

Technische Universität Bergakademie Freiberg  
Fakultät für Mathematik und Informatik  
Studiengang Network Computing

Master Thesis

# Simulation bewegbarer Norm-Stellteile in dynamischen virtuellen Umgebungen

Frank Gommlich

04. April 2008

betreut durch

Prof. Dr. Bernhard Jung

Dipl.-Inform. Guido Heumer

# Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe, die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Freiberg, 04. April 2008

Frank Gommlich

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>10</b>
1.1 Ziele und Aufgaben dieser Arbeit . . . . .	11
1.2 Aufbau dieser Arbeit . . . . .	13
<b>2 Grundlagen</b>	<b>14</b>
2.1 Definitionen . . . . .	14
2.1.1 Stellteil . . . . .	14
2.1.2 Stellteiltyp . . . . .	14
2.1.3 Stellteilmfamilie . . . . .	14
2.1.4 Stellteildatenbank . . . . .	15
2.1.5 Taxonomie . . . . .	15
2.1.6 Annotiertes Objekt . . . . .	15
2.1.7 Freiheitsgrade . . . . .	16
2.2 Taxonomien von Greifarten . . . . .	17
2.2.1 Schlesinger Taxonomie . . . . .	17
2.2.2 Napier Taxonomie . . . . .	18
2.2.3 Cutkosky Taxonomie . . . . .	19
2.3 DIN EN 894-3 . . . . .	20
2.3.1 Normgerechtes Auswahlverfahren für Stellteile . . . . .	21
2.3.2 Aufgabenbewertung und Informationserfassung . . . . .	22
2.3.3 Stellteiltypen . . . . .	23

2.3.4	Maße, Kräfte und Anordnung von Stellteilen . . . . .	25
2.4	Verwandte Arbeiten und 3D-Modellierungssprachen . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Simulation virtueller Stellteile</b>	<b>29</b>
3.1	Spezifikationen und Anforderungen . . . . .	29
3.1.1	Diskrete Stellteile und Zustände . . . . .	31
3.1.2	Ereignissystem für Stellteile . . . . .	32
3.1.3	Manuelle Krafteinwirkung auf Stellteile . . . . .	33
3.2	Erweiterung der Beschreibungssprache für annotierte Objekte . . . . .	34
3.3	Simulationskomponenten des Virtual Workers Frameworks . . . . .	35
<b>4</b>	<b>XML Notation und XML Schema</b>	<b>38</b>
4.1	XML Notation . . . . .	38
4.1.1	<i>annotatedobject</i> -Tag . . . . .	38
4.1.2	<i>param</i> -Tag . . . . .	39
4.1.3	<i>children</i> -Tag . . . . .	42
4.1.4	<i>physics</i> -Tag . . . . .	44
4.1.5	<i>joint</i> -Tag . . . . .	44
4.1.6	<i>discrete-state</i> -Tag und <i>state</i> -Tag . . . . .	46
4.2	XML Schema . . . . .	48
4.3	Komplexes Beispiel . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Implementierung</b>	<b>55</b>
5.1	Implementierte Stellteiltypen . . . . .	55
5.2	Umsetzung der Stellteiltypen in C++ . . . . .	57
5.2.1	Paketdiagramm . . . . .	57
5.2.2	Sequenzdiagramme . . . . .	59
5.2.3	<i>libVHMath</i> -Bibliothek . . . . .	63
5.2.4	<i>libVHBase</i> -Bibliothek . . . . .	63
5.2.5	<i>libVHXML</i> -Bibliothek . . . . .	65
5.2.6	<i>libVHTrajectory</i> -Bibliothek . . . . .	66
5.2.7	<i>libVHCollDetect</i> -Bibliothek . . . . .	66
5.2.8	<i>libVHGraspEvents</i> -Bibliothek . . . . .	67
5.2.9	<i>libVHAnnotatedObjects</i> -Bibliothek . . . . .	68
5.2.10	<i>libVHNewtonDynamics</i> -Bibliothek . . . . .	69

## *Inhaltsverzeichnis*

---

5.3	Umsetzung der diskreten Zustände . . . . .	71
5.4	Umsetzung des Ereignissystems für Stellteile . . . . .	73
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>76</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>78</b>
	<b>Anhang</b>	<b>82</b>
A	CD Rom . . . . .	82
B	Legende für das XML Schema . . . . .	83
C	Auszug aus der DIN EN 894-3 . . . . .	84
D	XML Schema für xso-Dateien . . . . .	95
E	example.xso: Beispiel aus Abschnitt 4.3 . . . . .	101

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Nachahmung eines Griffes in einem Automobil . . . . .	11
1.2	Bedienerplattform mit verschiedenen Typen von Stellteilen . . . . .	12
1.3	Detailansicht verschiedener Griffformen von Schiebeschaltern . . . . .	12
2.1	Zusammenhang der einzelnen Stellteildefinitionen . . . . .	15
2.2	Freiheitsgrade eines Körpers im dreidimensionalen Raum . . . . .	16
2.3	Greiftypen der Schlesinger Taxonomie . . . . .	18
2.4	Greiftypen der Napier Taxonomie . . . . .	19
2.5	Klassifikation nach Cutkosky . . . . .	20
2.6	Auswahlverfahren für Stellteile . . . . .	22
2.7	Greiftypen nach DIN EN 894-3 . . . . .	23
2.8	Stellkräfte und Stellmomente für Translation und Rotation nach DIN EN 894-3 . . . . .	26
3.1	Zusammensetzung eines Stellteils mit einer Halterung . . . . .	30
3.2	Zusammensetzung mehrere Stellteile mit einer Halterung . . . . .	30
3.3	Komplexe Stellteilbewegungen mit Hilfe eines Zustandsautomaten . . . . .	32
3.4	Krafteinwirkung auf ein Objekt mit Hilfe eines 3D-Spaceballs . . . . .	34
3.5	Schematische Darstellung eines Facade-Pattern . . . . .	36
3.6	Simulationskomponenten des Virtual Workers Frameworks . . . . .	37
4.1	Grundelemente des annotierten Objekts . . . . .	39
4.2	Beispielaufbau eines annotierten Objekts mit einem <i>child</i> -Element . . . . .	43
4.3	Beschreibung der Parameter innerhalb des <i>joint</i> -Tags . . . . .	45
4.4	Beispiel: Diskrete Zustände eines 2D-Sliders mit dazugehörigen Rich- tungsvektoren . . . . .	47
4.5	Visualisierung des Beispiels example.xso . . . . .	50

5.1	Implementierte Stellteiltypen in C++ . . . . .	56
5.2	Paketdiagramm: Übersicht der verwendeten Pakete und Bibliotheken mit den dazugehörigen Klassen . . . . .	58
5.3	Sequenzdiagramm für das Erstellen eines annotierten Objektes (1) .	59
5.4	Sequenzdiagramm für das Erstellen eines annotierten Objektes (2) .	62
5.5	<i>libVHMath</i> . . . . .	63
5.6	<i>libVHBase</i> . . . . .	63
5.7	<i>libVHXML</i> . . . . .	65
5.8	<i>libVHTrajectory</i> . . . . .	66
5.9	<i>libVHCollDetect</i> . . . . .	66
5.10	<i>libVHGraspEvents</i> . . . . .	67
5.11	<i>libVHAnnotatedObjects</i> . . . . .	68
5.12	<i>libVHNewtonDynamics</i> . . . . .	69
5.13	Ablaufschema für das Erreichen eines diskreten Zustands . . . . .	72
6.1	Bildschirmfotos von Stellteilen im Virtual Workers Framework . . .	75
7.1	Kollisionsgeometrien am Beispiel eines Hammers . . . . .	76

# Tabellenverzeichnis

2.1	Bewegungsmerkmale nach DIN EN 894-3 . . . . .	22
2.2	Rotatorische und Translatorische Stellteiltypen mit entsprechenden Stellteilbeispielen nach DIN EN 894-3 . . . . .	24
2.3	Empfohlene Maße für handbetätigte Stellteile . . . . .	25
4.1	Reservierte Namensbezeichnungen für das <i>param</i> -Tag . . . . .	41
5.1	Bitschalter für Event Policies . . . . .	73
B.1	Legende für das XML Schema . . . . .	83
C.1	Auszug aus der DIN EN 894-3 . . . . .	84



# Abkürzungsverzeichnis

.scm	.....	Dateiendung für Scheme Dateien
.x3d	.....	Dateiendung für X3D Dateien im XML Format
.x3db	.....	Dateiendung für X3D Dateien im Binary Format
.xso	.....	Dateiendung für annotierte Objekt-Dateien im XML Format
3D	.....	dreidimensional
API	.....	Application Programming Interface
DCS	.....	Dynamic Coordinate System
DFG	.....	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	.....	Deutsches Institut für Normung
DOF	.....	Degrees of Freedom - Freiheitsgrade
EN	.....	Europäische Norm
ODE	.....	Open Dynamics Engine
STD	.....	Namespace der C++ Standardbibliothek
STL	.....	Standard Template Library
TU BA Freiberg	...	Technische Universität Bergakademie Freiberg
UML	.....	Unified Modeling Language
URI	.....	Uniform Resource Identifier
UUID	.....	Universally Unique Identifier
VH	.....	Virtual Human
VR	.....	Virtuelle Realität
VRML	.....	Virtual Reality Modeling Language
W3C	.....	World Wide Web Consortium
X3D	.....	Extensible 3D
XML	.....	Extensible Markup Language

# 1 Einleitung und Motivation

Innerhalb des DFG-Projektes "Virtual Workers" an der TU BA Freiberg werden Methoden entwickelt, die in der Virtuellen Realität das Prototyping in der Industrie unterstützen sollen. Hauptziel ist es, Bewegungen, Prozeduren und Aktionen eines virtuellen Menschen innerhalb einer veränderbaren Szene abzuspielen, nachdem der Benutzer es demonstriert hat. Dabei soll auf verschiedene Eigenschaften des virtuellen Menschen eingegangen werden. So kann eine beliebige Aktion mit Personen unterschiedlicher Proportionen abgespielt werden, ohne die Aktion neu zu erlernen. Diese Transformation und Änderung wird auch als *Action Capture* bezeichnet und mit Hilfe von *Imitation Learning* innerhalb dieses Projektes realisiert [JBHW06].

Bisher betrachtete Szenarien sind eine Werkbank sowie ein virtueller Prototyp eines Automobils, in denen ein virtueller Mensch gelernte Aktionen nachahmt. Mit Hilfe der inversen Kinematik ist es möglich, dass dieser virtuelle Mensch verschiedene, modellierte Festkörper, wie zum Beispiel eine Tasse, einen Hammer oder einen Schraubendreher im Werkbank-Szenario greifen und an einen anderen Ort ablegen kann (englisch pick and place).

Die folgende Abbildung 1.1 zeigt ein Szenario in einem Automobil, in welchem auf der linken Seite eine reale Person und auf der rechten Seite der virtuelle Mensch ein Lenkrad greift. Hierbei tritt allerdings das Problem auf, dass die vorhandenen Objekte keine physikalischen Eigenschaften besitzen und diese theoretisch frei bewegbar sind, da keine Einschränkung der Freiheitsgrade statt findet. Wäre ein Lenkrad beispielsweise als ein mit sechs Freiheitsgraden bewegbarer Festkörper (englisch rigid body) modelliert, würde dieses durch die virtuelle Hand nicht nur gedreht, sondern auch als Ganzes gegriffen und durch den Raum bewegt werden können. Genau an dieser Stelle soll diese Masterarbeit anknüpfen, beschreiben und umsetzen, wie die virtuellen Objekte, genannt Stellteile, bewegt werden dürfen. So sollen zum einen Objekte wie Bauteile und Werkzeuge, beispielsweise Schraubendreher,



Demonstration



Imitation

Abbildung 1.1: Nachahmung eines Griffes in einem Automobil

Hammer und Nägel im Raum frei bewegt werden. Dabei sind keine Restriktionen für die Bewegung erforderlich oder zu berücksichtigen. Zum anderen sind zusammenhängende Stellteile nicht beliebig bewegbar, sondern besitzen Restriktionen. So darf ein Lenkrad oder ein Drehknopf nur um eine Achse rotiert werden. Andere Objekte besitzen wiederum abweichende Freiheitsgrade. Zur Veranschaulichung soll ein Schieberegler dienen. Dieser soll nur entlang einer Achse die Möglichkeit zur translatorischen Bewegung haben. Kompliziertere Objekte besitzen mehrere Freiheitsgrade und werden aus Kombinationen von erlaubten Bewegungen zusammengesetzt.

### 1.1 Ziele und Aufgaben dieser Arbeit

Das Hauptziel dieser Masterarbeit ist die Entwicklung und Implementierung einer umfassenden Sammlung von Stellteilen für virtuelle Umgebungen. Anhand dieser Sammlung, im Weiteren als Stellteildatenbank bezeichnet, sollen mit Hilfe einer XML Notation, genaueres dazu im Abschnitt 4.1, verschiedene Objekte unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Stellteiltypen erstellt werden können. Diese Stellteiltypen sind im Kapitel 5.1 aufgelistet und werden dort anhand ihrer Freiheitsgrade näher erklärt. Damit allerdings Physik und Dynamik im bestehenden Projekt überhaupt angewendet werden können, wird eine physikbasierte Umgebung benötigt. Da eine schon integrierte ODE Engine [Smi] keine präzise Kollisionserkennung aufweist, fiel die Entscheidung auf die Dynamics Engine Newton [New]. Diese bietet nicht nur eine präzisere Erkennung der Kollisionen, sondern besitzt auch einen großen Funktionsumfang für Gelenke und Gelenklimitierungen. Mit Hilfe dieser Engine und den



Abbildung 1.2: Bedienerplattform mit verschiedenen Typen von Stellteilen

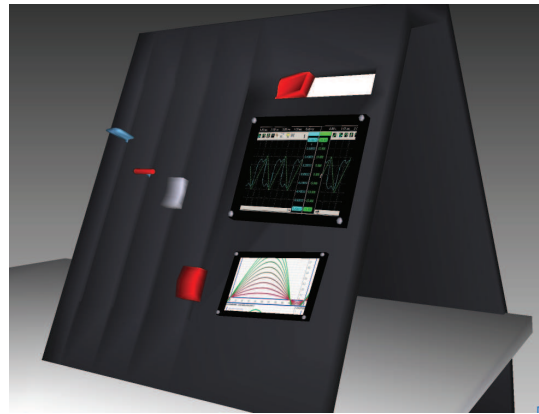


Abbildung 1.3: Detailansicht verschiedener Griffformen von Schiebeschaltern

Stellteiltypen aus Kapitel 5.1 soll eine realistische Simulation der wirklichen Welt bezüglich der Objekte geschaffen werden. Die Abbildungen 1.2 und 1.3 zeigen eine Bedienerplattform auf der alle in Kapitel 5.1 vorgestellten Typen von Stellteilen montiert sind. Das Ziel ist es alle darin gezeigten Stellteiltypen mit ihrer vollen Funktionalität in eine dynamische virtuelle Umgebung zu integrieren.

In der folgenden Liste sind Etappenziele für die Umsetzung der Aufgabenstellung kurz aufgeführt:

1. Abstraktion und Formulierung der einzelnen Stellteiltypen sowie Einteilung in Stellteilgruppen nach ihren Eigenschaften wie zum Beispiel Freiheitsgrade. Dabei sollen die vorgestellten Stellteile in DIN EN 894-3: Seite 19 ff, berücksichtigt werden.
2. Entwicklung einer eigenen XML Notation für Physikparameter, Gelenktypen (Joints) und Gelenkgrenzen (Constraints).
3. Umsetzung der Stellteiltypen innerhalb des vorhandenen Virtual Workers Frameworks mit Hilfe der Physics Engine Newton.
4. Implementierung eines Ereignissystems für Stellteilzustände..

Um diese Ziele umzusetzen werden zusätzlich noch folgende Vorleistungen benötigt:

- Einbindung der Dynamics Engine Newton als weitere Physics Engine in das bestehende Virtual Workers Projekt. Es soll die Möglichkeit bestehen, eine der beiden Physics Engines auszuwählen.
- Erweiterung beziehungsweise Neustrukturierung der bestehenden *libVHXML* für die Engine-unabhängige Verarbeitung. Diese Bibliothek ist für das Auslesen von XML Dateien zuständig.

## 1.2 Aufbau dieser Arbeit

Im Kapitel 2 werden wichtige Begriffe definiert, die mehrmals innerhalb dieser Arbeit auftreten. Nach diesen Definitionen erfolgt eine kurze Vorstellung einiger Griff-taxonomien, die im Rahmen dieser Masterarbeit näher betrachtet wurden. Anschließend wird die DIN EN 894-3 erklärt, im Folgenden als DIN Norm bezeichnet, welche ein Leitfaden für ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Stellteilen darstellt und somit für diese Arbeit höchst relevant ist. Zum Abschluss des Kapitels 2 werden ähnliche Projekte und Veröffentlichungen zu diesem Thema sowie 3D-Modellierungssprachen für virtuelle Objekte vorgestellt.

Im Kapitel 3 wird ein Konzept erläutert, welches die Simulation von virtuellen Stellteilen sowie deren Spezifikationen und Anforderungen beschreibt. Auch werden innerhalb dieses Kapitels die Simulationskomponenten des Virtual Workers Projekts veranschaulicht.

Das Kapitel 4 befasst sich mit der Beschreibung von Stellteilen innerhalb von XML Dateien und deren Validierung mit Hilfe eines in dieser Arbeit erstellten XML Schemas. Anschließend erfolgt die Erklärung eines umfassenden Beispiels, welches im Zusammenhang mit dieser Masterarbeit entstanden ist.

Kapitel 5 erklärt die implementierten Stellteiltypen auf Grundlage der DIN Norm mit Hilfe von UML Diagrammen. Anschließend wird die Umsetzung innerhalb des Virtual Workers Projekts anhand der geänderten und neu entstandenen Bibliotheken (englisch libraries) erklärt.

Im Kapitel 6 ist eine Zusammenfassung dieser Masterarbeit zu finden. Abschließend wird im letzten Kapitel, Kapitel 7, ein Ausblick auf zukünftige Arbeiten und Erweiterungsmöglichkeiten gegeben.