

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: 16. 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 16. April 2015

.....
Sebastian Stickert

Zusammenfassung

Dieses Dokument dient als Muster für die Ausarbeitung einer Diplomarbeit am Lehrstuhl für Webtechnologie und Informationssysteme. 1 - 2 - 3 Ümläut-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 Interaktion	12
6.1	Rotation, Translation und Skalierung im Bildraum	12
6.2	3D Translation	12
6.3	3D Rotation	12
6.4	Vorteile und Limitierungen	12
7	Levelling: Implizite Multi-Touch 3D Navigation	13
7.1	Definition und Interaktionsziele	13
7.2	Depth-Levelling	14
7.3	Rotation-Levelling	15
7.4	Vorteile und Limitierungen	15
8	Wechsel zwischen Interaktionstechniken	16
8.1	Evaluierung der Bildschirmkontakte	16
8.2	Interaktionsterritorien	18
8.3	Diskussion	18
9	Virtuelles Freischneiden der Hand während Berührungseingaben	19
9.1	Ansatz	19
9.2	Implementierung	19
9.3	Vorteile und Limitierungen	19
10	Abbildung von Touch Eingaben in der Applikationsstruktur	20
10.1	Multi-Touch Input Pipeline	20
10.2	Touch Navigation	21
10.3	Representation im Szenegraph	21
10.4	Diskussion	21
11	Diskussion	22
11.1	Erfüllung der Vorgaben	22
11.2	Beobachtungen	22
11.3	Hypothesen	22
12	Fazit	23
12.1	Beiträge dieser Arbeit	23
12.2	Vorschläge zur Weiterentwicklung	23
A	Anhang 1	24
	Abbildungsverzeichnis	25
	Tabellenverzeichnis	26

Literaturverzeichnis	27
-----------------------------	-----------

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 Interaktion

Hier wird das Kapitel Explizite Multi-Touch 3D Interaktion beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 6.1, 6.2, 6.3 und 6.4.

6.1 Rotation, Translation und Skalierung im Bildraum

Hier steht Inhalt zu Rotation, Translation und Skalierung im Bildraum.

6.2 3D Translation

Hier steht Inhalt zu 3D Translation.

6.3 3D Rotation

Hier steht Inhalt zu 3D Rotation.

6.4 Vorteile und Limitierungen

Hier steht Inhalt zu Vorteilen und Limitierungen.

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 $\overline{G_2 K_2}$ 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 $\overline{G_2 K_2}$ beschreibt. Als nächstes werden zwei Vektoren $\overline{K_1 G_2}$ und $\overline{K_1 G_2'}$ bestimmt. $\overline{K_1 G_2}$ ist hierbei der Richtungsvektor zwischen dem zugehörigen Kontaktpunkt des Primärpunktes K_1 und G_2 . $\overline{K_1 G_2'}$ ist der Richtungsvektor zwischen K_1 und G_2' . Nach der Normalisierung von $\overline{K_1 G_2}$ und $\overline{K_1 G_2'}$, ermittelt sich der Rotationswinkel aus dem Arkuskosinus des Skalarprodukts zwischen $\overline{K_1 G_2}$ und $\overline{K_1 G_2'}$. 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 $\overline{K_1 G_2}$ und $\overline{K_1 G_2'}$. 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

Virtuelles Freischneiden der Hand während Berührungseingaben

Hier wird das Kapitel Virtuelles Freischneiden der Hand während Berührungseingaben beschrieben. Das Kapitel besteht aus den Abschnitten 9.1, 9.2 und 9.3.

9.1 Ansatz

Hier steht Inhalt zum Ansatz.

9.2 Implementierung

Hier steht Inhalt zur Implementierung.

9.3 Vorteile und Limitierungen

Hier steht Inhalt zu Vorteilen und Limitierungen.

Kapitel 10

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 10.1, 10.3, 10.2 und 10.4.

10.1 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.

10.2 Touch Navigation

Hier steht Inhalt zu Touchwerkzeugen und Applikationsmanipulatoren.

10.3 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

10.4 Diskussion

Hier steht Inhalt zur Diskussion.

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.