

Transduction tactile par champs de contraintes latérales réparties : les dispositifs STReSS

Vincent Hayward

Center For Intelligent Machines
McGill University, Montréal, Québec, H3A 2A7 Canada
hayward@cim.mcgill.ca

Journée organisée le 23 Mars 2004 à l'université de Lille 1 (USTL) sur le thème
« Conception de stimulateurs tactiles orientée utilisateur »*

RESUME

Les afficheurs de type « STRESS » tirent parti du fait que des sensations tactiles utiles résultent de champs de contraintes latérales et donc de déformation tangentielle de la peau des doigts. Ceci nous permet de fabriquer des dispositifs d'affichages tactiles miniatures basés sur ce principe.

MOTS CLES

Afficheurs tactiles. Interfaces haptiques.

ABSTRACT

Tactile displays of the "STRESS" type take advantage of the observation that useful tactile sensations can be created from lateral stress fields, and hence from tangential strain of the fingertip skin. This allows us to make miniature tactile display devices based on this principle.

KEYWORDS

Tactile displays. Haptic interfaces.

INTRODUCTION

Le désir de posséder des techniques d'affichage tactile qui auraient la commodité de ce qui existe déjà pour le graphique ou pour l'audio n'est pas nouveau. Dans cet article, nous résumons les progrès qui ont été accomplis en vue du développement d'une famille

de dispositifs qui pourrait apporter une solution au problème de la miniaturisation des afficheurs tactiles.

La motivation principale de l'étude du principe d'affichage tactile par champs de contraintes latérales résulte de la possibilité offerte par cette technique de pouvoir fabriquer des afficheurs qui occupent des volumes raisonnables car de fortes sensations tactiles peuvent résulter de mouvements minuscules de la peau.

L'un des facteurs de mérite important d'un afficheur est tout simplement le rapport surface active sur volume occupé, ce qui donc conduit à une longueur — une longueur caractéristique en quelque sorte. (Pour une boîte rectangulaire, cette longueur correspond à l'épaisseur de l'afficheur). Nous en sommes à un point où nous pouvons envisager des afficheurs de texture et de forme dont ce facteur de mérite est de l'ordre du cm.

C'est en poursuivant ce but que nous avons observé que lors de l'interaction de la peau du doigt avec un objet, il est fortement improbable que le système nerveux central prenne conscience de cet objet parce que la peau, en quelque sorte, « copie » sa forme, pour être ensuite « mesurée » par le système nerveux périphérique.

Une expérience de principe fournit un excellent contre-exemple [1]. Il suffit de prendre un peigne en plastique dont les dents soient suffisamment rapprochées pour donner l'impression d'un bord continu durant un contact statique. Comme montré par la figure 1, si l'on perturbe légèrement les dents du peigne à l'aide d'un bâton, la sensation qui en résulte n'a rien de commun avec le stimulus. Dans ce cas, le stimulus se résume à une vague de cisaillement tangentiel qui se propage le long du doigt. Ce que l'on perçoit est au contraire un objet mobile qui indente la peau.

* Journée Scientifique Internationale IRCICA « Stimulateurs tactiles : Technologie et Usages », Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie Villeneuve d'Ascq – France, mars 2004.



FIG. 1 – Expérience de principe.

Plus généralement, ceci nous a conduit à nous intéresser de plus près à la complexité des phénomènes mis en jeu, en vue de tenter de trouver les indices déterminants des attribus des objets. Cette complexité peut être observée durant l’exploration tactile d’une surface transparente comme celle d’un verre, comme il est indiqué par la figure 2. Lorsque les doigts glissent, adhèrent, se décollent, la mécanique des contacts détermine des comportements dynamiques complexes qui correspondent à des sensation consciemment reliées aux attribus de l’objet tels que la courbure, le poli, l’adhérence et autres, qui dans leur ensemble caractérisent le verre.



FIG. 2 – Il est permis d’observer la riche dynamique des mouvements de la peau lors de l’exploration des surfaces à l’aide d’un verre à Martini.

Nous avons construit un système optique accompagnée d’une panoplie d’outils de traitement de l’image qui nous permet une étude plus systématique de ces phénomènes et dont le principe est indiqué par la figure 3 [2, 3].

Ce système nous a permis, entre autre, de prouver que le changement local de surface de la peau, et donc sa déformation latérale, est fortement corrélé à la forme sous-jacente [2]. Il est donc possible de former

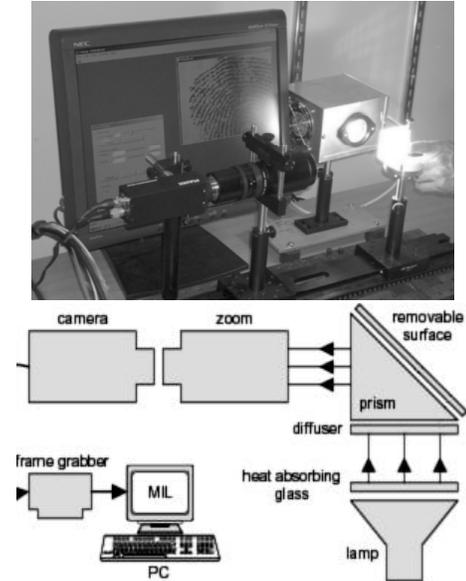


FIG. 3 – Dans les conditions d’illumination appropriées la lumière de la source est entièrement reflétée par la face interne du prisme sauf là où un objet est en contact avec la face externe. Ceci donne des images à haut contraste du contact entre la peau et un objet transparent.

l’hypothèse que certains aspects de ces déformations latérales, mais pas tous, constituent des indices de forme puissants. Nous avons vérifié par exemple que le glissement du doigt sur une bosse crée une vague de compression et d’expansion tel qu’illustré par la figure 4.

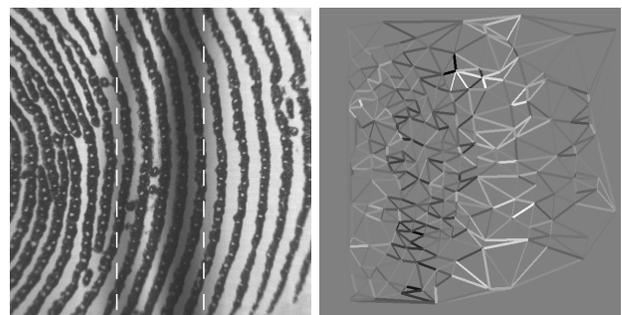


FIG. 4 – Le doigt glisse sur sur une bosse de 0,5 mm de haut. Les segments clairs indiquent compression, les segments sombres indiquent expansion. Ces mesures sont effectuées en poursuivant la trajectoire des pores et autres détails anatomiques.

Nous cherchons présentement à augmenter la résolution de notre système en vue de l’utiliser comme plateforme expérimentale pour la vérification

de modèles de comportement de la peau. A terme, ces modèles nous permettront de synthétiser des signaux de commande pour les afficheurs STRESS dont le principe est précisément de créer des changements locaux de surface de la peau.

PREMIERS SYSTEMES

Les premiers systèmes utilisent une membrane qui se déforme sous l'effet d'un tableau d'actionneurs piezo-électriques. La figure 5 montre cette membrane dans laquelle des trous ont été pratiqués pour en augmenter la compliance locale. Les actionneurs sont collés à sa face inférieure et fonctionnent en mode d_{31} , c'est à dire qu'ils s'allongent et se raccourcissent lors de leur activation. Ceci a pour effet de déformer la membrane de manière relativement bien contrôlée.

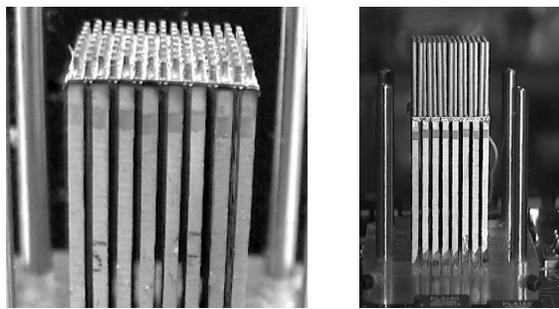


FIG. 5 – Gauche : Un tableau d'une centaine de d'actionneurs d'un mm^2 chaque est collé à la base de la membrane et à un socle en bas. Droite : Structure complète : actionneurs, membrane, tubes.

De petits tubes sont attachés à la face supérieure de la membrane au moyen de picots qui ont été laissés à cet effet. Quand la membrane se déforme, les tubes se déplacent latéralement, et leurs extrémités supérieures se déplacent dans le plan. Un poli de la surface exposée (figure 6) permet d'améliorer le « rapport signal-bruit » au sens que l'afficheur au repos procure une sensation minimale.

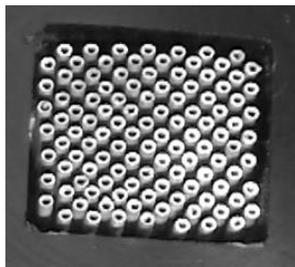


FIG. 6 – Surface supérieure exposée au doigt.

Nous avons aujourd'hui abandonné le principe de

la membrane plane car des études en simulation ont montré qu'il y avait peu d'espoir d'améliorer les performances de cette structure [6].

Néanmoins, il est fort probable qu'une structure gaufrée telle qu'illustrée par la figure 7 sera en mesure d'offrir dans le futur le moyen de fabriquer les afficheurs ayant des propriétés structurelles optimales utilisant des actionneurs en pile (mode d_{33}) ou en sandwich (mode d_{31}).

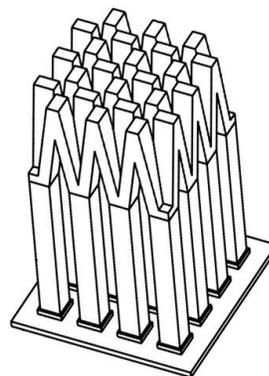


FIG. 7 – Structure gaufrée monobloc.

DEUXIEME GENERATION

En attendant, nous avons récemment opté pour une structure directement dérivée de lames bimorphes qui nous a permis des progrès relativement rapides [4]. Cette structure, montrée par la figure 8, est composée d'un empilement horizontal d'actionneurs bimorphes qui ont été meulés pour former un ensemble d'actionneurs dans un seul élément. Bien que l'actionneur bimorphe soit structurellement très sous-optimal, nous avons maintenant des afficheurs STRESS qui sont relativement commodes à fabriquer.

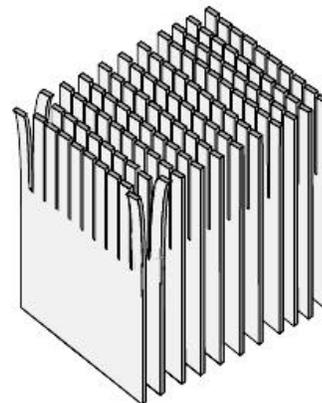


FIG. 8 – Système STRESS présentement : $1,5 \text{ cm}^3$.

L'intégration de l'électronique est aussi possible sur une seule plaque de circuit imprimé (figure 9). Nous envisageons néanmoins de séparer la tête d'affichage proprement dite, de l'électronique afin de faciliter l'expérimentation.

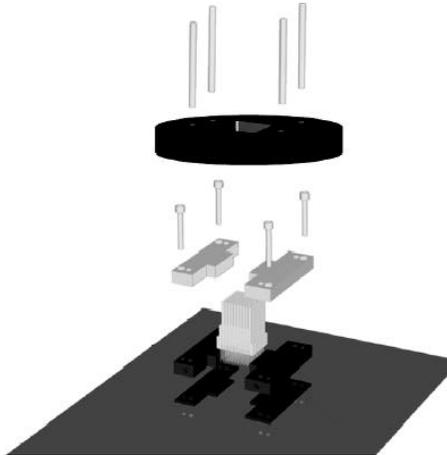


FIG. 9 – Intégration simple plaque.

Nos efforts se portent maintenant sur l'optimisation des paramètres géométriques des actionneurs afin de maximiser la réponse psychophysique des utilisateurs. En effet, les actionneurs fonctionnent essentiellement en poutre encastree, ce qui fait que leurs caractéristiques de force maximale, de déflexion maximale, et de compliance sont liées par les relations fortement non-linéaires. Puisque que le système est couplé à un système lui-aussi fortement non-linéaire (micro-biomécanique de la peau, transducteurs cutanés, réponse psychophysique), il est pratiquement impossible d'optimiser ces paramètres de façon simple.

SYSTEME ABV

Nous travaillons à d'étudier la possibilité d'utiliser le principe STRESS pour l'affichage du braille (affichage de braille virtuel ABV ou VBD en anglais [5]).

Pour ce faire, nous avons mis sur pied une version encore plus simplifiée d'un système STRESS, voir figure 10, qui n'est autre qu'un empilage de bimorphes. Montée sur un chariot sont on mesure le déplacement (figure 11), cette structure permet l'affichage d'éléments sur une ligne, et donc d'afficher la première ligne de points des caractères braille. Ceci correspond à des combinaisons de paires d'éléments qui sont soit un point, soit une absence de point (a : ●●, c : ●●, 'point n° 4' : ○● et espace : ○○), et de chaînes formées de ces caractères.

La spécification judicieuse du déplacement des bi-

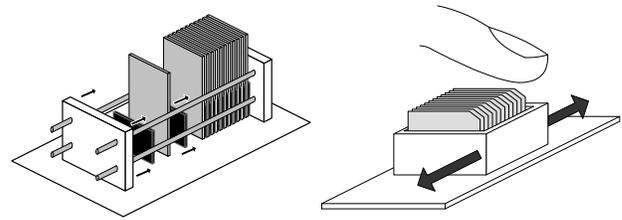


FIG. 10 – Assemblage de bimorphes.

morphes relativement au chariot déplacé par l'utilisateur lui donne l'impression de toucher des points brailles qui sont stationnaires. Nous venons de compléter une étude pilote qui montre que des sujets aveugles peuvent lire ces « caractères virtuels » avec un taux de succès relativement élevés, avoisinant 100% pour certains sujets.

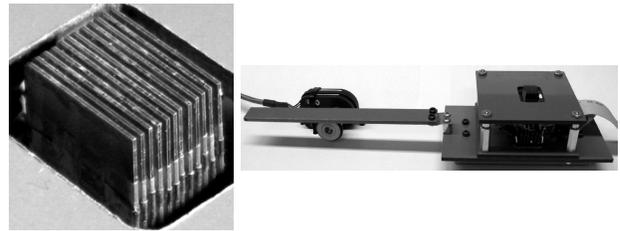


FIG. 11 – Afficheur une ligne monté sur un chariot.

AUTRE PROJETS

Nous envisageons l'utilisation des afficheurs de type STRESS pour une multitude d'autres projets. En particulier, nous pensons pouvoir utiliser ces systèmes pour faciliter l'étude des processus de perception tactile chez l'humain et chez le singe.

REMERCIEMENTS

Cette recherche est financée par IRIS, « Institute de Robotique et des Systèmes Intelligents », et par le CRSNG, le Conseil de recherches en sciences naturelles et génie du Canada.

Ce travail est aussi supportés par VisuAide Inc. et le E. (Ben) & Mary Hochhausen Fund for Research in Adaptive Technology For Blind and Visually Impaired Persons, l'Institut Nazareth et Louis-Braille (INLB), and the Centre de Recherche Interdisciplinaire en Réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR).

*

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Hayward, V., Cruz-Hernandez, M. 2000. Tactile display device using distributed lateral skin stretch, Proc. *Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems Symposium*, Proceedings of ASME, Vol. DSC-69-2, pp. 1309–1314.
- [2] Lévesque, V., Hayward, V. 2003. Experimental Evidence of Lateral Skin Strain During Tactile Exploration. Proc. *Eurohaptics 2003*, pp. 261–275.
- [3] <http://www.cim.mcgill.ca/~vleves/homepage/research/taxel/taxel.htm>
- [4] Pasquero, J., Hayward, V. 2003, STRESS : A practical tactile display with one millimeter spatial resolution and 700 Hz refresh rate, Proc. *Eurohaptics 2003*, pp. 94–110.
- [5] Pasquero, P., Lévesque, Hayward, V., Legault, M. Display of Virtual Braille Dots by Lateral Skin Deformation : A Pilot Study. Submitted to *Eurohaptics 2004*.
- [6] Teodori, E. 2000. *FEM Analysis of Tactile Display*. Honours Thesis, Dept. of Mech. Eng., McGill University.