

Par Christophe Ramstein

cramstein@citi.doc.ca

CITI

*Il était un aveugle qui cherchait son chemin,
Et prenait repères de son oreille et de sa main.
Il demandait aux passants qu'il rencontrait,
De décrire séant objets et actions qu'eux voyaient.
Mais rien n'y fit vraiment car les incidés qu'il reçut,
Remplaçaient difficilement sa vue perdue.*

*Ailleurs se promenait un astronaute,
Qui voyait parfaitement et sans faute,
Il consultait sa carte, sans peine ni effort,
Et savait d'avance trouver son chemin en dehors.
Mais ses membres sans poids au gré du vent allaient
Contre sa volonté pourtant fort développée.*

*Enfin il n'eut de meilleur choix que de demander,
Au passant aveugle qu'il rencontrât,
Si ce dernier pouvait lui prêter, le temps d'un pas,
Une main ferme et un pied assuré.
Ensemble ils découvrirent l'art de conjuguer
Ce qu'avant ils ne faisaient que regretter.*

La nécessité de considérer les trois canaux de communication principaux (visuel, auditif et gestuel) dans le processus de l'interaction personne-ordinateur est analysée. Un dispositif à retour de force est décrit : grâce à deux moteurs et à un espace de travail important, il permet de créer la sensation d'objets et de propriétés physiques, perceptibles au toucher. Mais l'intégration d'un tel dispositif dans les interfaces contemporaines n'est pas immédiate et exige de concevoir et de développer des modèles et des modules logiciels. En effet, le canal gestuel, malgré sa richesse, ne peut être abordé raisonnablement qu'en complément aux modalités visuelles et auditives. Aussi se pose le problème de la multiplicité et de la combinaison des modalités (multimodalité). Outre les descriptions techniques, l'intégration sociale de cette technologie sera abordée.

Introduction

isea95@er.uqam.ca T : (514) 990-0229



Avec les interfaces graphiques à manipulation directe (GUIs), l'utilisateur interagit avec l'ordinateur à l'aide d'un écran, d'un dispositif de pointage et d'un clavier. Ces interfaces sont dites faciles à apprendre et à utiliser, grâce à une spatialisation de l'information qui réduit la charge cognitive de l'utilisateur. Toutefois, ce schéma d'interaction est incomplet. En effet, il exclut les utilisateurs non-voyants, il est non-portable à des milieux exceptionnels comme la microgravité et finalement, il néglige la nature multi-sensori-motrice de tout en chacun. Avec la standardisation de ces interfaces, il est donc primordial de mettre en oeuvre de nouvelles interfaces, en se laissant guider par les capacités sensori-motrices potentielles des utilisateurs, conjointement aux avancées technologiques répondant à cette logique modale.

Depuis 1991, le CITI, centre de recherche du ministère de l'industrie du Canada, conçoit, développe et évalue, en collaboration avec le milieu universitaire et des partenaires privés, des interfaces multimodales avec retour de force. Il s'agit d'interfaces personne-ordinateur qui combinent trois types de stimulations: visuelle, auditive et haptique. Ces trois types de stimulation sont combinées, complémentaires et redondantes, dépendant de l'application et de l'utilisateur cible. Cet article décrit l'avancement conceptuel, matériel et logiciel de la recherche sur ces nouvelles formes d'interface.

Un dispositif haptique pour toucher de la main

Le terme haptique qualifie le moyen de perception composite tactilo-kinesthésique. Le sens tactile donne une conscience des stimuli apparaissant sur le dessus du corps grâce aux récepteurs placés sous la peau et au système nerveux associé. Pour sa part, le sens kinesthésique offre une information sur la position du corps (positions et déplacements relatifs des membres du corps) grâce aux capteurs placés dans les fibres musculaires, les tendons et les jointures (Lederman 1990). La différence est importante. Bien que généralement omniprésents dans la réalisation d'une tâche manuelle, chacun intervient de façon sélective pour percevoir le phénomène et les deux sens ne sont pas stimulés de façon égale pour percevoir la texture d'une feuille de papier, pour écrire avec un stylo ou pour taper sur le clavier de l'ordinateur.

Quels sont les choix ?

Les dispositifs existants pour stimuler activement le sens haptique se présentent sous deux formes complémentaires ; les stimulateurs tactiles et les dispositifs avec retour de force. Les dispositifs tactiles viennent stimuler les extrémités digitales avec des matrices de points programmables pouvant créer la sensation de textures et de formes. Il s'agit par exemple d'afficheurs braille et de cellules vibrotactiles tel que l'Optacon (Craig & al 1982) ou de stimulateurs en robotique ou réalités virtuelles (Pennywitt 1986).

Les dispositifs à retour de force sont programmables dans leurs formes et dans leurs comportements. Grâce à des moteurs, ils peuvent créer la sensation d'objets et de phénomènes phy-

siques (i.e. murs rigides et élasticités), alors même que ces objets n'existent que pour celui qui les perçoit avec le dispositif. Les forces retournées peuvent atteindre plusieurs centaines de grammes par degré de liberté (Cadoz 1990 ; Minski 1990 ; Hunter & al 1994 ; Johnson 1995). Certains dispositifs à retour de force intègrent une composante tactile programmable : c'est le cas du Pantobraille, un afficheur braille mono-cellulaire (Ramstein & al 1995b). Mais les dispositifs de pointage à retour de force sont également capteurs, comme les souris d'ordinateur conventionnelles. L'ordinateur connaît à tout moment ses variables d'état : position, vitesse, accélération, force exercée, pour peu que le dispositif ait les capteurs correspondant.

Le Pantographe

Malgré leurs qualités respectives, aucun dispositif à retour de force n'est adapté à la manipulation directe dans les GUIs (i.e. espace de travail trop petit ; retour de force trop faible ; coût trop élevé). Le Pantographe est un dispositif de pointage haptique, conçu pour la manipulation directe (Hayward & al 1994 ; Ramstein & al 1994). Il est basé sur une structure mécanique parallèle à 5 barres qui garantit une bonne stabilité, très peu de frottements et offre un espace de travail confortable de 10x16cm accessible par un bouton (le knob). En déplaçant le knob, les quatre barres sont entraînées, corrélativement et de façon univoque. À chaque instant, la position absolue du knob est calculée dans l'espace cartésien grâce à deux capteurs.

D'autre part, deux moteurs puissants, couplés aux barres intérieures, permettent de contrôler numériquement le comportement du knob et par conséquent de donner à un utilisateur la sensation haptique de phénomènes physiques (i.e. élasticité, rigidité). Pour créer une force sur le knob, il suffit d'alimenter les moteurs avec les courants adéquats, lesquels vont créer des couples moteur qui vont être propagés par les segments rigides, pour synthétiser la force mécanique sur le knob ; elle pourra atteindre 10 Newton en pic.

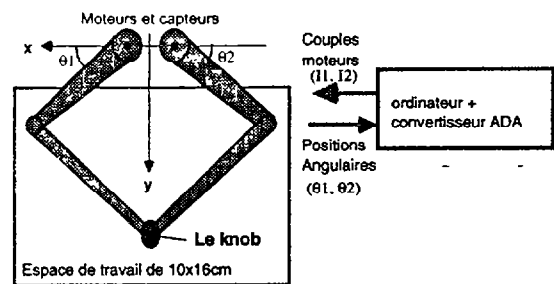


Figure 1: Structure mécanique du Pantographe et échange avec un ordinateur

Prototypage de la multimodalité

La mise en oeuvre d'une interface multimodale avec retour de force est un processus complexe: il faut concevoir et réaliser le dispositif haptique, il faut mettre en oeuvre l'interface haptique du point de vue logiciel et conceptuel et enfin, il faut l'intégrer à la technologie graphique et sonore.

Le Multimodal User Interface System (Ramstein 1995a) est une boîte à outils qui permet de concevoir et de réaliser l'interface WIMPS (Windows, Icons, pop-up Menus et Pointing System) avec retour de force d'une application. Le MUIS est basé sur une architecture logicielle orientée-objet C++, qui permet de prototyper facilement et rapidement les éléments de l'interface. Chaque objet de l'interface est représenté par un objet C++ auquel des attributs graphiques, sonores et de force sont associés. Dans le MUIS, le Pantograph vient remplacer la souris. Il permet d'une part de pointer, de sélectionner, de déplacer et de redimensionner. Il permet d'autre part de rendre sensible aux bouts des doigts les objets et les actions de l'interface.

Pour faciliter la conception des stimulations haptiques et les rendre cohérentes, il faut utiliser un modèle. Le modèle utilisé dans le MUIS est intuitif: tout objet est représenté sous la forme d'un objet polygonal en trois dimensions à la surface desquels une masse (le pointeur de souris) se déplace. À chaque instant, la somme des forces appliquées à cette masse est calculée (réaction de l'objet, friction et gravité) et retournée sur le Pantograph. Ainsi l'utilisateur a la sensation d'objets physiques, de trous, de gouttières, de cadres, etc. De plus, les actions comme le déplacement ou le redimensionnement sont représentées par des objets physiques visco-élastiques, particulièrement adaptés à traduire une distance et une direction.

Pour les sons, deux approches ont été étudiées. L'une basées sur un modèle physique et une simulation en temps réel de membrane: tout objet de l'interface est représenté par une membrane vibrante qui produit des sonorités dès lors que le pointeur contrôlé par le Pantograph la rencontre, la frotte, la percute. La seconde approche utilise des sons échantillonnés plus variés, traduisant la nature et la fonction de l'objet (i.e, entête de menu, choix de menu coché) ou de l'action (i.e, entrée de fenêtre, sortie de fenêtre). Ces deux approches s'avèrent complémentaires.

Aveugle mais voyant des mains

Avec la standardisation des interfaces graphiques, les non-voyants perdent l'accès à l'ordinateur. Les outils logiciels disponibles sont des revues d'écran (screen readers) qui traduisent l'information graphique avec de la synthèse de parole ou du braille et proposent un mode de navigation par le clavier (i.e, Outspoken de Berkeley System Inc). Ces moyens matériels et logiciels sont largement insuffisants pour reprendre pleinement les principes pourtant fort confortables pour les voyants de la navigation et de la manipulation avec un dispositif de pointage. La traduction complète des informations graphiques en des informations perceptibles par le non-voyant s'avère donc complexe,

voire infaisable, en l'absence d'une technologie nouvelle et adaptée.

PC-Accès est un ensemble matériel et logiciel, conçu et réalisé au CITI, qui vise à offrir une accès facile et confortable aux applications et à l'interface graphique de MS-Windows. PC-Accès privilégie une navigation et une manipulation avec un dispositif de pointage. Cette approche s'appuie sur le postulat que les personnes non-voyantes utilisent leur espace de bureau de façon similaire aux personnes voyantes (Mynatt 1995). Mais dès lors se pose un problème double : celui de la présentation de la scène graphique à la personne non-voyante et celui des actions réalisées dans cette interface. PC-Accès vise à traduire ces informations graphiques par des informations multiples: informations haptiques (retour de force) et informations auditives (sons non-parlés et parole de synthèse). Pour le dispositif de pointage, PC-Accès propose deux versions. L'une avec une tablette à dessin (souris en déplacement absolu) sur laquelle une texture à été posée pour faciliter le positionnement de la souris (Martial & al 1994). La seconde version, plus complexe, utilise le Pantograph et traduit les objets et les actions graphiques avec en plus des stimulations haptiques.

La démonstration de la pertinence d'une interface bimodale (audition et retour de force) a été faite lors d'une expérimentation menée avec 12 sujets voyants et 12 sujets non-voyants. L'interface comportait des fenêtres, menus déroulants et icônes et traduisait l'information graphique par des sons non-parlés et du retour de force. Tous sujets confondus, c'est l'interface bimodale qui permet le plus de confort et de performances (80%).

	Voyants: 12	Non-voyants: 12	Total: 24
Audio	68%	61%	64%
haptique	78%	71%	74%
Bimodale	83%	78%	80%
Total:	76%	70%	73%

Tableau 1: performances en pourcentage de nombre d'erreur pour trois situations modale : audio, haptique et bimodal (audio et haptique). Extrait de (Dufresne & al 1995)

Voyant mais aveugle des mains

Contrairement à ce que d'aucun pourrait croire, les GUIs ne constituent pas le standard des interfaces personne-ordinateur utilisés dans l'espace par les astronautes. Ces derniers utilisent des interfaces protéiformes comportant d'une part des éléments graphiques présentés sur un écran et d'autre part des tableaux de boutons mécaniques. Ceci s'explique par le fait qu'en l'absence de gravité, le sens kinesthésique est perturbé et il est difficile et malaisé de manipuler des dispositifs comme une souris d'ordinateur. L'utilisation d'une interface avec retour de force s'avère alors pertinente dans la mesure où sa nature programmable permet de compenser l'absence de stimulations phy-

siques comme la gravité.

Toutefois ceci n'est qu'une hypothèse et pour mieux comprendre l'introduction d'interfaces multimodales avec retour de force, il est nécessaire de tester la situation. Aussi, l'Agence Spatiale Canadienne, conjointement avec le CITI et l'université McGill a développé un protocole de test pour mesurer les avantages d'un dispositif de pointage à retour de force sur un dispositif de pointage standard (i.e, trackball) en microgravité. Le test consiste à proposer une interface graphique comportant des fenêtres, des icônes, des menus déroulants et de multiples indicateurs. Les mesures sont des indices de performances (i.e, temps et erreur) captés lors de tâches conduites d'abord en milieu avec gravité puis en microgravité. Les résultats de cette expérimentation seront publiés prochainement.

Conclusion

Les exemples du non-voyant et de l'astronaute constituent deux facettes complémentaires d'un même problème: celui des limites de l'interaction entre un individu et l'ordinateur. Dans le cas du non-voyant, c'est la déficience de l'utilisateur qui limite l'échange avec l'ordinateur: il ne perçoit pas l'information qui lui est donnée. Dans la situation de l'astronaute, c'est le milieu dans lequel l'utilisateur évolue qui limite l'interaction: une information précieuse lui est enlevée. Pour réduire ces deux limitations, l'hypothèse a été faite qu'il est nécessaire et suffisant d'intégrer deux canaux de communication supplémentaires, l'audio et l'autre haptique. Et c'est grâce à la complémentarité et la redondance des stimulations apportées que les interfaces personne-ordinateur élargissent leur public d'utilisateur et leur domaine d'application.

Finalement, la rencontre de l'aveugle et de l'astronaute est féconde puisqu'elle ouvre en sus de nouvelles portes aux voyants. Par l'expérience multimodale, l'astronaute et l'aveugle qui sommeillaient en nous surgissent alors à la conscience pour révéler, il ne faudrait plus en douter, des dimensions jusqu'alors oubliées.

© Christophe Ramstein 1995

Références

- Craig, J.C & Sherrick, C.E. (1982) "Dynamic tactile displays", in W.Schiff & E.Foulke (Eds.), *Tactual perception - a sourcebook*, Cambridge:Cambridge University Press, 1982, p209-233
- Cadoz, C., Lizowski L. & Florens, J. L. (1990). "Modular Feedback Keyboard." *Computer Music Journal*, 14, N2, p.47-5. MIT Press, Cambridge Mass (1990).
- Dufresne, A., Martial, O. & Ramstein C. (1995) "Multimodal User Interface System for Blind and "Visually Occupied" Users: ergonomic evaluation of the haptic and auditive dimensions", in proc. of IFIP Interact'95, Lillehammer, Norway.
- Hayward, V., Choksi, J., Lanvin, G., Ramstein, C. (1994). "Design and multi-objective optimization of a linkage for a haptic device." in proc. of the 4th workshop on Advances in Robot Kinematics, ARK'94, Ljubljana, Slovenia, Kluwer academic
- Hunter, I.W, Doukoglou, T.D., Lafontaine, S.R, Charette, P.G., Jones,

- L.A., Sagar, M.A., Mallinson G.D., Hunter P.J. (1994). "A teleoperated microsurgical robot and associated virtual environment for eye surgery" in *Presence*, Vol.2, No.4, Fall 1993, pp.265-289, MIT Press.
- Johnson, R.C (1995) "Virtual touch arrives", *OEM Magazine*, April 1995
- Lederman, S.J & Klatzky, R.L (1990) "Haptic classification of common objects:knowledge-driven exploration", in *cognitive Psychology* 22, p421-459, 1990
- Martial, O., Dufresne, A. "Les interfaces graphiques, obstacle ou espoir pour les aveugles", in proc. of ERGO-IA'94, 1994, Biarritz, France
- Minsky M. Ouh-Young M., Steele O., Brooks F.P.Jr. (1990) "Feeling and Seeing: Issue in force Display". *Computer Graphics* 24(2), April 1990, pp.235-243.
- Mynatt, E.D., Weber, G. (1994) "Nonvisual presentation of graphical user interfaces: contrasting two approaches, proc. of the ACM CHI'94 conference on human factors in computing systems, 1994, Boston, p.166-172
- Pennywitt, K.E (1986) "Robotic tactile sensing", in *Byte*, January 1986
- Ramstein, C. (1995a). "MUIS: multimodal user interface system with force-feedback and physical models.", in proc. of IFIP International conference Interact'95, Lillehammer, Norway 1995.
- Ramstein, C., Hayward, V. (1994). "The Pantograph: a large workspace haptic device for multimodal interaction." in proc. of ACM CHI'94, Interactive Experience.
- Ramstein, C. (1995b) "The Pantobaille: design and prevalidation of a single cell braille display based on a force feedback device", in submission.