

Cours retour haptique

Ensimag 3a
2010

Sabine Coquillart
INRIA
Sabine.Coquillart@inria.fr

Retours sensoriels

- Vision : présentation d'1 image ou 2 images stéréo
- Oûie : vibration de l'air pour exciter le tympan (1 ou 4 haut-parleurs)
- Goût : émission de molécules (existantes ou de synthèse)
- Odorat : émission de molécules (existantes ou de synthèse)
- Toucher : regroupe des sensations basées sur des phénomènes physiques très différents (température, texture de surface, vibrations, pression mécanique,...)

Retour haptique - définition

- Haptique vient du grec *haptesthai* (= sentir par le toucher)
- D'après Webster 1985, synonyme de retour tactile
- Sens le plus courant aujourd'hui :
retour tactile et retour d'effort

Retour tactile – retour d'effort

- Retour d'effort, ou retour kinesthésique : restitue une/des forces (force de contact lors de collisions rigide, force de contact lors de collisions élastiques – dureté, champs de vecteurs - poids, inertie, raideur, flux,...). Il sollicite les muscles, tendons et articulations.
- Retour tactile : température, texture de surface, matière, vibrations,... Il sollicite les récepteurs situés sous la surface de la peau.

Applications

- Médecine : simulateurs chirurgicaux (formation au geste chirurgical,...), aide pour les handicapés (interfaces haptiques pour aveugles), rééducation,...
- Jeux
- Enseignement/formation : (formation à la soudure, fraisage,...)
- Industrie : CAO-prototypage virtuel (assemblage/dé-assemblage), visualisation scientifique,...
- Art : sculpture,...



Entraînement aux opérations de déminage

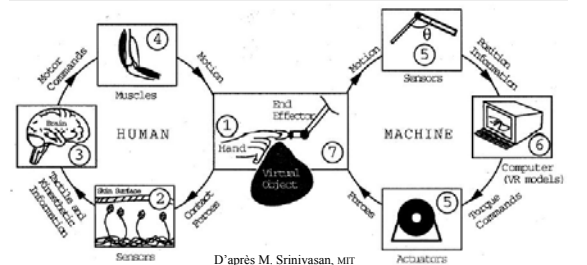


Formation au fraisage



Sculpture virtuelle

Interaction haptique



Homme

Machine : périphérique haptique + rendu haptique

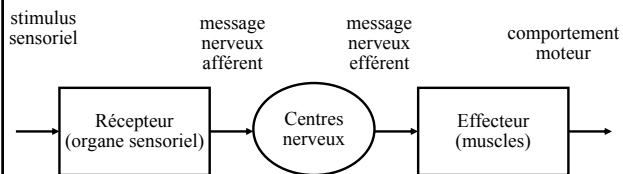
Retours haptiques

- Retour haptique actif
- Retour haptique passif
- Retour pseudo-haptique
- Substitutions sensorielles

Plan

- Perception haptique humaine
- Périphériques haptiques
- Rendu haptique
- Retour pseudo-haptique
- Applications

Transfert de l'information dans l'organisme



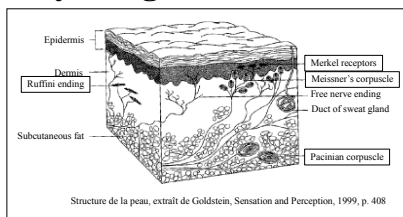
Extrait de "Le traité de la réalité virtuelle", Ph. Fuchs & al.

Physiologie du sens haptique

Principe :

Des récepteurs : thermo-récepteurs pour la température, mécano-récepteurs pour des actions mécaniques, envoient des décharges électriques au cortex qui sont intégrées par le système nerveux général.

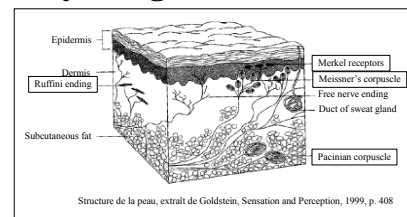
Physiologie du sens tactile



Structure de la peau, extrait de Goldstein, Sensation and Perception, 1999, p. 408

Quatre types de récepteurs
Disques de Merkel et corpuscules de Ruffini, Meissner et Pacinian

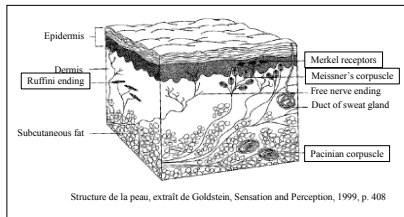
Physiologie du sens tactile



Structure de la peau, extrait de Goldstein, Sensation and Perception, 1999, p. 408

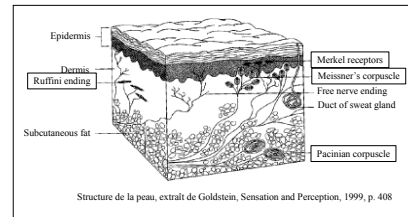
Les disques de Merkel et les corpuscules de Ruffini :
captent les déformations de la peau causées par des
stimulus non vibrants

Physiologie du sens tactile



Disques de Merkel :
réagit aux déformations verticales de la surface de la peau
Corpuscules de Ruffini
réagit aux étirements de la peau

Physiologie du sens tactile



Corpuscules de Meissner :
capte la vitesse de déformation due aux mvts du stimuli
Corpuscules de Pacinian, ou récepteur de vibration :
capte l'accélération du stimuli, perception de vibrations

Physiologie de la proprioception / du sens kinesthésique

Sensibilité mécanique et interne du corps.

Sensibilité :

- à la position dans l'espace,
- au mouvements du corps,
- aux forces exercées sur les muscles

Physiologie de la proprioception / du sens kinesthésique

Quatre types de récepteurs :

Les organes tendineux de Golgi situés entre les muscles et les tendons. Ils mesurent la tension des muscles

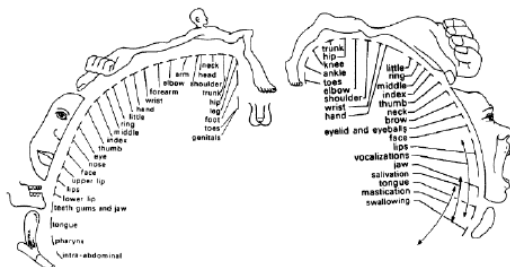
Fuseaux neuro-musculaires situés entre les fibres des muscles. Ils sont excités par l'étirement des fibres musculaires voisines (actif ou passif). Déterminent la vitesse d'étirement des muscles

Récepteurs de la peau, principalement les fibres nerveuses à terminaisons libres (free nerve), et les corpuscules de Ruffini et Pacinian. Lié aux étirements de la peau associés aux mouvements du corps au niveau des articulations et aux extrémités du corps (mains, pieds, face)

Appareil vestibulaire de l'oreille interne. Si la tête est au repos, renseigne sur l'inclinaison de la tête par rapport à la verticale. Sinon, renseigne sur l'accélération subie par la tête.

La fatigue musculaire aide aussi à la perception (de l'intensité) des forces

Physiologie du sens haptique



Représentation des différentes parties du corps déformées selon la place qu'elles occupent dans les cortex sensitif (gauche) et moteur (droite)

Perception haptique humaine

Fréquence de rafraîchissement

Vision : fréquence minimale pour détecter une continuité du signal vidéo : de 25Hz (25 images/s) à 60 Hz pour un confort visuel lors de mouvements de la tête.

Retour d'effort : 1000 Hz

Perception haptique humaine

Résolution spatiale

Manip : toucher la peau simultanément en deux points avec un objet pointu tel qu'une pointe de compas. Faire décroître la distance entre les deux impacts jusqu'à ce que le sujet ne détecte plus qu'un impact. Distance moyenne au dessus de laquelle deux points sont détectés :

Bout du doigt : 2.5 mm

Paume de la main : 11 mm

Cuisse : 67 mm

La chaleur améliore la discrimination alors que l'âge la détériore.



Perception haptique humaine

Proprioception

Sensibilité à l'angle des articulations, JND pour plusieurs articulations du bras et de la main :

Doigts : 2.5 degrés

Poignet : 2.0 degrés

Coude : 2.0 degrés

Epaule : 0.8 degrés



Perception haptique humaine

Force maximum applicable

Prise en main d'un objet : homme 400 N, femme 228 N

Pincement avec les doigts : homme 65 N, femme 45 N



Sensibilité de perception

- Faible sensibilité à la justesse d'une position 3D
- Bonne sensibilité au changement de magnitude d'une force
- Force sensibilité au changement d'orientation d'une force



Aspects cognitifs de la perception haptique humaine

Voir retour pseudo-haptique



Perception haptique humaine

Pour en savoir plus :

Force and Touch Feedback for Virtual Reality

G.C. Burdea, Wiley Interscience Publication.

Le traité de la réalité virtuelle

Ph. Fuchs, ..., Ecole des Mines de Paris, Les Presses.



Plan

- Perception haptique humaine
- Périphériques haptiques
- Rendu haptique
- Retour pseudo-haptique
- Applications



Périphériques haptiques

- Retour d'effort
 - Périphériques généraux
 - Desktop (souris, doigt, stylo, joystick)
 - 3D et plus
 - Périphériques spécifiques
 - Médical
 - Conduite
 - Marche
- Retour tactile



Desktop - souris

Souris à retour d'effort

- Souris fixée sur le socle
 - Limitée en rotations

Wingman Force Feedback

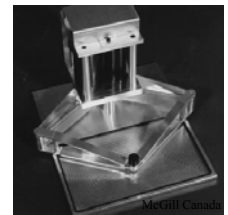
Logitech



Desktop - doigt

Pentagraph

- 2 degrés de liberté
- Peu de frottements
- Faible inertie
- Forte rigidité



Desktop - stylo

Stylo à retour d'effort

PenCAT/Pro3D
Haptic Technologies Inc. (CA)



Desktop - joystick

Joystick à retour d'effort

- Side Winder Force Feedback Pro
Microsoft
- Souvent 2 ou 3 ddl



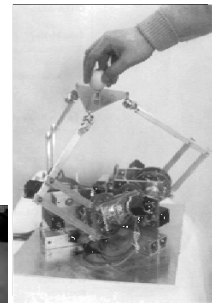
Périphériques haptiques

- Retour d'effort
 - Périphériques généraux
 - Desktop (souris, doigt, stylo, joystick)
 - 3D et plus
 - Périphériques spécifiques
 - Médical
 - Conduite
 - Marche
- Retour tactile



Haptic Master

- Conçu à l'univ. de Tsukuba, Japon
- Commercialisé par Nissho electronics Corp.
- 6ddl
- 3 liaisons en parallélogramme (pantographe) avec 3 moteurs chacun
- Sphère de travail de ~ 40cm de diamètre
- Bande passante 50Hz
- Force max. 2.5kg
- Grand espace de travail



Delta

- Forces maximales 20.0 N
- Forces continues maximales 20.0 N
- Résolution 0.03mm
- Rigidité 15.0 N/mm
- Pleine compensation de pesanteur
- Freins électromagnétiques



Novint

- Zone de travail : 160 W x 120 H x 70 D mm.
- Poids (périphérique seul) : 1.8 Kg
- Résolution nominale : 450 dpi.
- Frottements : < 0.26 N
- Force Maximale : 3.3 N
- Force continue (24hrs.) : > 0.88 N
- Rigidité :
 - Axe X > 1.26 N/mm.
 - Axe Y > 2.31 N/mm.
 - Axe Z > 1.02 N/mm.



Périphériques 3D et plus

PHANToM

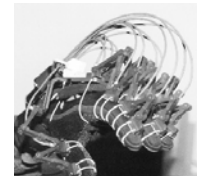
- Sensable Technologies
- 6ddl en entrée
- 3 ou 6 ddl en sortie
- force maximum : 8.5N pour les 2 plus petits, 22N pour le + grand
- frottement : 0.03 à 0.08N (1% force retournée)
- résolution spatiale : 0.07 mm
- Bande passante : 1000Hz



Périphériques 3D et plus

Main exosquelette

- LRP
- Dispositif à cables
- 19 ddl dont 5 passifs
- Poids : 350g



Périphériques 3D et plus

Main exosquelette

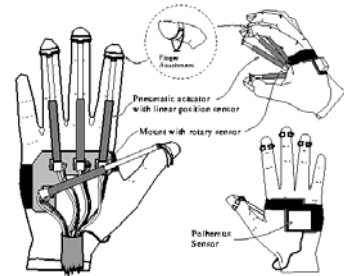
- Rutgers Masters II
- 4 doigts
- Intérieur de la main
- Actionneurs pneumatiques
- 4 ddl
- Poids 100g
- Force max. 16 N



Périphériques 3D et plus

Main exosquelette

- Rutgers Masters II
- 4 doigts
- Intérieur de la main
- Actionneurs pneumatiques
- 4 ddl
- Poids 100g
- Force max. 16 N



Périphériques 3D et plus

Main exosquelette

- CyberGrasp
- Virtual Technologies
- 4 ddl
- Avec gant CyberGlove
- 350g
- Force max. 12N



Périphériques 3D et plus

Main exosquelette

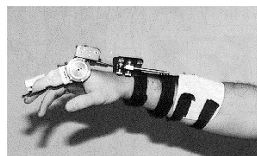
- CyberForce
- Virtual Technologies
- CyberGrasp à base fixe



Périphériques 3D et plus

Main exosquelette

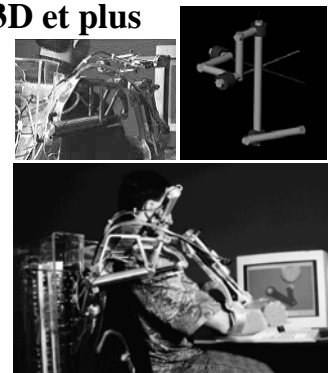
- SAFiRE
- EXOS
- 2, 5, 8 ou 11 ddl suivant nombre de doigts
- 8ddl → 3 pouce, 3 index, 2 majeur
- Actionneurs : moteurs à courant continue
- amplitude des flexions : 90 degrés
- 30 Hz



Périphériques 3D et plus

Bras exosquelette

- MasterArm
- Southern Methodist University (USA)
- Actionneurs pneumatique
- Bras en aluminium
- 4 articulations cylindriques
- 3 pour épaule → articulation sphérique
- 1 pour coude



Périphériques 3D et plus

Bras exosquelette

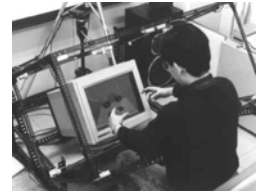
- Force ArmMaster
- NASA – EXOS
- Poids : 15kg
- 5 ddl : 3 épaule, 1 coude, 1 avant-bras
- Actionneurs : moteurs à courant continue (même technologie que SAFiRE)



Périphériques 3D et plus

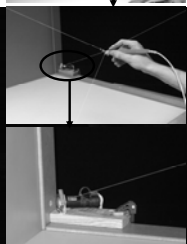
Système à entraînement par câbles

- Système SPIDAR - Space Interface Device for Artificial Reality
- Univ. Tokyo
- 4 câbles par doigt (pour 3ddl)
- Système de câbles et poulies
- Plusieurs versions



Périphériques 3D et plus

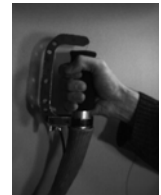
Système à entraînement par câbles sur Plan de Travail Virtuel



Périphériques 3D et plus

Poignée à retour d'effort

- CEA - LRP
- Plateforme actionnée par un système de câbles



Périphériques 3D et plus

Poignée à retour d'effort sur Plan de Travail Virtuel



Périphériques haptiques

- Retour d'effort
 - Périphériques généraux
 - Desktop (souris, doigt, stylo, joystick)
 - 3D et plus
 - Périphériques spécifiques
 - Médical
 - Conduite
 - Marche
- Retour tactile



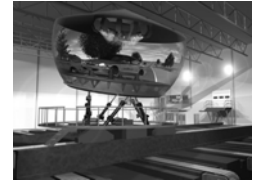
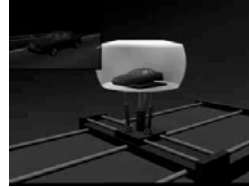
Applications médicales

Laparoscopic Impulse Engine

- Immersion Corporation
- Simulation de chirurgie endoscopique
- 5 ddl en entrée : 3 rotations (par rapport au point d'insertion) + 1 translation (insertion) + 1 ouverture / fermeture de la pince
- 3 ddl en sortie : 2 rotations + insertion
- Force maximum : 8.0 N
- Frottement 0.14 N
- Bande passante : 650Hz translation, 120Hz rotation
- Utilisation possible de 2 laparoscopes (un pour chaque main)



Simulateurs de conduite



Marche



video

Périphériques haptiques

- Retour d'effort
 - Périphériques généraux
 - Desktop (souris, doigt, stylo, joystick)
 - 3D et plus
 - Périphériques spécifiques
 - Médical
 - Conduite
 - Marche
- Retour tactile

Retour tactile

Principales approches :

- **électro-tactiles** : envoyer des impulsions électriques sur la peau (en faisant varier la largeur et la fréquence). Peut être dangereux.
- **stimulation neuromusculaire** : envoyer le signal directement aux muscles ou au cortex primaire de l'utilisateur. Très invasif, peut être dangereux
- **pneumatiques**
- **vibro-tactiles**
- **matriciels**
- **thermiques**

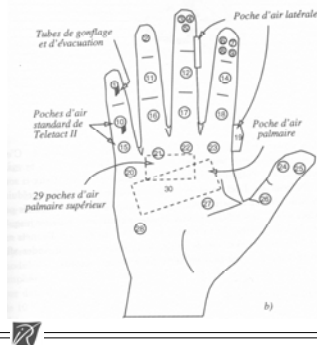
Dispositifs pneumatiques

- Jets d'air
- Poches d'air
- Cf. aussi dispositifs matriciels

Dispositifs pneumatiques

Gant Teletact (ARRL)

Advanced Robotics Research
Ltd. (UK), R. Stone 1993



Dispositifs pneumatiques

Gant Teletact (ARRL)

Advanced Robotics Research
Ltd. (UK), R. Stone 1993

- 30 poches d'air
- Contrôle du gonflement et du dégonflement des poches par 30 vannes électro-pneumatiques
- Chacune comporte deux vannes à solénoïde qui contrôlent le flux de l'air rentrant ou sortant
- Deux tubes micro-capillaires pour chaque poche : 1 pour l'aspiration, 1 pour l'expiration
- Air fourni par un petit compresseur placé dans l'interface de contrôle
- Il existe aussi des bagues ou poignées pneumatiques



Dispositifs pneumatiques

Hug-over-distance



Dispositifs vibro-tactiles

CyberTouch (VTI)

- Vibreur audio
- Commercialisé par Virtual Technologies Inc.
- 6 simulateurs vibro-tactiles
- Modulation en fréquence et en amplitude
- Fréquence de vibration :
0 – 125 Hz



Dispositifs vibro-tactiles

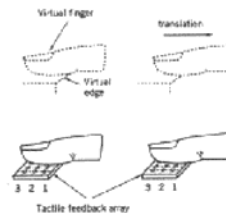
TouchMaster (1993)

- Commercialisé par EXOS
- Doigt
- 6 à 10 bobines audio excitées à une fréquence de 210Hz
- Modulation du signal de retour en fréquence et en amplitude



Dispositifs matriciels

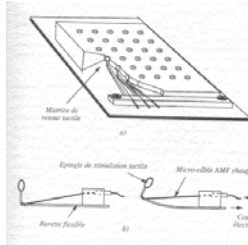
Principe



Dispositifs matriciels

Actionneur à mémoire de forme

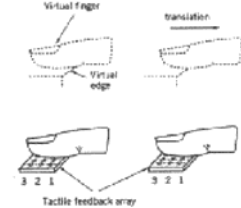
- Johnson 1992
- Système matriciel à actionneurs en métal à mémoire de forme
- 1er système matriciel presque portable.
- Une poutre mince courbée vers le haut est actionnée par un fil mince en alliage à mémoire de forme en nickel-titane
- Le fil chauffe par effet Joule lorsqu'il est traversé par un courant
- L'alliage se contracte et plie la poutre vers le haut
- Inversement, quand le courant est coupé, le fil se rétracte et la poutre reprend sa forme initiale
- Courant de 0.2A contraction de ~0.508 mm



Dispositifs matriciels

Actionneur à mémoire de forme (suite)

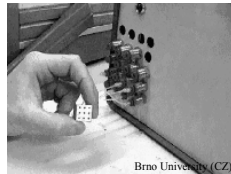
- Impression de vibration en activant les actionneurs périodiquement dans le temps
- Impression de forme en activant certains actionneurs



Dispositifs matriciels

Dispositif pneumatiques

- Brno University (CZ)
- Peut se glisser dans un gant (15 x 15 x 10 mm)
- Matrice de 4x4 tiges
- Distance entre éléments : 1.75 mm (sensation de surface continue si distance < 2mm)



Dispositifs thermiques

Displaced Temperature Sensing System (DTSS)

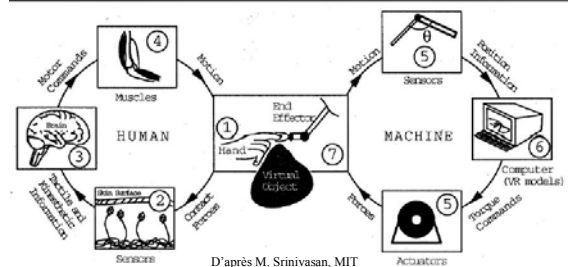
- Système commercialisé par CM Research (USA)
- Bague sur le doigt, thermode
- Peut être adapté à d'autres applications
- Pour le doigt : 10-45 degrés



Plan

- Perception haptique humaine
- Périphériques haptiques
- Rendu haptique
- Retour pseudo-haptique
- Applications

Rendu haptique



Homme

Machine : périphérique haptique + rendu haptique

Rendu haptique

- Boucle fermée avec deux modes :
 - Contrôle en impédance : entrée en position et sortie en force
 - Contrôle en admittance : entrée en force et sortie en déplacement par la commande des moteurs
- La plupart des dispositifs à retour d'effort utilisent le contrôle en impédance



Rendu haptique

- Fréquence de la boucle haptique recommandée : ~1000 Hz
 - Fréquence de la boucle visuelle recommandée : ~ 60Hz
- Mise à jour de l'environnement virtuel à une fréquence de 1000Hz rarement possible
- on doit soit simuler les paramètres de la boucle haptique à 1000Hz, soit extrapoler certains des paramètres de la boucle haptique.



Rendu haptique

- Rendu haptique → les objets modélisés doivent avoir des propriétés mécaniques.
- Calcul des forces à mettre en oeuvre (généralement très simplifiées):
 - Gravitation
 - Pression
 - Frottements secs ou visqueux
 - Collisions...



Rendu haptique - objets rigides

Exécution de la simulation à une fréquence de 1000Hz :
contrainte très forte

Principales étapes :

- Détection des collisions (~90% du temps de calcul)
- Simulation dynamique



Détection de collisions

- Méthodes discrètes (les plus courantes)
Détecent des interpénétrations entre objets à certains instants
- Méthodes continues
Calculent l'instant du premier contact



Détection de collisions discrète

Algorithme dépend du modèle de représentation des objets

Ex : collisions entre primitives polyédriques rigides

- Décomposition en composantes convexes
- Propriété : pour deux objets polyédriques convexes, il existe un seul élément (sommet, arête, face) de l'objet A qui soit plus proche d'un élément de l'objet B
- Test de distance entre chaque élément d'un objet avec les éléments de l'autre objet



Détection de collisions discrète

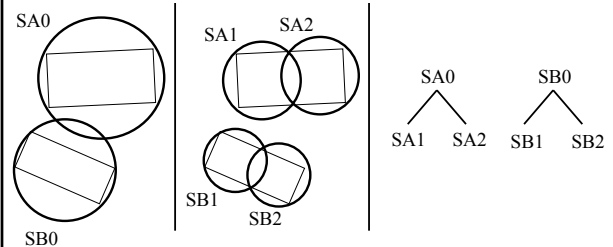
Pour diminuer la combinatoire de tests : optimisations

- Cohérence spatiale ou temporelle entre deux tests
- Hierarchies de volumes englobants
- Subdivisions récursives de l'espace objet

Détection de collisions discrète

Hierarchie de volumes englobants

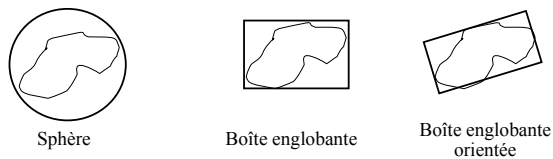
Ex. sphères



Détection de collisions discrète

Hierarchie de volumes englobants

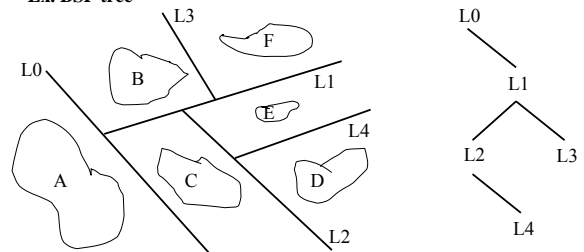
Autres volumes :



Détection de collisions discrète

Subdivision récursive de l'espace objet (voxels, octree, BSPtree,...)

Ex. BSP tree



Détection de collisions continue

Calcul du mouvement intermédiaire de l'objet mobile

Ex : vissage (voir thèse de S. Redon & al.)

Optimisations aussi possibles mais modifiées pour fonctionner en continu

Simulation dynamique

Modèles physiques rigoureux souvent impraticables car temps de calcul trop élevés

→ Modèles simplifiés

Le plus classique : méthode des pénalités

Appliquer à l'objet une force proportionnelle à la quantité d'interpénétration (comme si un ressort empêchait les objets de s'interpénétrer localement).

Facile à implanter mais pas totalement justifié physiquement.

La méthode des pénalités est locale (ne considère pas le cas d'une table à plusieurs pieds posée sur le sol)

Simulation dynamique

Problème de stabilité

Problème pour simuler une surface rigide. L'utilisateur ayant traversé la surface et déjà pénétré dans la surface, le simulateur calcule une force importante, renvoyée par le ressort modélisant le mur. Cette force fait reculer l'utilisateur et l'éloigne du mur. Au pas suivant, il n'y a plus contact et aucune force n'est renvoyée à l'utilisateur. L'utilisateur continuant son mouvement, pénètre à nouveau dans le mur car aucune force l'empêche, d'où une force importante qui est retournée et ainsi de suite. D'où des oscillations haute fréquences et des instabilités.

→ Ajout d'un amortisseur (ressort)



Plan

- Perception haptique humaine
- Périphériques haptiques
- Rendu haptique
- Retour pseudo-haptique
- Applications



Restitution haptique

- Retour haptique actif
- Retour haptique passif
- Pseudo-haptique
- Substitutions sensorielles



Retour Pseudo-Haptique

Un système pseudo-haptique peut être défini comme un système fournissant des informations haptiques générées, augmentées, ou modifiées par l'influence d'une autre modalité sensorielle.

Travaux sur influence du visuel



Retour pseudo-haptique

Spaceball : capteur de forces capteur passif, quasi-statique (isométrique) à 6 ddl en entrée



Retour pseudo-haptique

Expérience du "marais"



- Simulation de frottements par modification du « gain visuel »



Retour pseudo-haptique

Expérience du "marais"



- Résultats d'un test qualitatif sur 18 sujets
 - 94% des sujets ressentent les variations de gain visuel
 - 83% de sujets trouvent que les sensations sont plus perceptibles avec la Spaceball qu'avec la souris 2D



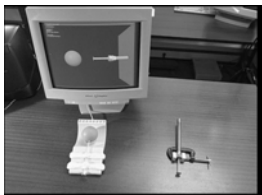
Retour pseudo-haptique

- Confirmer/infirmar et quantifier les résultats du "marais"
- Discrimination de raideur



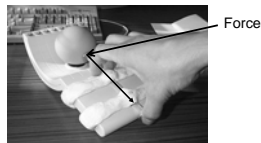
Retour pseudo-haptique

Ressort virtuel



Loi de Hooke : $F = K \cdot \Delta x$

$$K = \frac{\text{Force exercée}}{\text{Déplacement du doigt}}$$



$$K = \frac{\text{Force exercée}}{\text{Déplacement visuel}}$$



Retour pseudo-haptique

Discrimination de raideur

- Choix d'une tâche psychophysique simple : trouver le ressort le plus dur
- Méthode « constante » de détermination de seuil de discrimination [Bonnet, 86] [Gescheider, 85]



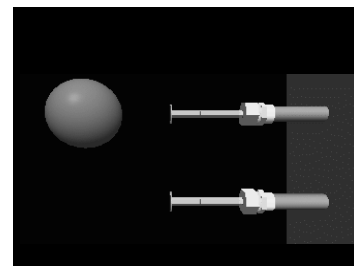
Retour pseudo-haptique

Installation expérimentale



Retour pseudo-haptique

Discrimination de raideur entre ressorts virtuels



Retour pseudo-haptique

Discrimination de raideur entre ressorts virtuels

- 4 personnes, 1500 essais/personne, 3 raideurs de référence : 249, 363 et 544 N/m
- JND moyen = 6.15%
- Coherent avec les travaux précédents
- Le modèle de ressort virtuel est crédible
- Mais cette tâche est faisable avec une souris 2D ...



Retour pseudo-haptique

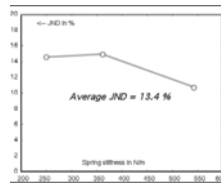
Discrimination de raideur entre ressorts réels et virtuels



Retour pseudo-haptique

Discrimination de raideur entre ressorts réels et virtuels

- 27 personnes, 972 essais/personne, 3 ressorts réels
- JND moyen = 13.4%
- Coherent avec les travaux precedents
- PES moyen = + 8.77%
- Tendance generale a sous estimer le ressort virtuel !



Retour pseudo-haptique

La cohérence des résultats trouvés avec les travaux de recherches précédents montre que le système pseudo-haptique peut simuler des informations de force comparable à des informations réelles

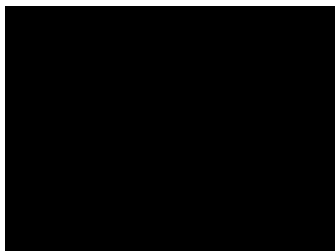
Les sujets ont « projeté » l'information de force sur le déplacement visuel

Mise en oeuvre de phénomène d'*Illusion d'haptique*

- Illusion de ressentir différentes raideurs avec la même Spaceball
- Illusion du sens proprioceptif ...

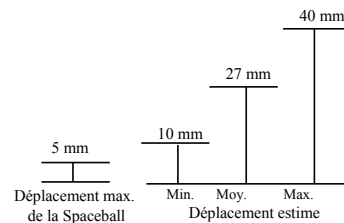


Retour pseudo-haptique



Retour pseudo-haptique

Illusion haptique révélée par la question posée au 10 derniers sujets

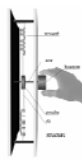
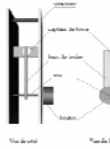


Le sens proprioceptif a été abusé par le retour visuel !



Retour pseudo-h

Couples



Retour pseudo-haptique

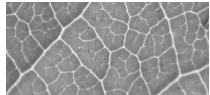
Couples

Deux expérimentations

- Dispositif pseudo-haptique isométrique
- Dispositif pseudo-haptique élastique
- Confirmation du phénomène pseudo-haptique en couple
- Élastique → meilleure résolution (JND)

Retour pseudo-haptique

Textures

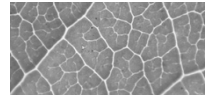


A. Lécuyer, IRISA

Voir : http://interstices.info/jcms/c_7193/images-tactiles

Retour pseudo-haptique

Textures



A. Lécuyer, IRISA

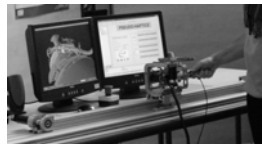
Voir : http://interstices.info/jcms/c_7193/images-tactiles

Pseudo-Haptique - Applications

- CLARTE (Laval) VTT, fraiseuse pseudo-haptique



- CEIT (Spain) 3-DOF haptic articulation combinant haptic actif et pseudo-haptique. L'axe de rotation autour de la main est géré par pseudo-haptique, deux autres haptiques.



- Voir aussi <http://www.powercursor.com> from Koert van Mensvoort

Retour pseudo-haptique

HEMP - Hand-displacEMent-based Pseudo-haptics



Position main réelle



Offset



Main virtuelle

Visiocasque semi-transparent vidéo



Retour pseudo-haptique

HEMP - Hand-displacEMent-based Pseudo-haptics

Force field
in a torus



Retour pseudo-haptique



HEMP - Hand-displacEMent-based Pseudo-haptics

Evaluation qualitative

- Sensations à l'exposition de la main au flux virtuel :
 - "une pression appliquée par le flux poussant la main"
 - "le flux pourrait ma main"

~70% des sujets ont reporté ces types de sensations

Une évaluation qualitative montre qu'on peut discriminer un petit nombre de niveaux de champs de force

Plan

- Perception haptique humaine
- Périphériques haptiques
- Rendu haptique
- Retour pseudo-haptique
- Applications

Applications autres

Visualisation scientifique

Retour haptique passif (props)

Substitutions sensorielles

Lane Departure Warning System

Citroën Lane Departure Warning System (LDWS)
– on motorways and fast roads (above 80 km/h) the system will alert the driver if the vehicle drifts out of a lane
– infrared sensors detect the change in road and warn the driver by vibrating the seat
– separate vibrators for left and right side



End

Desktop - joystick

Magnetic Levitation Haptic Interface
(CMU)

- 6ddl
- Lorentz force magnetic levitation
- 1 flotor avec bobines et photodiodes et 1 stator avec aimants
- Petit espace de travail
- Pas de contact donc pas de frottements
- Très bonne précision
- Bande passante élevée

