



HAL
open science

Interaction instrumentale multisensorielle : Eléments pour l'étude des transformations entre l'espace de l'opérateur et l'espace de la tâche

Ali Bouzouita, Claude Cadoz

► To cite this version:

Ali Bouzouita, Claude Cadoz. Interaction instrumentale multisensorielle : Eléments pour l'étude des transformations entre l'espace de l'opérateur et l'espace de la tâche. *Interaction Homme Machine* 1995, 1995, Toulouse, France. pp.[8]. hal-00910462

HAL Id: hal-00910462

<https://hal.science/hal-00910462>

Submitted on 14 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Interaction Instrumentale Multisensorielle Éléments pour l'étude des transformations entre l'espace de l'opérateur et l'espace de la tâche

Ali Bouzouita

Claude Cadoz

ACROE

(Ministère de la Culture et de la Francophonie)

Institut IMAG

46, avenue Félix Viallet

38031 GRENOBLE CEDEX, France

e-mail : {Ali.Bouzouita, Claude.Cadoz}@imag.fr

RÉSUMÉ

Grâce aux systèmes à retour d'effort et à la simulation numérique des objets physiques, il est possible d'effectuer une grande variété de tâches en plaçant l'opérateur face à un instrument virtuel. L'instrument est alors la combinaison de capteurs et effecteurs réels installés sur leurs supports physiques et de composants virtuels résultant d'une simulation. Dans le cadre technologique et conceptuel proposé par le Transducteur Gestuel à Retour d'effort (TGR) de l'ACROE et de son modeleur-simulateur d'objets physiques (CORDIS-ANIMA : simulation en temps-réel d'objets manipulables, audibles, visibles et perceptibles par le toucher), nous tentons de poser les bases d'une étude systématique de l'anamorphose entre l'espace de l'opérateur et l'espace de la tâche. Cette étude devrait permettre de déterminer, dans le cas où les contraintes des interfaces gestuelles sont imposées, les propriétés du composant virtuel qui optimisent l'interaction et, dans le cas général, de concevoir la chaîne instrumentale (réelle-virtuelle) réalisant la meilleure adéquation entre les performances humaines et les contraintes imposées par la tâche.

Mots-Clés : interaction gestuelle, interaction instrumentale multisensorielle, modèle physique, retour d'effort, adaptation tâche-instrument.

INTRODUCTION

L'interaction instrumentale de l'homme avec son environnement se caractérise par la perception qu'il en a et sa capacité à le modifier et à le transformer au moyen de ses organes naturels, mais aussi d'outils, de machines, et de systèmes. Des moyens naturels aux systèmes actuels - faisant intervenir des transformations élaborées de l'énergie et des traitements complexes de l'information - il y a une gradation dont on peut énoncer les grandes phases : le recours à des objets physiques passifs, d'abord bruts, puis élaborés ; la construction de machines utilisant l'énergie naturelle en relais à l'énergie humaine, directement ou après transformation, transport, stockage ; enfin l'élaboration de machines cybernétiques puis informatiques, introduisant l'automatisme et l'autonomie. La situation

instrumentale la plus riche aujourd'hui combine l'autonomie (difficile à réaliser intégralement) avec le contrôle de haut niveau par l'homme.

L'ordinateur a permis la création de simulacres, et plus encore d'objets virtuels. Pour augmenter leur crédibilité, on peut recourir par exemple à l'univers sonore en générant un son caractéristique et en l'associant à chaque objet dans l'univers virtuel [13]. On peut également améliorer la qualité de l'image d'un écran traditionnel, en employant par exemple un casque à grand champ de vision. Enfin, depuis quelques années, on s'attache à revaloriser le canal gestuel, dont la richesse et l'efficacité n'avaient pas été complètement exploitées.

Les claviers ont été d'abord l'unique moyen de commande à la disposition de l'opérateur. Puis, l'avènement de la souris a introduit la notion de pointeur et de sélection d'objets, et son emploi a conduit à l'utilisation de menus et à la manipulation dans un bureau virtuel. Mais bien que ces outils facilitent l'interaction de l'utilisateur avec la machine, ils s'avèrent incomplets et parfois insuffisants, car ils n'utilisent pas toutes les capacités gestuelles naturelles de l'homme. Ont alors été conçus les gants de données (Datagloves) [9] qui permettent d'agir sur un milieu généré par ordinateur [2], d'y naviguer, et de le modifier. Par ailleurs, pour rendre les interfaces plus réalistes, on a réalisé des systèmes à retour tactiles et à retour d'effort.

La combinaison des différents retours sensoriels s'avère nécessaire lorsque les tâches sont très complexes. C'est le cas par exemple lorsqu'un opérateur utilise une communication multimodale complexe (association des canaux auditif, visuel, gestuel et vocal) pour le pilotage d'un avion de chasse [1].

Nous présenterons, dans cet article, tout d'abord le concept d'interface de communication instrumentale développé à l'ACROE, s'appuyant sur les outils que constituent les Transducteurs Gestuels à Retour d'effort (TGR) et le modeleur-simulateur d'objets physiques CORDIS-ANIMA [4][5]. Nous expliciterons la notion d'interaction instrumentale multisensorielle, et évoquerons à ce propos les propriétés et l'importance du canal gestuel dans la relation de l'homme avec son

environnement. Nous aborderons alors le problème spécifique des transformations entre l'espace de l'opérateur et celui de la tâche.

Nous décrivons donc une nouvelle approche de cette problématique utilisant les modèles physiques (CORDIS-ANIMA) pour optimiser les outils d'interactions homme-machine, et adaptant le Clavier Rétroactif Modulaire (CRM) [6] à des tâches de commandes différentes.

L'INTERFACE DE COMMUNICATION INSTRUMENTALE

L'ordinateur a changé complètement l'interaction homme-instrument. En effet, il a permis d'envisager une forme intégrale de la représentation, au travers des techniques de la simulation, et en particulier à l'aide des modèles physiques, et des interfaces gestuelles à retour d'effort associées aux interfaces visuelles et acoustiques. Ces outils nous ont ainsi permis de créer des objets plus réels : audibles, visibles, mais également manipulables.

Les travaux effectués à L'ACROE sur la communication multimodale entre dans le cadre du projet Interface de Communication Instrumentale (I.C.I.) qui intègre la totalité des fonctionnalités nécessaires à la mise en oeuvre d'une interaction instrumentale dans une situation concrète définie :

- définition par l'opérateur des propriétés et caractéristiques de l'objet ou de l'ensemble d'objets virtuels qui supporteront la communication,

- exécution du processus de communication proprement dit,

- interaction entre l'opérateur et l'objet. Pendant cette interaction l'opérateur et l'objet échangent information et énergie. Une fonction importante de l'I.C.I. est alors l'extraction de l'information de contrôle de la tâche, qui n'est pas nécessairement isomorphe à l'information support du dialogue, et son émission vers la tâche, ou son stockage. Dans le même temps l'I.C.I. doit effectuer l'opération symétrique (directe ou virtuellement directe) qui consiste à extraire l'information caractéristique de l'évolution de la tâche et à la transposer en information correspondant à une évolution de l'objet, par lequel l'opérateur est alors informé de l'évolution de la tâche.

La composante fondamentale de l'interaction instrumentale (figure 1) est le canal gestuel, qui se distingue des autres canaux par les caractéristiques suivantes : il est à la fois moyen d'action sur le monde physique et moyen de communication informationnelle, ensuite il est moyen d'émission et moyen de réception d'information. D'après C.Cadoz [7], on associe à la main trois fonctions différentes mais complémentaires et imbriquées : une première fonction - instrumentale (ergotique) - qui modifie et transforme l'environnement, une deuxième fonction - épistémique - qui nous renseigne sur l'environnement. Enfin une troisième et

dernière fonction, la fonction sémiotique, permet l'émission d'information à destination de l'environnement.

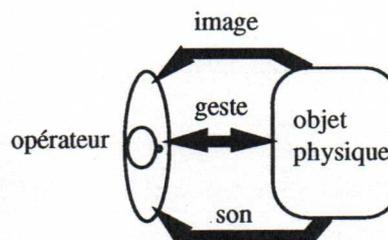


Figure 1 : L'interaction instrumentale

Pour développer notre concept d'Interface de Communication Instrumentale nous avons réalisé des outils de bases qui permettent d'effectuer des expérimentations multisensorielles.

Le clavier à retour d'effort

Le canal gestuel et les systèmes à retour d'effort attirent particulièrement notre attention dans la communication multisensorielle. Le retour d'effort est important, il permet en effet d'informer l'opérateur sur un grand nombre de propriétés de l'objet manipulé : poids, trajectoires, mouvements, état de surface (texture), propriétés de plasticité ou de déformabilité (dureté, mollesse), forme, orientation, distance, taille...

Le retour d'effort augmente le réalisme du graphisme généré par ordinateur et du son en créant un environnement beaucoup plus proche de l'environnement naturel.

Le retour d'effort a été intégré à plusieurs dispositifs, stick [8] [11], gants [12], bras manipulateur [3] pour des applications diverses.

Le Clavier Rétroactif Modulaire (CRM) [10], dispositif à retour d'effort construit par l'ACROE, est un actionneur modulaire à grand nombre de degrés de libertés (figure 4) et à hautes performances dynamiques destiné à équiper des dispositifs de commande, des télémanipulateurs, des robots... Il est constitué d'un assemblage par empilement de moteurs élémentaires, linéaires (à déplacement en translation ou rotation d'angle faible) de forme plate, également nommés "tranches".

Le nombre d'éléments assemblés peut être quelconque, dépendant seulement de l'application ; les tranches peuvent être retirées ou ajoutées facilement grâce à un outillage adéquat. Ceci permet à un même module d'équiper des applications diversifiées, ou, dans une même application de disposer d'un actionneur aisément modifiable.

La compacité du dispositif est obtenue par l'usage d'un même flux magnétique pour toutes les tranches. Ce flux est créé par les aimants répartis dans les différents

modules. Chaque module possède une bobine mobile plate qui se déplace perpendiculairement à la direction d'empilement.

Le prototype réalisé possède 16 tranches. Il équipe un clavier à 16 touches rétroactives destiné aux travaux de recherche en informatique musicale et synthèse d'images animées. Les touches de ce clavier se déplacent de 30 mm. Chaque touche est munie d'un capteur de position sensible à des variations de 4 µm. Ses performances en retour d'effort sont de 80 N avec un temps de réponse de 0,2 ms ; elles permettent d'obtenir une véritable sensation de réalisme des objets au niveau du toucher.

Une disposition de construction mécanique permet d'utiliser les degrés de liberté capteurs-effecteurs selon différentes morphologies : clavier type piano, joystick à 1,2,3 degrés de liberté, pince à 4 degrés de liberté...

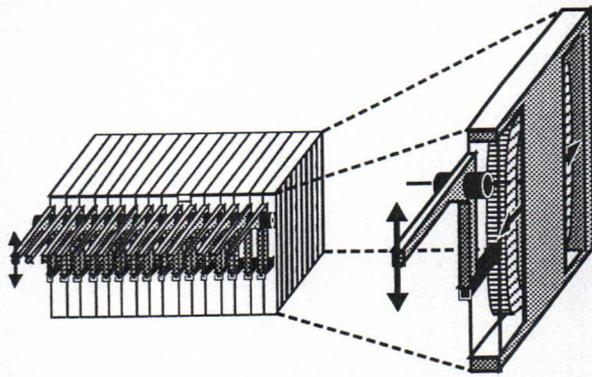


Figure 2 : Tranche capteur/moteur - Clavier à 16 tranches.

Cordis-Anima

Cordis-Anima (CA) [6] est un langage qui permet de décrire des objets du monde physique, mais également de les construire dans l'espace virtuel de simulation. Tout objet est considéré comme un assemblage de composants mécaniques élémentaires auxquels on associe des algorithmes. Dans le formalisme CA, nous appelons point de communication pour l'objet ou pour l'opérateur, la paire d'entrée/sortie qui réalise la communication. Dans CA il existe deux types de points de communication (figure 3) : le "point M" pour lequel l'entrée est une intensité (force) et la sortie une position, et le point L produisant une force en sortie à partir d'une position en entrée.

La modularité de CA permet de simuler des objets et des phénomènes complexes et d'une grande variété.

La construction des objets dans CA dépend de certaines règles de bases :

- La connexion entre deux points consiste à utiliser la sortie de l'un comme entrée de l'autre et réciproquement. Donc ne sont connectables que des points de type opposé : un point M et un point L.

- On peut connecter plusieurs points L à un même point M. La force entrante dans le point M est la somme des forces sortantes des divers points L connectés à ce point M. La position des différents points connectés au point M est la position sortante du point M.

- Un seul point M peut être connecté à un même point L.

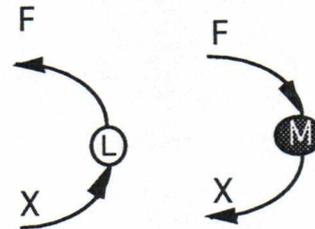


Figure 3 : Les points de communications de Cordis-Anima

Le Module de changement de Point de Vue Relatif

Comme nous l'avons déjà décrit plus haut, l'objet global dans le formalisme Cordis-Anima est connu seulement par la liste de ses points de communication. Nous disposons pour chacun de ces points, des représentations informatiques des variables forces ou positions. Rien ne nous interdit, avant de les associer à leurs transducteurs respectifs, de les amplifier ou de les réduire arbitrairement. Plus exactement, entre la représentation numérique interne de ces variables et les phénomènes physiques réels auxquels elles correspondent, il y a une relation d'échelle que l'on doit établir explicitement.

Ainsi, lorsque nous avons à faire à une certaine valeur " ψ " en unité interne de la variable F, il faut que lui corresponde une valeur "F" en newton, soit en unité de force du système standard (MKS).

De même pour une valeur " ζ " en unités internes de la variable x, il faudra que lui corresponde une valeur "x" en mètres. Plus généralement, entre les unités fondamentales d'un système et celles de l'autre, la correspondance doit être établie de manière explicite, ce qui signifie qu'entre ψ et f, ζ et x, le temps réel (t) et sa représentation machine, respectivement, existent des coefficients de correspondance.

Désignons et définissons ces coefficients à l'aide des relations suivantes :

$$f(\text{en newtons}) = R_f \cdot \psi \text{ (en unité de force interne)}$$

$$x(\text{en mètres}) = R_x \cdot \zeta \text{ (en unité de longueur interne)}$$

$$t \text{ (en secondes)} = T_e \cdot \tau \text{ (en unité de temps interne)}$$

Etant donné un objet simulé, si l'on change le processus de simulation, il se produit globalement pour

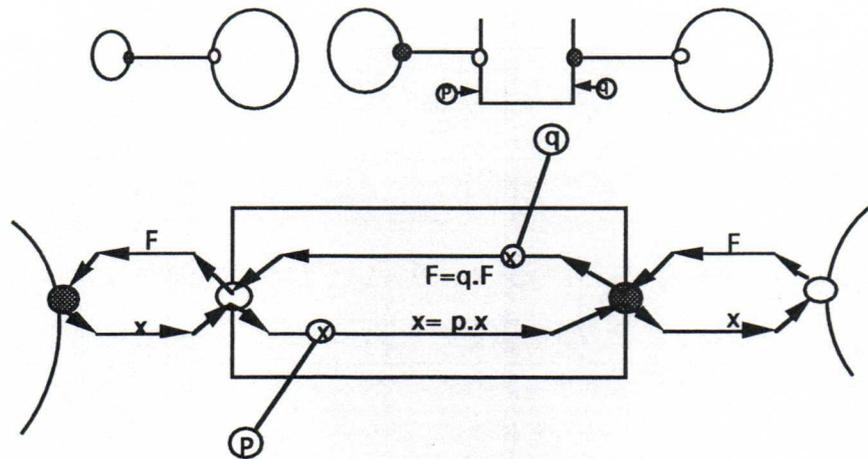


Figure 4 : La génération d'un module MPVR à partir de Cordis-Anima

l'observateur un changement de taille de l'objet. On peut alors, de ce qui est une nécessité au départ, faire une latitude en soi et introduire un concept explicite de coefficient de représentation.

Le coefficient de représentation est défini par la donnée des trois coefficients précédents et permet, étant donné un objet, de décider de sa taille effective dans l'espace de l'observateur.

On peut tout aussi bien imaginer, à l'inverse que l'objet reste de taille fixe et que c'est l'observateur qui change de taille puisqu'il ne s'agit que d'une relation entre deux entités.

On peut appliquer ces considérations non seulement à la relation entre l'opérateur et l'objet, mais également à la relation entre deux composants d'un objet. Voici alors le cadre de ce type de modules fonctionnels de Cordis-Anima, modules que nous appellerons MPVR (Modules de changement de Point de Vue Relatif) (figure 4).

Extérieurement, le MPVR ne se distingue pas des modules physiques dans la mesure où il ne présente que des points de communication de type M ou L. Il n'est cependant pas un module physique car il ne simule le comportement d'aucun objet physique matériel ou identifiable. Il s'interpose entre deux sous-objets

préalablement définis (l'un des deux pouvant être d'ailleurs l'opérateur lui-même) et pourrait-on dire, il convertit un certain nombre de points M (respectivement L) en un certain nombre de points L (resp.M). L'exemple le plus simple est celui où, rompant une connexion entre un point M et un point L, on introduit à la sortie du premier un facteur multiplicatif "p" (ou un facteur multiplicatif "1/p" à son entrée, ce qui revient au même). Dans ce cas, au travers de ce point de connexion, les objets se voient mutuellement selon une taille relative différente.

Un cas plus complexe que le changement d'échelle peut correspondre à un changement de variable permettant d'appliquer par exemple une logique physique facilement concevable dans un repère cartésien à un repère en coordonnées polaires, où le passage d'un repère fixe à un repère mobile. Dans ce cas, le nombre de points d'un côté et de l'autre est le même.

Enfin, dans un certain nombre d'applications fondamentales, il est tout à fait important de pouvoir réduire le nombre de points d'accès à un objet et, par exemple de distribuer les influences d'un petit nombre de points L (ou M) d'un premier objet, sur un grand nombre de points M (ou L) d'un second objet, ou encore sur un grand nombre de points M (ou L) appartenant à plusieurs objets distincts (figure 6).

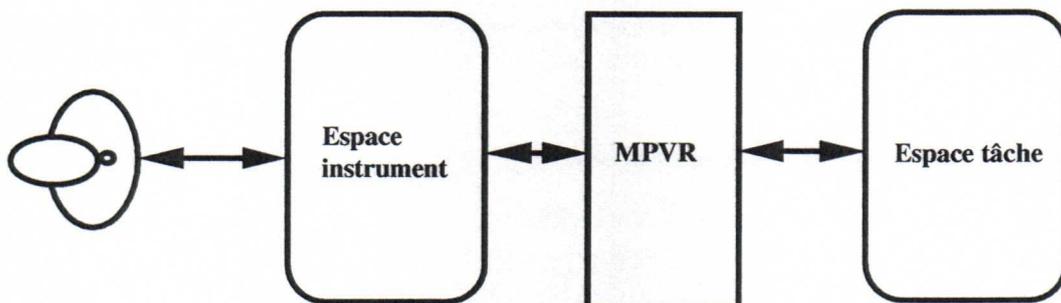


Figure 5: Situation du module MPVR dans la chaîne d'interaction

Dans ce cas général, la simple multiplication par un facteur d'échelle du module élémentaire fait alors place à des traitements plus complexes.

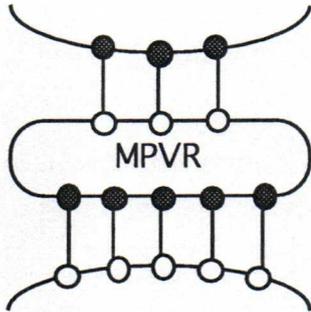


Figure 6 : Module général de Changement de Point de Vue Relatif

Pour nos travaux sur le geste instrumental, nous nous sommes attachés à restituer la réaction mécanique de l'instrument vers l'opérateur : la manipulation d'un objet, comme toute interaction mécanique est en effet bidirectionnelle. Dans le cas du geste instrumental dont la dynamique et la précision sont significatives, on peut faire l'hypothèse qu'en phase de contact ou de saisie, un système dynamique évolutif se constitue. Celui-ci comporte une partie de l'instrumentiste qu'il serait difficile de décrire précisément et une partie de l'instrument.

Pour restituer ces conditions en simulation (c'est à dire la constitution d'un tel système délocalisé entre l'instrumentiste et le simulateur), et réaliser plus particulièrement la partie modulaire et programmable de celui-ci, il est nécessaire d'établir un transfert d'informations bidirectionnel entre le processus de traitement numérique et les organes gestuels de

l'instrumentiste.

La simulation physique permet de retrouver ces conditions en représentant proprement la cohérence énergétique de toute la chaîne depuis l'interaction gestuelle jusqu'au résultat de cette interaction.

A la généralité du domaine d'objets représentables par le système de modélisation modulaire s'oppose la spécificité du dispositif transducteur, dispositif mécanique nécessairement limité dans ses caractéristiques morphologiques et dynamiques.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES TRANSFORMATIONS ENTRE L'ESPACE DE L'OPÉRATEUR ET CELUI DE LA TÂCHE

La première étape de notre travail a consisté à caractériser notre espace d'expérimentation. Pour cela nous avons envisagé un ensemble de tâches que l'opérateur aura à réaliser par l'intermédiaire des interfaces instrumentales et nous avons défini les canaux sensoriels qui seront exploités (figure 7).

Les tâches de base définies sont les suivantes : pointage, saisie, déplacement, modification (sculpter, modeler), assemblage et téléopération.

Nous avons considéré pour chacune trois cas de retour sensoriel :

- retour uniquement visuel,
- retour visuel et gestuel,
- retour simultanément visuel, auditif et gestuel.

Une évolution progressive entre ces cas typiques peut être envisagée.

Dans un deuxième temps, nous avons cherché quel

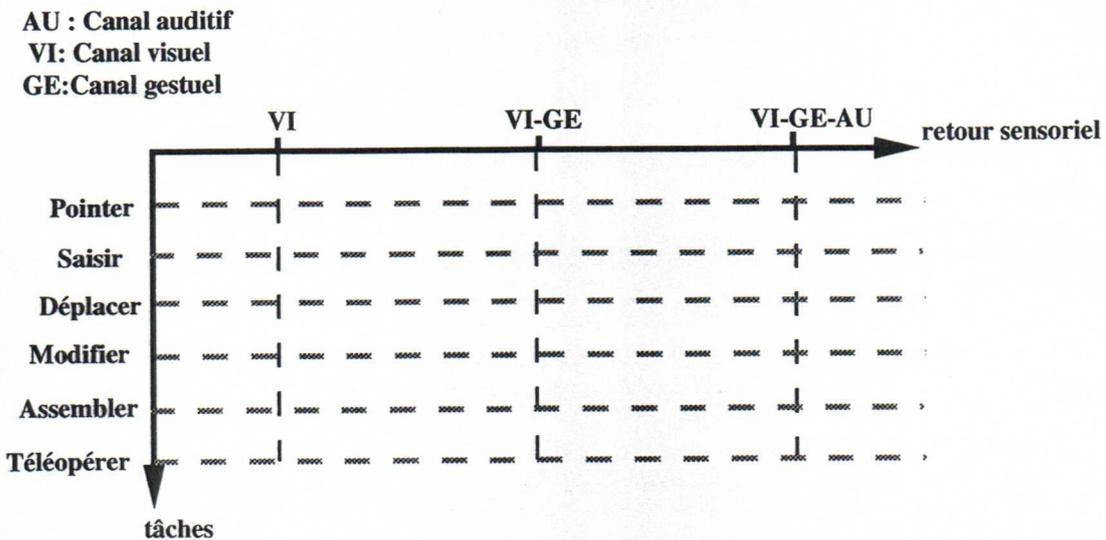


Figure 7 : Espace d'expérimentation

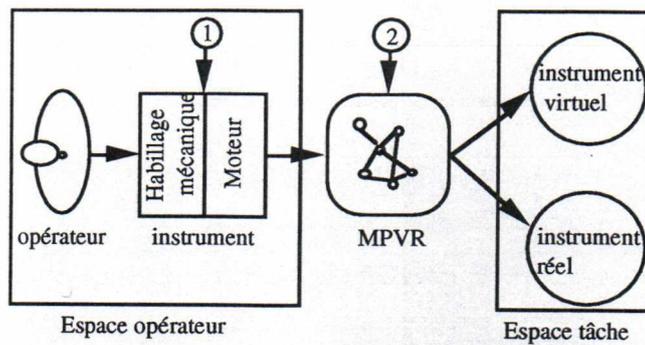


Figure 8 : La chaîne de liaison opérateur - Tâche
 1- Transformation mécanique.
 2- Transformation logicielle avec les MPVR.

concept permettrait de traiter le problème de la transmission des actions de l'opérateur vers l'espace de la tâche en tenant compte des caractéristiques géométriques et dynamiques des deux espaces. Le problème introduit ici est la différence de point de vue géométrique et dynamique que l'instrumentiste (l'opérateur) rencontre en utilisant un instrument qui n'a pas les mêmes caractéristiques que l'instrument commandé ou simulé dans l'environnement de la tâche.

Le Module de changement de Point de Vue Relatif (MPVR) de Cordis-Anima décrit plus haut est particulièrement adapté à la correction ou du moins à l'amélioration des retours sur les différents canaux sensoriels.

Le module MPVR se situe entre l'espace de l'opérateur et celui de la tâche (figure 8).

Dans le système qui suit nous allons décrire un MPVR où le nombre de points d'entrée et de sortie est le même (pour chaque entrée correspond une et une seule sortie).

Soient x et X deux déplacements respectivement dans le milieu 1 et le milieu 2. Soient f et F les forces de réaction respectivement dans le milieu 1 et le milieu 2. Soient M et P les matrices de passage.

On a les équations suivantes :

$$X = M \cdot x \quad (1)$$

$$f = P \cdot F \quad (2)$$

Dans un système où il y a conservation de l'énergie, pour tout déplacement dx dans le milieu 1, et pour toute force F de réaction dans le milieu 2 (figure 9), on a :

$$dW = {}^tF \cdot dX = {}^t f \cdot dx \quad (3)$$

On peut alors démontrer en remplaçant (1) et (2) dans (3) la relation entre les deux matrices de transfert :

$$P = {}^tM \quad (4)$$

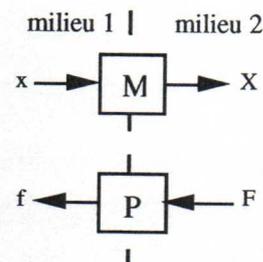


Figure 9: transfert des données entres deux milieux

De ce qui a été défini ci-dessus, on peut déduire facilement la force d'interaction pour une transposition de position d'un milieu 1 (milieu de l'opérateur) vers un milieu 2 (l'espace de la tâche). Cette force étant transmise du milieu 2 vers le milieu 1 en tenant compte des caractéristiques physiques de l'objet dans le milieu 2.

Dans l'exemple qui suit, nous allons décrire une tâche de pointage qui utilise simultanément un retour visuel et gestuel.

Exemple d'une tâche de pointage (le menu à retour d'effort)

La réalisation de cette expérience est le résultat d'une observation. En présence de plusieurs fenêtres, il arrive souvent à l'utilisateur de sélectionner une fenêtre à la place d'une autre.

Nous allons décrire une application de pointage où l'utilisateur sera en présence d'un ensemble de fenêtres à l'écran qu'il devrait atteindre (figure 10). L'originalité de cette application est l'ajout d'une force d'attraction qui assiste l'utilisateur dans son mouvement vers la fenêtre à atteindre.

Les contraintes dans cette application sont la géométrie du clavier et les dimensions de l'écran. Pour

cette application il faut pouvoir prendre en compte les dimensions de chaque espace et reconnaître le mouvement de l'opérateur afin de le transposer correctement à l'écran.

Compte tenu de la géométrie du clavier, nous avons eu recours pour cette application à une structure mécanique en forme de stick 2D (figure 11) que nous avons monté sur deux touches du clavier.

Notre MPVR aura donc ici la fonction d'interface entre l'espace de l'opérateur et celui de la tâche. Son rôle est de transformer deux positions 1D (les positions des deux touches du clavier qu'utilise le stick) en une seule position 2D à l'écran. Et aussi de transformer une seule force de réaction 2D de l'objet virtuel qui se trouve à l'écran en deux forces 1D qui constitueront le retour de force sur l'opérateur.

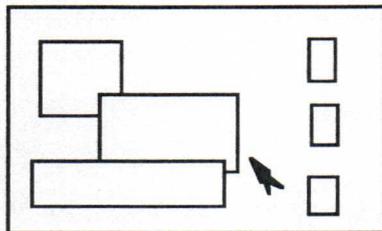


Figure 10 : Menu à retour d'effort

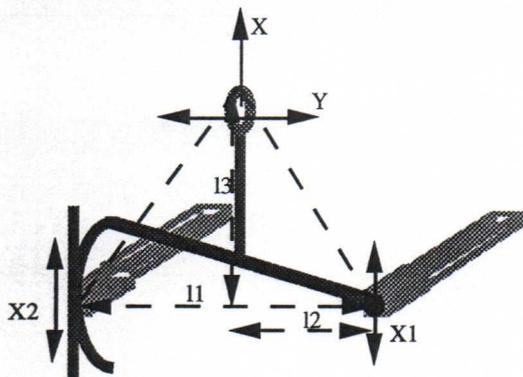


Figure 11 : Stick 2D

Les deux touches se déplacent verticalement dans un intervalle de valeur compris entre -1,5 cm et 1,5 cm.

Nous voulons déterminer les coordonnées du point de manipulation (le sommet du triangle décrit par le stick 2D) à partir de la forme du stick et du déplacement des touches sur lesquelles il est monté. Plus exactement nous voulons transposer les coordonnées X_1 et X_2 récupérées du clavier (espace opérateur), en un seul point se déplaçant en X et Y à l'écran (espace tâche).

Sachant que l_1 , l_2 , l_3 sont les distances caractérisant le triangle formant le stick, on obtient le système suivant :

$$X = -l_2 \cdot \cos\left(\frac{X_1 - X_2}{l_1}\right) - l_3 \cdot \sin\left(\frac{X_1 - X_2}{l_1}\right) + l_2 \quad (5)$$

$$Y = l_3 \cdot \cos\left(\frac{X_1 - X_2}{l_1}\right) - l_2 \cdot \sin\left(\frac{X_1 - X_2}{l_1}\right) - l_3 + X_1 \quad (6)$$

Pour la simplification des calculs nous avons fait une approximation linéaire ($\sin(\theta)=\theta$, $\cos(\theta)=0$), les équations (5) et (6) deviennent alors :

$$X = -l_3 \cdot \left(\frac{X_1 - X_2}{l_1}\right) \quad (7)$$

$$Y = -l_2 \cdot \left(\frac{X_1 - X_2}{l_1}\right) + X_1 \quad (8)$$

Le stick représente un triangle équilatéral, d'où les simplifications suivantes:

$l_2 = l_1/2$; $l_3 = 1,73 l_1$ avec $l_1 = 13,75$ cm (valeur correspondant à la distance entre 11 touches du clavier)

Pour les coordonnées des touches à l'écran on va utiliser la transformation géométrique :

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Du calcul théorique défini plus haut (4), nous déduisons la matrice de transformation des forces vers l'opérateur :

$$\begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix} \quad (10)$$

Dans l'exemple ci-dessus, bien que la tâche soit assez simple, nous avons montré l'utilité et la faisabilité de l'exploitation d'une force d'attraction pour assister l'utilisateur dans son chemin vers une cible. Cette nouvelle ressource sera encore plus nécessaire dans les situations de pointage de cible plus complexes. Une des expériences envisageable prochainement peut être la téléopération d'un bras de robot et la saisie d'un objet spécifique parmi plusieurs.

CONCLUSION

Dans cet article, une nouvelle approche de la correction du retour multisensoriel faisant appel aux modèles physiques a été présentée. On a défini le contexte de base de nos expérimentations et les outils utilisés pour corriger certaines contraintes technologiques.

Les prochaines étapes de nos travaux seront liées à la génération d'une bibliothèque de modules MPVR

utilisables pour des applications à la robotique, la télémanipulation et la commande d'instruments musicaux virtuels.

Ces applications exigent le développement d'habillages mécaniques plus élaborés que ceux utilisés actuellement.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bares M., Néel F., Teil D. and Martin J.C. "Organisation d'une démarche conceptuelle pour modéliser l'interaction homme-machine: application au copilote électronique," Colloque Interface des mondes réels et virtuels, Montpellier, Mars 1992.
2. Baudel T. and Beaudoin-Lafon M. "Charade: Remote control of objects using Free-Hand Gestures," Communications of ACM, Juillet 1993, pp. 28-35.
3. Brooks F.P., Ouh-Young M., Batter J.J. and Kilpatrick P.J. "Project Grope: haptic display for scientific visualisation," Computer graphics, Août 1990.
4. Cadoz C., Luciani A., and Florens J.L. "CORDIS-ANIMA : système de modélisation et de simulation d'instruments et d'objets physiques pour la création musicale et l'image animée", Colloque Modèles physiques, création musicale et ordinateur, Grenoble 1990, Vol. 2, pp. 583-627.
5. Cadoz C., Luciani A., and Florens J.L. "Responsive Input Devices and Sound Synthesis by Simulation of Instrumental Mechanisms: The Cordis System", Computer Music Journal, 8, n°3, pp. 60-73, M.I.T. Press, Cambridge Mass. 1984.
6. Cadoz C., "Modèle physique, temps réel et contrôle gestuel avec retour d'effort dans la synthèse sonore pour la création musical," Proceedings of IMAGINA 1991.
7. Cadoz C., "Le geste canal de communication Homme-Machine, Technique et science informatique," volume 13, n°1, 1994.
8. Iwata H., "Artificial reality with Force-Feedback: Development of Desktop Virtual space with Compact Master Manipulator," Computer graphics, Août 1990.
9. Lanier J., Minsky M., Fisher S., and Druin A. "Virtual environment and interactivity: Windows to the future," Proceedings of SIGGRAPH 89, Computer graphics, Août 1989.
10. Lisowsky L. and Cadoz C. "Conception, Optimization and realisation of extra flat DC linear motors," 4th IEEE int. Conf. on Electrical Machines and Drives, Septembre 1989.
11. Minsky M., Ouh-Young M., Steele O., Brooks F.P. and Behensky M. "Feeling and seeing: Issues in force display," SIGGRAPH 1990 special issue.
12. Stone R.J. "Virtual reality and telepresence," Proceedings of Robotica 1992, pp. 461-467.
13. Takala T and Hahn J, "Sound rendering," Computer Graphics, SIGGRAPH 1992, pp. 211-219.