicht ein nutzerspezifisches Eingabegerät. Präzise ausgedrückt handelt es sich vielmehr um ein Mehrbenutzer Display, mit Mehrbenutzer Interaktionsschnittstelle. Demnach ist der Touch Tisch gleichzeitig Darstellungs- sowie Eingabemedium, was für die Modellierung im Szenegraph berücksichtigt werden muss.

TODO SCENEGRAPH PLUS ERKLÄRUNG

9.4 Diskussion

Hier steht Inhalt zur Diskussion.

Kapitel 10

Virtuelles Freischneiden der Hand während Berührungseingaben

Negativ parallaxe Bildausschnitte können wie in Kapitel 5 beschrieben Wahrnehmungskonflikte hervorrufen, wenn der Nutzer mit der Tischoberfläche interagiert. In den Abschnitten 5.1 und 5.2 wurden verschiedene Konzepte vorgestellt, welche zeigen wie mit diesem Problem umzugehen ist.

Diese Techniken umgehen jedoch lediglich den direkten Umgang mit negativ parallaxen Modellen, oder wurden im Kontext der 3D Multi-Touch Interaktion noch nicht umgesetzt.

In diesem Kapitel wird eine im Rahmen dieser Arbeit entstandene Implementierung der See Through Technik, für die Eliminierung von Wahrnehmungskonflikten, vorgestellt. Durch Anwendung der See Through Technik werden die von der Hand des Nutzers verdeckten Areale der Visualisierung, oberhalb der Tischoberfläche, freigeschnitten.

In Abschnitt 10.1 wird der theoretische Ansatz vorgestellt. Abschnitt 10.2 stellt die Integration der See Through Technik in die Applikationsstruktur vor. Zuletzt werden in Abschnitt 10.3 die Vorteile und Limitierungen des Ansatzes aufgeführt.

10.1 Ansatz

Wird die Tischoberfläche berührt, so werden negativ parallaxe Modellbereiche zwischen der Eingabeposition und dem Kopf des Nutzers in einem bestimmten

Durchmesser ausgeschnitten. Dies erzeugt einen zylinderförmigen Blicktunnel, welcher dem Nutzer freie Sicht bis zu seiner Hand auf der Tischebene bietet. Der Durchmesser des Ausschnittzylinders wird hierbei durch den fingerumschließenden Kreis bestimmt. Abbildung XX illustriert die Anwendung der Technik.

In einem Mehrbenutzerszenario wird für jeden Nutzer eine eigene Projektion der virtuellen Szene auf dem Bildschirmtisch erstellt. Dies beeinflusst auch die Perspektive auf von Händen verdeckte, negativ parallaxe, Bereiche der Darstellung. Wird für alle um den Tisch versammelten Personen der gleiche Ausschnittzylinder verwendet, kann ausschließlich für einen der Nutzer eine konfliktfreie Wahrnehmung sichergestellt werden. Abbildung XX verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Um Wahrnehmungskonflikte für alle Nutzer vermeiden zu können, muss die Orientierung des Ausschnittzylinders nutzerspezifisch angepasst werden. Infolgedessen wird eine eigene Repräsentation des Zylinders für jeden Nutzer bestimmt und auf die jeweilige Projektion angewandt (siehe Abbildung XX).

10.2 Implementierung

Die Anwendung der Show Through Technik kann leicht beim Rendern der Geometriefragmente vorgenommen werden. Hierzu werden alle Eingabepositionen der Hände auf der Tischfläche, sowie der Radius des fingerumschließenden Kreises, in den Fragmentshader der Applikation gegeben. Die Position der Kamera entspricht der Kopfposition des Nutzers und kann somit zur nutzerspezifischen Berechnung der Orientierung des Ausschnittzylinders genutzt werden. Zuletzt werden alle Fragmente, welche innerhalb des Blicktunnels liegen, verworfen.

10.3 Vorteile und Limitierungen

Durch die Anwendung der Show Through Technik können blickabhängig, von der Hand verdeckte, negativ parallaxe Modellausschnitte bei der Projektion der virtuellen Szene ausgeschlossen werden. Hierdurch bleibt die geometrische Relation zwischen realen und virtuellen Inhalte erhalten. Dies führt zu einer wahrnehmungsunterstützenden Visualisierung, welche maßgeblich zur Benutzbarkeit der Toucheingaben beiträgt.

Die Show Through Technik beeinflusst lediglich die Darstellung der virtuellen Szene. Eine Manipulation der Geometrie, oder des Blickpunktes, wird nicht

vorgenommen. Dadurch kann mit der Szene in jeder geometrischen Lage interagiert werden.

Der Zylinder als Ausschnittgeometrie hat sich in der prototypischen Anwendung als gute Approximation des Nutzerarmes erwiesen. Es ist damit möglich den Großteil verdeckter, negativ parallaxer Modellausschnitte, von der Darstellung auszuschließen.

Die Ausschnittgeometrie umschließt jedoch ein Volumen, welches nicht exakt die Gliedmaßen des Nutzers repräsentiert. Infolgedessen können Bereiche der Visualisierung beschnitten werden, welche nicht vom Nutzer verdeckt werden und daher noch sichtbar sein sollten. Des Weiteren entspricht die Form und Orientierung der Ausschnittgeometrie nicht der komplexen Form des Arms eines Nutzers. Bei bestimmten Eingaben können somit nicht alle durch Negativparallaxe hervorgerufenen Wahrnehmungskonflikte vermieden werden (siehe Abbildung XX).

Die Initiierung der Show Through Technik wird durch das Berühren der Bildschirmoberfläche initiiert. Aus diesem Grund kann das Hineingreifen in Inhalte oberhalb dieser Ebene, ohne Interaktion mit der Tischfläche, nicht verhindert werden.

Kapitel 11

Diskussion

Hier wird das Kapitel Diskussion beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 11.1, 11.2 und 11.3.

11.1 Erfüllung der Vorgaben

Hier steht Inhalt zur Erfüllung der Vorgaben.

11.2 Beobachtungen

Hier steht Inhalt zu Beobachtungen.

11.3 Hypothesen

Hier steht Inhalt zu Hypothesen.

Kapitel 12

Fazit

Hier wird das Kapitel Fazit beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 12.1 und 12.2.

12.1 Beiträge dieser Arbeit

Hier steht Inhalt zu Beiträgen dieser Arbeit.

12.2 Vorschläge zur Weiterentwicklung

Hier steht Inhalt zu Vorschlägen zur Weiterentwicklung.

Anhang A

Anhang 1

Im Anhang kann auf Implementierungsaspekte wie Datenbankschemata oder Programmcode eingegangen werden.

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [Bruder and Sturzlinger, 2013] Bruder, G., S. F. and Sturzlinger, W. (2013). To touch or not to touch?: comparing 2D touch and 3D mid-air interaction on stereoscopic tabletop surfaces. In *Proceedings of the 1st symposium on Spatial user interaction*, pages 9–16. ACM.
- [de la Rivière et al.,] de la Rivière, J.-B., Kervégant, C., Dittlo, N., Courtois, M., and Orvain, E. 3D multitouch: when tactile tables meet immersive visualization technologies. In *ACM SIGGRAPH 2010 Talks*, page 56.
- [Martinet and Grisoni, 2012] Martinet, A., C. G. and Grisoni, L. (2012). Integrality and separability of multitouch interaction techniques in 3d manipulation tasks. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 18(3):369–380.
- [Seyed and Maurer, 2013] Seyed, T., B. C.-C. S. M. and Maurer, F. (2013). From small screens to big displays: understanding interaction in multi-display environments. In *Proceedings of the companion publication of the 2013 international conference on Intelligent user interfaces companion*, pages 33–36. ACM.