HAL
open science

Pointage bi-manuel avec le CubTile dans un espace 2D de type Focus+Contexte

Guillaume Rivière, Laurence Nigay

To cite this version:

Guillaume Rivière, Laurence Nigay. Pointage bi-manuel avec le CubTile dans un espace 2D de type Focus+Contexte. IHM 2010, 22ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Sep 2010, Luxembourg, Luxembourg. pp.73-80, 10.1145/1941007.1941018 . hal-00523506

HAL Id: hal-00523506

https://hal.science/hal-00523506

Submitted on 10 Dec 2018

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.

IHM'2010 © ACM, 2010. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution.The definitive Version of Record was published in Actes de la 22e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, pp. 73-80, http://dx.doi.org/10.1145/1941007.1941018

Pointage bi-manuel avec le CubTile dans un espace 2D de type Focus+Contexte

Guillaume Rivière *Laurence Nigay*

Université de Grenoble, CNRS, LIG
Domaine Universitaire
38000 Grenoble, France
{guillaume.riviere, laurence.nigay} @ imag.fr

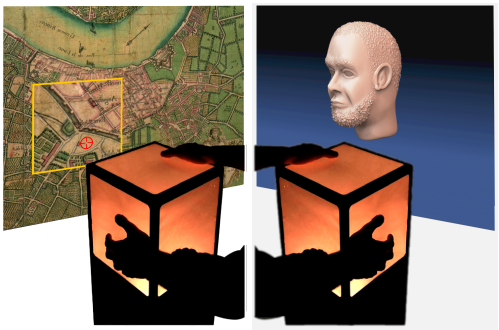
RESUME

Le CubTile est un dispositif de forme cubique qui dispose de 5 faces tactiles multi-point. Conçu initialement pour l'interaction 3D, dans cet article nous explorons son usage pour la navigation et le pointage dans un espace 2D. Pour cela, nous proposons d'appliquer la division du travail bi-manuel aux faces tactiles du CubTile dans le cas d'une visualisation de l'espace d'information de type focus+contexte. La main non-dominante déplace le focus (vue détaillée au sein de l'espace) avec une face du CubTile tandis que la main dominante pointe à l'intérieur du focus en utilisant une autre face du CubTile. Les résultats d'une première étude expérimentale prospective nous permettent d'établir qu'un réglage dissymétrique avec une amplification faible des gestes de la main non-dominante et plus forte des gestes de la main dominante offre les meilleurs résultats dans le cadre d'une tâche de pointage. Ces résultats sont un premier pas vers des réglages optimaux des faces tactiles pour l'interaction bi-manuelle asymétrique.

MOTS CLES : Interaction tactile, interaction multi-surfaces, interaction bi-manuelle, interaction 2D/3D, visualisation Focus+Contexte.

ABSTRACT

The CubTile is a cubic-shaped device with 5 tactile multi-touch faces. It was initially designed for 3D interaction. In this article we explore its use for navigation and pointing in a 2D space. In this way, we propose a bi-manual interaction technique, based on the manipulation of two faces of the CubTile, in a focus+context interface: The non-dominant hand pans the focus with one face of the CubTile while the dominant hand points in the focus area using another face of the CubTile. The results of a first user experiment indicate that an asymmetric tuning, with a low amplification for the non-dominant hand gestures and a high amplification for the dominant hand gestures, provides better performance in a pointing task. These results are a first step towards optimal tuning of the tactile faces for asymmetric bimanual interaction.



(a) Navigation 2D. (b) Manipulation 3D.

Figure 1 **:** Interaction bi-manuelle avec le CubTile.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: H.5.2 User Interfaces: Interaction styles.

GENERAL TERMS: Design, Human Factors.

KEYWORDS: Tactile interaction, multi-surface interaction, bimanual interaction, 2D/3D interaction, Focus+Context visualization.

INTRODUCTION

Les technologies basées sur l'illumination de surfaces diffuses par rayonnement infrarouge (par exemple, FTIR [13] ou l'illumination directe DI) permettent de développer des techniques d'interaction multi-point sur ces surfaces tactiles. Tandis que des études explorent l'interaction 3D avec des surfaces tactiles planes [19, 23, 22], de nouvelles formes de dispositifs tactiles apparaissent pour l'interaction 3D. En particulier dans [2, 14], un dispositif tactile de forme sphérique est proposé. Dans cette lignée, le CubTile[1] est un

[1] http://www.immersion.fr/

dispositif d'interaction tactile multi-point et multi-surface. Ce dispositif, de forme cubique et d'une hauteur de 113 cm (figure 1), dispose de 5 faces tactiles (de 24×24 cm) orthogonales entre elles. De cette façon, "les utilisateurs peuvent réaliser des gestes 2D de base (rotation-échelle-translation) sur plusieurs faces en simultané, leur combinaison correspondant à un geste 3D qui est associé à une tâche d'interaction 3D" [6]. Tandis que le CubTile a été conçu et présenté pour l'interaction 3D [6], nous étudions dans cet article son utilisation originale pour le pointage dans un espace informationnel 2D. Nous justifions d'abord notre étude en considérant un scénario d'usage en Archéologie. Après avoir présenté les techniques d'interaction existantes qui motivent notre conception, nous présentons la technique conçue d'interaction bi-manuelle avec le CubTile dans le cas d'une visualisation de l'espace d'information de type focus+contexte. Nous présentons les résultats d'une première étude expérimentale de cette technique qui focalise sur l'amplification des gestes sur les deux faces du CubTile utilisées par les deux mains.

SCÉNARIO EN ARCHÉOLOGIE

Les archéologues manipulent des objets numériques 3D (statues, monuments, etc.) qui sont repérés géographiquement sur des plans de villes ou des cartes de régions ou de pays. Lors de réunions de travail ou de présentation, les archéologues ont besoin de dispositifs d'entrée leur permettant d'interagir de manière distante avec l'espace d'affichage partagé. D'une part, le CubTile permet d'interagir debout et à distance d'un espace d'affichage et, d'autre part, ce dispositif tactile multi-point et multi-surface permet d'accomplir des tâches de manipulation d'objets 3D. Nous proposons d'employer les multiples faces du CubTile pour accomplir également des tâches de navigation et pointage en 2D. L'enjeu est de pouvoir naviguer dans le plan puis de sélectionner un point d'intérêt comme une statue et de la manipuler en 3D avec le même dispositif d'interaction.

TECHNIQUES EXISTANTES

Dans cette section, nous présentons les techniques d'interaction qui ont motivé la conception de notre technique avec le CubTile. Pour cela nous étudions d'abord les techniques bi-manuelles de navigation et pointage puis nous focalisons sur les techniques reposant sur des surfaces tactiles pour naviguer et pointer.

Navigation et pointage bi-manuel dans un espace d'information

Différentes techniques [5], comme le *Focus+Context* (focus plus contexte), l'*Overview+Detail* (détail plus vue d'ensemble), ou encore les interfaces zoomables (ou multi-échelles), ont été développées pour visualiser et naviguer dans des espaces d'information. Dans le cas de la visualisation Focus+Contexte, des travaux visent à réduire la discontinuité entre les vues contexte et focus, par exemple par un effet fisheye [11], en utilisant les facteurs de transition temporelle et de transparence [21] ou encore en prenant en compte la vélocité des mouvements [1]. Ces techniques ont été initialement développées pour une utilisation uni-manuelle avec la souris. Cependant des travaux ont proposé de contrôler ces techniques avec des interactions bi-manuelles. Tandis que les travaux de Latulipe [17] focalisent sur l'interaction bi-manuelle symétrique pour des tâches comme le redimensionnement d'un rectangle à deux mains, dans le cas de la navigation et du pointage, l'interaction bi-manuelle est asymétrique.

Le modèle de la chaîne cinématique [10] décrit les trois propriétés suivantes de l'interaction bi-manuelle : l'action de la main dominante se repère par rapport au contexte fourni par la main non-dominante ; la main dominante offre des mouvements plus fins et permet les gestes micros (les gestes macros sont relayés à la main non-dominante) ; et l'action de la main non-dominante précède l'intervention de la main dominante. En conséquence, dans une interface de navigation, il est recommandé d'assigner à la main non-dominante le rôle de déplacer la vue et à la main dominante celui d'éditer ou de pointer dans la vue.

Reposant sur le modèle de la chaîne cinématique, Flider et Bailey [7] proposent une interface pour visualiser, naviguer et éditer des documents en utilisant les deux mains. Une vue d'ensemble est affichée verticalement, sur un mur. Une vue détaillée est affichée sur une tablette graphique. L'utilisateur déplace (*pan*) la vue détaillée avec un palet isométrique dans sa main non-dominante (MND) et édite la vue détaillée avec un stylet tenu par sa main dominante (MD). Cette assignation des rôles entre la main non-dominante et celle dominante repose directement sur la division du travail du modèle de la chaîne cinématique.

En 2005, Gonzalez *et al.* [9] proposent de comparer expérimentalement quatre entrées différentes pour naviguer et pointer dans des documents avec une interface bi-échelle. Trois de ces entrées sont uni-manuelles, avec un stylet dans la main dominante ; et la quatrième est bi-manuelle, avec une souris sans fil (un palet) dans la main non-dominante et un stylet dans la main dominante. Ces deux dispositifs d'entrée, souris (palet) et stylet, sont manipulés sur une tablette électronique et une vue présentant $1/1000^e$ du document est affichée sur un écran. L'utilisateur n'a donc pas de vue d'ensemble à disposition. Pour des conditions identiques, les résultats expérimentaux ne montrent pas de supériorité de l'interaction bi-manuelle par rapport à l'interaction uni-manuelle. Pour autant, les auteurs ne remettent pas en cause le modèle de la chaîne cinématique et la division du travail entre les deux mains : ils expliquent que l'utilisation conjointe de la souris (un palet) et d'un stylet sur une même tablette a pu conduire les utilisateurs à limiter leurs gestes, afin d'éviter des collisions.

Navigation et pointage avec des surfaces tactiles

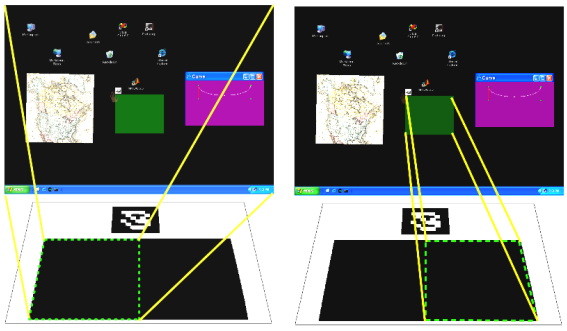
En 2009, Hahne *et al.* [12] proposent une visualisation d'un espace d'information sur une table tactile multi-point couplée à une visualisation plus précise d'une partie de l'espace sur une tablette graphique. La tablette graphique est disposée et déplacée à même la table tactile. Depuis la vue détaillée affichée sur la tablette graphique, l'utilisateur peut éditer le document à l'aide d'un stylet. Cette interface permet deux niveaux de navigation : l'utilisateur peut changer la vue détaillée de manière exocentrique, en déplaçant la tablette graphique, et de manière égocentrique, en déplaçant la vue d'ensemble par un geste de translation sur la table tactile avec sa main.

Pour pointer depuis une petite surface tactile (comme par exemple un écran tactile de téléphone) dans un espace d'affichage plus grand, McCallum et Irani proposent la technique ARC-Pad [20]. Le principe de cette technique est de combiner pointage absolu et pointage relatif, comme introduit dans [8]. Une tape brève avec le doigt (puis l'utilisateur le retire rapidement) n'importe où dans la surface tactile engendre un saut instantané et approximatif du curseur au sein de l'espace d'affichage à la position correspondante (pointage absolu). Pour affiner le pointage, l'utilisateur engage des mouvements de translation avec son doigt et le curseur se déplace alors relativement à sa position courante (pointage relatif). Cette technique de pointage hybride, pour des surfaces tactiles, est transposable aux faces du CubTile.

Pour interagir à distance avec un espace d'affichage vertical (5×1,80 m), Malik *et al.* [18] proposent d'utiliser une surface tactile capable de détecter l'interaction gestuelle à deux mains. Cette surface tactile, un carton de 60×20 cm, est divisée en deux sous-surfaces : une moitié (30×20 cm), assignée à la main non-dominante, est associée à l'écran entier (figure 2(a)) ; et l'autre moitié, assignée à la main dominante, est associée à une vue à l'échelle 1:1, servant de zone de travail (figure 2(b)). Ainsi, la main dominante est utilisée pour des manipulations et des pointages précis dans la zone de travail, tandis que la main non-dominante est utilisée pour un positionnement approximatif de la zone de travail au sein de l'écran. L'utilisateur peut à tout moment remplacer cette assignation asymétrique du rôle des mains par une assignation symétrique en présentant ouverte sa main non-dominante : l'utilisateur peut alors réaliser des tâches bi-manuelles symétriques dans la zone de travail. Le CubTile peut être considéré comme une variante plus riche du dispositif à deux surfaces coplanaires. En effet il dispose de cinq surfaces au lieu de deux et autorise des tâches symétriques pour l'interaction 3D tandis que nous explorons des tâches asymétriques pour l'interaction 2D.

TECHNIQUE D'INTERACTION 2D AVEC LE CUBTILE

En nous inspirant de la technique bi-manuelle avec deux surfaces tactiles coplanaires [18], la technique bi-manuelle conçue consiste à manipuler deux surfaces

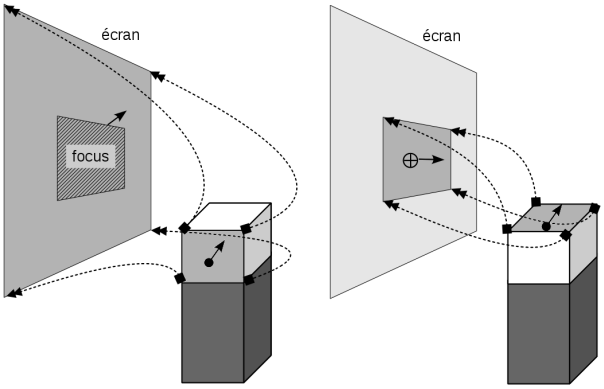


(a) Association de la MND à l'écran entier.

(b) Association de la MD à la zone de travail.

Figure 2 : Couplage entre pointage approximatif et pointage précis pour travailler sur des espaces d'affichage. [18]

du CubTile dans le cas d'une visualisation de l'espace d'information, de type focus+contexte, projetée sur un mur. Dans cette première version de la technique, la main non-dominante manipule une face de côté pour déplacer le focus (face de gauche pour les droitiers comme le montre la figure 3(a) et face de droite pour les gauchers), tandis que nous réservons la face du dessus plus confortable pour la manipulation avec la main dominante et des gestes précis de pointage dans le focus (figure 3(b)).



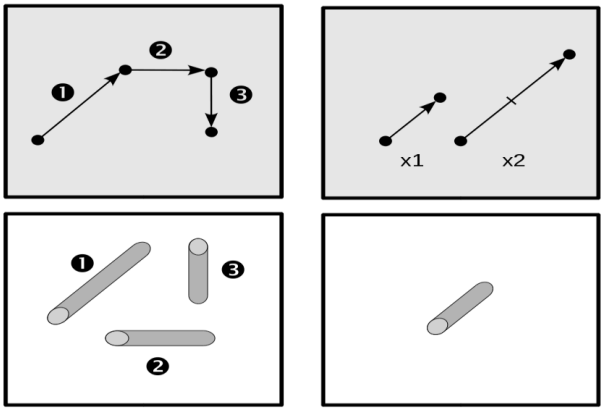
(a) Face gauche pour déplacer le focus avec la MND.

(b) Face du dessus pour pointer avec la MD.

Figure 3 : Focus+Contexte avec le CubTile.

Dans ce contexte, un premier choix de conception concerne le pointage absolu ou relatif sur les deux surfaces tactiles. Dans [18], l'utilisateur réalise un pointage absolu sur les deux surfaces coplanaires. Lorsque le CubTile est configuré de manière identique, le pointage absolu sur la face de côté pour déplacer le focus soulève des problèmes. Tandis que l'atout du pointage absolu est un saut direct à un endroit dans l'espace, il est difficile après avoir retiré la main de la face de côté, de la repositionner au même endroit pour par exemple déplacer le focus afin d'explorer l'alentour proche. Pour l'exploration de l'espace par déplacement du focus, le pointage absolu sur la face de côté ne semble donc pas adéquat. Ce

problème est moins important sur la face de dessus où l'utilisateur peut plus facilement ramener sa main au même endroit. Néanmoins l'association d'une face tactile de 24×24 cm au focus qui correspond à une zone de l'espace dont la résolution est de l'ordre de 300×300 pixels entraîne un déplacement perçu du curseur qui est lent. Pour ces raisons, nous avons donc opté pour un pointage relatif sur les deux surfaces du CubTile. En particulier déplacer le focus relativement à sa position courante permet d'éviter de perdre le pointage courant lorsque l'utilisateur initie un nouveau geste sur la face de côté (figure 4(a)). Une amélioration proposée dans [20] consisterait alors à combiner le pointage absolu et relatif pour la face de côté : ainsi suite à un positionnement approximatif direct du focus par pointage absolu (geste de tape sur la surface de côté), l'utilisateur peut continuer d'explorer l'espace en navigant relativement à la position courante du focus.



(a) Trois déplacements relatifs de la position courante.

(b) Démultiplication du mouvement ×1 et ×2.

Figure 4 **:** Pointage relatif sur un écran depuis une face.

Ayant opté dans cette version de la technique pour un pointage relatif uniquement, se pose alors le problème de la démultiplication des mouvements sur chacune des faces. Démultiplier le mouvement permet d'adapter la sensibilité des faces pour amplifier le déplacement et accélérer le pointage (figure 4(b)). Le coefficient de démultiplication est exprimé en fonction du mouvement absolu : c'est-à-dire qu'un coefficient de 1 correspond à la même amplitude de déplacement que le pointage absolu et qu'un coefficient de 2 correspond à deux fois l'amplitude du mouvement absolu. La variation du coefficient de démultiplication entraîne une variation de la précision moteur, ce qui modifie la valeur du gain contrôle-affichage (*CDgain*) [4] et a un impact direct sur les performances (compromis vitesse de déplacement/précision). Les coefficients de démultiplication associés aux deux faces du CubTile doivent être étudiés dans le contexte d'interaction bi-manuelle asymétrique. L'application de la chaîne cinématique et de la division du travail aux surfaces tactiles va au-delà de l'association d'une face au placement du focus par la main non-dominante et d'une autre face au placement du curseur dans le focus par la main dominante. Proposer la même sensibilité sur chacune des faces va à l'encontre de la division du travail, entre pointage macro avec la main non-dominante et pointage micro avec la main dominante. Afin d'étudier l'influence du degré de sensibilité des faces du CubTile sur l'interaction et ses performances nous avons mené une étude expérimentale. Aussi, contrairement aux travaux de Latulipe [17] qui focalisent sur l'interaction bi-manuelle symétrique, notre étude est consacrée à l'interaction bi-manuelle asymétrique en nous reposant sur le modèle de la chaîne cinématique. De plus notre étude est originale par rapport aux travaux de Gonzalez *et al.* [9] et de Casalta *et al.* [3] car nous ne testons pas uniquement l'assignation asymétrique des rôles, mais également la dissymétrie du facteur moteur.

ÉTUDE PROSPECTIVE

Pour expérimenter différents degrés de précision sur chacune des deux faces du CubTile, nous avons demandé aux participants d'atteindre des objets cibles le plus rapidement possible. Pour une tâche de pointage multi-directionnel en 2 dimensions, le standard ISO9241-9 [15] recommande un arrangement en cercle des objets à pointer (figure 5). Les objets étaient positionnés dans un document de 5120×4096 px. Ces cibles étaient visibles dans une vue d'ensemble du document de 1280×1024 px (échelle 1:4 du document) qui occupaient l'intégralité de l'écran (fenêtre maximisée) projeté sur un mur. Les participants naviguaient à l'aide d'une vue détaillée (focus) du document superposée à la vue d'ensemble. La taille du focus était de 300×300 px (soit 6,9% de l'espace disponible). Le document est quadrillé par une grille rouge foncé pour éviter le problème de *desert fog* [16].

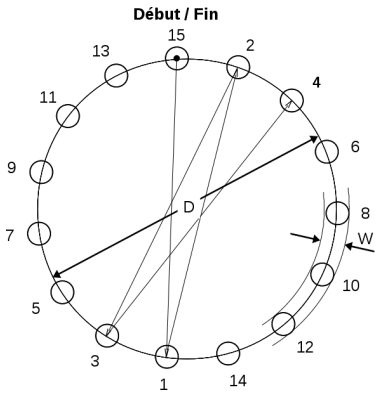
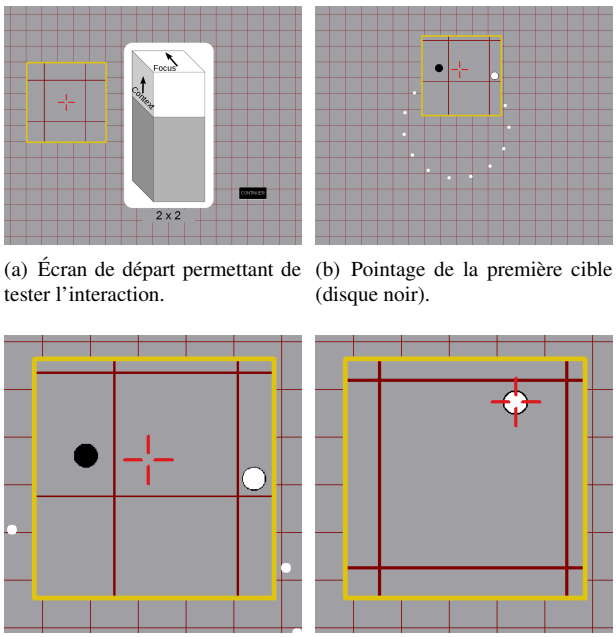


Figure 5 **:** Tâche de pointage multi-directionnel : le cas de 15 cibles. Lors d'un bloc, le chemin suivit par l'utilisateur commence et se termine avec la cible du haut. Les cibles sont numérotées selon l'ordre de parcours, qui alterne les cibles en suivant la rotation horaire.

Un bloc consistait à pointer successivement deux séries de 15 cibles. Avant de commencer le bloc, un écran de départ (figure 6(a)) présente un schéma qui rappelle les conditions d'utilisation du CubTile (*cf.* section suivante)

et le participant doit déplacer le focus pour activer le bouton noir (en bas à droite), étiqueté “Continuer”, avec le curseur. Pour la première série, les objets, des disques de 45 pixels de diamètre, étaient arrangés sur un cercle de 1600 pixels de diamètre et le niveau de zoom du focus était fixé à 1,0 (exercice Ex1). Les disques sont blancs avec une bordure noire, sauf l’objet cible qui est teinté en noir (figure 6(b)). Pour que l’utilisateur comprenne l’intérêt de l’application, la bordure noire des disques n’est pas visible depuis la vue d’ensemble. Pour la deuxième série, le diamètre des disques était de 30 pixels. Les disques étaient alignés sur un cercle de 3200 pixels de diamètre et le niveau de zoom du focus était fixé à 1,5 (exercice Ex2). Les caractéristiques de cette tâche de pointage bi-échelle sont définies dans [9]. L’indice de difficulté (ID) total de la tâche pour l’exercice Ex1 (donné par la formule de Shannon $ID_{total} = log_2(\frac{D}{W} + 1)$ bits) est de 5,2 bits et de 6,8 bits pour l’exercice 2. Nous calculons alors l’ID théorique de la tâche de pointage macro par la formule $ID_{macro} = log_2(D/(z.W_{focus} + z.W_{cible}) + 1)$ qui est de 2,5 bits pour Ex1 et de 2,9 bits pour Ex2. La taille des disques dans le focus est identique entre les exercices 1 et 2, soit 45 pixels (voir figures 6(c)(d)), et l’ID_{micro} théorique est le même.



(a) Écran de départ permettant de tester l’interaction.

(b) Pointage de la première cible (disque noir).

(c) Aperçu des objets avec le premier niveau de zoom (Ex1).

(d) Aperçu d’un objet avec le deuxième niveau de zoom (Ex2).

Figure 6 **:** Déroulement de l’expérimentation : écran de départ puis sélection de deux séries de 15 cibles.

Conditions d’interaction

Les participants ont utilisé la technique dans quatre conditions d’interaction qui différaient par leur coefficient de démultiplication. Ce coefficient pouvait être petit, de 2 fois l’amplitude du mouvement absolu, ou élevée, avec 5 fois l’amplitude du mouvement absolu. Le coefficient variait pour les mains. Notons $n{\times}d$ le couple où n est le coefficient de démultiplication pour la main non-dominante et d est celui de la main dominante. Ainsi, les quatre configurations testées étaient les suivantes : 5×2 (CDgain 34×4), 5×5 (CDgain 34×9), 2×2 (CDgain 14×4) et 2×5 (CDgain 14×9).

	G1	G2	G3	G4
Interface 1	2×2	5×2	2×5	5×5
Interface 2	5×2	2×2	5×5	2×5
Interface 3	2×5	5×5	2×2	5×2
Interface 4	5×5	2×5	5×2	2×2

Table 1 **:** Stratégie pour contrebalancer l’ordre des conditions d’interaction.

Afin de minimiser l’effet d’ordre de présentation des 4 conditions d’interaction, quatre ordres possibles ont été calculés selon un carré latin et 4 groupes ont été formés, avec un ordre par groupe (voir tableau 1). Les 4 groupes de 2 sujets ont été formés tel que $G_i = \{S_i, S_{i+4}\}$.

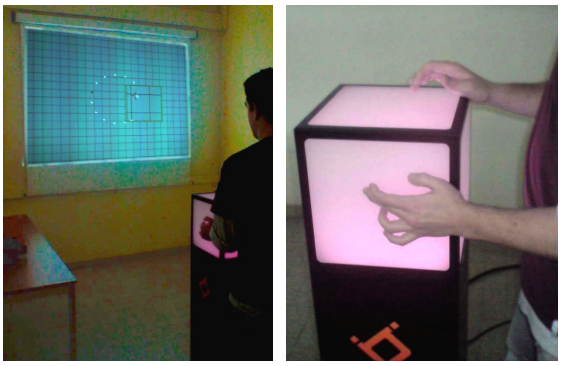
En conclusion, chaque participant a effectué huit blocs de 15 sélections, avec des précisions différentes. Le changement de condition d’interaction s’opérait après avoir effectué successivement 2 blocs, le premier en précision Ex1 et le deuxième en précision Ex2.

Participants

Les participants, huit hommes, âgés de 21 à 39 ans (moyenne : 28 ans ; écart type : 5,4 ans), ont accepté de participer volontairement à cette expérimentation. L’auto-évaluation de leur fréquence d’utilisation (jamais : 1 ; occasionnellement : 2 ; régulièrement : 3 ; quotidiennement : 4) de pavés tactiles d’ordinateurs portables (*touchpad*) était de 3,1 en moyenne (écart type : 0,99) et était de 3,0 (écart type : 1,2) pour les surfaces tactiles (téléphones, tables multi-point, tablettes graphiques). Avant de commencer le premier bloc, le meneur de l’expérimentation explique le fonctionnement de l’application et comment utiliser le CubTile et s’assure que le participant a bien compris en lui demandant de déplacer le focus et le curseur. Le meneur propose ensuite d’essayer l’orientation “vers l’avant” de la face verticale, pour contrôler la position du focus. Après avoir demandé de réessayer l’orientation “vers le haut”, le meneur demande alors à l’utilisateur de choisir l’orientation préférée. Les instructions lues sont identiques pour tous les participants. Avant chacun des trois blocs suivants, le meneur de l’expérimentation avertit que la sensibilité des faces vient de changer.

Configuration

Pour l’expérimentation, le code du CubTile et de l’application était exécuté sur une station Apple Mac Pro équipée de 2 processeurs quatre cœurs de 2,8 GHz Intel Xeon et d’une carte graphique NVidia GeForce 8800GT. Le dispositif d’affichage était un vidéo-projecteur Optoma EP727, avec une distance de projection de 3,6 m



(a) Un participant en train de pointer la cible.

(b) Les mains d'un participant en action.

Figure 7 **:** Photos de l'expérimentation.

qui produisait une surface d'affichage de 1,8×1,5 m (figure 7(a)). Le dispositif d'entrée était un CubTile de la deuxième génération. Le système d'exploitation utilisé était Microsoft Windows XP Pro SP3, configuré avec une résolution d'affichage de 1280×1024 px. Le programme était écrit en C++ avec la boîte à outil Qt 4.6 et l'API IlIght 2.2.3 pour le CubTile. Les dimensions de la fenêtre de l'application, lancée en plein écran, étaient de 1280×1024 px.

Hypothèses

Nos hypothèses étaient les suivantes :

1. Faible niveau de recouvrement temporel Du fait des niveaux de zoom que nous avons choisi, l'ID_{macro} est élevé (environ 50% du ID_{total}) et requiert un pointage précis qui ne fait intervenir que très tardivement le pointage micro. La marge laissée pour la coïncidence des mouvements des deux mains est donc faible. C'est notre garantie que le principal facteur d'amélioration des performances sera le coefficient de démultiplication.

2. La main non-dominante est plus performante avec le coefficient 2 Selon la chaîne cinématique, la main non-dominante place le contexte. Elle est plutôt adaptée à la réalisation de mouvements amples et approximatifs. Avec un coefficient d'amplification du mouvement par 5, les sujets auront plus de difficulté à corriger leur geste, ce qui augmentera le temps de pointage macro et la distance parcourue avec la main non-dominante. Avec un coefficient de 2, les performances de la main non-dominante seront donc meilleures.

3. La main dominante est plus performante avec le coefficient 5 Toujours selon la chaîne cinématique, la main dominante réalise les actions précises. Elle est plus adaptée à la réalisation de mouvements concis et précis. Avec un coefficient d'amplification du mouvement par 5, la sensibilité augmente et la précision de la main dominante peut s'exprimer pleinement. Avec un coefficient de 2, la précision de la main dominante n'est pas exploitée suffisamment et les performances sont moindres. Avec un coefficient de 5 les performances de la main dominante seront donc meilleures.

4. La configuration la plus performante est 2×5 et 5×2 est la moins performante La configuration la plus performante est 2×5 (coefficient 2 pour la main non-dominante, et coefficient 5 pour la main dominante) et 5×2 est la moins performante. Cette hypothèse est un corollaire des trois autres hypothèses.

Résultats

Pour chaque bloc, le programme enregistre le temps de pointage entre deux cibles et la distance (exprimée en valeur absolue relativement au document) parcourue par le focus (au sein de la vue d'ensemble) et par le curseur (au sein du focus). Les relevés des positions étaient effectués toutes les 20 ms, soit 50 Hz. Le programme enregistre aussi les moments où les déplacements débutent et s'arrêtent, afin de calculer le recouvrement temporel des mouvements des deux mains.

Tout d'abord, pour les temps moyens de pointage et pour les distances macros, l'effet du facteur condition d'interaction existe, avec respectivement $F_{3,28}$=2,93 (p=.05) et $F_{3,28}$=3,35 (p<.03), par une ANOVA à un facteur. Concernant la distance micro, l'influence du facteur n'est pas établie, $F_{3,28}$=0,63 (N.S.).

Les mesures confirment un recouvrement temporel faible (figure 8), en moyenne de 3,7% pour Ex1 (écart type : 1,0%) et de 2,9% pour Ex2 (écart type : 1,5%). Même si l'écart est faible, l'augmentation de l'ID_{macro} pour Ex2 par rapport à Ex1, semble bien avoir fait diminuer le taux de recouvrement temporel.

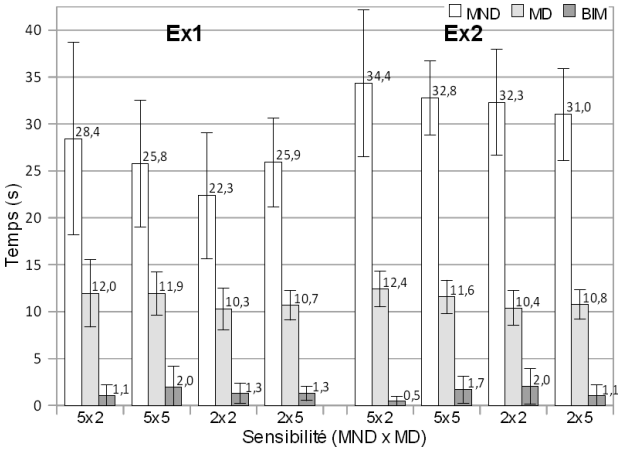


Figure 8 **:** Répartition du temps de mouvement entre exclusivement la main non-dominante (MND) ou la main dominante (MD) et les deux mains simultanément (BIM), selon l'exercice (avec intervalles de confiance à 95%).

Avec un coefficient ×2 pour la MND, nous observons une diminution de 22% ($F_{1,14}$=9,52 ; p<.009) de la distance macro effectivement parcourue (3511 pixels) par rapport à la performance du coefficient ×5 (4520 pixels). De plus,

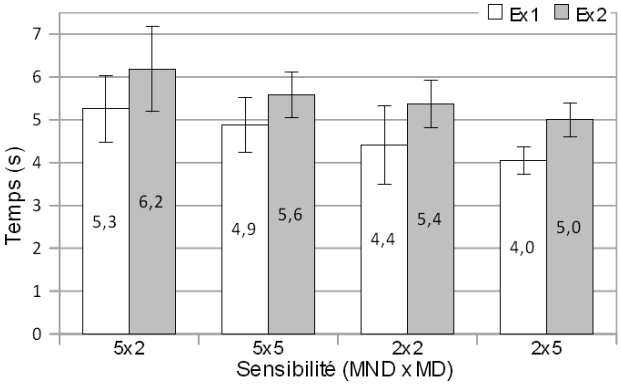


Figure 9 : Temps moyen de pointage entre deux cibles selon l'exercice (avec intervalles de confiance à 95%).

le temps de mouvement micro pour le coefficient MND×2 (11,9 s) est meilleur de 11% par rapport à MND×5 (13,3 s). Comme attendu, le pointage macro est donc plus précis avec le coefficient MND×2.

Entre les conditions 2×2 et 2×5, seule la démultiplication de la MD varie. La distance micro parcourue par 2×5 (231 pixels) est 14% plus courte que celle parcourue par 2×2 (268 pixels), mais cette différence n'est statistiquement pas significative ($F_{1,14}$=0,15 ; N.S.). De même, avec 5×5 la distance micro parcourue (226 pixels) est 35% plus courte que celle parcourue par 5×2 (346 pixels), mais la différence n'est statistiquement pas significative ($F_{1,14}$=0,55 ; N.S.). Pourtant, dans les deux cas, MND×2 et MND×5, augmenter la démultiplication de la MD semble bien faire diminuer la distance micro. Au final, le meilleur temps de pointage (reporté figure 9) est réalisé avec la démultiplication 2×5 (4,5 s). Viennent ensuite les configurations 2×2 (4,9 s ; $F_{1,14}$=0,88 ; p<.36 ; N.S.) puis 5×5 (5,2 s ; $F_{1,14}$=7,62 ; p<.017) et enfin la configuration 5×2 qui a réalisé le plus mauvais temps de pointage (5,7 s ; $F_{1,14}$=7,32 ; p<.016).

Les réponses au bref questionnaire oral soumis à la fin de l'expérimentation après que le participant ait testé les quatre conditions d'interaction (un exemple de question étant : Quel mode/condition d'interaction avez-vous préféré ?), indiquent une préférence de 75% des participants (6 participants sur 8) pour la configuration 2×5. Les 25% restants (2 participants sur 8), qui ont préféré la configuration 5×5, appartenaient au groupe 3. Notons qu'il est possible qu'un effet d'apprentissage soit à l'origine de leur préférence pour une autre configuration que 2×5, choix marginal comparé aux autres groupes, car cette configuration était la première testée par ce groupe. Concernant le choix de l'orientation de la face verticale, 75% des participants ont choisi l'orientation vers l'avant et 25% vers le haut.

DISCUSSION ET TRAVAUX FUTURS

Six participants (soit 75%) ont rapporté avoir été gênés par le fait que le focus cachait une partie de l'espace d'information au voisinage du focus. Ce constat est néanmoins à pondérer par le fait que par participant la perte d'une cible (avec déplacement nécessaire du focus) a été observée moins d'une fois parmi les 50 sélections de cible. Certains participants ont de plus eu des problèmes pour réaliser le geste de sélection, une tape (durée de présence d'un blob comprise entre 70 ms et 200 ms). Cependant, les résultats expérimentaux de cette étude préliminaire de notre technique avec le CubTile confirment notre hypothèse. Nous avons montré qu'appliquer une sensibilité dissymétrique à des surfaces tactiles, en l'occurrence aux faces du CubTile, est un facteur qui peut permettre d'améliorer les performances. Comme dans [4] pour l'interaction uni-manuelle, les intervalles de valeurs optimales des deux *CDgains* restent encore à être déterminés expérimentalement, mais cette première expérimentation montre l'intérêt de considérer des gains différents associés à chaque main. Outre des techniques avec des *CDgains* constants, il convient aussi d'étudier la variabilité des *CDgains* au cours de la réalisation d'une tâche comme cela est souligné dans [4] pour l'interaction uni-manuelle. Aussi, nous estimons que l'orientation de la face verticale vers l'avant requière plus de charge mentale (en terme de nombre de rotations mentales pour correspondre avec l'écran), et pourtant il a été choisi par 75% des participants. L'étude de ce facteur d'orientation devra également être approfondie.

Outre une étude expérimentale sur les facteurs de gains optimaux qui fera suite à notre étude préliminaire, nous envisageons aussi d'expérimenter le pointage hybride pour surfaces tactiles introduit dans [20] qui consiste à allier pointage absolu et relatif pour le déplacement du focus en exploitant la face de côté du CubTile. Nous envisageons également d'enrichir la technique en exploitant les autres faces du CubTile pour déplacer la vue d'ensemble comme dans [12], ou pour faire varier le niveau de zoom du focus. Dans ce dernier cas, les tâches de pointage multi-échelle permettront de tester un recouvrement temporel de l'usage des deux surfaces plus important, avec le déplacement du focus par la main non-dominante et le contrôle du niveau de zoom par la main dominante qui peut se faire en parallèle.

REMERCIEMENTS

Les résultats présentés dans cet article sont financés par l'ANR - projet CARE (Cultural Experience: Augmented Reality and Emotion) - www.careproject.fr

BIBLIOGRAPHIE

1. Appert, C., Chapuis, O., and Pietriga, E. High-precision magnification lenses. In *CHI '10: Proceedings of the 28th conference on Human factors in computing systems*, pp. 273–282. ACM, 2010.

2. Benko, H., Wilson, A. D., and Balakrishnan, R. Sphere: multi-touch interactions on a spherical

display. In *UIST '08: Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 77–86. ACM, 2008.

3. Casalta, D., Guiard, Y., and Beaudouin-Lafon, M. Evaluating two-handed input techniques: rectangle editing and navigation. In *CHI '99 extended abstracts*, pp. 236–237. ACM, 1999.

4. Casiez, G., Vogel, D., Balakrishnan, R., and Cockburn, A. The impact of control-display gain on user performance in pointing tasks. *Human-Computer Interaction*, 23(3):215–250, 2008.

5. Cockburn, A., Karlson, A., and Bederson, B. B. A review of overview+detail, zooming, and focus+context interfaces. *ACM Comput. Surv.*, 41(1):1–31, 2008.

6. de la Rivière, J.-B., Kervégant, C., Orvain, E., and Dittlo, N. Cubtile: a multi-touch cubic interface. In *VRST '08: Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pp. 69–72. ACM, 2008.

7. Flider, M. J., and Bailey, B. P. An evaluation of techniques for controlling focus+context screens. In *GI '04: Proceedings of Graphics Interface 2004*, pp. 135–144. Canadian Human-Computer Communications Society, 2004.

8. Forlines, C., Vogel, D., and Balakrishnan, R. Hybridpointing: fluid switching between absolute and relative pointing with a direct input device. In *UIST '06: Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 211–220. ACM, 2006.

9. Gonzalez, D., Casalta, D., Mottet, D., and Guiard, Y. Le pointage bi-échelle : évaluation de quatre variantes d'interfaces graphiques utilisateur. *Le travail humain*, 68:337–354, 2005.

10. Guiard, Y. Asymmetric division of labor in human skilled bimanual action: The kinematic chain as a model. *J. Motor Behavior*, 19(4):486–517, 1987.

11. Gutwin, C. Improving focus targeting in interactive fisheye views. In *CHI '02: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 267–274. ACM, 2002.

12. Hahne, U., Schild, J., Elstner, S., and Alexa, M. Multi-touch focus+context sketch-based interaction. In *SBIM '09: Proceedings of the 6th Eurographics Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, pp. 77–83. ACM, 2009.

13. Han, J. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In *UIST '05: Proceedings of the 18th symposium on User interface software and technology*, pp. 115–118. ACM, 2005.

14. Imbe, T., Ozaki, F., Kiyasu, S., Mizukami, Y., Ishibashi, S., Inakage, M., Okude, N., Cheok, A. D., Inami, M., and Sugimoto, M. Myglobe: a navigation service based on cognitive maps. In *TEI '10: Proc. of the 4th conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, pp. 189–192. ACM, 2010.

15. ISO. Reference Number: ISO 9241-9:2000(E). *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)--Part 9 Requirements for non-keyboard input devices*. (ISO 9241-9) (Vol. February 15, 2002): International Organisation for Standardisation, 2002.

16. Jul, S., and Furnas, G. W. Critical zones in desert fog: aids to multiscale navigation. In *UIST '98: Proc. of the 11th symposium on User interface software and technology*, pp. 97–106. ACM, 1998.

17. Latulipe, C. *A Model for Symmetric Bimanual Interaction*. PhD thesis, University of Waterloo, 2006.

18. Malik, S., Ranjan, A., and Balakrishnan, R. Interacting with large displays from a distance with vision-tracked multi-finger gestural input. In *UIST '05: Proc. of the 18th symposium on User interface software and technology*, pp. 43–52. ACM, 2005.

19. Martinet, A., Casiez, G., and Grisoni, L. 3d positioning techniques for multi-touch displays. In *VRST '09: Proceedings of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 227–228. ACM, 2009.

20. McCallum, D. C., and Irani, P. Arc-pad: absolute+relative cursor positioning for large displays with a mobile touchscreen. In *UIST '09: Proc. of the 22nd ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 153–156. ACM, 2009.

21. Pietriga, E., and Appert, C. Sigma lenses: focus-context transitions combining space, time and translucence. In *CHI '08: Proceeding of the 26th annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 1343–1352. ACM, 2008.

22. Reisman, J. L., Davidson, P. L., and Han, J. Y. Generalizing multi-touch direct manipulation. In *SIGGRAPH '09: Talks*, pp. 1–1. ACM, 2009.

23. Reisman, J. L., Davidson, P. L., and Han, J. Y. A screen-space formulation for 2d and 3d direct manipulation. In *UIST '09: Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 69–78. ACM, 2009.