

Prüfungsunterlagen zum Modul

Interactive Visual Computing (IVC)

Vorlesungsteil

Real Time Interactive Media (RTIM)

Werner Hansmann

Wintersemester 2011/2012

Übersicht

1. Einführung
(Anwendungsgebiete, Aktivitäten, Literatur)
2. Computergestützte Animation
3. Virtuelle Darsteller
 - äußere Erscheinung (Haut)
 - Interaktion mit virtuellen Objekten
 - Gesichtsanimation
 - autonome virtuelle Darsteller
4. Hardware für die Interaktion mit virtuellen Welten

1. Einführung

- Virtuelle Realität (VR) = Wissenschaft von der Illusion
- Geschichtliches
- Grundlagen aus Computergrafik und Geometriemodellierung
- VR-Grundkonzepte: Immersion – Präsenz
- Realität-Virtualität-Kontinuum
- Anwendungen von VR-Systemen
- Konferenzen, Symposia, Workshops
- Literatur

Virtuelle Realität (VR) = Wissenschaft von der Illusion

RTIM: Voraussetzung für VR-Systeme ist die Möglichkeit der Mensch-Computer-Interaktion in Echtzeit (über möglichst viele Sinneskanäle).

VR soll

- die Illusion einer Umgebung wecken, die als glaubwürdig wahrgenommen werden kann,
- effiziente und bequeme Interaktions- und Navigationsmöglichkeiten bieten

aber: aktuelle Technologie gestattet die akzeptable Reproduktion realer Objekte oder Umgebungen für Ausbildung und Unterhaltung

Geschichtliches

- 1962 Norton Heilings „Sensorama“: Multisensorisches Fahrzeug mit vorgefertigten Aufzeichnungen – sehr immersiv aber kaum interaktiv
- 1965 Ivan Sutherlands Veröffentlichung „The ultimate display“ (Vision von einem Fenster in eine virtuelle Welt)
- 1968 Ivan Sutherlands erstes Head-Mounted Display (einfache Liniengrafik)
- 1978 „Aspen Movie Map“ von Lippmann und Fisher (MIT) – mit vier Kameras aufgenommene Fotografien aller Straßen der Stadt dienen als optische Grundlage für einen „Fahrsimulator“
- seit Mitte der 1980er Entwicklung von VR-Systemen (z.B. NASA pilot training system) mit typischer Hardware
- Anfang der 1990er erste CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)

Grundlagen aus Computergrafik und Geometriemodellierung

- Computergrafik
 - Koordinatensysteme, Transformationen, Projektionen
 - Physiologie des Sehens, Licht, Farbe, Raumwahrnehmung
 - Kameramodelle
 - lokale und globale Beleuchtungsmodelle – Fotorealismus
 - Texturen
 - etc.
- geometrisches Modellieren
 - Formbeschreibungsverfahren (CSG, B-Rep, etc.)
 - kontinuierlich gekrümmte und triangulierte Oberflächen
 - Formbeschreibung in Detailstufen (Level of Detail)
- Rendering Pipeline

Level of Detail: Formbeschreibung in Detailstufen

dient der Erhöhung der Geschwindigkeit in VR-Anwendungen:

- hohe Detailgenauigkeit im Nahbereich
- niedrige Detailstufe im Fernbereich

durch

- Anpassung der Komplexität (Anzahl der Polygone) der 3D-Objekte
- Auflösung der Texturen

in Abhängigkeit von der Entfernung und Position der Objekte zum Beobachter

Problem bei wenigen Detailstufen: plötzliches Erscheinen und Verschwinden von Details (Popping Effect);

Vermeidung: kontinuierliche LOD, Blending (Überblenden) und Morphing

Level of Detail: Formbeschreibung in Detailstufen

in dreidimensionalen Landschafts- und Stadtmodellen:

- LOD 0: Regionalmodell – 2,5D Geländemodell mit Luftbildtextur
- LOD 1: Klötzchenmodell – Gebäudeblock (Grundfläche hochgezogen)
- LOD 2: 3D-Modell der Außenhülle und Dachstrukturen, einfache Texturen
- LOD 3: Architekturmodell – 3D-Modell der Außenhülle mit Textur
- LOD 4: Innenraummodell – 3D-Modell des Gebäudes mit Etagen, Innenräumen, etc. und Texturen

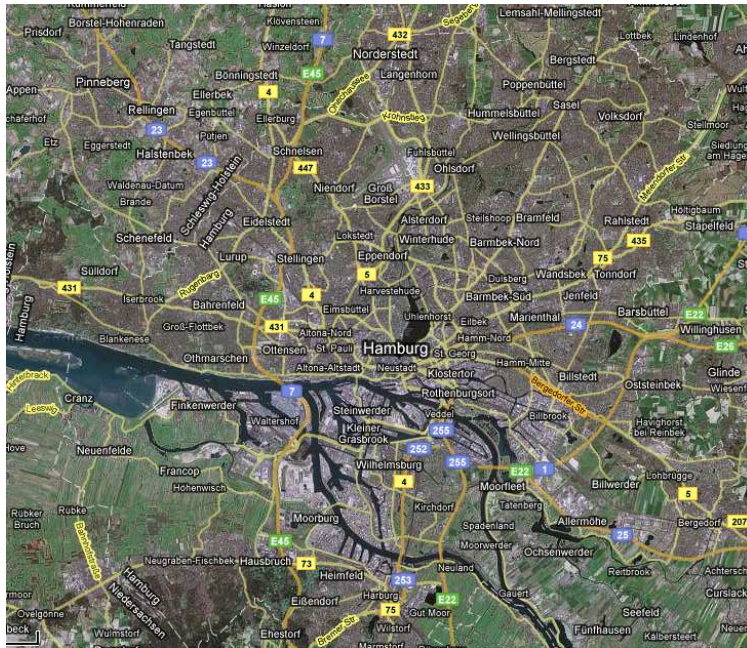
(Detailstufen für die CityGML-Spezifikation (City Geography Markup Language), die derzeit vielen deutschen Stadtmodellen zu Grunde liegen)

Level of Detail: Formbeschreibung in Detailstufen



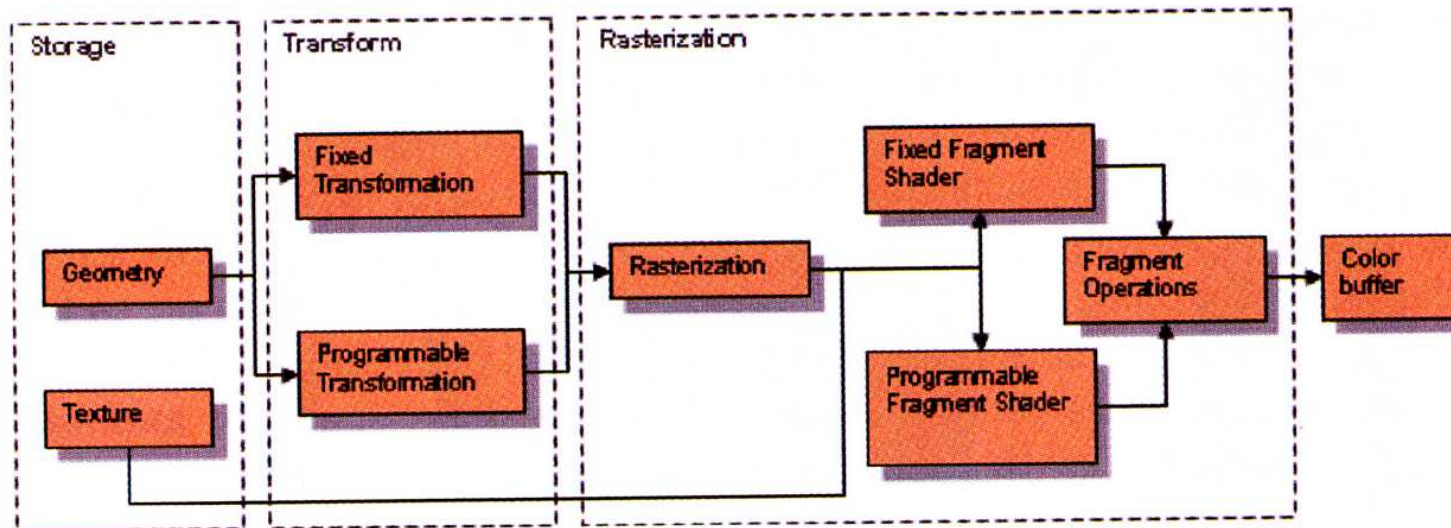
das Informatikum, dargestellt in unterschiedlichen Detailstufen
(aus Google Maps)

Level of Detail: Formbeschreibung in Detailstufen



das Informatikum, dargestellt in unterschiedlichen Detailstufen
(aus Google Maps)

Rendering Pipeline



Sie organisiert (z.B. in OpenGL) die schrittweise Verarbeitung vom geometrischen Modell (im einfachsten Fall repräsentiert durch Punkte, Kanten und Polygone) bis hin zur Farbdarstellung im Bildpuffer. Die Funktionalität (z.B. Gouraud-Shading) ist i.d.R. auf Grafikkarten „fest verdrahtet“.

VR-Grundkonzepte

- **Immersion**

- voll-immersive Systeme verwenden Head-Mounted-Displays
- halb-immersive Systeme verwenden Großbildprojektionen (z.B. CAVE: Cave Automatic Virtual Environment)
- nicht-immersive Systeme verwenden normale Bildschirme („Aquarium-VR“, z.B. für Videospiele)

- **Präsenz**

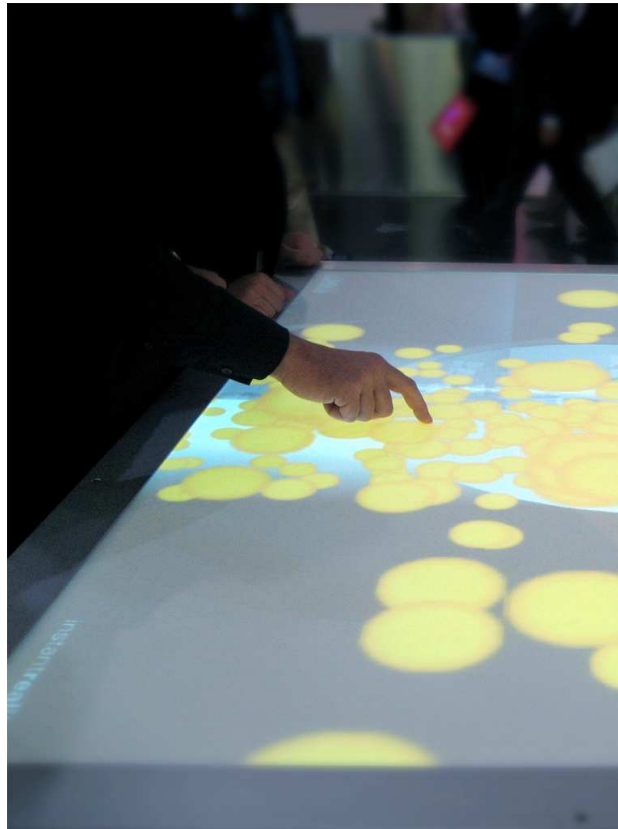
wird erzeugt durch multimodale Anregung (Bilder, Klänge, haptisches Feedback, etc.),
kann emotionales Engagement und entsprechende Reaktionen bewirken;
Benutzer sind sich bewusst, in einer virtuellen Umgebung zu sein,
Benutzer verhalten sich, als seien sie in einer realen Umgebung,

Voll-immersive VR



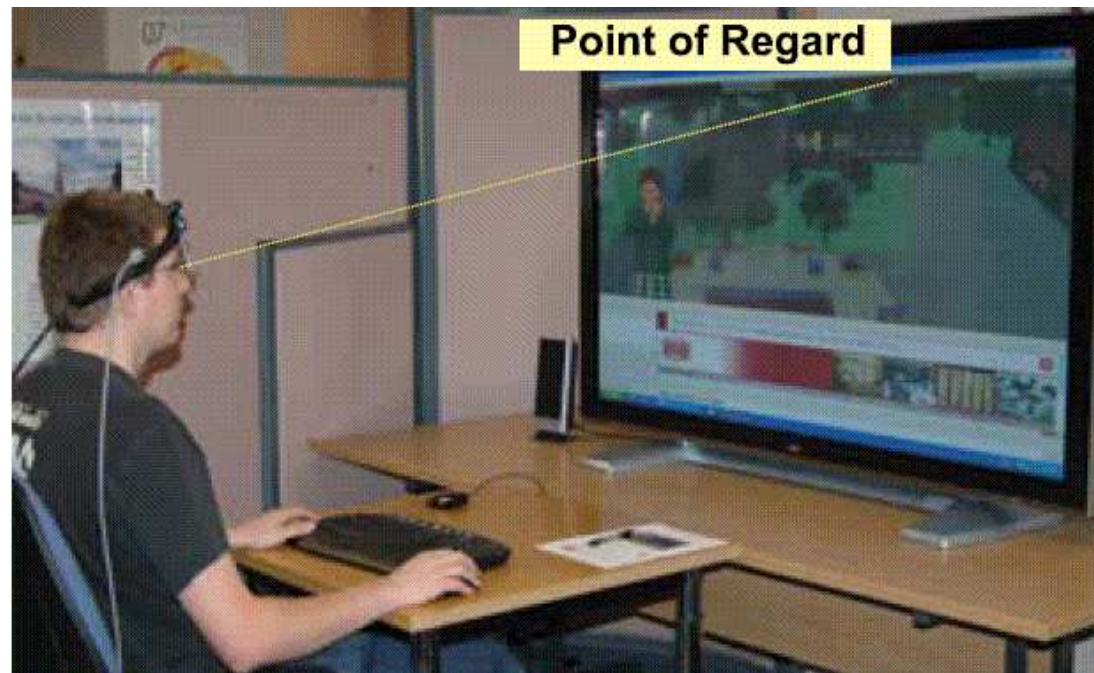
Stereo-Display (head mounted display)
und Datenhandschuh (data glove)

CAVE: halb-immersive VR



Touchtable: Auswahl von Elementen durch einfaches Berühren
(Quelle: Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung)

Nicht-immersive VR (Aquarium-VR)



Verfolgung der Kopfbewegung (head tracking) zur Identifikation der Blickrichtung

(aus: Rodriguez-Echavarri, et al: Developing Effective Interfaces for Cultural Heritage 3D Immersive Environments, in: VAST'08)

Realität-Virtualität-Kontinuum

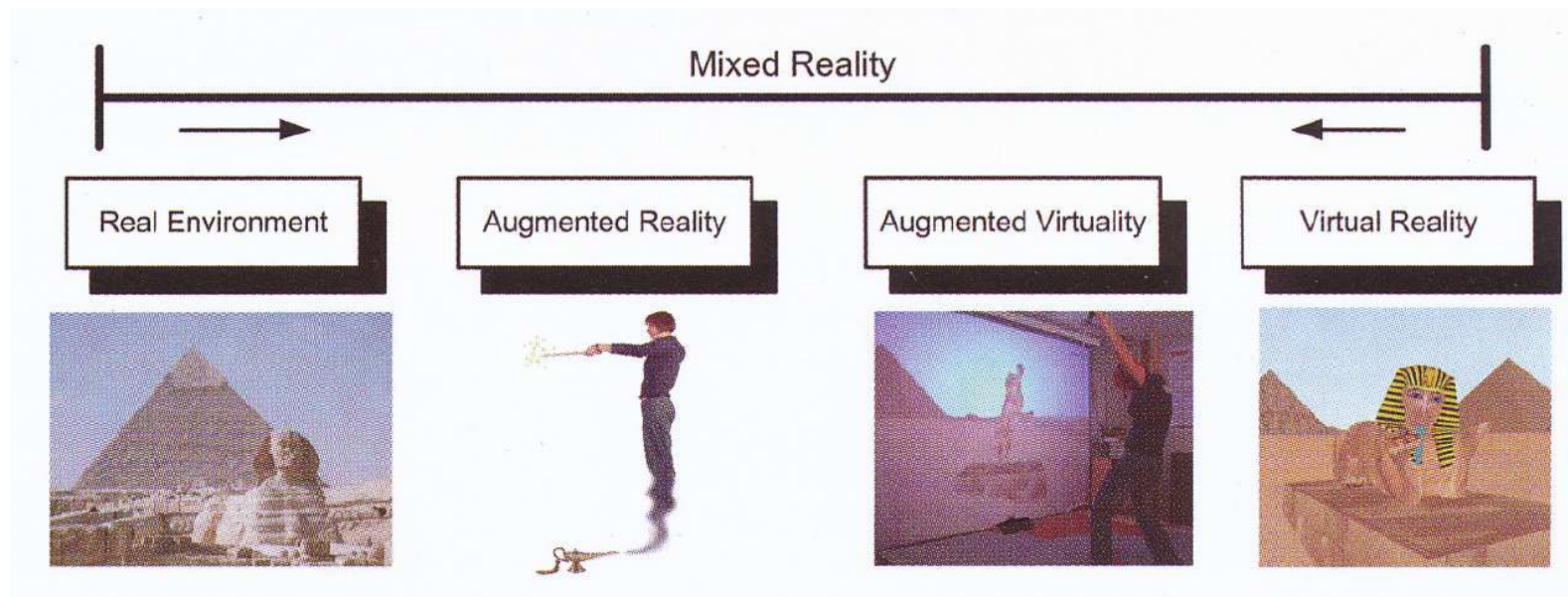
Kontinuum zwischen zwei Polen:

- **wirkliche Realität (real environment):** keine computererzeugten Stimuli
- **virtuelle Realität (virtual reality):** alles Wahrnehmbare ist künstlich – Benutzende von Wirklichkeit isoliert

dazwischen liegt als Übergangszone die „gemischte Realität“ (mixed reality), bestehend aus einer Kombination aus Realität und Virtualität:

- **erweiterte Realität (augmented reality):** virtuelle Objekte werden in reale Umgebung projiziert
- **erweiterte Virtualität (augmented virtuality):** reale Darsteller bewegen sich in virtuellen Umgebungen (z.B. Wetterkarte)

Realität-Virtualität-Kontinuum



Anwendungen von VR-Systemen

- Archäologie/Geschichte
- Fahrsimulation
- Fertigung
- Medizin
- Spiele/Unterhaltung
- Theater

Archäologie/Geschichte

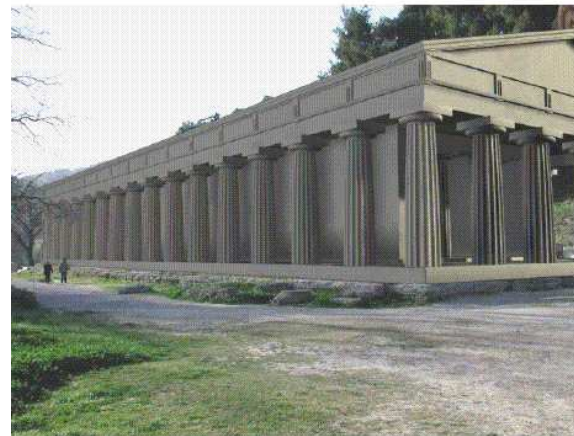
Beispiele für praktische VR-Anwendung

- VR-Repräsentation der Heiligtümer von Dun Huang an der Seidenstraße in Westchina
- Virtuelle Wiederbelebung der Terrakotta-Armee in Lintong, China
- Archeoguide (Führer durch archäologische Fundstätten)
- Lifeplus (lebensnahe Rekonstruktion historischer Szenen)
- Campeche und Calakmul (Rekonstruktion historischer Stätten in Mexiko)
- etc.

Archäologie/Geschichte



(a)



(b)

ArcheoGuide

a) wirkliche Realität

b) erweiterte Realität

.

Archäologie/Geschichte



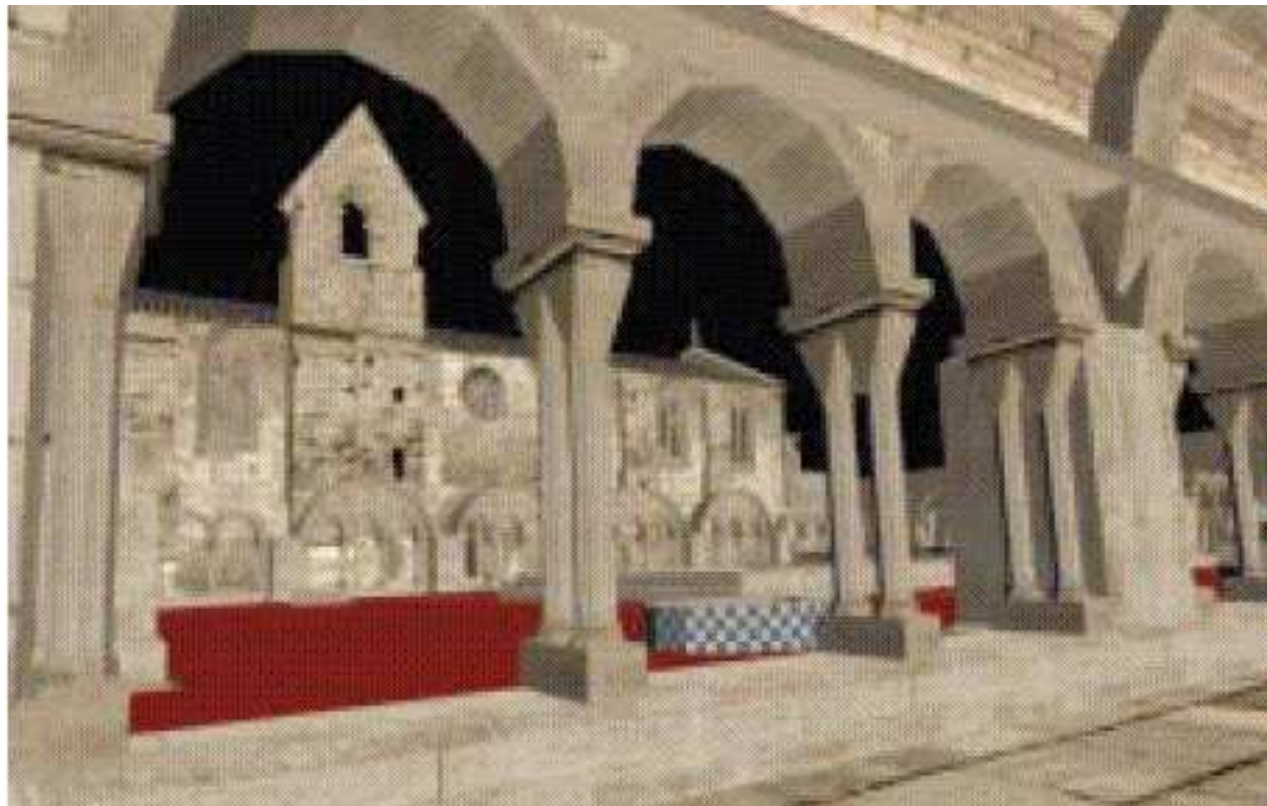
Erweiterte Realität (augmented reality, aus: ArcheoGuide)

Archäologie/Geschichte



Wiedergabe der Wandmalereien von Dun Huang (Westchina)

Archäologie/Geschichte



Virtuelle Rekonstruktion des Klosters Santa Clara (Coimbra, Portugal)

Archäologie/Geschichte



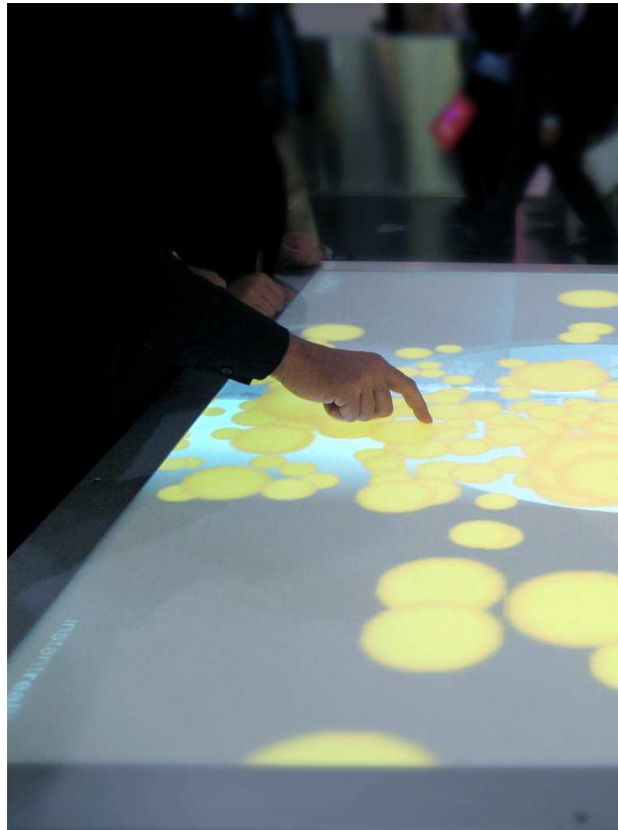
Rekonstruktion einer Lebensszene in Pompeji

Anwendungen: Simulatoren



Schiffsführungssimulator (vollständige Immersion)

Anwendungen: Virtuelle Fabrik

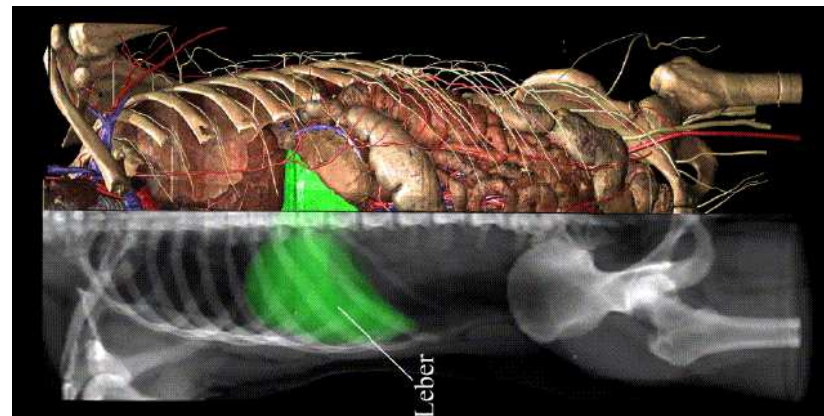
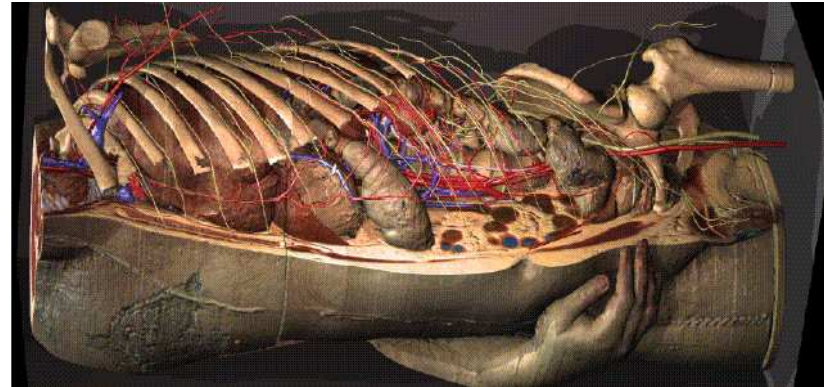


Touchable als Werkzeug zur Repräsentation und Manipulation von Prozessen –
Auswahl von Elementen durch einfaches Berühren (Fraunhofer IGD)

VR in der Medizin

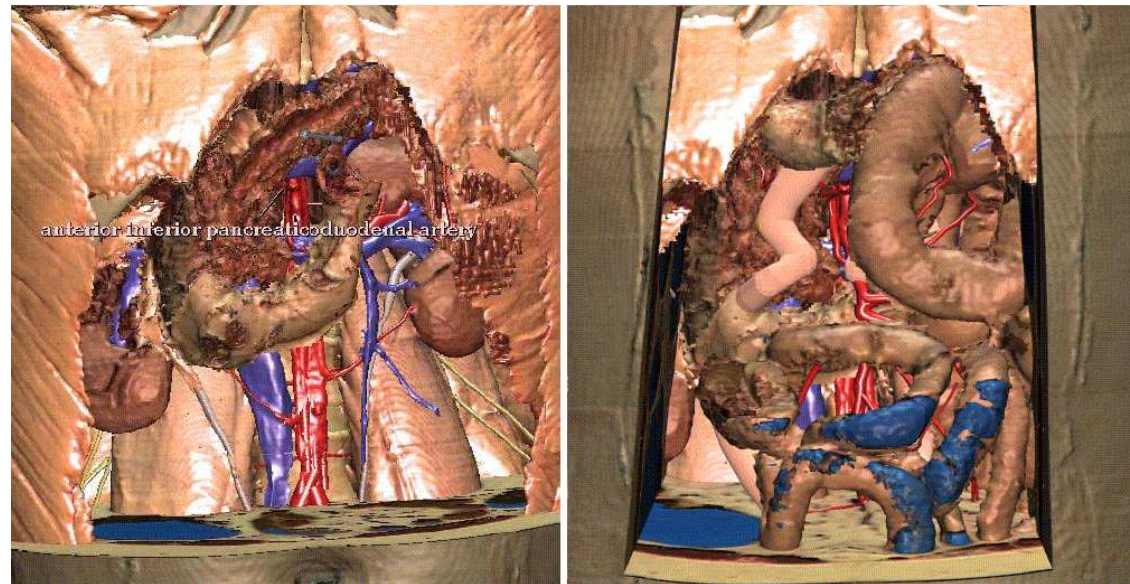
- virtuelle Anatomie
- virtuelle Chirurgie
- VR in der Rehabilitation
- VR in der Physiotherapie
- VR in der Psychotherapie

Virtuelle Anatomie (Visible Human Projekt im IMDM des UKE, Hamburg)



Interaktiver Anatomieatlas

Virtuelle Chirurgie



Virtuelle v-shape-Resektion des Pankreas

(aus: S. Gehrman, 3D-Atlas des kardiovaskularen Systems des Menschen auf der Basis des Visible Human, Dissertation 2003)

Virtuelle Chirurgie

- Simulation chirurgischer Eingriffe erfordert Realzeitsysteme mit visuellen und haptischen Interfaces
- Formveränderungen der Organe beim simulierten Eingriff müssen realistisch modelliert werden
- Üben von Eingriffen an virtuellen Patienten verbessert die Leistung im Operationssaal

Bereits weit entwickelt (im Bereich virtueller Anatomie): virtuelle Endoscopie und virtuelle Laparoskopie

Virtuelle Physiotherapie

benötigt Realzeitsysteme mit visuellen und komplexen haptischen Interfaces

- Identifikation von Bewegungsmustern (s.u. „motion capture“)
- motorische Rehabilitation von Schlaganfallpatienten
- Behandlung von Gleichgewichtsstörungen
- durch Web-Einsatz (Telerehabilitationssysteme) auch Fernbehandlung möglich

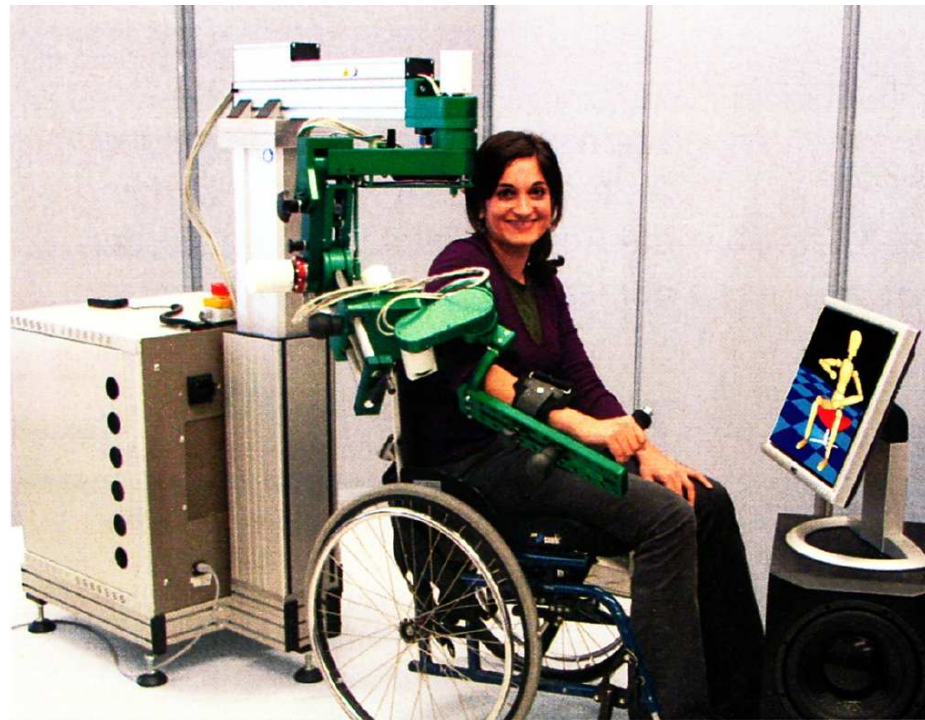
Anwendungen in der Rehabilitation



Interaktives System zur Wiedererlernung des Gehens

(aus: Apotheken Umschau 01/09)

Anwendungen in der Rehabilitation



Interaktives System zur Wiedererlernung des Greifens

(aus: Apotheken Umschau 01/09)

Virtuelle Psychotherapie

Behandlung von Phobien wie Höhenangst, Flugangst, Klaustrophobie, Angst vor Spinnen, Angst vor Publikum oder allgemein vor Menschen

- traditionelle Behandlungsweise: Patienten werden betreffenden angsterregenden Situationen mit zunehmender Intensität ausgesetzt, um die Angst zu mildern
 - in vivo: die entsprechende Situation wird real hergestellt
 - in vitro: Patienten stellen sich die Situation lebhaft vor
- Nachteil: aufwendig/teuer, ggf. peinlich, gefährlich

Virtuelle Psychotherapie

- VR-Simulation der angstausslösenden Situation (z.B. vor einem Auditorium zu sprechen, in großer Höhe zu stehen, etc.) hat i.d.R. diese Nachteile nicht
- mit VR-Simulation können Situationen geschaffen werden, die im realen Leben schwer herzustellen sind
- VR-Systeme werden bereits erfolgreich für die Behandlung von Phobien eingesetzt

Anwendungen: Simulatoren



Immersive Videospiele bzw. Fahrsimulatoren

Anwendungen: Simulatoren



Immersive Videospiele bzw. Fahrsimulatoren

Virtuelles Theater

- Aufführung auf einer virtuellen Bühne
- menschliche Darsteller steuern Avatare
- autonome virtuelle Darsteller könnten mitspielen
- Bühnenarbeiter steuern Beleuchtung und Kulissenumbau
- Regisseure bestimmen die Einsätze
- Darsteller reagieren auf Zuschauerreaktionen
- virtuelles Theater kann „verteilt“ gespielt werden; d.h. die einzelnen Akteure sowie die Zuschauer können sich an unterschiedlichen Orten aufhalten

Konferenzen (exemplarisch)

- International Conference on Animation, Effects, Games and Digital Media (2009 in Stuttgart, Deutschland)
- International Conference on Articulated Motion and Deformable Objects (2008 auf Mallorca, Spanien)
- International Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence (2011 in Athen, Griechenland)
- International Conference on Cyberworlds (2008 in Hangzhou, China)
- International Conference on Technologies for Interactive Digital Storytelling and Entertainment (2006 in Darmstadt, Deutschland)
- International Conference on Virtual Systems and Multimedia (2007 in Brisbane, Australien)

Symposia und Workshops (exemplarisch)

- SCA: Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Computer Animation (2011 in Vancouver, Kanada)
- Workshop on Human Motion – Understanding, Modeling, Capture and Animation (2007 in Rio de Janeiro, Brasilien)
- LAMDa: Workshop on Location Awareness for Mixed and Dual Reality (2011 in Palo Alto, USA)
- ISMAR: International Symposium on Mixed and Augmented Reality (2010 in Seoul, Korea)
- EGMM: Eurographics Multimedia Workshop (2004 in Nanjing, China)

Symposia und Workshops (Fortsetzung)

- EGVE: Eurographics Virtual Environments Symposium (2010 in Stuttgart, Deutschland)
- VAST: International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (2010 in Braga, Portugal)
- VRIPHYS: Workshop on Virtual Reality Interaction and Physical Simulation (2010 in Kopenhagen, Dänemark)
- VCBM: Workshop on Visual Computing for Biomedicine (2010 in Leipzig, Deutschland)

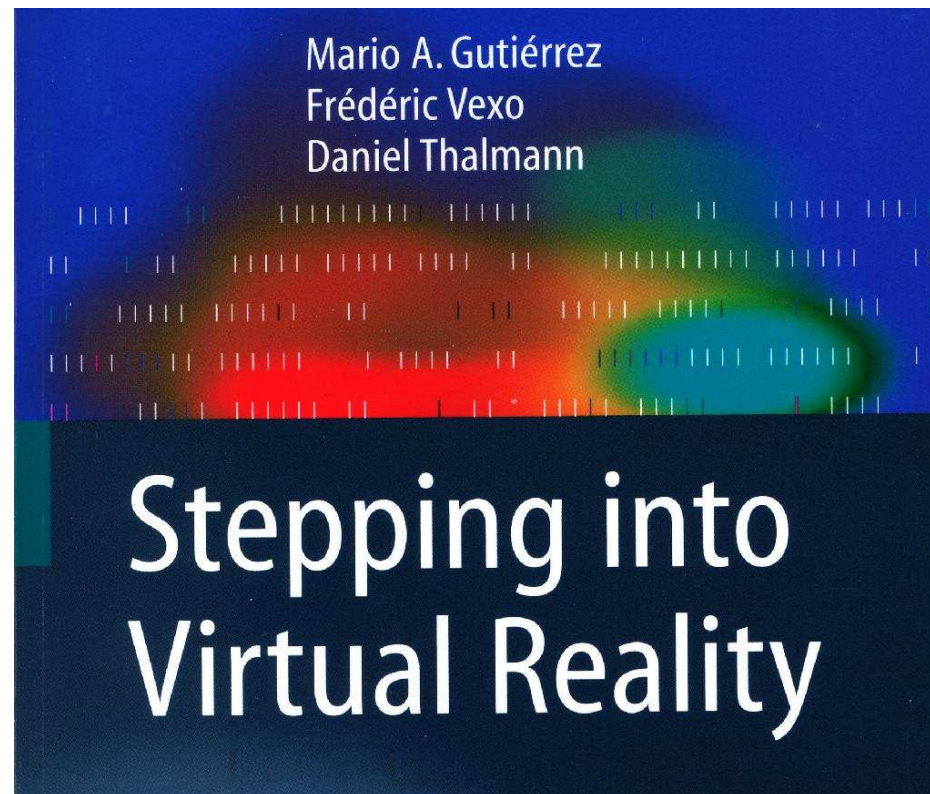
Literatur

- Norman I. Badler, Cary B. Phillips und Bonnie Lynn Webber: Simulating Humans, in: Computer Graphics. Animation and Control. Oxford University Press, New York, 1993
- Chi Chung Ko und Chang Dong Cheng: Interactive Web-Based Virtual Reality with Java 3D, Information Science Reference, Hershey/New York, 2009
- Roy Featherstone: Robot Dynamics Algorithms, Kluwer International Series in Engineering & Computer Science, 1986
- Mario A. Gutiérrez, Frédéric Vexo und Daniel Thalmann: Stepping into Virtual Reality, Springer 2008
- Ronald Huston: Multibody Dynamics, Butterworth-Heinemann, Stoneham, 1990

- Dietmar Jackèl: Methoden der Computeranimation, Springer, Berlin, 2006
- Jean-Claude Latombe, Robot motion planning, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1996
- Ian Millington: Artificial intelligence for games, Morgan Kaufmann/Elsevier, 2006
- Rick Parent: Computer animation – algorithms and techniques, Elsevier/Morgan Kaufmann, 2008
- Daniel Thalmann und Soraia Raupp Musse (Hrsg.): Crowd Simulation, Springer, Berlin, etc., 2007
- The Open Virtual Reality Journal (Open Access Zeitschrift, herausgegeben von Bentham Open)

Grundlage:

die Vorlesung dieses Teils des Moduls IVC basiert im Wesentlichen auf



erschienen 2008 beim Springer-Verlag (i.d. Informatik-Bibliothek vorh.)

2. Computergestützte Animation

- Einführung
- Animationsformen
- Bewegungserfassung (Motion Capture)
- Key-Frame-Animation (Schlüsselbild-Animation)
- Direkte und inverse Kinematik
- Bewegungsanpassung (Motion Retargeting)
- Prozedurale Animation

Einführung

- Virtuelle Welten sind dynamisch,
- Objekte werden bewegt, transformiert
- virtuelle Personen „leben“

Computergestützte Animation erzeugt die Illusion von Bewegung durch Darstellung einer Folge individueller Zustände einer dynamischen Szene
z.B. Gelenkwinkel = Zustandsvariable von Menschen u.ä.

Animationsformen

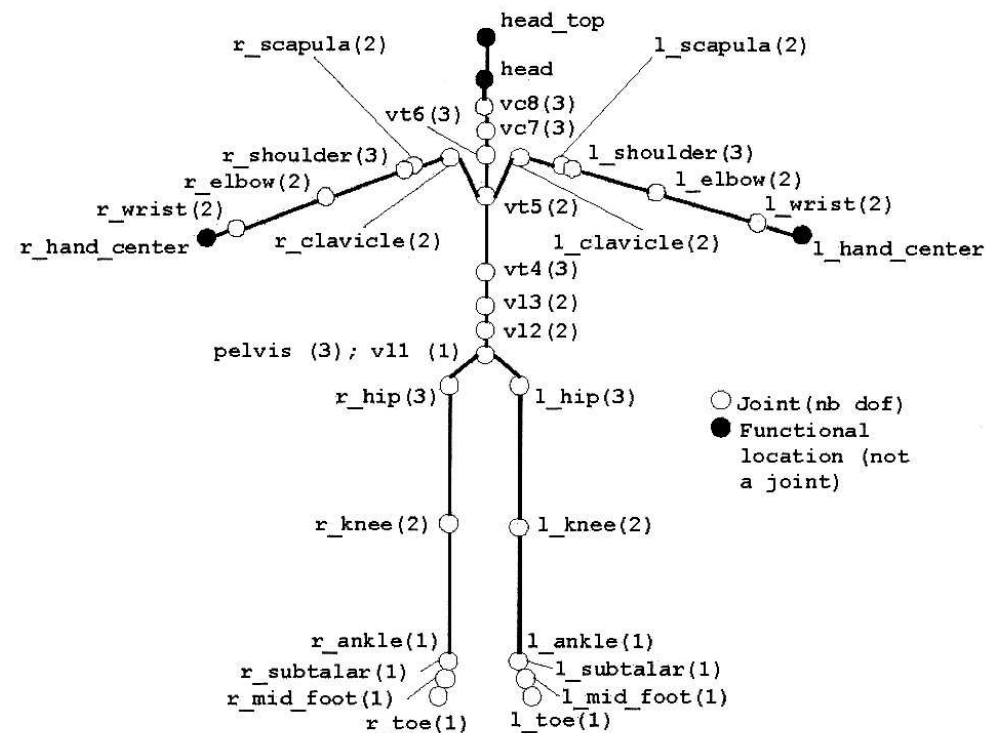
Man unterscheidet derzeit

- Real-Time-Animation
schnelle Animationsform für VR-Systeme (z.B. Video-Spiele, Fahr- und Flugsimulatoren) – viele Bildbereiche kommen mit relativ niedrigen Detailstufen aus, da sie nicht im (gewünschten) Zentrum der Aufmerksamkeit liegen
- bildweise Animation
mit oft hoher Detailgenauigkeit in allen Bildbereichen – darum sehr langsam (Anwendung: computergenerierte Filme)

Virtuelle Darsteller mit beweglichen Körpern

- Virtuelle Darsteller werden modelliert durch
 - die „Haut“, die die äußere Erscheinung wiedergibt und
 - das Skelett, auf dem die Modellierung von Bewegungsabläufen basiert.
- Das Skelett besteht aus einer hierarchisch geordneten Menge von Gliedmaßen und Gelenken („kinematische Kette“).

Virtuelle Darsteller mit beweglichen Körpern



Formales Skelett entsprechend der Humanoid Animation Specification (H-ANIM) für VRML und MPEG4 (Standard des Web3D Consortium)

Virtuelle Darsteller mit beweglichen Körpern

- Die Detaillierung orientiert sich an den Animationsanforderungen (für realitätsnahe Anwendungen in der Physiotherapie müssen alle Knochen und Gelenke – z.B. auch Wirbel – exakt modelliert werden, für Computerspiele reichen i.d.R. vereinfachte Skelette aus).
- Je detaillierter ein Skelett ist, desto größer ist der Berechnungsaufwand für die Animation.

Virtuelle Darsteller mit beweglichen Körpern

- Gelenke haben einen oder mehrere Bewegungs-Freiheitsgrade (degrees of freedom – DOF).
- Jedem Gelenk ist eine 4D Transformationsmatrix zugeordnet, in der seine Verdrehung(en) sowie die Länge und Orientierung des zugehörigen Gliedes abgelegt sind.
- Zusätzlich werden zu jedem Gelenk die Bewegungsgrenzen gespeichert, um unnatürliche Bewegungen zu vermeiden.
- Die endgültige Körperhaltung des Skeletts ergibt sich aus der Auswertung der einzelnen Gelenkmatrizen entsprechend der hierarchischen Struktur.
- Für die Animation werden die Transformationsmatrizen der Gelenke entsprechend dem gewünschten Bewegungsablauf manipuliert.

Bewegungssteuerung (Motion Control)

Man unterscheidet drei Ansätze:

- **geometrisch:** animierte Objekte werden lokal m.H. geometrischer Daten gesteuert; verwendete Methoden:
 - Bewegungserfassung (Motion Capture)
 - Form-Transformation
 - parametrische Key-Frame-Animation
- **physikalisch:** Simulation der physikalischen Gesetze, die Bewegungen in der realen Welt zugrunde liegen, durch funktionale Methoden (z.B. basierend auf biomechanischen Gesetzen)
- **verhaltensorientiert:** animierte Objekte werden als autonome „Wesen“ betrachtet, deren Verhalten von ihrer Beziehung zueinander bestimmt ist.

Bewegungserfassung (Motion Capture)

- derzeit wesentliche Grundlage der Bewegungssteuerung
- beruht auf Messung und Aufzeichnung der Bewegungen realer Lebewesen (Menschen, Tiere)
- die gemessenen Bewegungsdaten werden auf virtuelle Darsteller abgebildet:
 - direkt: Bewegung eines realen Menschen wird in Echtzeit auf einen virtuellen Darsteller übertragen
 - indirekt: Mausbewegung wird auf virtuellen Darsteller übertragen
- in der Praxis werden derzeit zwei unterschiedliche Methoden zur Bewegungserfassung eingesetzt:
 - optische Bewegungserfassungssysteme
 - magnetische Systeme zur Positions-, Orientierungs- bzw. Bewegungserfassung

Optische Bewegungserfassung

- **passive optische Systeme** nutzen i.d.R. mehrere (4-6) unterschiedlich positionierte Kameras; an ausgewählten Stellen (z.B. Gelenke) der zu vermessenden Person werden reflektierende Markierungen angebracht, die von den Kameras her beleuchtet werden; die 3D-Positionen der Markierungen können aus den synchronen Kamerabildern ermittelt werden
Nachteil: verdeckte oder zu dicht beieinander liegende Markierungen erschweren die Positionsbestimmung
- **aktive optische Systeme** verwenden anstelle reflektierender Markierungen LEDs, die einzeln angesteuert und über mehrere Kameras trianguliert werden können – aufwendiges Verfahren

Bewegungserfassung (Motion Capture)



Bewegungserfassung (motion capture) mit magnetischen Sensoren

Magnetische Systeme zur Positions-, Orientierungs- bzw. Bewegungserfassung

- ermitteln Position und Orientierung über die relative Stromstärke der magnetischen Felder von drei zueinander orthogonalen Spulen jeweils im Sender und Empfänger
- optische Verdeckungen sind irrelevant **aber**
- Stromquellen, Lampen, Computer und schlichte Metallteile können die Magnetfelder stören
- „Verkabelung“ der Person stört
- Erfassungsraum ist deutlich kleiner als bei optischen Systemen
- neuere Systeme haben diese Probleme weitgehend im Griff; drahtlose Systeme werden für die Positions- und Orientierungserfassung von Head-Mounted Displays und Data Gloves eingesetzt

Vorteile der Bewegungserfassung

- Systeme arbeiten in Echtzeit
- Arbeitsumfang hängt nicht von Länge bzw. Komplexität des Einsatzes ab
- komplexe Bewegungen und realistische physikalische Interaktionen können einfach physikalisch korrekt wiedergegeben werden
- durch Bewegungserfassung kann ein Darsteller mehrere Rollen in einem Film übernehmen

Nachteile der Bewegungserfassung

- zur Erfassung und Bearbeitung der Daten wird spezielle Hard- und Software benötigt, deren Kosten abschreckend sein können
- Systeme zur Bewegungserfassung benötigen meist besonders ausgestattete Räume
- aufgrund rasanter Entwicklung veraltet die einmal erworbene Technik schnell
- ohne Datennachbearbeitung sind die Ergebnisse auf das beschränkt, was im Erfassungsraum gemacht werden kann
- es können i.d.R. keine Bewegungen durchgeführt werden, die nicht physikalischen Gesetzen gehorchen
- virtuelle Darsteller müssen in ihren Proportionen im wesentlichen den Personen entsprechen, von denen die Bewegungsdaten erfasst wurden (z.B. Kollision übertrieben großer Hände von Cartoon-Figuren)

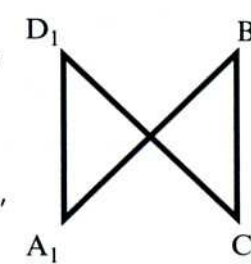
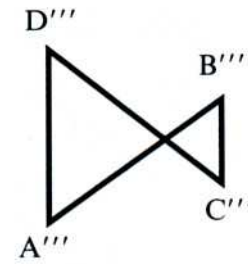
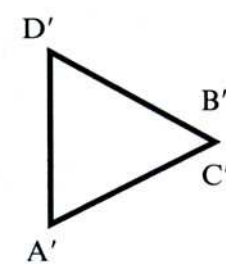
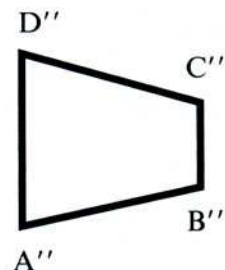
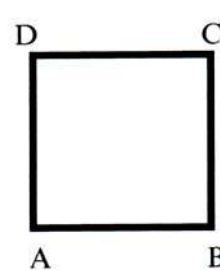
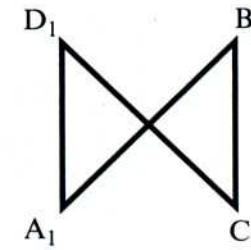
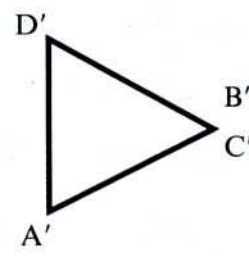
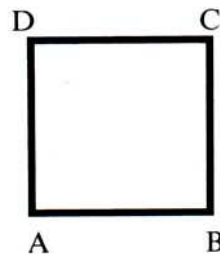
Key-Frame-Animation (Schlüsselbild-Animation)

Wegen des hohen Rechenzeitbedarfes werden i.d.R. nicht alle Bilder einer Sequenz komplett neu generiert.

Basierend auf charakteristischen „Schlüsselbildern“ werden dazwischenliegende Bilder (in-betweens) einer Sequenz automatisch generiert; verwendete Techniken sind

- direkte Interpolation einer geometrischen Form in eine andere m.H. mathematischer Methoden (z.B. mit interpolierenden Splines);
Nachteil: die Anzahl der Eckpunkte von Ausgangs- und Zielgeometrie muss übereinstimmen
- Interpolation formbeschreibender Parameter (z.B. physikalische Parameter), die das Verhalten der Figur bestimmen, anstelle der Form selbst – führt i.d.R. zu besseren Resultaten

Form-Interpolation (In-betweening)

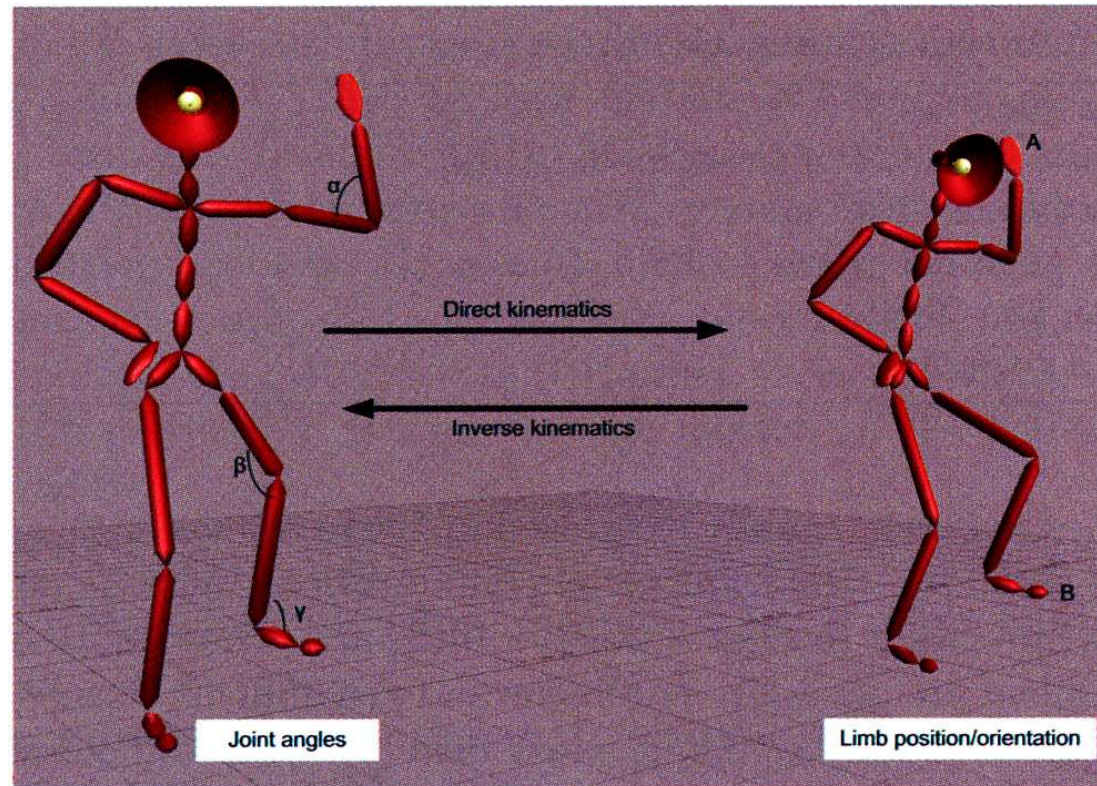


Interpolationen zwischen zwei Bildern
(oben bei 50 %, unten bei 25 %, 50 % und 75 %)

Direkte und inverse Kinematik

- **Direkte Kinematik** dient in der Robotik der Ermittlung der Position und Orientierung eines Endeffektors in Abhängigkeit von den eingestellten Gelenkwinkeln;
analog dient sie bei der Computeranimation z.B. menschenähnlicher Darsteller der Ermittlung der Position und Orientierung des Kopfes, einer Hand oder eines Fußes.
- **Inverse Kinematik** dient umgekehrt der Ermittlung der für das Erzielen einer gewünschten Position und Orientierung eines Endeffektors durchzuführenden (sinnvollen) Gelenkwinkelveränderungen.

Direkte und inverse Kinematik



Probleme der inversen Kinematik

- Mehrdeutigkeit: eine gewünschte Position und Orientierung eines Endeffektors kann auf unterschiedlichen Positionen und Orientierungen der einzelnen Elemente der „kinematischen Kette“ beruhen
- es können unzulässige Konstellationen auftreten (z.B. unmögliche Gelenkwinkel)

wichtige Aufgabe: eine sinnvolle Konstellation muss gefunden werden

Lösungsansätze für die inverse Kinematik

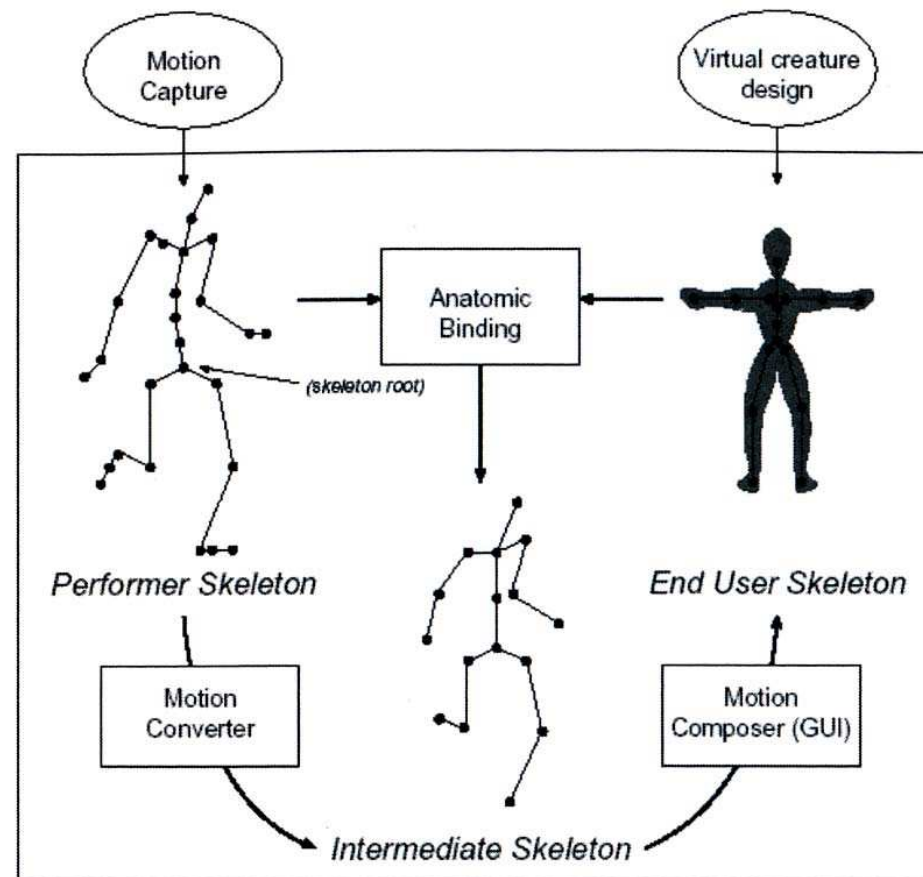
Als grundlegende Methoden werden eingesetzt:

- algebraische Methoden,
die durch sukzessive Invertierung der Transformationsmatrizen schrittweise die einzelnen Gelenkwinkelvektorkomponenten berechnen, oder
- geometrische Methoden,
die ausgehend von der Geometrie des Skeletts die Komponenten des Gelenkwinkelvektors ermitteln, oder
- numerische Methoden,
mit deren Hilfe iterativ die Komponenten des Gelenkwinkelvektors ermittelt werden (Problem hierbei: Identifikation eines geeigneten Startwertes für die Iteration)

Bewegungsanpassung (Motion Retargeting)

- **Aufgabe:** Übertragen der Bewegungsabläufe, die beim Motion Capture von einer realen Person erfasst wurden, auf einen virtuellen Darsteller
- **Problem:** wenn Körperproportionen nicht übereinstimmen, entstehen in der virtuellen Welt Kollisionen, oder der virtuelle Darsteller erreicht gewünschte Ziele nicht
- möglicher **Lösungsansatz:** vereinfachtes „Zwischenskelett“, auf das zunächst die erfassten Positionsdaten abgebildet werden – diesem werden dann die Gelenkmatrizen für den virtuellen Darsteller entnommen

Bewegungsanpassung (Motion Retargeting)



Verwendung eines „Zwischenskeletts“ für das Motion Retargeting

Fort-Bewegungen (Locomotion)

Charakterisierung des Gehens:

- Gehen ist eine periodische Bewegung, die normalisiert werden muss, um an unterschiedliche Anatomien angepasst werden zu können,
- beim Gehen bewegt sich der Körperschwerpunkt zwischen der rechten und der linken Körperseite hin und her,
- ein Fuß steht immer auf dem Boden,
- für einen kurzen Augenblick berühren beide Füße den Boden

Fort-Bewegungen (Locomotion)

Bewegungsbedingte Winkeländerungen der Gelenke können beschrieben werden durch

- Sinusfunktionen mit unterschiedlichen Amplituden und Frequenzen für globale Translationsbewegungen (vertikal, quer, frontal) sowie speziell für Bewegungen des Beckens (vor- bzw. rückwärts, links bzw. rechts und Drehung)
- periodische Spline-Funktionen zur Beschreibung von Hüft-, Knie-, Fußgelenk-, Schulter- und Ellbogenbeugung sowie der Drehung des Oberkörpers

Resultierende Gehbewegungen wirken unrealistisch!

Da die verwendeten kinematischen bzw. dynamischen Modelle recht komplex und die Berechnungen i.d.R. sehr aufwendig sind, wird hier meist Key-Frame-Animation eingesetzt.

Fort-Bewegungen (Locomotion)

Analyse von Bewegungsgrundkomponenten
(PCA: Principal Component Analysis)

- basiert auf Daten aus Bewegungserfassungen (motion capture)
- da die Daten von unterschiedlichen Personen und bei unterschiedlichen Geh- bzw. Laufgeschwindigkeiten erfasst werden, können individuelle Eigenheiten (z.B. Alter, Geschlecht, Größe, Laufen, Gehen) wiedergegeben werden
- die erfassten Daten werden in 2-Schritt-Zyklen segmentiert und normalisiert, die dann wiederholt zusammengesetzt werden können
- zusätzlich wird zu jedem Typ eine neutrale Position (aufrecht stehen) erfasst und normalisiert
- Bewegungsabläufe wirken natürlich

Fort-Bewegungen (Locomotion)



Bewegungsabläufe beim Gehen unterschiedlicher Darsteller

Prozedurale Animation

Die Bewegungsabläufe können durch Algorithmen oder Formeln bzw. durch Prozeduren beschrieben werden, die z.B. physikalische Gesetze wiedergeben (Physikbasierte Animation), wie

- die Bewegung eines Fahrzeuges entlang einer Bahnkurve,
- den Flug eines Geschosses entlang einer Wurfparabel,
- die Pendelbewegung eines Perpendikels (einer Schaukel)

oder regelbasiertes Verhalten (Verhaltensanimation), wie z.B.

- Vogelschwärme, Viehherden,
- Menschenmengen,
- autonome Darsteller

3. Virtuelle Darsteller

- Virtuelle Menschen in virtuellen Welten
- Modellierung der Haut
- Gesichtsanimation
- Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten
- Autonome Darsteller
- Simulation von Menschenmengen

Virtuelle Menschen in virtuellen Welten

- Identifikationsgrad steigt mit zunehmender Immersion
- je natürlicher sie ausgestattet sind, desto realistischer werden virtuelle Welten wahrgenommen
- eine natürliche Welt ist bevölkert von autonom agierenden und miteinander interagierenden Lebewesen
- virtuelle Welten müssen darum glaubwürdig erscheinende virtuelle Lebewesen, vor allem virtuelle Menschen, enthalten, die autonom agieren, kommunizieren, kooperieren, möglichst gar „Gefühle zeigen“, etc.

Modellierung der Haut

Es wurden unterschiedliche Ansätze entwickelt, eine verformbare Haut auf das Skelett aufzutragen:

- Skelett basierte Verformungen
- Daten gesteuerte Methoden
- physikalisch basierte Ansätze

Für Verformungen in Realzeit werden vornehmlich die beiden ersten Methoden eingesetzt.

Skelett basierte Verformung der Haut

- klassische, weit verbreitete Methode
- erste Ansätze wurden bereits 1987 vorgestellt
z.B. gelenkabhängige lokale Verformung:
jeder Hautoberflächenstützpunkt wird durch eine gewichtete Kombination der beeinflussenden Gelenke – ausgehend von einer „neutralen Position“ – verschoben
Problem: unerwünschte (unnatürliche) Verformungen bei starken Gelenkwinkeländerungen
- Verbesserung der Resultate z.B. durch Einführung einer „Muskelschicht“ zwischen flexibler Haut und starrem Knochen;
 - einfaches Modell: an den „Knochen“ orientierte Ellipsoide,
 - realistischer: biomechanisches Modell der Muskelverformung (aufwendig)

Daten gesteuerte Methoden der Hautmodellierung

- Grundlage: realistische Hautformen, die
 - durch Oberflächenvermessung (3D-Scanner) realer Menschen oder
 - aus Simulationen mit realistischen Modellen gewonnen oder
 - von erfahrenen Designern modelliert wurden
- Ziel: Echtzeit-Animation
- Verfahren:
 - Formen in Schlüsselpositionen werden vom Modell übernommen,
 - Formen in Zwischenpositionen werden durch geeignete Blending-Verfahren ermittelt

Neuere Verfahren basieren nicht auf einem vordefinierten Skelett; ausgehend von einer Menge verformter Oberflächennetze, die unterschiedliche Posituren repräsentieren, werden Knochen geschätzt und Zwischenpositionen ermittelt – funktioniert nur bei relativ starren Strukturen

Gesichtsanimation

- Ziel: hoher Grad an Realismus in Bezug auf
 - Bewegung
 - Mimik / Ausdruckskraftund Animationsgenerierung in Echtzeit mit geringstmöglichem Datenaufwand
- spezielles Anwendungsgebiet (neben „normalen“ virtuellen Darstellern): realitätsnahe virtuelle NachrichtensprecherInnen oder virtuelle Ansprechpartner in synthetischen Auskunftssystemen
- Mittel:
 - Verwendung sehr feiner Gittermodelle zur Formbeschreibung
 - Verwendung effektiver Verformungsverfahren
 - muskulaturbasierte Bewegungsmodelle
 - Definition von „Visemen“ (visuelles Gegenstück zu Phonemen)

Gesichtsanimation



Überzeugend realistische Ausdruckskraft / Mimik
(aus dem Film *Avatar* von James Cameron, 2009)

Gesichtsanimation

Das Facial Action Coding System (FACS)

- beruht auf Messung von Gesichtsbewegungen,
- wurde durch Analyse der anatomischen Grundlagen von Gesichtsbewegungen gewonnen,
- stellt High-Level-Parameter für die Gesichtsanimation zur Verfügung,
- definiert dazu 46 grundlegende „Action Units“ (AU).
- Jede AU beschreibt die Kontraktion eines Gesichtsmuskels oder einer Gruppe von Gesichtsmuskeln (nur willkürlich bewegliche).
- Die Sammlung von AUs repräsentiert einen Baukasten zur Erstellung von Gesichtsausdrücken.

Gesichtsanimation

Gesichtsanimationssysteme arbeiten i.d.R. in folgenden Schritten:

1. geeignete Parametrisierung der Animation des Gesichtsmodells
2. Definition von Grundbausteinen für die Animation in Abhängigkeit von den gewählten Parametern (z.B. unbewegtes Gesicht, Viseme) als Key-Frames
3. Definition unterschiedlicher Interpolations- bzw. Blendingfunktionen um die Viseme zu „Wörtern und Sätzen“ zu verknüpfen (die Qualität dieser Funktionen trägt wesentlich zur realistischen Wirkung bei)
4. Generierung eines Gitternetzes der Oberfläche für jedes berechnete Einzelbild

Gesichtsanimation



Gesichtsausdruck eines Singenden

Gesichtsanimation

Ein weiterer Ansatz zur Gesichtsanimation ist die Merkmalspunkt (feature point) basierte Netzverformung.

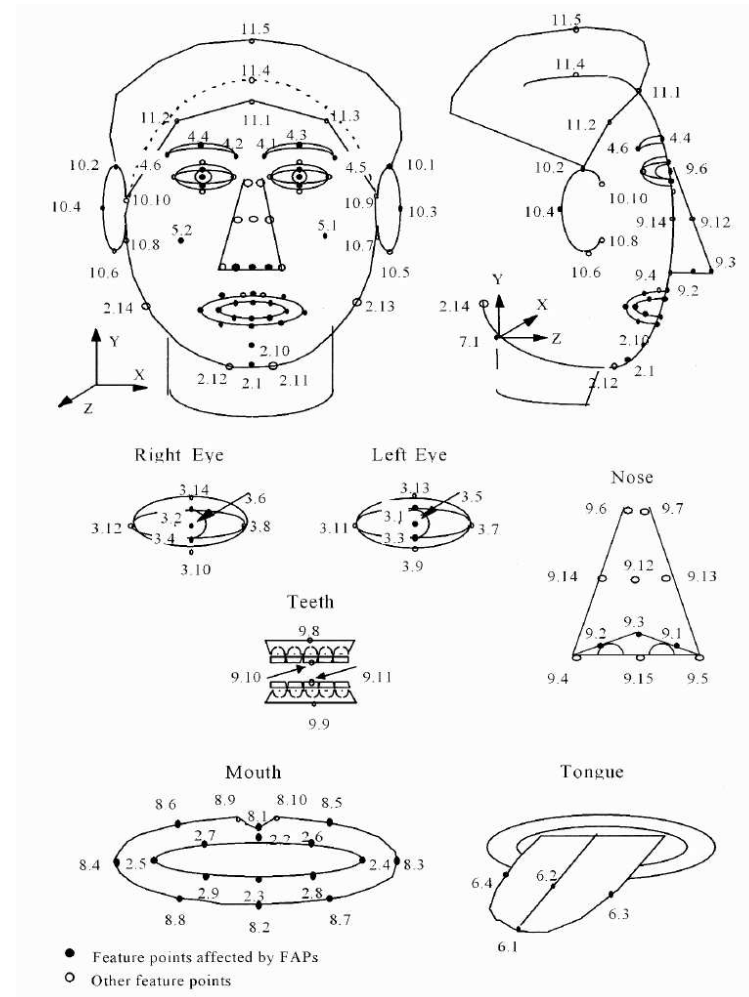
- die Gesichtsform wird durch
 - eine Menge von Gesichtsdefinitionsparametern (FDP: Facial Definition Parameters) und
 - eine Menge von Gesichtsanimationsparametern (FAP: Facial Animation Parameters) festgelegt
- die Animation reproduziert damit Gesichtsausdruck, Emotion und Aussprache
- die FDPs werden durch die Position von Merkmalspunkten definiert (Mundwinkel, Augenwinkel, Nasenspitze, etc.)
- m.H. der FDPs kann ein Gesichtsmodell auf ein bestimmtes Gesicht abgebildet werden

Gesichtsanimation



Merkmalspunkte als Basis für die Gesichtsanimation
(aus dem Film *Avatar* von James Cameron, 2009)

Gesichtsanimation



Merkmalspunkte zur
Steuerung des
Gesichtsausdrucks

Gesichtsanimation

- die FAPs (vergleichbar den AUs, s.o.) bestimmen die animationsabhängige Verschiebung von Merkmalspunkten und damit die Verformung des Gesichts
- die MPEG-4 Facial Animation Engine kann m.H. von 66 Low-Level-FAPs in Echtzeit eine Vielzahl von Gesichtsausdrücken (inkl. Sprachartikulation) darstellen
- aktuelle Systeme extrahieren aus natürlich gesprochener und synthetischer Sprache Phoneme und generieren daraus Sprechanimationen mit Lippensynchronisation („Talking Head Systeme“)
- neueren Entwicklungen gelingt eine natürlich wirkende Integration von „Emotionen“ in den Gesichtsausdruck von „Talking Heads“

Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten

Problem: wie können virtuelle Darsteller (überzeugend) virtuelle Objekte manipulieren?

Aufgabe gliedert sich in zwei unterschiedliche Teile:

1. formale (abstrakte) Spezifikation des Objektverhaltens
2. sinnvolle und glaubwürdige (primär grafische) Darstellung des Manipulationsvorgangs in einer Animation

Dies sei am Vorgang des Greifens erläutert: hierbei müssen die Bewegungen der Hand, einer komplizierten beweglichen Struktur bestehend aus 27 Knochen, sowie die damit verbundene Arm- und Körperbewegung genau modelliert werden.

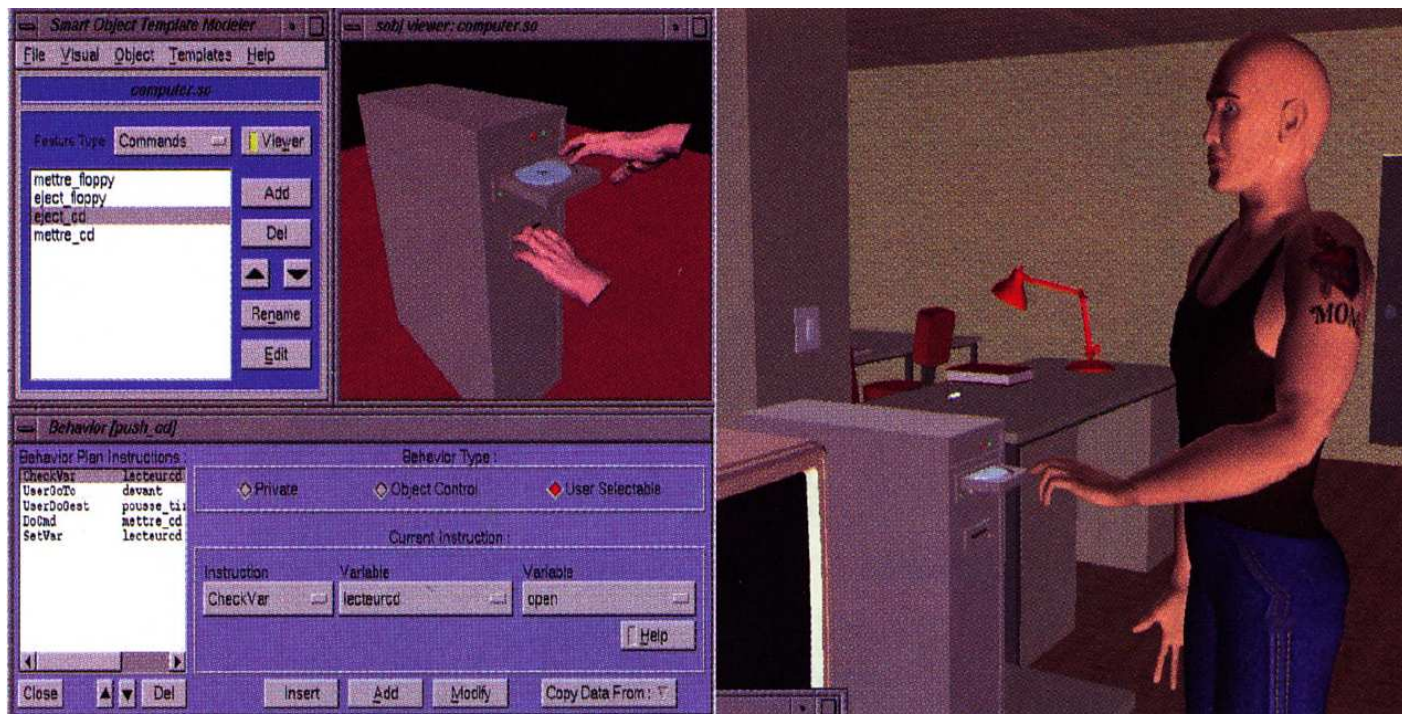
Darüber hinaus müssen mögliche Kollisionen mit Objekten identifiziert werden.

Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten

Semantische Objektbeschreibung („Smart Objects“):

- Objekte müssen nach der Art ihrer Manipulation klassifiziert werden
- handhabungsbezogene Objekteigenschaften sind zu modellieren;
d.h. neben der Formbeschreibung enthält die Objektbeschreibung semantische Information darüber
 - wo und wie das Objekt für eine sinnvolle Manipulation angefasst wird,
 - wie sich das Objekt bei der Manipulation verhält (z.B. wie sich eine Tür öffnet oder wie sich ein weicher Gegenstand bei Berührung verformt)
 - ggf. welche Teile des Objekts im Zuge der Handhabung angesehen werden müssen, etc.

Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten



(a) Definition of smart object

(b) Visualization

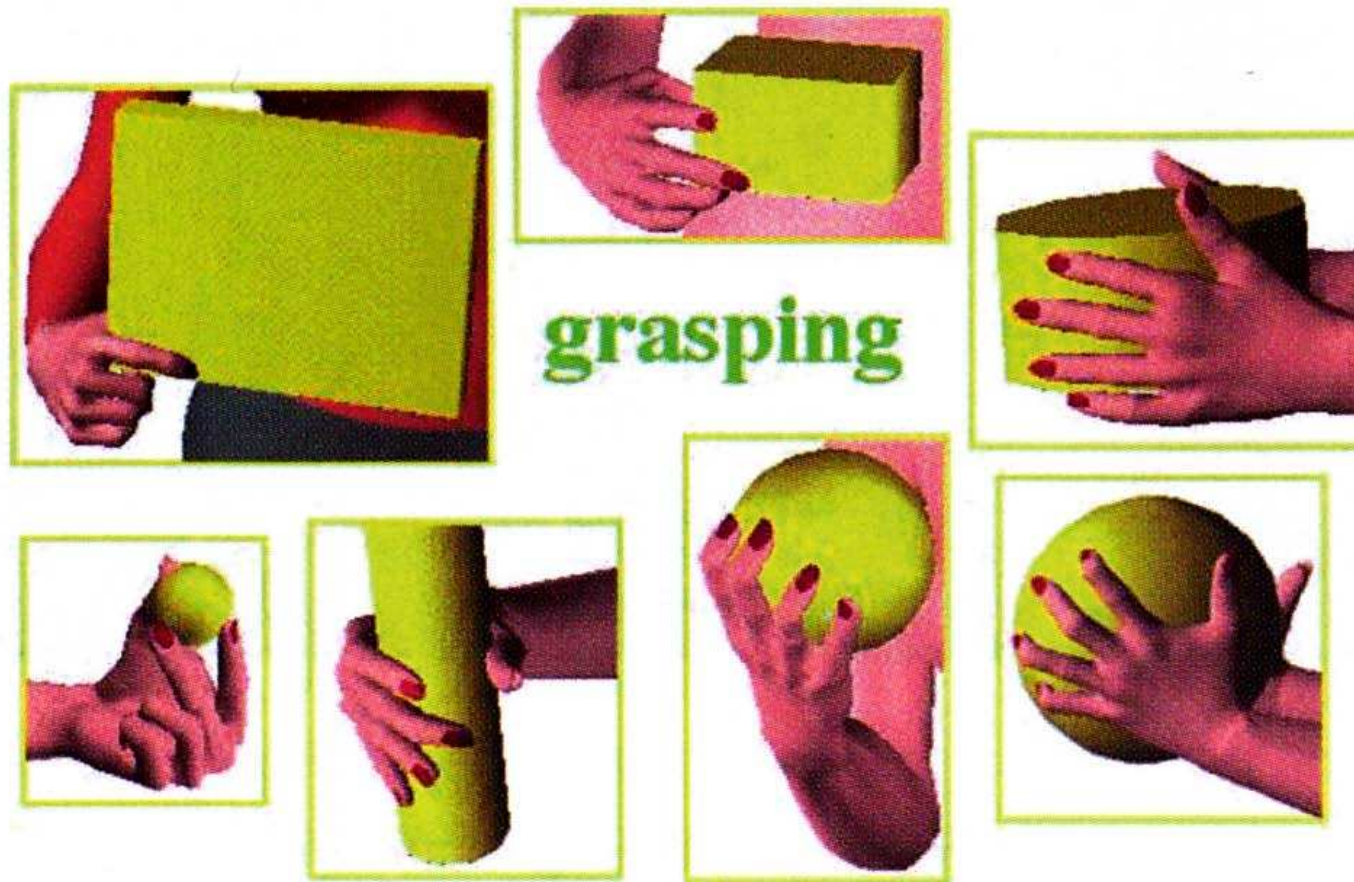
Definition und Verwendung von „Smart Objects“

Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten

Modellierung des Greifens beruht auf

- Systematik des Greifens: welcher Gegenstand kann wie gegiffen werden (benötigt man evtl. ein Werkzeug, z.B. eine Pinzette)
- Inverse Kinematik, um die endgültige Handposition zu erreichen (bei einer sinnvollen Körperhaltung!)
- „Handsensoren“, die „fühlen“, wenn die virtuelle Hand das Objekt berührt (damit sie nicht hineingreift oder es bewegt, ohne es zu berühren) – realisiert z.B. durch kugelförmige Kollisionsdetektoren an der Berührungspunkten der Hand

Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten



Systematik des Greifens

Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten

Greifen ist i.d.R. Bestandteil von komplexen Bewegungsabläufen

- Darsteller muss zum Objekt gehen, das er ergreifen soll
- Darsteller muss das Objekt ansehen
- Darsteller muss das Objekt ergreifen
- Darsteller muss das Objekt ggf. fortbewegen
- Darsteller darf in dem Prozess nicht mit Objekten in der Szene zusammenstoßen (Kollisionsdetektion erforderlich)

Lösungsansatz: Bewegungsplanung m.H. probabilistischer Landkarten
(probabilistic roadmaps)

Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten

Probabilistische Landkarten (probabilistic roadmaps)

- bilden den Zusammenhang (die Konnektivität) des Suchraumes in einem Graphen ab
- Knoten im Graphen repräsentieren beliebige Darsteller-Positionen
- Kanten zwischen Knoten bedeuten, dass sich der Darsteller von der einen Position in die andere bewegen kann
- Roadmap-Techniken werden oftmals zusammen mit Motion-Capture-Daten eingesetzt
- die generierten Bewegungsabläufe sind kollisionsfrei, ausgewogen und sie halten Bewegungsgrenzen ein
- Bewegungsplanung wird sehr komplex, wenn Szene neben statischen auch bewegte Objekte (z.B. andere virtuelle Darsteller) enthält

Interaktion zwischen virtuellen Menschen und Objekten



Beispiele für komplexe Greifaktionen

Autonome virtuelle Darsteller

- wozu autonome virtuelle Darsteller?
- Eigenschaften autonomer virtueller Darsteller
- Verhalten von autonomen virtuellen Darstellern
- Simulation von Menschenmengen

wozu autonome virtuelle Darsteller

- Außer in Filmen und Spielen werden virtuelle Darsteller in Simulationen eingesetzt, in denen sie autonom (d.h. selbstbestimmt, nicht nach vorgegebenem Skript) menschliche Rollen spielen, z.B. in der Ausbildung/Schulung oder der Psychotherapie.
- In solchen Situationen müssen autonome virtuelle Darsteller (AVC: Autonomous Virtual Character) Veränderungen in der virtuellen Umgebung wahrnehmen, eine entsprechende Aktionsentscheidung treffen und angemessen reagieren.
- Hauptproblem: die jeweilige Aktionsentscheidung sollte zum einen den AVC seinem aktuellen Ziel näher bringen, sie muss aber auch langfristige Zielvorgaben berücksichtigen.
- AVCs verändern ggf. auch selbst die Umgebung (s. Interaktion)

Eigenschaften autonomer virtueller Darsteller

- **Wahrnehmungsvermögen**

- ermöglicht AVCs, Veränderungen in der Umgebung zu registrieren
- muss möglichst realistisch modelliert werden, um glaubwürdig zu erscheinen
- sollte daher die Funktionalität menschlicher Sinnesorgane simulieren (z.B. auch den Informationsfluss aus der Umgebung filtern)
- muss dem biologischen Vorbild aber nicht exakt entsprechen, z.B.
 - Sehen: Z-Puffer-Farbbild im Umfang des Gesichtsfeldes des AVC
 - Hören: Funktion, die aktuelle Klangereignisse zurückliefert
 - Tasten/Riechen: Funktion, die das globale Kraftfeld in der Nähe des entsprechenden „Sensors“ auswertet

Eigenschaften autonomer virtueller Darsteller

- **Auffassungs- und Anpassungsvermögen**

- Auffassungs- und Anpassungsvermögen bestimmen, wie ein AVC darüber „nachdenken“ kann, was er wahrnimmt (insbesondere bei unvorhersehbaren Ereignissen)
- um in seiner Umgebung überstehen und seine Ziele erreichen zu können, sollte ein AVC immer die bestmögliche Aktion durchführen
- auf Veränderungen der Umgebung sollte ein AVC dynamisch reagieren können, damit seine Annahmen und Ziele sich mit der Zeit entwickeln können
- für die Simulation von großen AVC-Gruppen können bottom-up Artificial-Life-Techniken verwendet werden (im Gegensatz zu top-down Plan basierten Ansätzen der KI) –
damit können sich neue, ungeplante Verhaltensweisen entwickeln

Eigenschaften autonomer virtueller Darsteller

- **Erinnerungsvermögen**

- beim Auftreten ähnlicher Situationen sollte sich ein AVC ähnlich verhalten wie vorher
- um glaubwürdig zu sein, sollte auch das Gedächtnis eines AVC nicht „perfekt“ sein („nobody is perfect“)

- **Emotionalität**

- Emotion ist eine gefühlsmäßige Reaktion auf eine Wahrnehmung
- der Ausdruck von Emotion durch Gesichtsausdruck und/oder Gestik macht einen AVC glaubwürdiger
- emotionales Verhalten von AVCs beeinflusst auch den emotionalen Zustand der Nutzer von VR-Systemen
- wichtige Aufgabe: Entwicklung eines guten Computermodells emotionalen Verhaltens

Verhalten von autonomen virtuellen Darstellern

- **Reflexe**

- Reflexe sind spontanes Verhalten als Reaktion auf externe Stimuli (z.B. als Schutzmechanismen)
- Reflexbewegungen beruhen auf unterschiedlichen Faktoren wie Geschlecht, Alter, körperliche und psychische Verfassung, etc.
- Reflex-Algorithmen verarbeiten neben Parametern, die diese Faktoren repräsentieren, die Eigenschaften der Stimuli und setzen sie in angemessene, der Umgebung angepasste Bewegungsabläufe um

Verhalten von autonomen virtuellen Darstellern

- **Motivation**

- Motivation ist ein Auslöser für Aktivitäten bzw. Interaktionen mit der Umgebung
- Motivation basiert auf natürlichen Bedürfnissen (Kommunikationsbedürfnis, Hunger, Durst, etc.)
- sinnvolle Handlungsabläufe müssen modelliert werden, die zur Befriedigung des jeweiligen Bedürfnisses führen
- auszuführende Handlungen ergeben sich aus der jeweiligen Motivation und aus Informationen, die in der Umgebung wahrgenommen werden

Verhalten von autonomen virtuellen Darstellern

- **soziales Verhalten**

- soziales Verhalten ist geprägt durch die Beziehungen, die die Akteure zueinander haben
- es äußert sich in verbaler und nicht-verbaler Kommunikation
- Grundlagen von Gruppenverhalten sind:
 - Macht/Einfluss (Dominanz und Unterwürfigkeit),
 - Attraktion (Freundlichkeit und Unfreundlichkeit),
 - Rangstellung,
 - emotionales Ausdrucksvermögen
- Bildung, Geschlecht, Alter kennzeichnen die Rolle innerhalb der Gruppe

Simulation von Menschenmengen

- im Gegensatz zur Simulation von Einzelpersonen erfordert die Simulation von Menschenmengen in Echtzeit auf jeder Ebene eine effiziente Vielfalt:
- Menschen in einer Menge sehen anders aus, bewegen sich anders, reagieren anders, klingen anders, etc. als Einzelpersonen
- auch in Menschenmengen müssen Einzelpersonen individuelle Eigenschaften (Aussehen, Verhalten, etc.) aufweisen
- jede Person verfolgt ein individuelles Ziel, versucht es auf kürzestem Wege zu erreichen, muss Hindernissen ausweichen
- Verhalten hängt von der Dichte der Menschenmenge ab
- es muss u.a. zwischen planmäßigem und chaotischem Verhalten (Panik) unterschieden werden

Simulation von Menschenmengen

- Bewegungsabläufe können in zwei Teilen geplant werden:
 - **Wegplanung:** welches ist der beste Weg zum Ziel?
Entscheidungskriterien: Vermeidung verstopfter Bereiche, Verringerung des Abstandes zum Ziel sowie der Zeit es zu erreichen, Anzahl möglicher Wege muss hinreichend groß sein, damit sich viele Individuen gleichzeitig bewegen können
 - **Hindernisvermeidung:** Gegenständen oder anderen Akteuren ausweichen
bei kleinen Mengen werden Agenten basierte Methoden für realistische Fußgängerplanung eingesetzt (aufwendig bei großen Mengen), Potentialfeld-Ansätze dienen dazu Kollisionen auf lange wie auf kurze Sicht zu vermeiden (weniger realistisch)
 - bei der grafischen Darstellung werden LOD-Techniken eingesetzt

Simulation von Menschenmengen



Simulation von Menschenmengen (crowd simulation)

4. Hardware für die Interaktion mit virtuellen Welten

Wahrnehmung von und Interaktion mit virtuellen Welten

- Sehen (visuelle Wahrnehmung)
- Hören (akustische Wahrnehmung)
- Fühlen (haptische Wahrnehmung)
- Geruch (olfaktorische Wahrnehmung)
und Geschmack

speziell für Eingaben

- Bewegungserfassung
- Brain Computer Interface

Visuelle Wahrnehmung in virtuellen Welten

Übliche Displaytechniken sind

- Kathodenstrahlröhren (CRT: Cathode Ray Tubes)
immer noch gut geeignet für VR-Anwendungen wegen hoher Auflösung und kurzer Antwortzeiten – Nachteil: klobige Geräte
- Flüssigkristall-Bildschirme (LCD: Liquid Crystal Displays)
Passivmatrixsysteme wegen langsamer Antwortzeiten nicht gut geeignet
Aktivmatrixsysteme (TFT-Bildschirme) sind gut geeignet für VR-Anwendungen wegen hoher Auflösung, kurzer Antwortzeiten und ziemlich flimmerfreier Darstellung
Nachteil: (noch) eingeschränkte Betrachtungswinkel

Visuelle Wahrnehmung in virtuellen Welten

Übliche Displaytechniken (Forts.)

- Plasmabildschirme (Plasma Displays)
gut geeignet für VR-Anwendungen wegen hoher Auflösung, kurzer Antwortzeiten, großer Helligkeit, nahezu beliebiger Betrachtungswinkel und großer Bildschirmfläche (Diagonalen über 100 Zoll),
ihre Bildqualität ist der von guten CRT-Bildschirmen vergleichbar
- Projektoren („Beamer“)

Visuelle Wahrnehmung in virtuellen Welten

In VR-Systeme werden eingesetzt

- Stereo-Displays (Head-Mounted Displays)
meist mit LCD-Technik
- Aquarium-VR (Fish Tank VR)
mit CRT-, LCD- oder Plasmabildschirmen
- Taschenbildschirme (Hand Helds)
meist mit LCD-Technik
- große Projektionsschirme – häufig Plasmabildschirme
- Shutter Brillen
(in Verbindung mit Bildschirmen oder Projektionsschirmen)
- CAVE-Systeme
meist mit Beamern und großen Projektionsflächen

Visuelle Wahrnehmung in virtuellen Welten



Stereo-Display (head mounted display)
und Datenhandschuh (data glove)

Visuelle Wahrnehmung in virtuellen Welten



GeForce Shutter Brille

Akustische Wahrnehmung in virtuellen Welten

Bedeutung von Geräuschen in virtuellen Welten

- akustische Wahrnehmung ist wesentlicher Orientierungskanal
- akustische Wahrnehmung ergänzt visuelle Wahrnehmung (insbes. bei Sehbehinderung)
- gesprochene Sprache ist wesentliches Kommunikationsmittel
- Musik ist bedeutendes Unterhaltungsmedium
- etc.

Akustische Wahrnehmung in virtuellen Welten

Aufnahme und Wiedergabe von Raumklang

- monaural („einohrig“)
Aufnahme mit einem Mikrofon – Position der Klang- bzw. Geräuschquelle kann nicht identifiziert werden
- binaural („zweiohrig“)
Aufnahme mit zwei Mikrofonen, die in einen Modellkopf integriert sind – „Kunstkopfsterophonie“ wirkt fast wie natürlicher Raumklang
- Stereo
Aufnahme mit zwei Mikrofonen, die einen größeren Abstand voneinander haben – räumlicher Klangeindruck, jedoch nicht wie bei Kunstkopfsterophonie, Klangquelle scheint im Kopf der/des Hörenden zu liegen

Akustische Wahrnehmung in virtuellen Welten

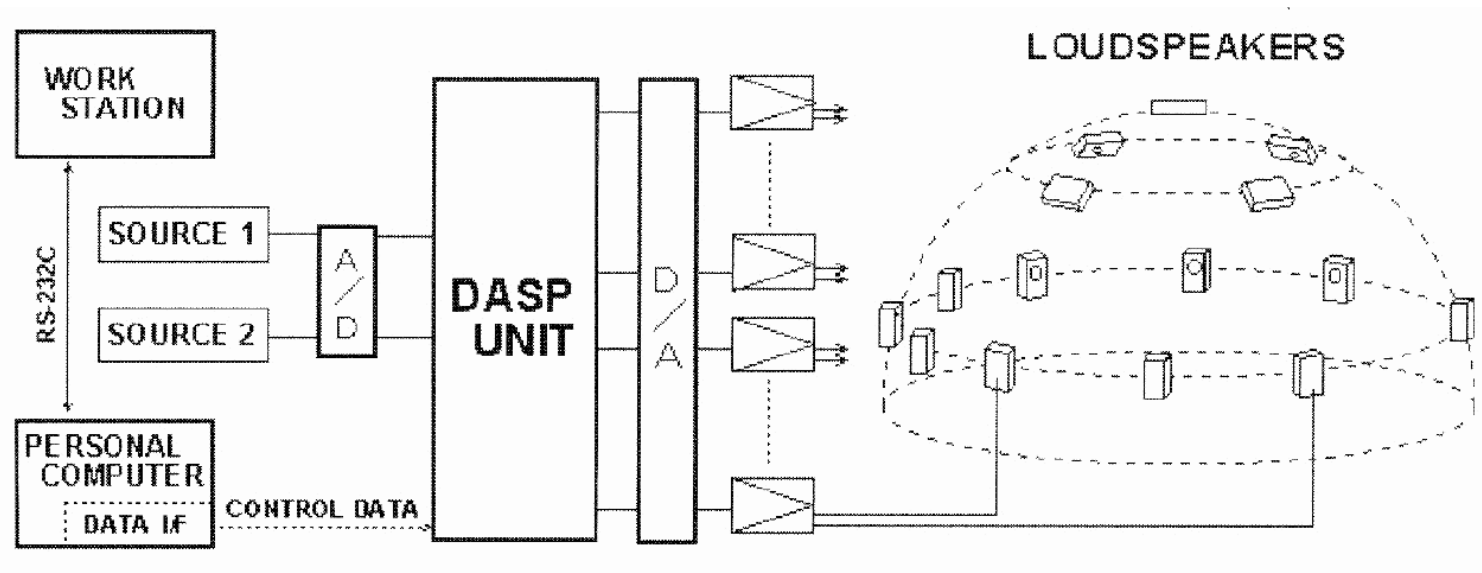
Synthese von Raumklang

- Geräuschquellen können synthetisch oder „natürlich“ sein
- Geräuschquellen senden Schallwellen i.d.R. in alle Richtungen aus
- Schallwellen werden an Objekten reflektiert bzw. gebrochen
- Sound Rendering ist ähnlich wie Ray Tracing

Geräusch-/Klangsysteme für VR

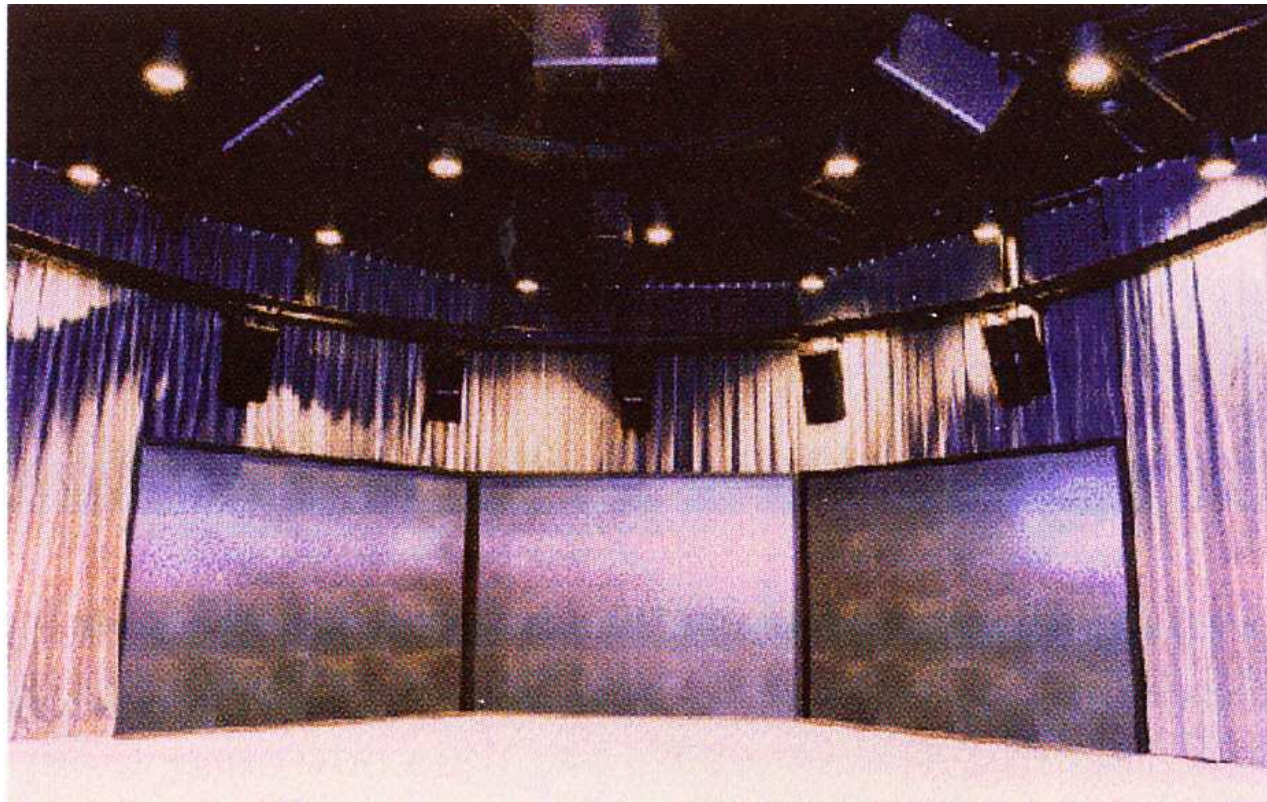
- Ohrhörer / Kopfhörer (geben Raumklang am besten wieder)
- komplexe Lautsprechersysteme

Akustische Wahrnehmung in virtuellen Welten



System zur Raumklangsteuerung (sound field control)

Akustische Wahrnehmung in virtuellen Welten



VR-System mit Lautsprecherausstattung

Haptische Wahrnehmung in virtuellen Welten

- haptisches System dient der Orientierung
- nutzt taktile Information (Berührung)
durch Sensoren in der Haut
- nutzt kinästhetische Information (Bewegungswahrnehmung)
durch Wahrnehmung der Gelenkwinkel, Muskelspannung,
Sehnenbelastung
- haptische Interfaces sind sehr anwendungsorientiert:
Force Feedback vermittelt Gefühl für Härte, Gewicht, etc. von
Objekten
und Taktilen Feedback von Oberflächenbeschaffenheit, Form,
Temperatur, etc.

Haptische Wahrnehmung in virtuellen Welten

Haptische Schnittstellen

- Vibrotaktile Displays
bestehen aus einer einzelnen vibrierenden Komponente (z.B. in „Handys“)
- Taktile Displays
stimulieren die Haut, eingesetzt werden elektrotaktile, thermische und mechanische Displays
- Kinästhetische Displays
Haptische Oberflächen (Shape Displays): rechnergesteuerte, verformbare Oberfläche
Single Point Force Feedback: „Joystick mit Kraftrückkopplung“
Exoskelett: Menge von „Stelleinheiten“, die an Körper und/oder Gliedmaßen angebracht sind

Haptische Wahrnehmung in virtuellen Welten



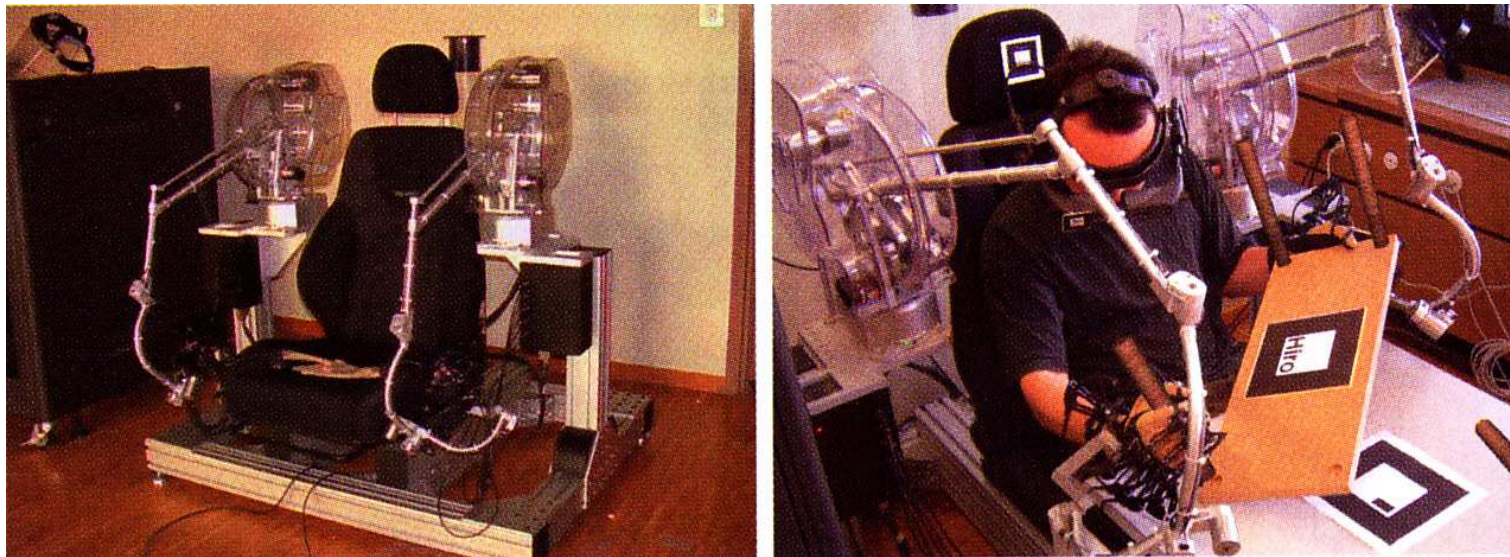
Haptisches Interface: Force-Feedback-Eingabegerät PHANTOM
(Personal HAptic iNterface Mechanism)

Haptische Wahrnehmung in virtuellen Welten



Haptisches Interface: Force-Feedback-Eingabegerät (bit-tech net)

Haptische Wahrnehmung in virtuellen Welten

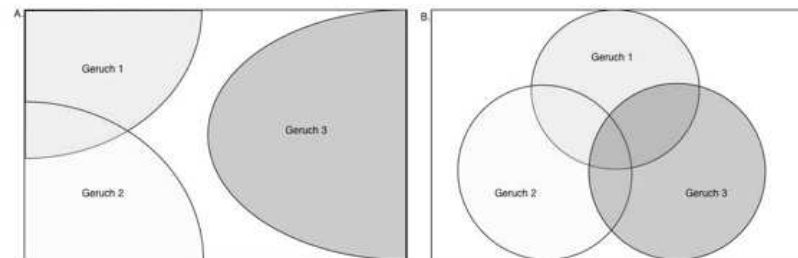


Komplexes Haptisches Interface:
The Haptic Workstation der Fa. Immersion

Geruch und Geschmack

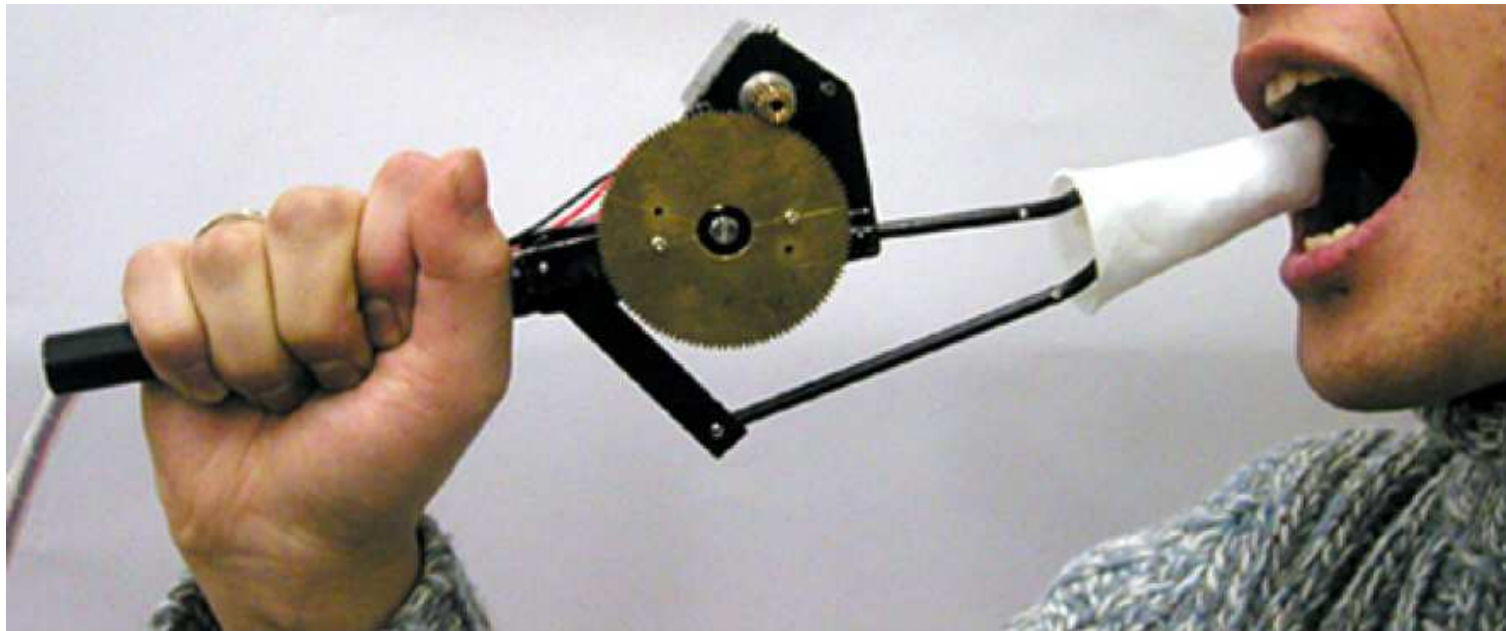
- Geruch und Geschmack dienen der Orientierung
- Geruch und Geschmack hinterlassen oft nachhaltige (emotionale) Erinnerungen
- die Einbeziehung der Geruchs- und Geschmackssinne in VR-Systeme steckt noch in den Anfängen; es gibt Prototypen für
 - Geruchsinterfaces (olfaktorische Interfaces)
 - Geschmacksinterfaces (in Form von Speisen- bzw. Getränkesimulatoren)

Geruch und Geschmack



Sniffman – olfaktorisches Interface

Geruch und Geschmack



Geschmacksinterface

Bewegungserfassung



Sixense TrueMotion tracker

BCI: Brain Computer Interface



Schnittstelle zwischen Gehirn und Computer

BCI: Brain Computer Interface

- orientiert an Erkenntnissen aus den Neurowissenschaften
- die Hirnaktivität spiegelt bereits die Vorstellung eines Verhaltens wider
- an der Kopfhaut angebrachte Elektroden messen die hirnelektrischen Signale und übertragen sie an den Computer
- der Computer wandelt sie in Steuerungssignale für das VR-System um