




Virtuelle Realität

Interaktionsmetaphern



G. Zachmann
Clausthal University, Germany
cg.in.tu-clausthal.de




Historie

- Das erste Computer-Spiel (vermutlich):
 - Spacewars, 1961, MIT
 - Damit auch die ersten Interaktionsgeräte und -metaphern
 - Zwei Spieler, zwei Spaceships ("wedge" und "needle"), feuern Tropedos




G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11

Interaktionsmetaphern 2

Wie interagiert man mit VEs?

- Grundlegende Aufgaben (= *Universal Interaction Tasks* [Bowman]):
 - Navigation (Viewpoint ändern)
 - Selektion
 - Objekte greifen, bewegen, manipulieren
 - Geometrie modellieren und modifizieren (selten)
 - *System control* (Menüs, *Widgets*, *Slider*, Zahlen eingeben, etc.)
- Elementare Interaktionsbausteine (*BITs = basic interaction tasks* [Foley / vanDam]):
 - Selektion (Objekte, Menüs, ..)
 - Positionierung (inkl. Orientierung) oder Manipulation
 - Quantifizierung
 - Texteingabe, Spracheingabe

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 3

Das Design von User-Interfaces

- Zwei grobe Richtungen:
 - Natürliche Interaktion
 - Versuche, die Realität und die Interaktion damit möglichst genau abzubilden
 - "Magische" Interaktion
 - Gib den Usern neue Möglichkeiten
 - Herausforderung dabei: den kognitiven Overhead dabei so klein wie möglich zu halten, so dass der User nicht von seiner Aufgabe abgelenkt wird!
- Hilfsmittel:
 - Direkte *User-Aktion* (Körperbewegung, Geste, ..)
 - Gut wenn intuitiv, Möglichkeiten beschränkt
 - Physikalische Geräte (z.B. Taste, Lenkrad)
 - Haptisches Feedback für präzisere Kontrolle
 - Evtl. schwer zu (er-)finden
 - Virtuelle Geräte (z.B. Menü, "*anything goes*")
 - Flexibel, rekonfigurierbar
 - Nicht leicht/präzise zu bedienen

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 4

Classification of 3D-Widgets

Direct 3D Object Interaction	
Object Selection	
Geometric Manipulation	
3D-Scene Manipulation	
Orientation and Navigation	
Scene Presentation Control	
Exploration and Visualization	
Geometric Exploration	
Hierarchy Visualization	
3D Graph Visualization	
2D-Data and Document Visualization	
Scientific Visualization	
System / Application Control	
State Control / Discrete Valuators	
Continuous Valuators	
Special Value Input	
Menu Selection	
Containers	

Menu Selection
Temporary Option Menus
Rotary Tool Chooser
Menu Ball
Command & Control Cube
Popup Menu
Tool Finger
TULIP
Single Menus
Ring menu
Floating Menu
Drop-Down-Menu
Revolving Stage
Chooser Widget
3D-Palette, Primitive Box etc.
Menu Hierarchies
Hands-off Menu
Hierarchical Pop-Up Menus
Tool Rack
3D Pie Menu
→ Hierarchy Visualizations

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 5

- Ziele (insbesondere in VR):
 - Intuitive / natürliche Interaktion (**usability**)
 - Leicht zu erlernen
 - Passt sich dem Benutzer an (**expert vs. novice**)
 - Effiziente Interaktion (**user performance**)
 - Genauigkeit, Geschwindigkeit, Produktivität des Users
- Probleme (vor allem in VR):
 - Keine Constraints
 - Insbesondere: fehlendes haptisches Feedback
 - Effiziente Interaktion mit Objekten außerhalb der Reichweite
 - Tracker-Rauschen / -Ungenauigkeit
 - Ermüdung
 - Fehlende Standards

There has never been a high performance task done in the history of this planet, to the best of my knowledge, that has ever been done well with an intuitive interface.
[Brian Ferran]

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 6

Gestenerkennung

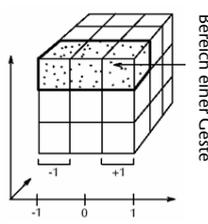
- Klassifikationsproblem:
 - Gegeben: Flex-Vektor $x \in \mathbb{R}^n$, $n \approx 20$
 - Gesucht: Geste $G(x) \in \{\text{"Faust"}, \text{"Hitch-hike"}, \dots\}$
- Gesucht: ein Algorithmus, der ..
 - .. benutzerunabhängig ist
 - .. robust ist (> 99%)
 - .. schnell ist
 - .. möglichst nur 1x trainiert werden muss (besser: 0x)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 7

Einfache Gestenerkennung

- NN gut, falls viele Gesten, oder Flex-Werte im "Inneren"
- Falls wenige Gesten und alle "am Rand":
 - Diskretisiere Flex-Vektor $f \in [0, 1]^d \rightarrow f' \in \{-1, 0, +1\}^d$
 - 0 = Flex-Wert ist weder nah bei 0, noch nah bei 1
 - Bilde Randregionen im d-dimensionalen diskreten Würfel $\{-1, 0, +1\}^d$
 - Wähle für jede Randregion (= Geste) einen Repräsentanten $g \in \{-1, 0, +1\}^d$
 - 0 = don't care
 - Geste i ist erkannt, wenn

$$f' \cdot g_i = |g_i|$$
 - Bedingung: die Regionen der verschiedenen Gesten dürfen nicht überlappen



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 13



- Implementierungsdetails:
 - Automatische Nachkalibrierung auf [0,1]:
 - Min/Max mitführen und auf [0,1] mappen
 - Min/Max langsam schrumpfen
 - Transitorische Gesten ignorieren
- Dynamische Gesten:
 - Folgen von statischen Gesten (Zeichensprache)
 - Pfad eines Fingers / des Handrückens
 - Nutzen?

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 14



Navigation

- *Wayfinding & Locomotion*
- *Locomotion / Travel:*
 - Distanz überwinden
 - Manövrieren (= Viewpoint setzen, inkl. Orientierung)
 - Technik
- *Wayfinding:*
 - Strategie
 - Wissen

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 15

Wayfinding als Aufgabe

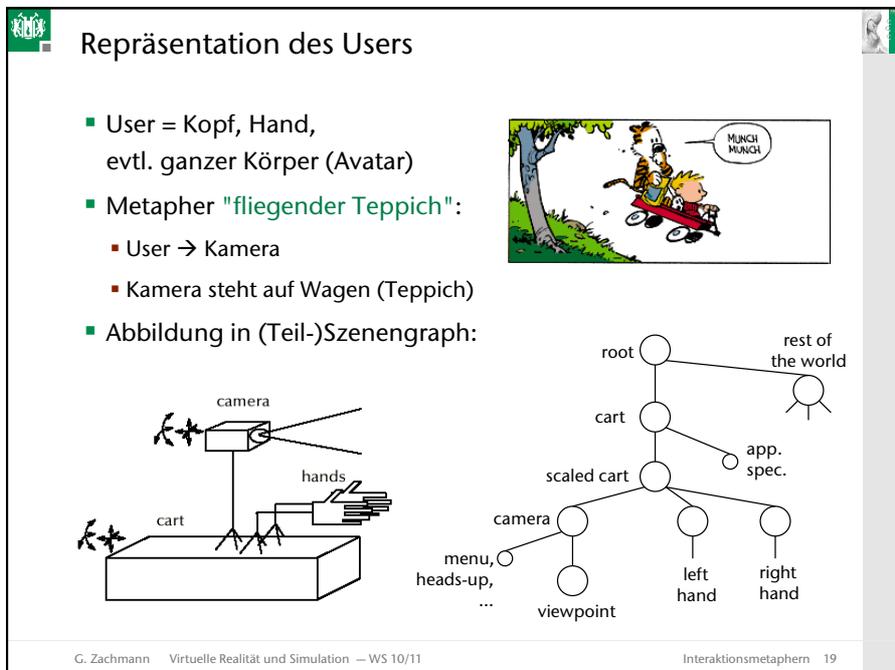
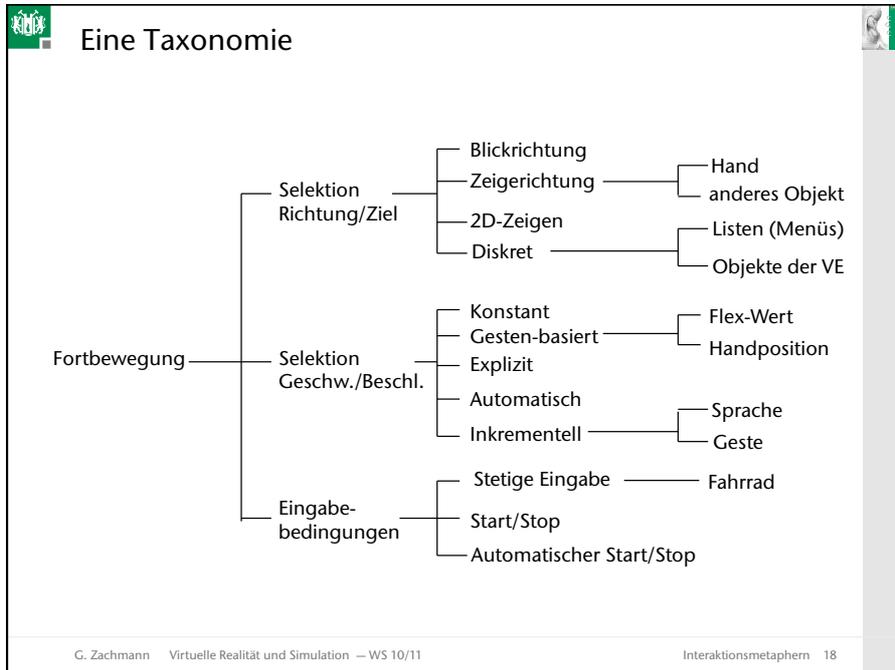
- Wie muss die virtuelle Umgebung aussehen, damit *Wayfinding* effektiv trainiert werden kann?
- Hinweise in der Umgebung für *Wayfinding*:
 - Natürliche Hinweise
 - Wegweiser
- User-Modell für Navigation:
- Navigationshilfsmittel:
 - Steigerung der Performance des Users in der **virtuellen** Umgebung
 - Steigerung in der **realen** Welt (= Steigerung des Trainingseffekts)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 16

Navigationsstechniken

- Real: Laufen, Kopf bewegen
- *Point-and-fly* (Cave, HMD)
- In Blickrichtung (Boom)
- Fadenkreuz
- *Scene-in-hand*
- *World-in-Miniature*
- Orbital mode
- Richtige Art hängt stark von der Applikation ab!

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 17



Point-and-Fly

- Kontrollierende Sensoren:
 - Kopfsensor → *Camera*
 - Handsensor → *Cart*

$$M_C^t = M_C^{t-1} \cdot v \cdot T(M_H^z)$$

- Verallgemeinerung: Graphische Objekte statt Sensoren

Translation, die aus der 3. Spalte der Rot.matrix des Handsensors erzeugt wird

- Spezifikation der Geschwindigkeit:
 - Konstant (z.B. Boom)
 - Daumenkrümmung
 - Abhängig von Entfernung Hand – Brust
 - Manchmal unabhängig von *Framerate*

langsam normal schnell

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 20

Scene-in-hand, Eyeball-in-hand

- *Scene-in-hand*:
 - "grabbing the air" technique
 - *Cart* bleiben stehen, Szene wird rotiert durch Handsensor
 - Die Transformation:

$$M_W^t = M_H^{t_0^{-1}} \cdot M_H^t \cdot M_W^{t_0}$$

- *Eyeball-in-hand*:
 - Viewpoint wird direkt durch Hand gesteuert
 - Absolut oder relativ (akkumulierend)

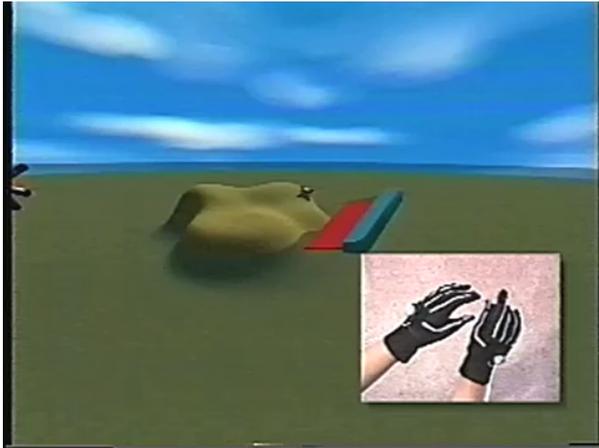
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 21

Beidhändige Navigation (mit *Pinch Gloves*)

- Fragestellung: wie kann man mit 2 Punkten + 1–2 Trigger navigieren?
- Idee: "*scene-in-hand*"
 - 1 Trigger, 1 Punkt bewegt → Translation der Szene
 - 2 Trigger, 1 Punkt fest, 1 Punkt bewegt → Rotation der Szene
 - 2 Trigger, 2 Punkte bewegt → Skalierung der Szene
- Hat sich trotzdem nicht durchgesetzt (vermutlich, weil *Pinch Gloves* sich nicht durchgesetzt haben)
- Zwei-händige Navigation (Variation):
 - Vektor zwischen Händen = Richtung
 - Länge des Vektors = Geschwindigkeit



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 22

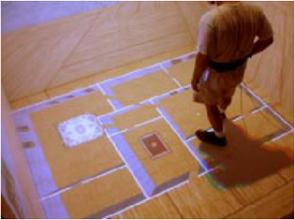


Smart Scene, MultiGen, Inc.

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 23

Navigation ohne Hände

- Idee: projiziere VE verkleinert auf Boden und verwende Füße
- Grobe Navigation: Teleportation → User läuft zu Punkt auf Karte und triggert
- Systemkommandos:
 1. Karte einschalten = Blick zu Boden + Trigger
 2. Teleportation = Blick zu Boden + Trigger
 3. Karte ausschalten = Blick nach oben + Trigger
 - Trigger = Sprache oder "Fußgeste"
- Feine Navigation: in gewünschte Richtung "lehnen"; Geschwindigkeit hängt ab von
 - Neigungswinkel
 - Abstand vom Rand der Cave

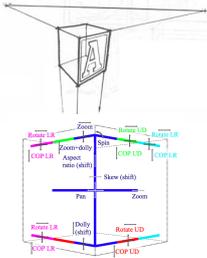
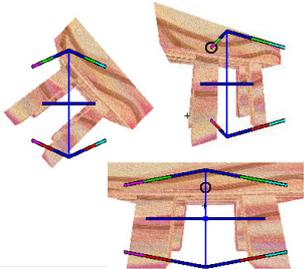




G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 24

Exkurs: das IBar — eine intuitive 2D-Metapher

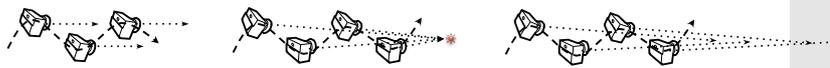
- Aufgabe: intuitive Metapher zur Manipulation der perspektivischen Projektion
- Beobachtung: Zeichner konstruieren die Projektion durch Fluchtpunkte
- Idee:
 - Manipuliere diese Fluchtpunkte
 - Verwende dazu das Bild der Kanten eines Würfels
- Durch Manipulieren der "Handles" kann man verschiedene Parameter modifizieren:
 - Orientierung, Zoom, Pan, Proj.zentrum

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 25

Wahrnehmung der zurückgelegten Distanz in VR [2009]

- Hängt zusammen mit der Frage: wie gut ist die Präsenz bei Navigation in VR?
- Idee:
 - Oszillation des Viewpoints wie in der Realität nachbilden
 - (Haben die first-person-shooter schon viel früher entdeckt ;-))



- Resultate:
 - Nur eine Oszillation entlang der Hochachse bringt etwas
 - User ziehen leichte Oszillation der Navigation ohne Oszillation vor
 - Kurze "Reisedistanzen" werden genauer eingeschätzt (ca. Faktor 2)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 26

Exploration von Szenen: der Magic Mirror

- Aufgabenstellung: zweiten Viewpoint (Bild im Bild) intuitiv verständlich in eine Szene integrieren und manipulierbar machen
- Idee: der Spiegel → "magic mirror"
 - Ein Objekt in der VE dient als Handspiegel
 - Wird immer relativ zur Kamera positioniert (wandert mit)
 - Kann man manipulieren wie jedes andere Objekt auch
- Zusatz-Features (nicht bei realen Spiegeln):
 - Zoomen
 - Vergrößern / verkleinern des Spiegels
 - Clippen von Objekten vor dem Spiegel, die die Sicht versperren
 - "Richtig-herum-Drehen" der Szene im Spiegel
 - Positionieren des Haupt-Viewpoints an der Stelle des gespiegelten VP

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 27

■ Beispiele:



■ Implementierung:

- 2x rendern
- Erstes Mal nur einen kleinen Viewport mit dem gespiegelten Viewpoint
- Abspeichern als Textur
- Zweites Mal main view rendern, ohne Spiegel
- Dann Spiegel-Objekt drüber rendern ohne Z-Test

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 28

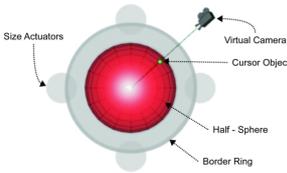
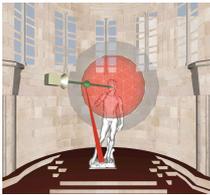
Immersive Navidget [2008]

■ Metapher zur Definition eines Viewpoints

■ Eingabegerät: *Wand* mit Rädchen und Buttons

■ Dekomposition:

1. Mittelpunkt einer Kugel festlegen
 - Wird der neue **Center of Interest (COI)**
 - Z.B. durch Ray-Casting: Schnittpunkt mit Szene = Mittelpunkt
2. Radius der Kugel festlegen = Abstand zum COI
 - Hier mit dem Rädchen am Wand
3. Viewpoint auf der Kugel bestimmen
4. Animation des Viewpoints auf einem Pfad zum neuen Viewpoint
5. Wechsel zwischen den einzelnen Phasen mit dem Button

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 29



Navidget for Immersive Virtual Environments

Sebastian Knödel, Martin Hachet
iparla.labri.fr

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 30



Exkurs: User Models

- Idee: wenn man ein Modell davon hat, wie ein User funktioniert, dann kann man vorhersagen, wie er/sie mit einem bestimmten UI interagieren wird, insbesondere seine sog. "*user performance*"
- Vorteil (theoretisch): keine *user studies* und keine *UI mock-ups* mehr nötig
- Verwandte Gebiete: *Psychophysics*, *user interface design*, *usability*

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 31

Power law of practice

- Beschreibt, in welcher Zeit eine Tätigkeit nach der n -ten Wiederholung ausgeführt werden kann:

$$T_n = \frac{T_1}{n^a}$$

T_1 = Zeit für die erste Ausführung der Tätigkeit,
 T_n = Zeit für die n -te Wiederholung,
 $a \approx 0.2 \dots 0.6$
- Gilt nur für mechanische Tätigkeiten, z.B.:
 - Erlernen der Benutzung der Maus, oder Tippen auf der Tastatur
 - ... nicht für das Erlernen von Wissen! ;-)
- Dieser Effekt hat auch Auswirkungen auf Experimente mit Usern!

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 32

Hick's law

- Beschreibt die Zeit, die man benötigt, um eine **1-aus- n Auswahl** zu treffen, bei der **keine kognitive Leistung** nötig sein darf:

$$T = I_c \log_2(n + 1)$$

$I_c \approx 150$ msec
- Annahme: alle Möglichkeiten kommen **gleich häufig** vor!
- Hat etwas mit der informationstheoretischen **Entropie** zu tun
- Beispiel: n Tasten, n Lampen, eine wird zufällig angeschaltet, User muss zugehörige Taste drücken
- (Folge für UI Design: die sog. "**Rule of Large Menus**":
 one large menu is more time-efficient than several small submenus supporting the same choices, even if we ignore the time overhead of moving among submenus.)
 - Achtung: andere Effekte spielen evtl. eine größere Rolle (z.B. Fitts' Law)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 33

Fitts' Law

- Beschreibt die Zeit benötigt zur sog. "target acquisition"
 - Aufgabe: mit der Hand aus der Ruhelage ein bestimmtes Ziel möglichst schnell erreichen und möglichst exakt treffen
 - Das Gesetz:

$$T = b \log_2\left(\frac{D}{W} + 1\right) + a$$

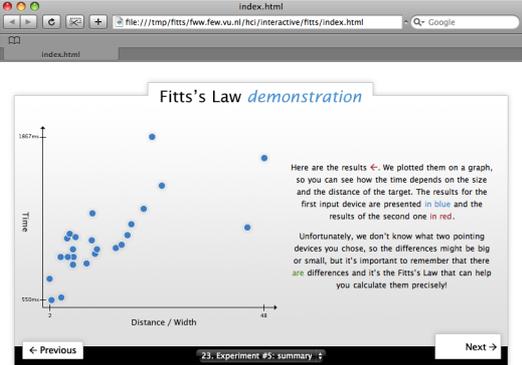
wobei D = Target-Distanz, W = Target-Durchmesser
 - Der "index of difficulty" (ID):

$$\log_2\left(\frac{D}{W} + 1\right)$$

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 34

Demo / Experiment

- Fitts' Law lässt sich 1:1 auf Mausbewegungen und das "Anfahren" von Icons übertragen



Here are the results ←. We plotted them on a graph, so you can see how the time depends on the size and the distance of the target. The results for the first input device are presented in blue and the results of the second one in red.

Unfortunately, we don't know what two pointing devices you chose, so the differences might be big or small, but it's important to remember that there are differences and it's the Fitts' Law that can help you calculate them precisely!

← Previous 23. Experiment #5: summary ? Next →

Display a menu

Marcin Wichary , Vrije Universiteit: <http://www.few.vu.nl/hci/interactive/fitts/>

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 35

Folgen aus Fitts' Law

- **"Rule of Target Size"**: The size of a button should be proportional to its expected frequency of use.
- Weitere Folge:
"Macintosh fans like to point out that Fitts's Law implies a very large advantage for Mac-style edge-of-screen menus with no borders, because they effectively extend the depth of the target area off-screen. This prediction is verified by experiment."
 [Raymond & Landley: "The Art of Unix Usability", 2004]



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation — WS 10/11 Interaktionsmetaphern 36

- *Tear-off menus* und *context menus*: damit wird die durchschnittliche Distanz verringert
- Apple's "Dock": die Größe der Buttons wird dynamisch angepasst



- Offensichtliche Grenzen von Fitts' Law:
 - Es gibt viele weitere Entscheidungen bzgl. eines Interface Design's, die einer konsequenten Umsetzung von Fitts' Law entgegenstehen
 - Nicht alle Aspekte / Widgets eines GUIs werden von Fitts' Law erfasst

Unterhaltsames und lehrreiches Quiz:
http://zach.in.tu-clausthal.de/teaching/vr_literatur/A_Quiz_Designed_to_Give_You_Fitts.html

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation — WS 10/11 Interaktionsmetaphern 37

Exkurs vom Exkurs: die 80/20-Regel

- 80% der Zeit benutzen wir nur 20% der Funktionen eines Produktes
 - Gilt für Menus, komplette Software, "consumer electronics", Auto, ...
- 80% aller Fehler eines Produktes entstehen in nur 20% seiner Komponenten
- 80% aller Fehler in einer Software werden von nur 20% seiner Programmierer und Designer verursacht
- 80% des Einkommens einer Firma werden von nur 20% ihrer Produkte generiert
- ...

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 38

Selektion

- *Task decomposition:*
 1. Selektionsmode an
 2. Objekt(e) auswählen
 - Währenddessen Feedback geben
 3. Bestätigen / abbrechen
 4. Feedback: welches Objekt ist selektiert (evtl. mehrere?)
- Definitionen:
 - **Interaktionsraum (display / visual space)** = Raum in der VE = Raum, in dem der virtuelle "Pointer" (z.B. virtuelle Hand) sich bewegt
 - **Physikalischer Raum (control / motor space)** = Raum außerhalb der VE = Raum, in dem der Tracker sich bewegt
 - **Control-Display ratio (C-D ratio):** Verhältnis zwischen Bewegung (Translation und/oder Rotation) im physikalischen Raum zu resultierender Bewegung im Interaktionsraum
 - Einfachstes Beispiel: 2D mouse acceleration

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 39

- **Abbildungsarten zwischen Interaktionsraum und physikalischem Raum:**
 - **Isomorph (*direct interaction techniques*):**
 - 1:1-Korrespondenz zwischen physikalischem und Interaktionsraum
 - Natürlich → intuitiv zu erlernen; imitiert reale Interaktion
 - Häufiges Problem: Arbeitsvolumen
 - **Nicht-isomorph (*remote interaction techniques*):**
 - "Magische" Tools (Interaktionsmetaphern) erweitern Arbeitsvolumen oder Handhabung
 - Mehrzahl der Interaktionstechniken ist nicht-isomorph
 - Häufiges Problem: Präzision bei kleinen / vielen Objekten

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 40

- **Einige Möglichkeiten für Schritt 2**
 - **Strahl-basiert (*ray casting*)**
 - Z.B. "Laserstrahl" aus virtueller Hand
 - Oder: gedachter Strahl vom Viewpoint durch Zeigefingerspitze (a.k.a. *occlusion technique* oder "*sticky finger*" technique)
 - **Volumen-basiert, z.B. Kegel**
 - **Direkt = Berühren mit Hand**
 - **Sprache**
 - **Menü**
 - **Mischformen:**
 - *image plane interaction* (später)
 - *World-in-Miniature* (später)
 - Etc.

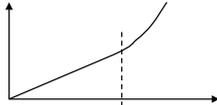
laser pointer

occlusion technique

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 41

Nicht-lineares Mapping (die "go-go technique")

- Ziel: Vergrößerung des Arbeitsbereiches für Kopf und Hand
- Idee:
 - Tracker-Werte außerhalb des "Nahbereiches" nicht-linear skalieren
 - Im Nahbereich linear belassen wg. Präzision
- Geeignet für Kopf- und Hand-Tracking
- Nur bei absoluten Eingabegeräten
- Nachteile:
 - Propriozeption geht verloren
 - Geringere Präzision im Fernbereich
- Beispiel hier: **non-isomorphic direct selection**



The Go-Go Interaction Technique:
... to reach farther in virtual environments

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 42

Einige einfache Techniken im Überblick

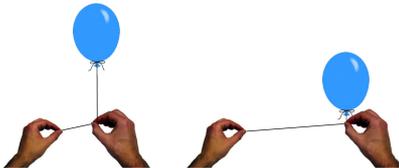
- Verwendete Größen:
 - H = Handposition
 - E = Viewpoint
 - h = "Zeigerichtung" der Hand
 - H₂ = Position der linken Hand

Technik	Volumen	Ursprung	Richtung
Raycasting	ray	H	h
Flashlight	cone	H	h
Two-handed pointing	ray	H ₂	H – H ₂
Occlusion selection	ray	E	H - E
Aperture	cone	E	H - E

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 43

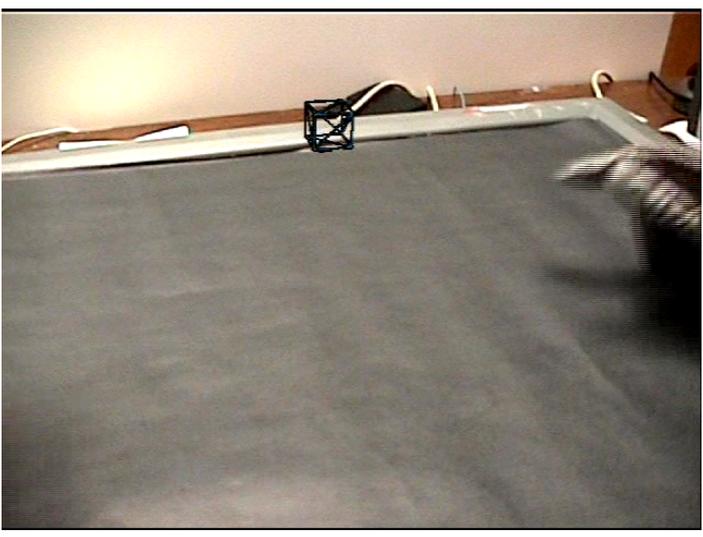
Balloon Selection [2007]

- Idee: Helium-Ballon steuern
 - Dominante Hand steuert 2D-Position
 - Nicht-dominante Hand steuert 1D-Höhe
- Implementierung:
 - Zeigefinger geben Position / Höhe an
 - Beide Zeigefinger liegen auf Tisch auf
 - *System control* durch Kontakte im Datenhandschuh oder *Touch Table*
- Vorteil:
 - **Dekomposition** eines 3D-Tasks in zwei einzelne **niedrig-dimensionale** Tasks (2D und 1D)
 - Natürlicher Constraint (Tisch)



The image shows two hands, one on the left and one on the right, each holding a blue balloon. The balloons are connected by a thin white string that runs horizontally across the frame. The hands are positioned as if they are about to move the balloons, demonstrating the concept of Balloon Selection where the dominant hand controls the 2D position and the non-dominant hand controls the 1D height.

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 44

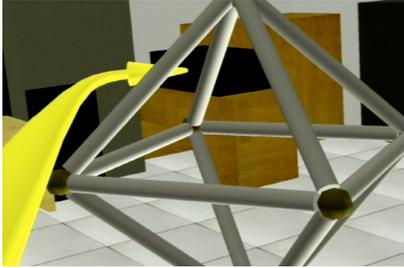


The image shows a top-down view of a table with a dark grey surface. A small, blue, cube-shaped object is placed on the table. The background is a plain wall with a light-colored baseboard. This image illustrates the concept of Balloon Selection where the dominant hand controls the 2D position and the non-dominant hand controls the 1D height.

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 45

Flexible Pointer [2003]

- Beobachtung: Menschen versuchen, mit der Zeigegeste eine "Kurve" zu beschreiben, wenn sie auf etwas zeigen, das nicht in der "line of sight" ist.
- Umsetzung in VR: gebogener Zeigestrahl
- Problem: intuitive und einfache Beschreibung der Krümmung mittels Eingabegeräten (Dataglove, Tracker, ...)



The Flexible Pointer
An Interaction Technique for Selection in Augmented and Virtual Reality

Alex Olwal & Steven Feiner
Computer Graphics & User Interface Lab
Columbia University, New York

Conference supplement of UIST 2003

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 46

Friction Surfaces — Beispiel für die C-D Ratio [2006]

- Aufgabe hier: sog. **hybride Interfaces** bedienen
 - Ziel: 2D-GUIs von Desktop-Applikationen in VR bedienen
 - Implementierung: ein modifizierter VNC-Client



- Problem: die Target-Width (hier Raumwinkel!) ist extrem klein

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 47

- Idee:
 - Skaliere die C-D Ratio, sobald der User mit einem 2D-Window in VR interagiert
 - Problem: wie überbrückt man die für den User sichtbare/spürbare Diskrepanz?
 - Zwei Strahlen anzeigen hat sich als störend erwiesen
 - Lösung:
 - enen gebogenen Strahl anzeigen

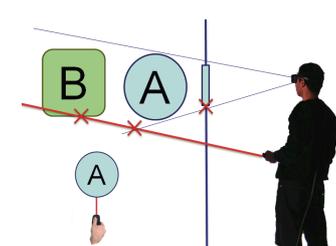
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 48

- Resultat: wesentlich höhere User-Effizienz:

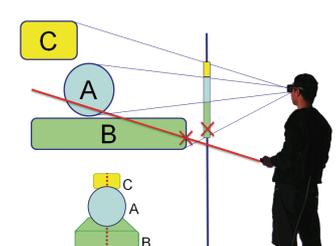
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 49

The Eye-Hand Visibility Mismatch [2008]

- Offensichtliches Problem von Handstrahl-basierten Techniken:
 - Die Menge der von E aus sichtbaren Objekte ist nicht identisch mit der von H aus "sichtbaren" Menge



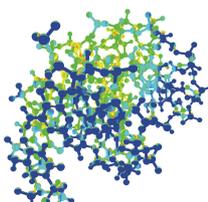
Objekt ist selektierbar,
aber nicht sichtbar

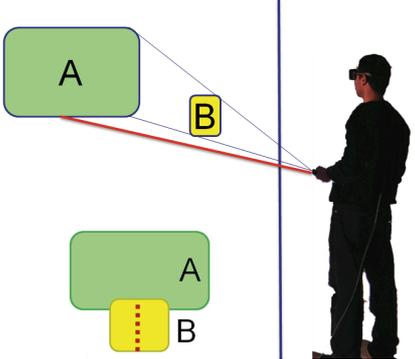


Objekt ist sichtbar,
aber nicht selektierbar

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation — WS 10/11
Interaktionsmetaphern 50

- Die von H aus "sichtbare" Oberfläche ist verschieden von der von E aus sichtbaren Oberfläche →
 - wahre Target-Width ist verschieden von der sichtbaren Target-Width
 - Evtl. kein / ungenügendes Feedback während der Selektion



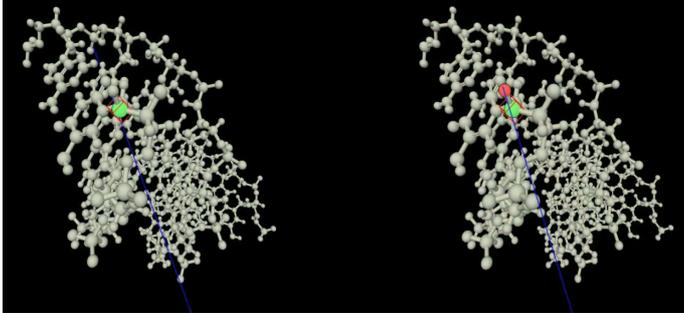


G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation — WS 10/11
Interaktionsmetaphern 51

■ **Vorschlag:**

- Selektionsstrahl von E aus in Richtung h
- Visuelles Feedback: Strahl von H zum ersten Schnittpunkt

■ Experiment der Autoren zeigt: ca. 15% - 20% schneller als einfaches Raycasting



Argelaguet, Andujar, Trueba

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 52

IntenSelect: Ranking + Filtering [2005]

■ **Annahmen:**

- Kegel ist besser als Strahl
- I.A. sind viele Objekte im Kegel (dense environment)

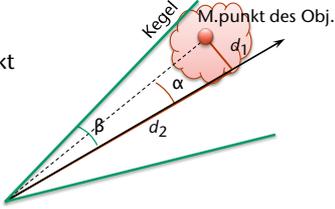
■ **Idee:**

- Definiere Skalarfeld im Kegel
- Berechne daraus "Score" für jedes Objekt
- Stelle Ranking der Objekte auf

■ Eine einfache Score-Funktion:

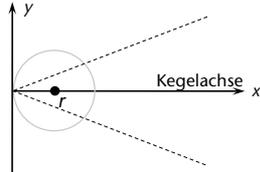
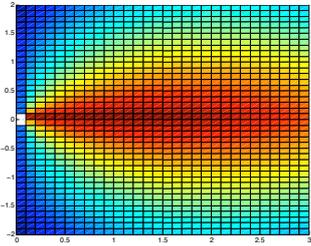
$$s = 1 - \frac{\alpha}{\beta}$$

■ Score-Funktion, die nahe Objekte (etwas) bevorzugt:

$$s = 1 - \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left(\frac{d_1}{(d_2)^k} \right), \quad k \in \left[\frac{1}{2}, 1 \right]$$


G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 53

■ Noch stärkere Bevorzugung naher Objekte:

$$s = \left(1 - \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left(\frac{d_1}{(d_2)^k} \right) \right) + 0.1 \left(1 - \frac{(x-r)^2 + y^2}{r^2} \right)$$



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 54

■ Problem: Zittern der Hand führt zu häufigen Änderungen des Rankings

■ Lösung: Filterung

$$s = s(t)$$

$$\hat{s}(t) = \sigma \hat{s}(t-1) + \tau s(t)$$

■ σ = "stickiness", τ = "snappiness"

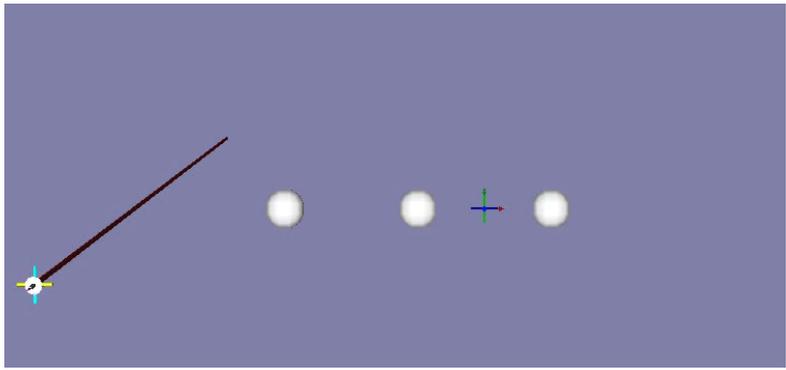
■ Verallgemeinerung: FIR-Filter (siehe Kapitel 7)

■ Feedback:

- Gebogener Strahl zum Objekt mit dem höchsten Ranking
- Gerader Strahl zur Anzeige der Kegelachse

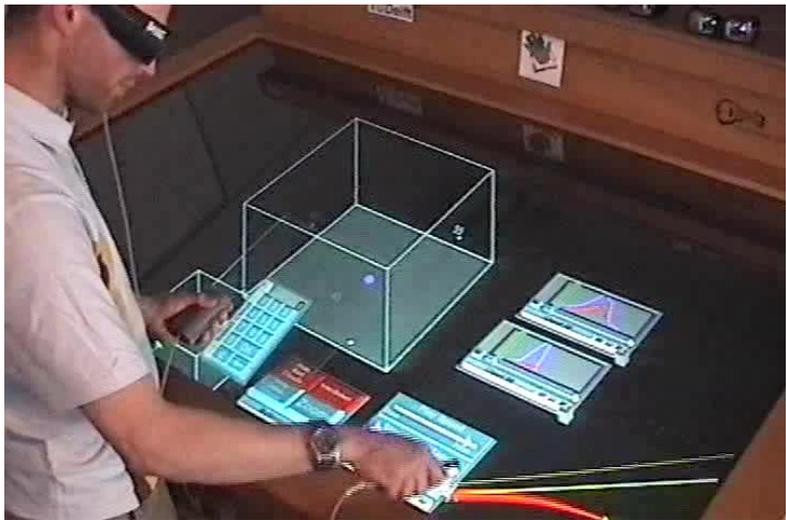
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 55

Video



[G. de Haan, M. Koutek, and F. Post]

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 56



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 57

Weitere Ranking-Funktionen

- Umgekehrte Distanz-Funktion: ferne Objekte bevorzugen
- Bessere Berechnung des "Winkels" zur Kegellachse:
 - Rendere ein Objekt mit niedriger Auflösung in einen off-screen Buffer mit "Viewpoint" = Kegelpapex, Blickrichtung = Kegellachse
 - Bestimme durchschnittlichen Abstand der Pixel vom Mittelpunkt:

$$s' = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{\text{pixel } p} d(p)}{\text{radius}}$$

Object	#pixels	minCenterDistance	avgCenterDistance	V _{axis}	C _{min}	C _{avg}
TV	30	28	30	0.007	0.118	0.069
desk	106	24	28	0.026	0.247	0.241
floor	1215	0	16	0.297	1	0.509
table	14	26	30	0.083	0.197	0.193
chair	934	1	15	0.228	0.969	0.529
couch	929	6	18	0.227	0.510	0.424

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 58

Anwendung in multi-modalem AR-Interface

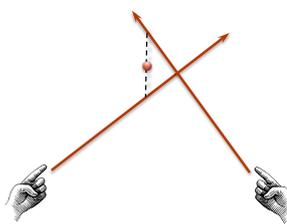
SenseShapes:
 Using Statistical Geometry for
 Object Selection in a Multimodal
 Augmented Reality System

Submitted to ISMAR 2003 Do not distribute

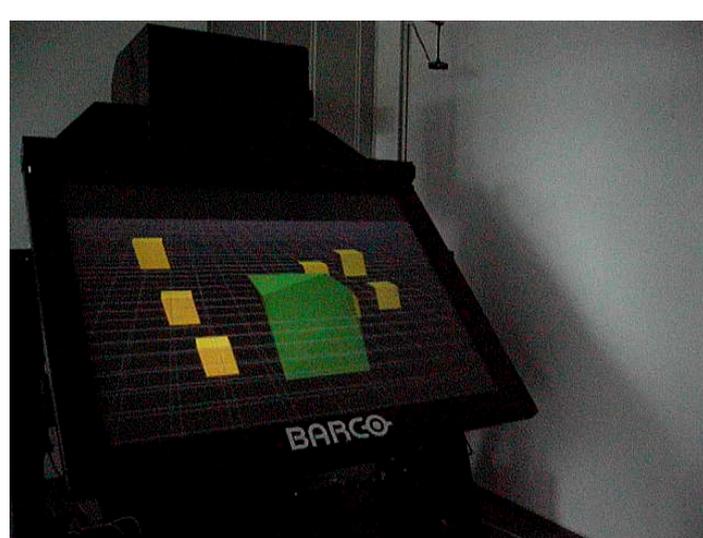
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 59

iSith: beidhändige Selektion [2006]

- Idee: Schnittpunkt zweier Strahlen definiert "Selektionszentrum"
- Praktische Umsetzung:
 - Zwei Hände = zwei Strahlen
 - Selektionsmodus wird getriggert, wenn Abstand zwischen beiden Strahlen < Threshold
 - Mittelpunkt auf dem Lot zwischen beiden Strahlen berechnen
 - Falls Mittelpunkt "nahe genug" an einem Objekt → selektieren



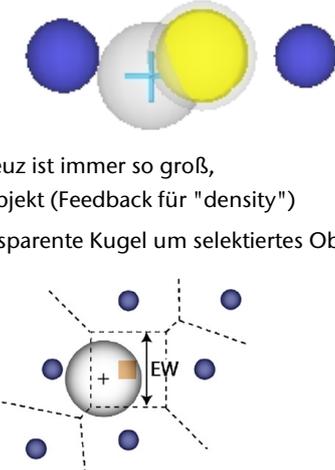
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 60



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 61

Der Bubble Cursor und der Depth Ray [2008]

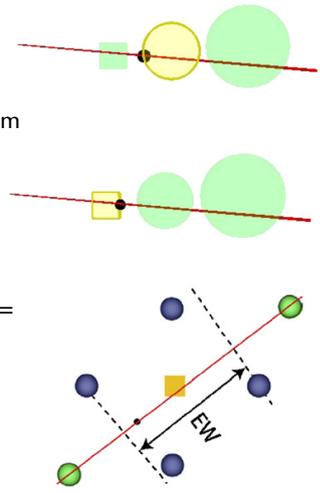
- Eine weitere Methode, die **effektive Target-Größe** zu erhöhen
- **Bubble Cursor:**
 - 3D Fadenkreuz
 - Selektiert wird immer das nächste Objekt
 - Transparente Kugel um Fadenkreuz ist immer so groß, wie Entfernung zum nächsten Objekt (Feedback für "density")
 - Feedback für aktives Objekt: transparente Kugel um selektiertes Obj
- Effektive Target-Größe = Voronoi-Region des Objektes:



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 62

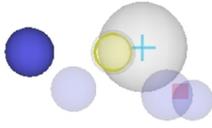
Depth Ray

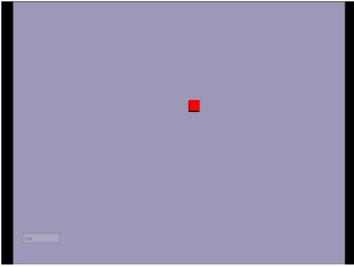
- **Depth Ray:**
 - Nur Objekte, die von Strahl getroffen werden, werden in Betracht gezogen
 - User kann einen "depth marker" auf dem Strahl verschieben
 - Von den getroffenen Obj.en ist das **nächste** selektiert / aktiv
- Effektive Target-Größe = Schnitt zwischen Strahl und Voronoi-Region = Segment auf dem Strahl



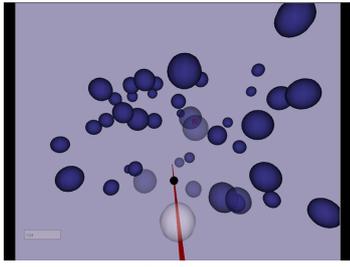
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 63

■ Occlusion: verdeckende Objekte werden in der Nähe des 3D-Cursors / depth markers transparent (abhängig von der Entfernung zum Curor/Marker)





Bubble cursor [Lode van Acken]



Depth Ray

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 64

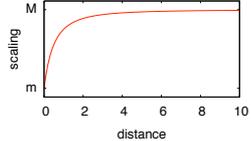
[2008]

"Semantic" pointing

■ Idee:

- Modifiziere C-D-Ratio abhängig von der Entfernung des Cursors zum nächsten Target
- Große Entfernung → große Skalierung der Bewegung in Motor Space
- Kleine Entfernung → kleine Skalierung = hohe Präzision
- Z.B. mit einer Funktion wie dieser:

$$s(d) = M + \frac{m - M}{(1 + d)^\alpha}$$



■ Visuelles Feedback:

- Cursor-Größe ~ C-D-Ratio
- Farbe des Cursors signalisiert Nähe des Targets (z.B. "rot" = "hit")



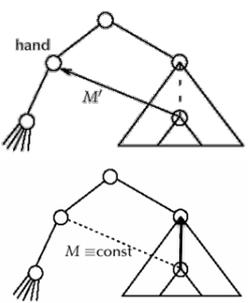
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 65

- GPU Implementation of 3D Object Selection by Conic Volume Techniques in Virtual Environments, Tobias Rick, Anette von Kapri, Torsten Kuhlen, VR 2010

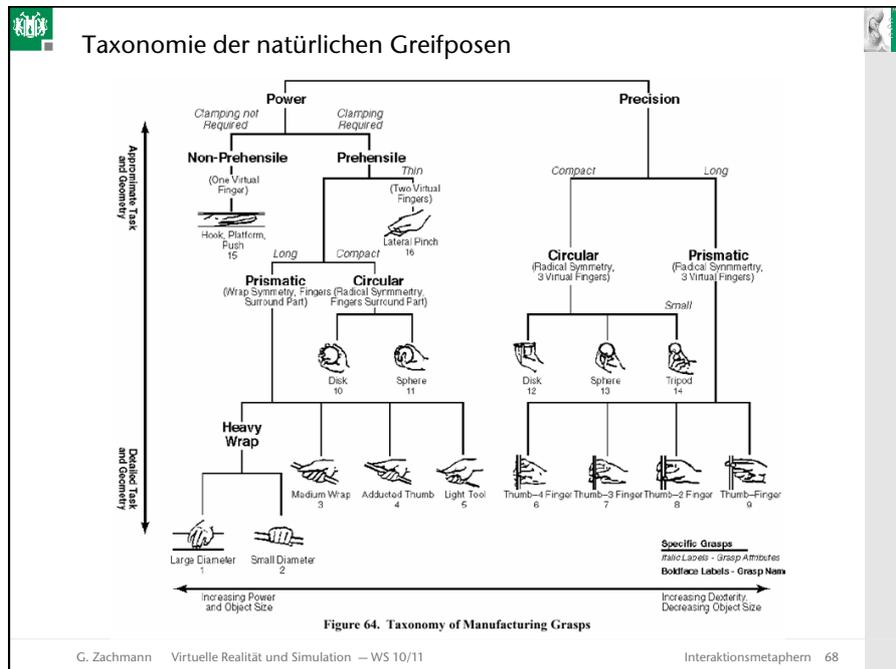
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 66

Objekt-Manipulation

- Zweithäufigste Interaktionsaufgabe
- Einfaches, **direktes** Greifen (nicht realistisch):
 1. Objekt selektieren
 2. Greifen triggern (Geste, Sprachkommando)
 3. Evtl. Kollision zwischen Hand und Objekt abwarten
 4. Objekt an die Hand "kleben"
 5. Trigger zum Loslassen abwarten
- Wie macht man "ankleben"?
 - Umhängen im Baum, oder
 - Transformationsinvariante erhalten
 - Meine Erfahrung: bei nicht-trivialen Anwendungen macht Umhängen Ärger!
- Natürliche Interaktion: Diplomarbeit! 😊



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 67



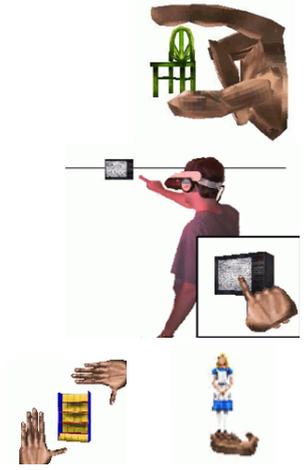
Action-at-a-Distance

- Allgemeines Interaktionsprinzip
- Beispiel: Verschieben eines Objektes aus der Entfernung:
 - Idee: skalieren Handbewegung so, daß sich die relative Position zwischen Hand und Objekt auf der Bildebene nicht ändert
 - Berechnung:
 1. d_O^t = Distanz des Obj. an alter Position
 2. P^t = Punkt auf Strahl S_t mit Distanz d_O^t
 3. d_H^t = Distanz zu Hand an alter Position
 4. d_H^{t+1} = Distanz zu Hand an neuer Position
 5. Bestimme d_O^{t+1} so, daß $\frac{d_O^t}{d_H^t} = \frac{d_O^{t+1}}{d_H^{t+1}}$
 6. P^{t+1} = Punkt auf Strahl S_{t+1} mit Distanz d_O^{t+1}
 7. Translation für das Objekt = $P^{t+1} - P^t$

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation — WS 10/11 Interaktionsmetaphern 70

Image plane interaction

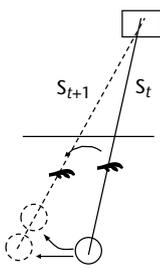
- User interagiert nicht mit 3D Objekten sondern deren 2D-Abbild
- Selektion:
 - schieße Strahl zwischen Daumen und Zeigefinger
 - Strahl von Auge durch Zeigefingerspitze
 - "Lifting palm"
 - Einrahmung mit den Händen
- Manipulation:
 - Bringe Objekt in Reichweite des Users
 - Transliere User zum Objekt
 - Evtl. Szene skalieren



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 71

Navigation:

- Projektionen von Finger und Objekt auf der Bildebene bleiben konstant zueinander
- Translation oder Orbit
- Ähnlich wie "Verschieben aus der Entfernung"
- Distanz Hand–Auge → Zoom
- Problem: Stereo
 - Lösung: während der Navigation/Selektion/... Mono rendern.



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 72

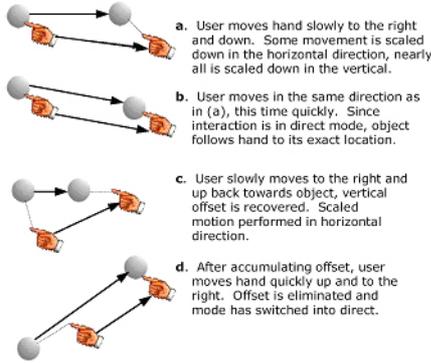
PRISM

- PRISM = "precise and rapid interaction through scaled manipulation"
- Problemstellung: präzise Manipulation im Nahbereich
- Die Idee:
 - Skaliere die Handbewegung, d.h., C-D ratio > 1
 - Immer dann, wenn Handgeschwindigkeit < Schwellwert
 - Sei
 - D_O = Distanz, um die das manipulierte Objekt transliert wird
 - D_H = Distanz, die sich die Hand seit dem letzten Frame bewegt hat
 - V_H = durchschnittl. Geschwindigkeit der Hand in der letzten ½ Sekunde
 - S = Schwellwert;
 dann wählen wir

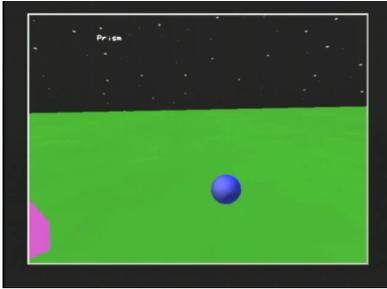
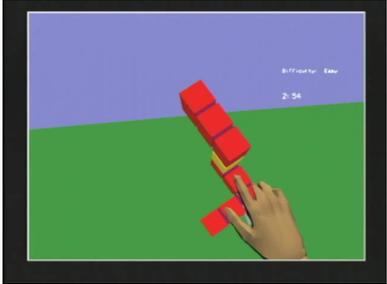
$$D_O = k \cdot D_H \quad k = \begin{cases} 1 & , V_H > S \\ V_H/S & , \min < V_H < S \\ 0 & , V_H \leq \min \end{cases}$$

- Detail:
 - Diese Skalierung kann man **unabhängig** für jede Koordinate machen
 - Vorteil: man kann so Objekte leicht exakt entlang einer Koordinatenachse bewegen
- Offset-Recovery:
 - Problem: die Hand- und Obj-Position laufen mit der Zeit auseinander
 - "Lösung": wenn sich die Hand sehr schnell bewegt, wird dieser Offset vom System reduziert (das Objekt bewegt sich schneller als die Hand)
 - Merkt der User bei schneller Handbewegung nicht
- Diese Technik geht (fast) genauso analog für **Rotationen**:
 - Man muss nur die Handrotation in Achse + Winkel konvertieren, dann skalieren, dann wieder in Rotationsmatrix konvertieren

Beispiele



- User moves hand slowly to the right and down. Some movement is scaled down in the horizontal direction, nearly all is scaled down in the vertical.
- User moves in the same direction as in (a), this time quickly. Since interaction is in direct mode, object follows hand to its exact location.
- User slowly moves to the right and up back towards object, vertical offset is recovered. Scaled motion performed in horizontal direction.
- After accumulating offset, user moves hand quickly up and to the right. Offset is eliminated and mode has switched into direct.

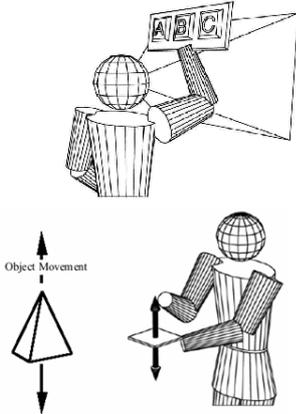



Frees, Kessler, Kay (<http://give.ramapo.edu/prism/prism.html>)

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 76

Proprioceptive Interaction

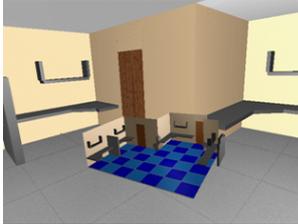
- *proprius* = (adj.) eigen
- Idee: nutze aus, dass Mensch auch mit geschlossenen Augen weiß, wo sich seine Hand befindet
- Echte "pull-down" Menüs:
 - User greift nach oben, Herunterziehen bewirkt Erscheinen von Menü
- Löschen = über die Schulter werfen
- Objekt werden aus der Ferne durch hand-held Widgets manipuliert



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 77

World-in-Miniature

- Idee: 3D-Miniatur-"Karte" (analog zu 2D-Karte)
- Interaktion in der 3D-Karte wird übertragen in Aktion in der virtuellen Umgebung
- Überblick gewinnen = WIM drehen
- Objekt bewegen = Objekt in WIM greifen und bewegen
- Navigation = Frustum in WIM verschieben, oder Punkt selektieren




G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 78

- Video:



Doug Bowman

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 79

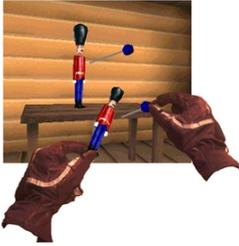
Zweihändige Interaktion

- Der Mensch hat 2 Hände:
 - eine **dominante** (rechte) und eine **nicht-dominante** (linke)
- Funktion der nicht-dominanten Hand:
 - Referenzkoordinatensystem, Kontext positionieren
- Funktion der dominanten Hand:
 - Feinmotorik innerhalb des Kontexts

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 80

Voodoo dolls [1999]

- Technik zur "remote" Manipulation / Plazierung von Objekten
- Idee: Erzeuge eine temporäre Kopie (= **voodoo doll**) der entfernten Objekte
- Ablauf einer Manipulation:
 - Erzeuge Kopie eines Referenzobjektes, mache diese an linker Hand fest
 - Das Original der Kopie bleibt fest; Kopie liefert Referenzkoordinatensystem
 - Erzeuge Kopie des zu manipulierenden Objektes, attach to right hand
 - Das Original dazu wird bewegt
 - Bewegung der rechten Kopie — **relativ zur Kopie des Referenzobjektes(!)** — wird auf das Original übertragen



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 81

- Erzeugen einer Kopie (voodoo doll):
 - Image-plane-Technik: Pinch-Geste "vor" dem Objekt
 - Größe der Kopie = $\frac{1}{2}$ Meter in der längsten Ausdehnung
- Kontext zur linken *voodoo doll*:
 - Erzeuge Kopien von Objekten in der Umgebung des Referenzobjektes
 - Wieder Image-plane-Techniken, hier "Framing" (mit Rechteck oder Kreis)



pinch



copy attached to hand



framing by circle



framing by rectangle

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 82

- Beispiel einer Manipulation:
 1. User "greift" Tisch mittels Pinch-Geste der linken Hand
 - Der Tisch kann sich in weiter Entfernung befinden
 2. System erzeugt Kopie, attacht an die linke Hand, plus Kontext-Objekte, hier z.B. Telefon und Monitor
 3. User "greift" Kopie des Telefons aus dem Kontext (wieder Pinch)
 4. System erzeugt Kopie des Telefons an der rechten Hand
 5. User plaziert Telefon an anderer Stelle auf der Kopie des Tisches
 6. System überträgt die Translation auf das originale Telefon

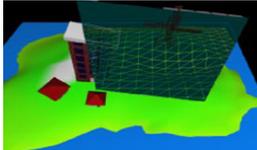
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 83

- Vorteile:
 - Linke Hand wird genau für den von Natur aus vorgesehenen Zweck eingesetzt
 - User kann auf beliebigen Skalen arbeiten, ohne explizit eine Skalierung vorgeben zu müssen
 - Skalierung geschieht implizit durch Selektion des Referenzobjektes
 - Schwer zugängliche / selektierbare Objekte werden leicht zugänglich

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 84

Magic Lenses

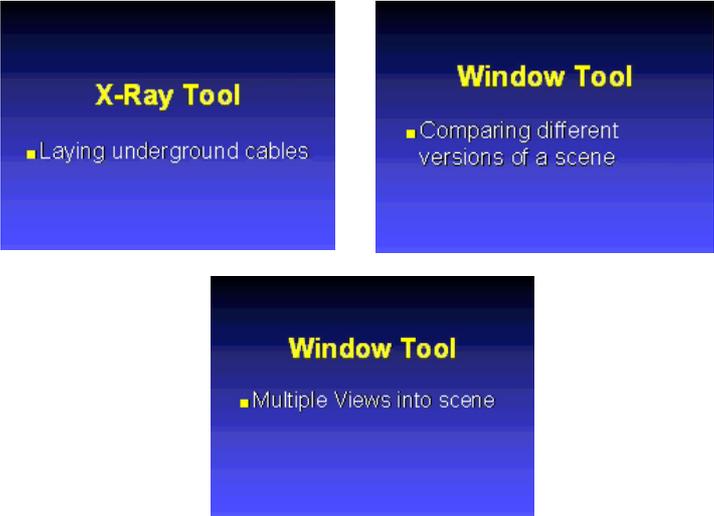
- Idee: durch eine Linse sieht man die virtuelle Umgebung "anders"
- Anders =
 - Andere Rendering-Parameter
 - Andere Geometrie
 - Anderer Viewpoint
 - Skalierung, ...
- Beispiele:
 - Wireframe
 - Vergrößerung
 - Preview-Window für *eyeball-in-hand* oder *scene-in-hand* Navigation
 - X-Ray
 - Zusätzliche, alternative Viewpoints
 - Alternative Geometrie
- Magic lenses können auch durch ein Volumen definiert werden





G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 85

Videos



- **X-Ray Tool**
 - Laying underground cables
- **Window Tool**
 - Comparing different versions of a scene
- **Window Tool**
 - Multiple Views into scene

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 86

- Single-pass 3D Lens Rendering and Spatiotemporal “Time Warp”
Example, Jan-Phillip Tiesel, Christoph W. Borst, Kaushik Das, Emad Habib, VR 2010,

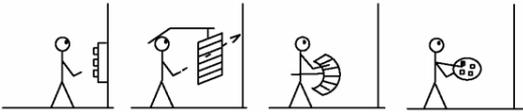
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 87

System Control

- Die "dritte" große Kategorie von Interaktionsaufgaben in VR
 - Das ungeliebte Kind in der VR-Interaktions-Community ☹
 - Interaktionsaufgaben: Systemzustand ändern
 - Und alles andere, das man nicht recht einordnen kann ☹
- Eine Taxonomie ist hier kaum machbar
- Die typischen Techniken:
 - Menus
 - Spracherkennung
 - Gesten(-menus)
 - Physikalische Geräte

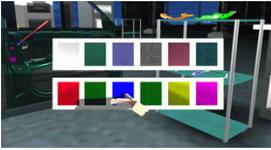
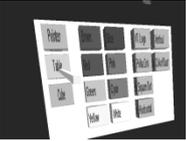
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 88

Menüs

- 3 Stufen
 1. Menü aufklappen
 2. Navigieren durch Menü
 3. Item selektieren
- Taxonomie:
 - Eingabemöglichkeiten: Gesten, Sprache, Buttons, ...
 - Positionierung
 - Selektion
 - Dimension des Menüs
- Beispiel Positionierung des Menüs:
 

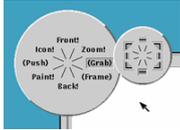
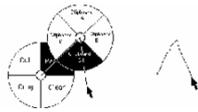
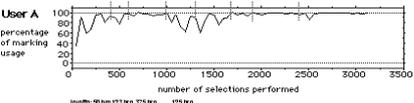
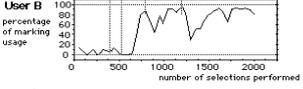
G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 89

Beispiele

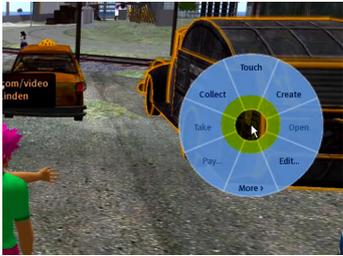
- 3D, Strahl aus Zeigefinger/Handrücken
 
- 2D overlay, relative Handbewegung → Cursorbewegung
- 3D, fest oder Kopf-zentriert, Strahl von Auge durch Zeigefinger
 

- Hand-held
 


G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 90

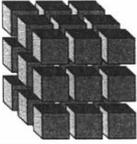
"Marking Menus" (a.k.a pie menu)

- Ordne Items um ein Zentrum herum an (Kreis, Würfel, ..)
 
- Beim Auslösen: ordne Menü um aktuelle Zeigerposition herum an
- Experten können Menü "blind" bedienen
- Übergang von "novice mode" zu "expert mode" ist kontinuierlich
- Marks (Mausgesten) sind wesentlich effizienter als Menüs:
 



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 91

■ Video (2D):
 

 [SecondLife]

■ In 3D?
 



- Direkte Übertragung → "control cube"
- Mäßig erfolgreich
- Wie geht es besser ?

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 92

Tangible User-Interfaces

- Idee: Instanziiere virtuelle/abstrakte Interaktionsmetaphern (Handles, Icons, Sliders, ...) wieder physikalisch
- **Defintion: Tangible User Interface (TUI):**
 An attempt to give physical form to digital information, making bits directly manipulable and perceptible by people.

Tangible Interfaces will make bits accessible through

- augmented physical surfaces (e.g. walls, desktops, ceilings, windows),
- graspable objects (e.g. building blocks, models, instruments), and
- ambient media (e.g. light, sound, airflow, water-flow, kinetic sculpture).

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 93

■ Analogien zwischen GUIs und TUIs:

TUI: Tangible UI					
	lens	phicon	tray	phandle	instrument
GUI: Graphical UI					
	window	icon	menu	handle	control

■ Beispiele:



Tangible Magic Lens

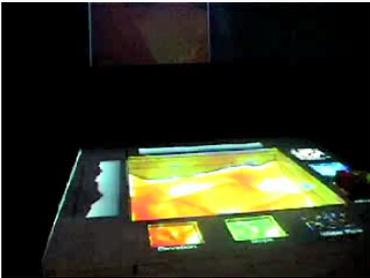


Tangible Slider

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 94

■ Beispiele

*Sandscape
(Sand als Terrain)*



<http://tangible.media.mit.edu>

*GranulatSynthese
(interaktive Installation)*



<http://imve.informatik.uni-hamburg.de/projects/GranulatSynthese>

G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 95

*IP Network Design Workbench
(Pucks zur Manipulation
von Knoten und Kanten)*



http://tangible.media.mit.edu/projects/ipnet_workbench

Palette & PaperButtons



G. Zachmann Virtuelle Realität und Simulation – WS 10/11 Interaktionsmetaphern 96