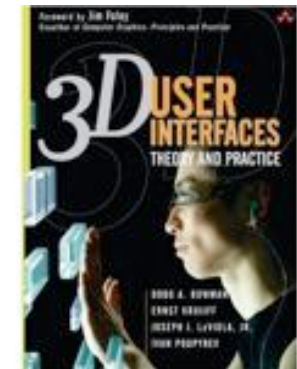


## TECHNIQUES D'INTERACTION 3D: SÉLECTION ET MANIPULATION

Géry Casiez    <http://www.lifl.fr/~casiez>  
RVI Master 2 spécialité IVI – Université de Lille 1

## Références bibliographiques

- 3D User Interfaces: Theory and Practice. Doug A. Bowman, Ernst Kruijff, Joseph J. Laviola, JR. Ivan Poupyrev. Addison Wesley (2005)
- Articles de recherche
- Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)



## Techniques d'interaction

- Technique d'interaction = méthodes utilisées pour accomplir une tâche donnée via une interface
- Interface = ensemble du matériel + logiciel
- Tâches d'interaction 3D
  - Sélection et manipulation
  - Navigation: parties motrice et cognitive
  - Contrôle d'applications

## Programme des 4 prochains cours

- 1<sup>er</sup> cours: Techniques de sélection et manipulation 3D
- 2<sup>e</sup> cours: Techniques de navigation 3D
- 3<sup>e</sup> cours: Conception et développement d'interfaces 3D
- 4<sup>e</sup> cours: Evaluation des interfaces 3D

## Sélection et manipulation 3D

- Technique de manipulation 3D = composants logiciels qui mettent en relation les entrées utilisateur avec les position et orientation d'un objet dans l'environnement virtuel
- Qu'est ce qu'une tâche de manipulation 3D?
- Relation entre propriétés des périphériques d'entrée et les techniques de manipulation

## Caractéristiques des périphériques d'entrée

- Discret / continu
- Nombre de degrés de liberté (ddl)
- Intégration des ddl
- Grandeur physique mesurée
- Grandeur absolue ou relative
- Résolution / bruit de mesure
- Fréquence
- Latence
- Espace de travail

## Caractéristiques des périphériques d'entrée



## Périphériques de tracking

- 6 ddl
- Magnétique (résolution: 3mm en position, 0.1 degré en rotation) - Ascension Technology Corporation
- Acoustique
- Inertiel
- Optique
- Mécanique
- Hybride



## Qu'est ce qu'une tâche de manipulation 3D?

- Restriction à la manipulation spatiale d'objets rigides
- Bcq de variations de tâches de manipulation caractérisées par une multitude de variables:
  - ▣ Buts de l'application, taille des objets, forme des objets, agencement des objets, distance entre les objets et l'utilisateur, caractéristiques de l'environnement physique, état physique et psychologique de l'utilisateur
- Techniques généralement développées pour un contexte particulier

## Tâches canoniques

- Hypothèse de travail: toute tâche de manipulation est composée des mêmes sous-tâches élémentaires
  - ▣ Sélection: acquisition ou identification d'un objet particulier dans un ensemble
  - ▣ Positionnement: changer la position d'un objet
  - ▣ Orientation: changer l'orientation d'un objet
- Paramètres qui influencent la performance et l'utilisabilité des techniques: i.e. objet à portée de main

## Paramètres influençant les tâches canoniques

- Sélection: distance et direction de la cible, taille de la cible, densité des objets autour de la cible, nombre de cibles à sélectionner, occultation de la cible
- Positionnement: distance et direction des positions initiale et finale, distance de déplacement, précision requise au positionnement
- Rotation: orientations initiale et finale, angle de rotation, précision requise

## Tâche de manipulation spécifiques à une application

- Exemple
  - ▣ Positionner une sonde médicale par rapport à des modèles 3D d'organes virtuels pour une application de simulateur médical

## Techniques de manipulation et périphériques d'entrée

- Le choix des périphériques restreint souvent les techniques de manipulation qui peuvent être utilisées
- Deux caractéristiques clés:
  - ▢ Nombre de degrés de liberté
  - ▢ L'intégration des degrés de liberté
- Privilégier les périphériques qui intègrent un grand nombre de degrés de liberté pour améliorer les performances utilisateurs

## Contrôle en position vs. Contrôle en vitesse

- Le périphérique mesure la position de la main ou la force qui lui est appliquée
- Le contrôle en position permet d'obtenir de meilleures performances pour les tâches de manipulation
- Contrôle en vitesse est meilleur pour les tâches de navigation

## Critères ergonomiques

- La forme d'un périphérique 3D influence beaucoup le choix de la technique d'interaction
  - ▢ Périphériques attachés à la main ou périphérique manipulé par les doigts

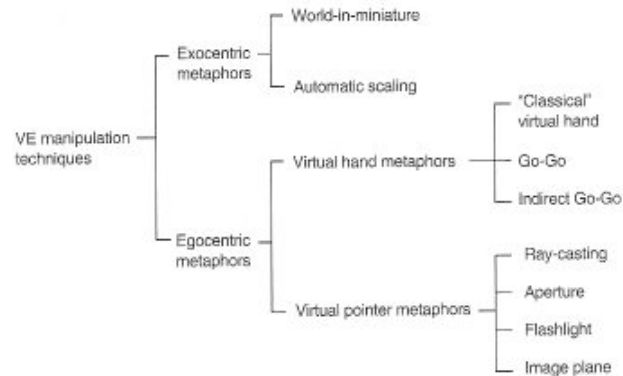


## Classification des techniques de manipulation 3D

- Techniques isomorphiques
  - ▢ Plus naturelles mais nombreuses limitations
- Techniques non-isomorphiques
  - ▢ Moins naturelles mais outils « magiques », meilleurs que la réalité fournis aux utilisateurs
  - ▢ Manipulation différente du monde réel mais en gardant l'utilisabilité et la performance
- La majorité des techniques sont non isomorphiques quand le réalisme strict n'est pas requis

## Classification des techniques

- La plupart des techniques sont basées sur quelques métaphores d'interaction



## Techniques de pointage

- Interagir avec les objets hors de portée en les pointant
- Quand le vecteur défini par la direction de pointage entre en intersection avec un objet virtuel, l'utilisateur peut le sélectionner en générant un événement discret (bouton ou commande vocale)
- Une fois l'objet sélectionné, il est attaché à l'extrémité du vecteur pour manipulation
- Exemple: put-that-there

## Put-that-there

19

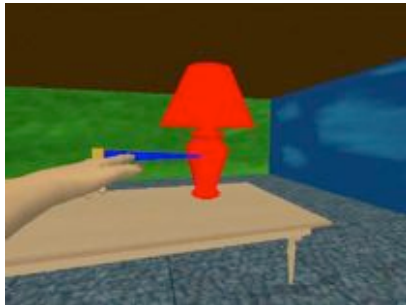


## Techniques de pointage

- Technique de sélection puissante qui donne de meilleurs résultats que les techniques basées sur les mains virtuelles
- Technique de positionnement mauvaise

## Technique Ray-Casting

- L'utilisateur pointe les objets avec un rayon virtuel qui définit la direction de pointage
- Une ligne virtuelle est attachée à la main pour visualiser la direction



## Technique Ray-Casting

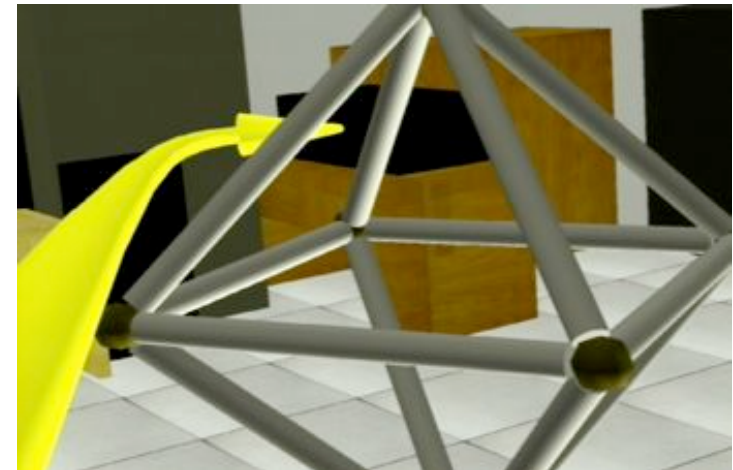
- $p(\alpha) = h + \alpha \vec{p}$ 
  - ▣  $h$ : position de la main virtuelle
  - ▣  $\vec{p}$ : direction du rayon attaché à la main
  - ▣  $0 < \alpha < +\infty$
- Si plusieurs objets entre en intersection avec la droite  $p(\alpha)$ , seul le plus proche est sélectionné
- Technique très efficace sauf quand une très grande précision est nécessaire (objets petits ou lointains)
- Utilisation de filtrage  
<http://www.lifl.fr/~casiez/1euro>

## Ray-casting à deux mains

- Utilisation des deux mains pour définir la direction du rayon
  - ▣ La main la plus proche de l'utilisateur définit l'origine du rayon alors que l'autre définit la direction dans laquelle pointe le rayon
- $p(\alpha) = h_l + \alpha (h_r - h_l)$ 
  - ▣  $h_r$  et  $h_l$ : positions 3D des mains droite et gauche
  - ▣  $0 < \alpha < +\infty$
- Inconvénient: suivi des deux mains
- Avantage: Interaction plus riche et efficace

## Ray-casting à deux mains

24



## Technique Flashlight (1994)

- Flashlight illumine un objet à la manière d'une lampe de poche qui éclaire un objet sans le pointer précisément
- Flashlight fonctionne de la même façon que ray-casting en remplaçant le rayon par un cône avec le sommet du cône au niveau du périphérique
- Sélection facile des petits objets lointains
- Problème quand plusieurs objets sont dans le volume du cône

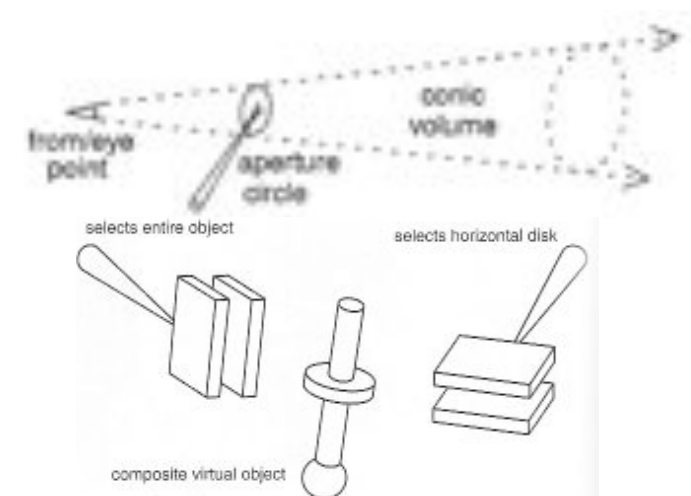
## Technique Flashlight (1994)

- 2 règles pour lever l'ambiguïté:
  - ▣ L'objet le plus proche de l'axe de symétrie du cône est sélectionnable
  - ▣ Si deux objets sont à même distance de l'axe, le plus proche du périphérique est sélectionné
- Il n'est pas nécessaire qu'un objet soit complètement dans le volume du cône
- Difficile de sélectionner des petits objets proches
  - ▣ Nécessaire de régler l'angle d'ouverture du cône

## Technique Aperture (1996)

- Technique Flashlight avec possibilité de régler l'angle d'ouverture du cône
  - ▣ Utilisation de la position de la tête de l'utilisateur pour le sommet du cône
  - ▣ La position de la main permet de régler la direction du cône et l'angle d'ouverture
- $p(\alpha) = e + \alpha(h - e)$ 
  - ▣  $h$  et  $e$  : positions 3D du point de vue et de la main

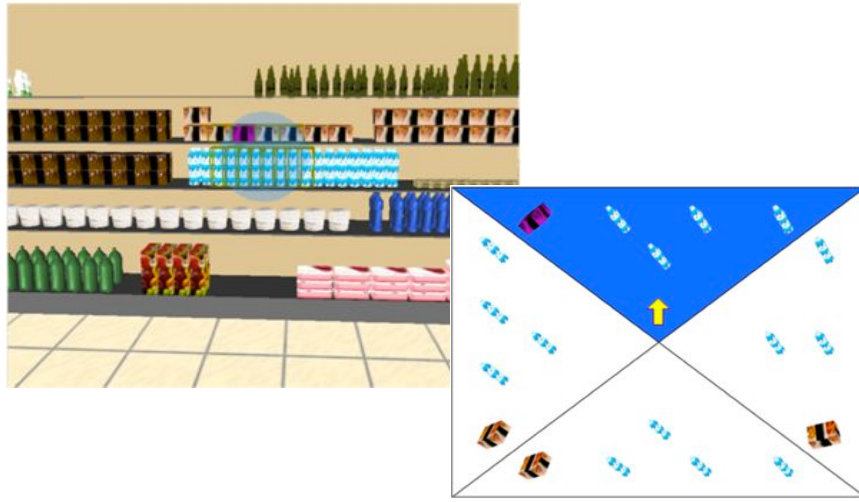
## Technique Aperture (1996)





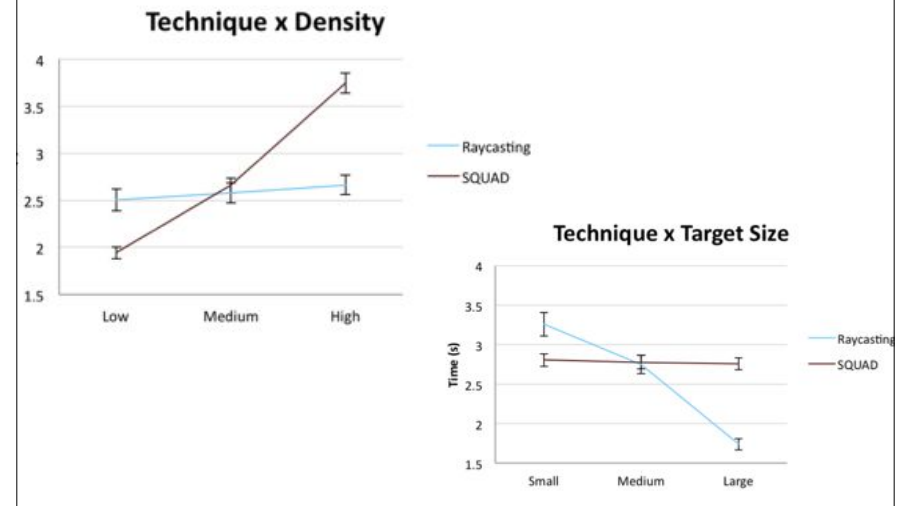
## SQUAD [Kopper et al. 2011]

29



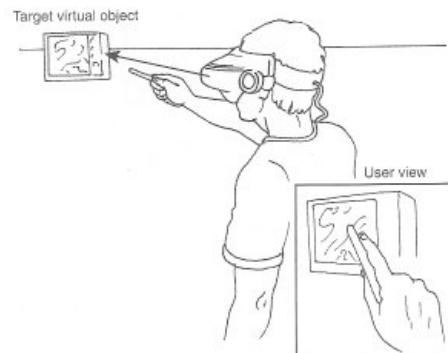
## SQUAD

30



## Techniques basées plan image (1997)

- Sélection et manipulation d'objets 3D en touchant et manipulant leur projection 2D
- Sélection simplifiée à un contrôle de deux degrés de liberté
- Plusieurs variations



## Technique Fishing-Reel

- Utilisation d'un périphérique supplémentaire pour contrôler la longueur du rayon virtuel
- Utilisation d'une technique de ray-casting puis le rayon est allongé ou raccourci à l'aide d'une molette ou d'une paire de boutons
- Séparation des degrés de liberté qui peut affecter les performances



## Mains virtuelles

- L'utilisateur peut sélectionner et manipuler directement des objets avec ses mains
- Utilisation d'un pointeur 3D (modèle 3D de main ou sphère)
  - Utilisation de versions semi-transparentes
- La position et l'orientation de la main virtuelle correspondent à celles de la main réelle
- Pour sélectionner, l'utilisateur met en correspondance la main virtuelle avec l'objet et utilise une technique produisant un événement discret (appui bouton, commande vocale, geste)

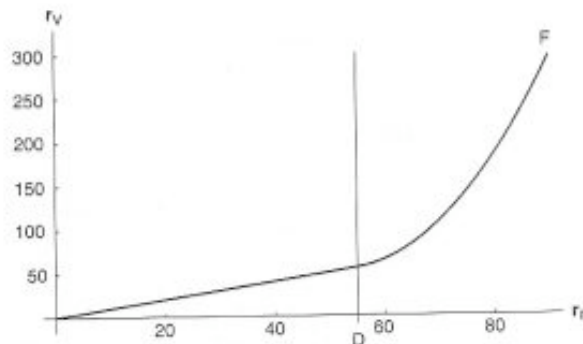
## Main virtuelle simple

- Relation directe entre les déplacements des mains réelle et virtuelle: application d'un facteur d'échelle entre les systèmes de coordonnées réels et virtuels
  - $p_v = \alpha p_r$ ,  $R_v = R_r$
  - $p_r$ ,  $R_r$ , position et orientation de la main réelle,  $v$  pour virtuelle
- Technique isomorphique intuitive
- Seuls les objets à portée de main peuvent être manipulés
  - Utilisation d'une technique de navigation pour se rapprocher de l'objet
  - Utilisation de la technique Go-go



## Technique Go-go (1996)

- Amélioration de la technique de main virtuelle simple
  - Modification interactive de la longueur du bras

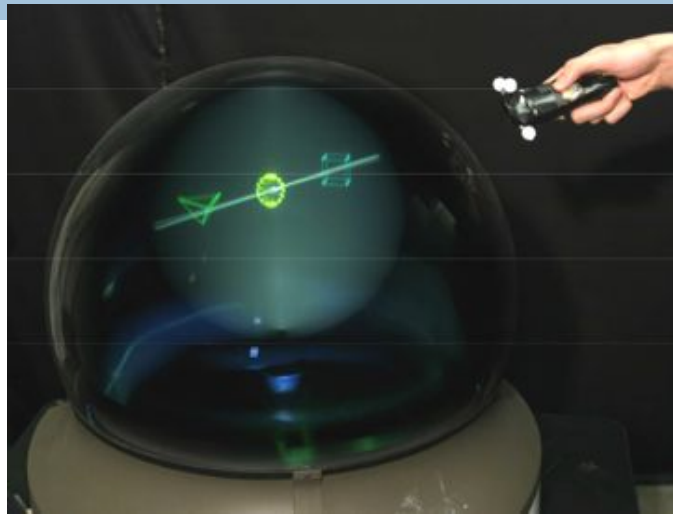


## Technique Go-go (1996)

- Interaction fluide (courte et longue distance)
- Problème de précision à longue distance

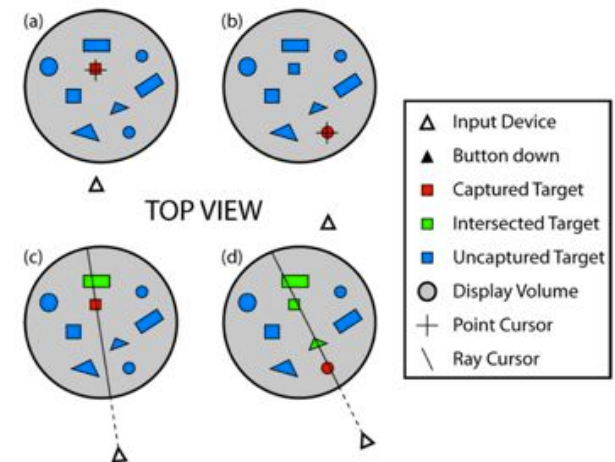
## 3D volumetric display [Grossman et al 2006]

37



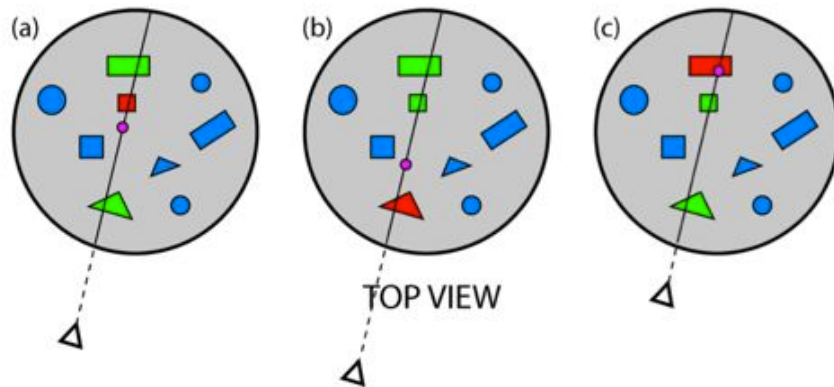
## 3D volumetric display

38



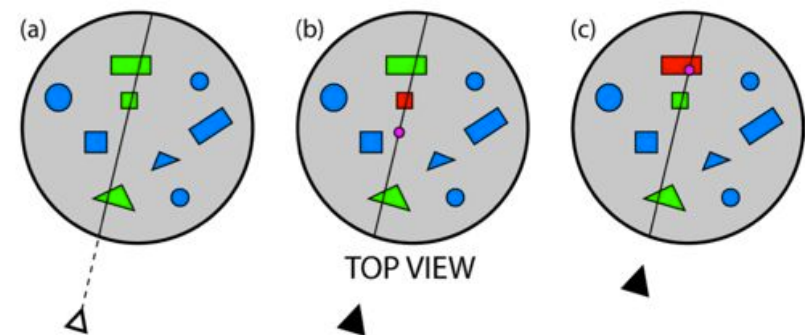
## Depth Ray

39



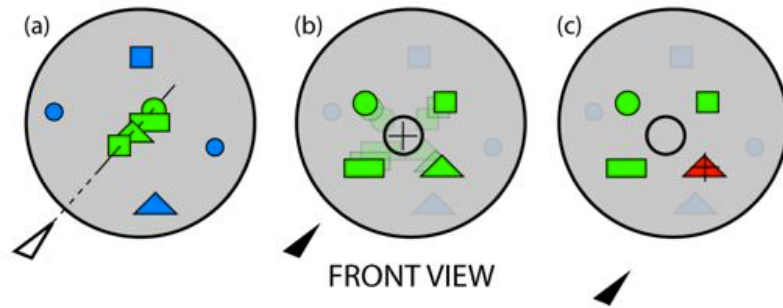
## Lock Ray

40



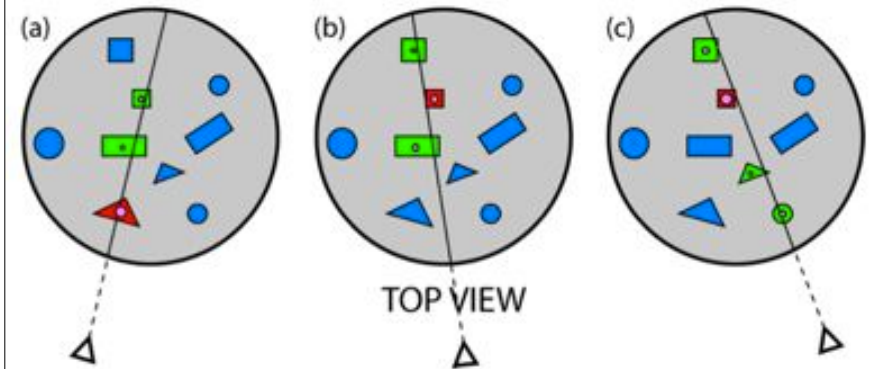
## Flower Ray

41



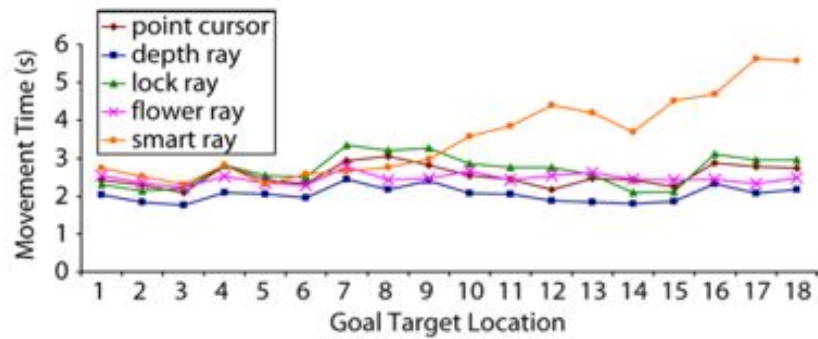
## Smart Ray

42



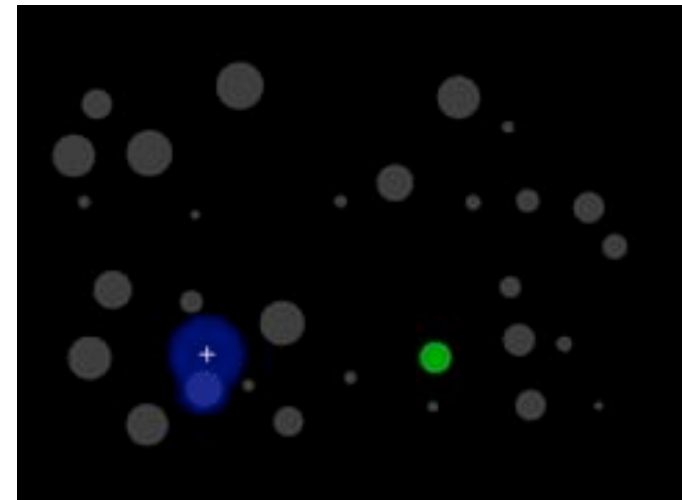
## Comparison

43



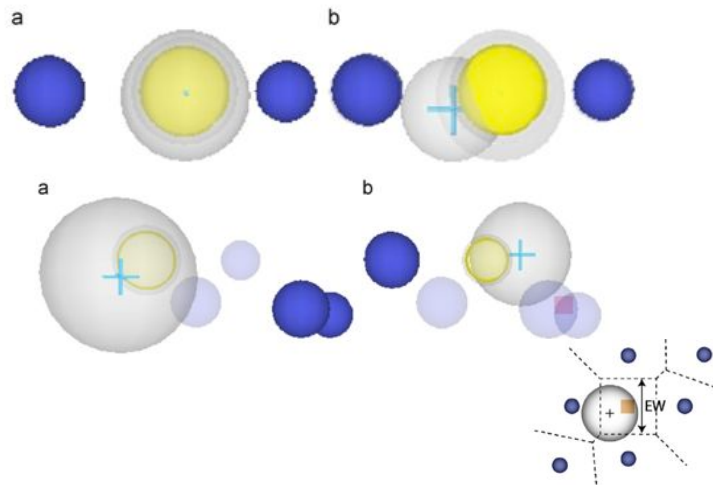
## 3D Bubble

44



## 3D Bubble

45



## Technique World-in-Miniature (1995)

- Réduire l'échelle du monde pour le rendre à portée de main
- L'utilisateur interagit de manière indirecte avec les objets du monde en interagissant avec les copies du WIM



## Technique World-in-Miniature (1995)

- Manipulation facile des objets qui sont à portée ou hors de portée de l'utilisateur
- Combinée avec des techniques de navigation en manipulant une représentation de l'utilisateur
- Problèmes quand l'environnement est très grand
- Utilisée avec succès pour les interfaces 3D en réalité augmentée et les interfaces de bureau
- Généralisation des cartes d'orientation dans les jeux 3D

## Combinaisons de techniques

- Difficile de concevoir une seule technique qui réponde à tous les scénarios
- Techniques d'agrégation
- Techniques d'intégration

## HOMER

- **H**and-centered **O**bject **M**anipulation **E**xtending **R**ay-casting
- L'utilisateur sélectionne un objet en utilisant une technique de ray-casting
- Au lieu d'attacher l'objet au rayon, la main virtuelle de l'utilisateur bouge instantanément à l'objet et s'y attache
- La technique bascule alors en mode manipulation, permettant à l'utilisateur de positionner et orienter l'objet virtuel

## Scale-World Grab (1997)

- L'utilisateur commence par sélectionner un objet en utilisant une technique de sélection (ici technique basée plan image)
- Après sélection, l'interface passe en mode manipulation et l'utilisateur peut positionner et orienter les objets virtuels dans l'espace
- Au lieu de mettre à l'échelle les déplacements de la main, la technique rétrécit l'environnement complet autour du point de vue de l'utilisateur

## Rotation 3D non isomorphiques

- Objectif: amplifier la rotation de l'objet virtuel
  - ▢ Utilisation plus efficace de périphériques avec amplitude limitée
  - ▢ Diminuer le débrayage
- Réduire la rotation de l'objet virtuel
  - ▢ Contrôle précis en rotation

## Rotation 3D non isomorphiques

- Utilisation des quaternions
$$q_d = q_c^k$$

$q_c$  : quaternion représentant l'orientation du périphérique  
 $q_d$  : orientation de l'objet réel
- Rotation absolue
$$q_d = (q_c q_0^{-1})^k q_0$$
- Rotation relative
$$q_{d_i} = (q_{c_i} q_{c_{i-1}}^{-1})^k q_{d_{i-1}}$$

## Utilisabilité des techniques

53

- Les rotations absolues ne préservent pas toujours la direction de la rotation 3D
- Mais elles garantissent la même origine pour les deux rotations
  - ▣ Importance variable suivant les indices tactiles présents sur le périphérique

## Manipulation 3D pour le bureau

54

- Comment faire quand on ne dispose pas de périphérique 6 ddl mais un clavier et une souris?
- Séparation des degrés de liberté

## Interfaces 2D

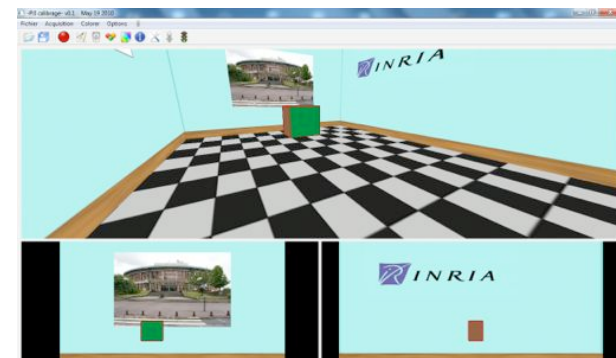
55

- Utilisation du clavier pour rentrer les coordonnées de position et d'orientation de l'objet
- Utile quand une grande précision est nécessaire
- Difficulté de faire les calculs mentaux

## Interfaces 2D

56

- Utilisation de plusieurs vues orthographiques sur la scène
  - ▣ L'utilisateur manipule 2 ddl sur chaque vue



## Interfaces 2D

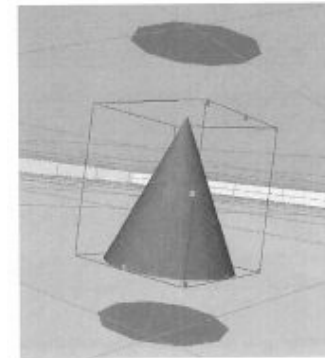
57

- Utilisation de potentiomètres
  - ▣ Chaque potentiomètre contrôle 1 ddl

## Widgets 3D

58

- Utilisation de widgets et de poignées
- Sélection d'un widget et déplacement: manipulation visuelle de contraintes



## Trackball virtuelle

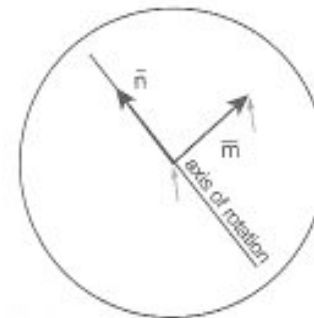
59

- L'objet est enfermé à l'intérieur d'une sphère transparente qui peut tourner autour du centre de l'objet
- On considère que le pointeur de la souris est sur la sphère et la fait tourner autour de l'axe perpendiculaire à la direction de déplacement
- Visualisation d'un cercle ou d'une sphère
- Rotation autour de «l'axe z» en déplaçant la souris le long du cercle ou en dehors

## Trackball virtuelle

60

- 1) détermination de l'axe de rotation
  - ▣ Appartient au plan de l'écran et est orthogonal à un incrément de déplacement de la souris
- 2) détermination de l'angle de rotation



$$\begin{aligned}\vec{m} &= (m_x, m_y) \\ \vec{n} &= \left(-\frac{m_x}{d}, \frac{m_y}{d}, 0\right) \\ d &= \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \\ \theta &= \arctan\left(\frac{d}{R}\right)\end{aligned}$$



## Trackball virtuelle

61

### □ Quaternions

$$\begin{aligned}
 p_{x_i} &= (m_{x_i} - C_x)/R \\
 p_{y_i} &= (m_{y_i} - C_y)/R \\
 p_i &= (p_{x_i}, p_{y_i}, \sqrt{1 - p_{x_i}^2 - p_{y_i}^2}) \\
 q(\vec{v}, w) &= p_i \text{ conj}(p_0)
 \end{aligned}$$

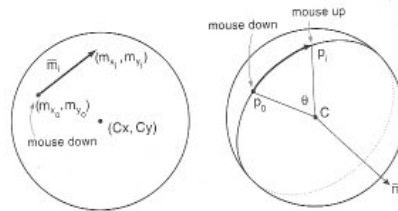
$p_i$  : point 3D sur la sphère

$(C_x, C_y)$  : coordonnées du centre du cercle

$(m_{x_i}, m_{y_i})$  : position courante de la souris

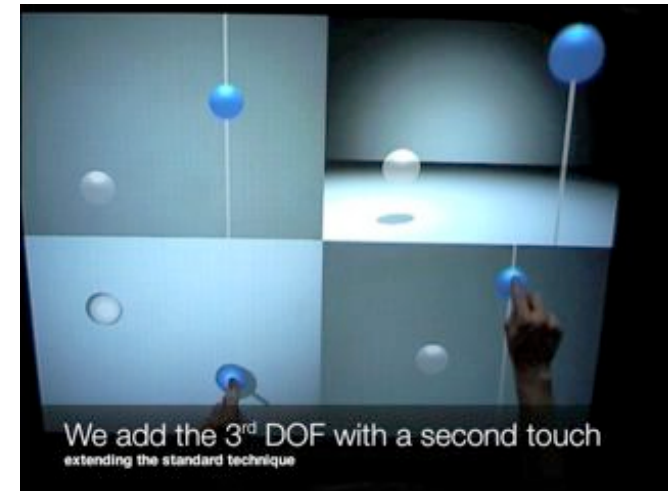
$R$  : rayon de la sphère

$p_0$  : point initial sur la sphère quand l'utilisateur clique sur la souris



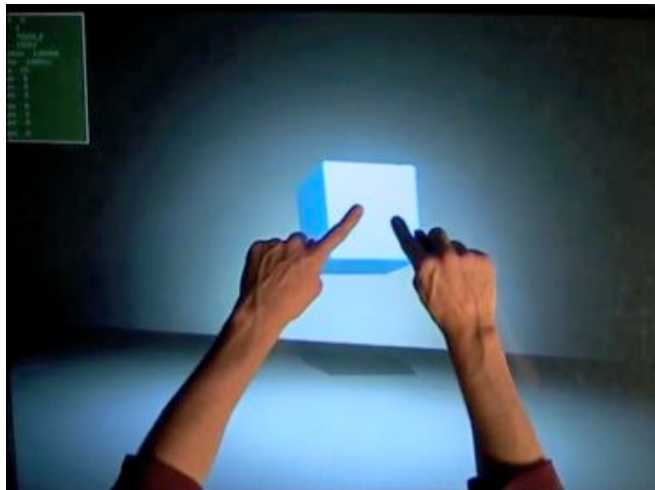
## Manipulation multitouch

62



## Manipulation multitouch

63



## Guide de conception

64

- Analyser la tâche pour trouver la technique adaptée
  - ▣ Quelle précision pour la manipulation?
  - ▣ Sélection seulement, positionnement et sélection?
  - ▣ Distance de déplacement des objets virtuels?
  - ▣ Taille des objets virtuels manipulés?
- Faire correspondre la technique d'interaction et le périphérique
  - ▣ Périphériques 6 ddl -> techniques favorisant un contrôle intégré des ddl
- Utiliser des techniques qui réduisent le débrayage

## Guide de conception

65

- Les techniques non-isomorphiques sont utiles et intuitives
- Utiliser des techniques de pointage pour la sélection et des techniques de mains virtuelles pour la manipulation
- Faire un compromis entre les techniques et l'environnement
- Combiner les techniques: il n'y a pas une seule bonne technique