

Nouvelles techniques d'interaction pour les dispositifs miniaturisés de l'informatique mobile

Simon T. Perrault

Telecom ParisTech – CNRS LTCI UMR 5141

46, rue Barrault, 75013 Paris

+33 1 45 81 73 62

simon.perrault@telecom-paristech.fr

RESUME

L'évolution récente des technologies de l'information invite les chercheurs en interaction homme-machine (IHM) à se pencher sur la question de l'échelle. On assiste à une multiplication spectaculaire des terminaux mobiles, dont la mobilité est obtenue au prix de leur miniaturisation. Si l'on parvient aujourd'hui à réduire un ordinateur aux dimensions d'une carte bancaire, on se heurte au problème critique des entrées-sorties. La montre-bracelet d'IBM dispose ainsi d'un système d'exploration complet, mais il ne discrimine que quatre positions du doigt sur son écran tactile, d'où un flux d'information dramatiquement insuffisant en entrée. Du point de vue de l'IHM, il paraît clair que la solution générale au problème de la miniaturisation matérielle devrait consister à sortir l'interface utilisateur de l'espace réduit de la machine, mais tout est à inventer. Il s'agit dans cette recherche de concevoir, développer et évaluer expérimentalement de nouvelles techniques d'interaction adaptées à l'espace raréfié des dispositifs mobiles. En ce qui concerne son volet évaluation, le projet tire profit des avancées méthodologiques récemment réalisées dans l'équipe d'accueil dans l'étude du pointage à des niveaux d'échelles sous-optimaux.

Mots clés

Informatique portée, joaillerie numérique interactive, miniaturisation, utilisabilité, pointage, loi de Fitts.

ABSTRACT

Recent development in information technology invites researchers in human-computer interaction (HCI) to address the issue of scale. The usage of mobile phones, whose mobility is achieved at the cost of their miniaturization, has increased dramatically. Now it may be possible to decrease the size of a computer to that of a credit card but such a computer would have critical input-output problems. IBM's wristwatch has a complete operating system, but it discriminates only four positions of the finger on its touchscreen, resulting in a flow of information that is dramatically insufficient for input. From the perspective of the GUI, it seems clear that the general solution to the miniaturization problem should be to move the user interface away from the machine, but everything has to be invented. In this thesis, we will design, develop and evaluate new interaction techniques adapted to small mobile devices. As for the evaluation component, the project takes advantage of recent methodological advances made by the host team while studying pointing at sub-optimal scale levels.

Categories and Subject Descriptors

H.5.2 [Information Interfaces And Presentation]: User Interface.
I.3.6 [Methodology and Techniques]: Interaction techniques.

General Terms

Design, Human Factors.

Keywords

Wearable computing, digital jewelry, miniaturization, usability, pointing, Fitts' law.

1. INTRODUCTION

En 2001, IBM présentait le concept de bijoux numériques [9], puis une montre ordinateur embarquant un système d'exploitation Linux [10]. De tels objets soulèvent de nombreux problèmes en termes d'interaction : petite taille, peu de boutons physiques, écran petit ou inexistant. L'intégration de nouveaux capteurs (accéléromètre, gyroscope, caméra, boussole, capteur de pression...) permettant de détecter les mouvements, l'orientation, la pression ou encore le champ magnétique apporte de nouvelles possibilités d'interaction fondées sur les gestes que l'utilisateur réalise avec son dispositif. De par le facteur de forme (petite taille, poids), la connectivité (Bluetooth, Wifi) et les spécificités d'usage (l'utilisateur a en permanence le dispositif sur lui) des petits dispositifs mobiles, ce nouveau type d'interaction leur est particulièrement adapté. Nous avons donc décidé de nous intéresser à ce type d'interaction afin d'augmenter la bande passante interactionnelle des bijoux numériques interactifs.

Nous avons découpé notre travail en deux parties distinctes mais complémentaires. En premier, nous avons décidé de nous intéresser à la loi de Fitts [4] dans le contexte de l'informatique miniaturisé : notre but étant de tester les limites de validité de cette loi. Celle-ci permet de prédire le temps moyen (MT) d'acquisition d'une cible de largeur W située à une distance D selon la formule :

$$MT = a * \log_2(D/W) + b \quad (1)$$

avec a et b constantes expérimentales. Comme on le note, l'équation précédente implique que le temps ne dépend que du ratio D/W , en somme que les résultats seraient les mêmes pour les couples $\{D=1\text{mm} ; W=0.1\text{ mm}\}$ et $\{D=1\text{ km} ; W=100\text{m}\}$. Nous prenons pour hypothèse qu'il existe une valeur d'échelle S_{\min} au dessous de laquelle W devient le seul facteur important, et inversement, une valeur d'échelle S_{\max} où D devient le seul facteur important sur une grande échelle.

D'un autre côté, en étudiant la littérature, nous avons constaté que celle-ci se concentre sur l'informatique dite portée (vêtements augmentés), et que dans ce domaine, les bijoux numériques

semblaient les plus prometteurs. Les avantages induits (présence permanente, petite taille) nous ont convaincu de nous intéresser spécifiquement à ce sous-domaine. Notre premier travail a donc consisté à mettre au point un questionnaire afin de connaître les habitudes des gens sur le port de bijoux, mais aussi, les possibles utilisations qu'ils souhaiteraient faire de bijoux numériques, c'est-à-dire augmentés de capteurs pour permettre l'interaction. Suite à cette première étape, nous avons classifié l'état de l'art pour faire émerger un espace de classification tentant de mettre en relief les problématiques du domaine, et les possibles solutions qui n'ont pas encore été explorées [12]. Cet espace s'inscrit dans la continuité d'autres taxonomies réalisées sur des domaines proches, comme les dispositifs mobiles [14], ou l'interaction gestuelle [1]. L'approche de cette thèse est donc à la fois théorique et pratique.

2. LOI DE FITTS : UN NOUVEAU PARADIGME

Nous avons entrepris une étude en profondeur de la loi de Fitts. En effet, il existe actuellement de nombreuses manières de formuler la loi de Fitts, toutes relativement satisfaisantes. L'écriture logarithmique classique permet un parallèle avec la théorie de l'information de Shannon [15]. Nous détaillons maintenant les différentes étapes de notre démarche.

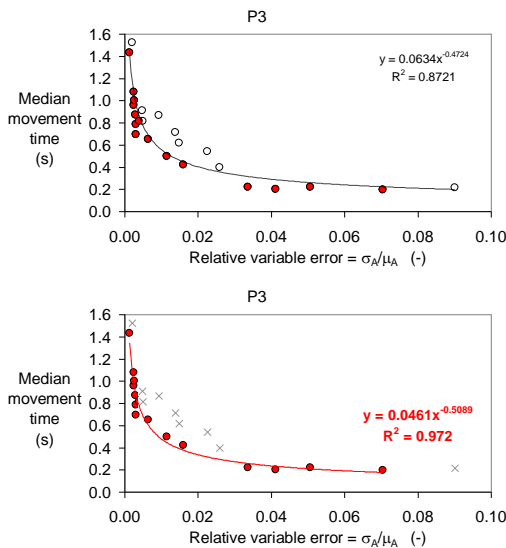


Figure 1 : Résultats d'un participant après élimination des points non pertinents

2.1 Protocole expérimental

Tout d'abord, il nous fallait mettre au point un protocole expérimental, assurant une précision maximale pour tous les niveaux d'échelles (de quelques millimètres à quelques dizaines de centimètres). En outre, nous avons choisi de ne pas fixer la taille de la cible à acquérir, en nous basant sur les travaux récents d'Yves Guiard [5] qui permettent de nous baser sur l'amplitude moyenne du mouvement de l'utilisateur, définie comme la distance du point de départ au point d'arrivée notée μ_A , et sur la dispersion de la distribution des points (l'écart-type), notée σ_A , en lieu et place de D et W. La formule devient donc :

$$\mu_T = a * \log_2(\sigma_A / \mu_A) + b \quad (2)$$

Pour cette première expérience, nous avons utilisé une tablette graphique Wacom Intuos3, reliée à un PC. L'écran du PC affichait une image composée de deux lignes rouges : la première était le départ du mouvement, et la seconde, l'arrivée. Les utilisateurs devaient se positionner sur la tablette, laquelle comportait un « guide », une sorte de glissière rectiligne. L'amplitude du mouvement à réaliser était d'exactly 150 mm, soit la distance entre les deux lignes à l'écran.

Seize participants, tous droitiers, ont participé à l'expérience. L'expérience se décomposait en 5 blocs x 5 instructions x 15 mouvements. Les instructions allaient de « effectuer le mouvement le plus rapidement possible » à « effectuer le mouvement le plus précisément possible ». Nous avons ensuite représenté sur un graphe les résultats des 25 blocs (5 x 5 instructions), pour chaque participant, avec en abscisses le rapport σ_A / μ_A et en ordonnées le temps de mouvement médian de chaque bloc (μ_T). L'étape suivante a été d'effectuer une régression linéaire sur ce nuage de points, afin de mettre en avant la relation entre les deux variables.

2.2 Régressions linéaires

Pour caractériser cette relation, nous avons testé par la régression linéaire trois types de modèles, le modèle logarithmique classique de l'éq. (2), mais aussi le modèle exponentiel

$$\mu_T = a * e^{b * \sigma_A / \mu_A} \quad (3)$$

et le modèle puissance

$$\mu_T = a * (\sigma_A / \mu_A)^b \quad (4)$$

et c'est l'éq. (4) qui modélise le mieux nos données. Le participant s'efforce toujours, sous la pression de la consigne, de minimiser le temps μ_T et l'erreur σ_A / μ_A mais il n'est pas toujours disponible à 100% de ses capacités, ce qui implique qu'il y a des points de performance moindre. Pour isoler ces points, nous avons opté pour une méthode simple : pour chaque point expérimental on détermine s'il se trouve au-dessus ou en-dessous de la courbe modèle. Une fois éliminés les points situés au-dessus, on refait une nouvelle régression linéaire (en loi puissance) et l'on détermine à nouveau les coefficients a et b de l'équation (4). La Figure 1 montre ces deux étapes.

2.3 Nouvelle équation

Sélectionnant nos 13 meilleurs participants (sur 16) en nous basant sur la valeur de leurs coefficients a, nous avons pu observer que le coefficient b de l'équation (4) était très proche de -0,5. D'où la possibilité de réécrire l'équation comme une loi racine carrée :

$$\mu_T = a / \sqrt{\sigma_A / \mu_A} \quad (5)$$

$$\mu_T * \sqrt{\sigma_A / \mu_A} = a \quad (6)$$

Ce résultat nous permet d'exprimer la loi de Fitts avec un *unique* coefficient ajustable. Cette nouvelle forme de la loi a fait l'objet d'une publication à CHI 2011 [6]. Conservation des ressources L'équation (6) met en avant une propriété intéressante du coefficient a : il se conserve quand la stratégie de l'utilisateur varie. Nous utilisons donc « a » pour noter la quantité de ressources disponibles pour l'utilisateur. Cette quantité est très proche de la notion de **throughput**. Il existe deux manières de calculer le throughput :

1. La méthode défendue par MacKenzie et al. dans [8]

$$TP_m = \log_2(\mu_A / 4,133\sigma_A + 1) / \mu_T$$
2. La méthode défendue (entre autres) par Zhai dans [16], qui indique que le throughput est l'inverse de la pente de l'équation (2).

$$TP_z = \log_2(\mu_A / 4,133\sigma_A + 1) / (\mu_T - b)$$

Nous avons comparé notre quantité de ressources, le coefficient a de l'éq. (6), aux deux manières connues de calculer le throughput (TP_m et TP_z). Nos résultats indiquent que notre quantité de ressources restait constante, quelles que soient les instructions données à l'utilisateur, ce qui n'est pas le cas de TP_z et TP_m . Ce résultat a fait l'objet d'une soumission à CHI 2012 [11].

2.4 Perspectives

Nous cherchons à vérifier si la loi de Fitts est toujours valide sur les petits dispositifs mobiles, comme les bijoux digitaux. Le cas échéant, nous pourrions spécifier une autre loi empirique plus adaptée à ce domaine, pour l'évaluation de techniques d'interaction. Nous avons démarré trois nouvelles expériences où nous faisons varier :

1. L'échelle visuelle uniquement, de 150 mm à 9,38 mm. L'échelle motrice est toujours de 150 mm.
2. L'échelle motrice uniquement, de 150 mm à 9,38 mm. L'échelle visuelle reste constante à 150 mm.
3. Les deux échelles, de 150 mm à 9,38 mm, de telle sorte que le rapport entre les deux échelles soit toujours de 1 (1 mm de mouvement sur la tablette = 1 mm à l'écran).

Cela nous permettra de déterminer s'il existe bien une valeur d'échelle S_{min} en dessous de laquelle la loi de Fitts n'est plus valide, et de déterminer si ce niveau d'échelle concerne le mouvement et/ou la vision [3].

3. INTERACTION AVEC LES BIJOUX NUMERIQUES

Le second volet de la thèse est dédié à la conception de techniques d'interaction avec les petits dispositifs mobiles, et plus particulièrement les bijoux numériques. Ces derniers sont des bijoux normaux, qui se trouvent augmentés de composants électroniques, permettant à leur porteur d'interagir avec. Les bijoux numériques les plus vendus sont les montre-téléphones¹.

Par rapport à un dispositif mobile plus grand, les bijoux numériques possèdent l'avantage d'être en permanence en contact avec l'utilisateur, en plus d'être très facilement accessibles, et généralement facilement visibles de l'utilisateur, qui n'a donc pas besoin de le sortir d'un sac ou d'une poche pour le consulter. En contrepartie, leur petite taille rend l'interaction difficile : il est difficile de placer des boutons ou un grand écran sur un tel dispositif.

3.1 Enquête sur les bijoux numériques

Afin de mieux cerner les connaissances de potentiels utilisateurs, ainsi que leurs attentes, nous avons mis au point un questionnaire qui a été soumis à 68 personnes, par le biais d'Internet. Dans un premier temps, nous désirions connaître les fréquences de port des bijoux chez les sondés (parmi bagues/anneaux, bracelets/montre, colliers/pendentifs, broches, piercings). Un rapide scénario

d'utilisation était décrit, et, pour chaque tâche indiquée, les utilisateurs devaient indiquer l'intérêt (et non faisabilité) de cette dernière, en donnant une note entre 1 (pas intéressant) et 5 (très intéressant). Finalement, les répondants devaient indiquer s'ils seraient prêts à utiliser des bijoux numériques au quotidien en justifiant leur réponse.

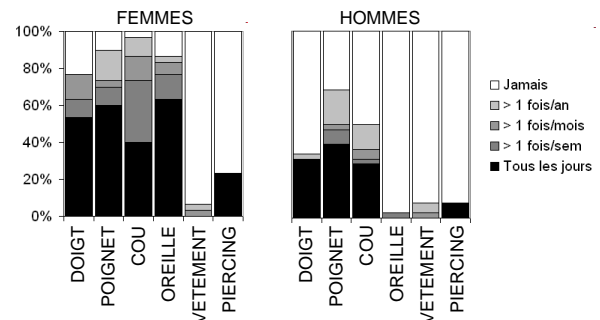


Figure 2 : Fréquence du port de bijoux à divers endroits corporels, séparément pour les femmes et les hommes

Les premiers résultats de l'enquête (Figure 2) indiquent qu'une bonne proportion des sondés portent régulièrement au moins un bijou, en particulier les femmes. A noter que le domaine ne semblait pas très bien connu de nos sondés (moins de 30% de répondants connaissaient l'existence de bijoux numériques). Un autre résultat concerne l'intérêt porté aux bijoux numériques à l'issue de l'enquête : 60% des personnes interrogées déclarent être prêtes à utiliser des bijoux numériques, pourcentage qui monte à 74% des personnes portant un bijou régulièrement.

3.2 Classification de la littérature

Nous avons ensuite entrepris de classer les techniques d'interaction existantes dans la littérature. En terme de modalité d'interaction, la contrainte de taille rend l'interaction gestuelle plus complexe, c'est pourquoi nous nous sommes spécifiquement intéressés à ce type d'interaction. Deux approches existent dans la littérature pour contourner les problèmes induits par la taille : l'interaction *autour* du dispositif, sans contact, où le dispositif fait office de référentiel pour le mouvement de la main (comme par exemple dans Abracadabra [7]). Une seconde possibilité est d'exploiter les mouvements du dispositif lui-même, dans le référentiel environnant [1].

Les résultats de l'enquête ainsi que le classement de la littérature a été détaillé dans l'article [12]. Ce travail nous a permis de mettre en avant certains oublis de la littérature, comme par exemple, le fait qu'il n'existe pas de boucles d'oreille augmentées (alors que la Figure 2 montre que c'est le bijou le plus porté par les femmes), ou que les mouvements du collier ne sont jamais considérés pour l'interaction. En outre, l'enquête a permis de dégager une liste de tâches que les (futurs) utilisateurs de bijoux numériques souhaitent pouvoir effectuer.

3.3 Projet Watch It

L'étude de la littérature, ainsi que les résultats de l'enquête nous ont suggéré de nous intéresser à la montre interactive, et en particulier au bracelet de celle-ci, dont la surface n'est traditionnellement pas utilisée. Nous avons donc réalisé un prototype de bracelet interactif (Figure 3) avec des potentiomètres, puis mis au point une technique d'interaction gestuelle qui a été évaluée. Ce travail a fait l'objet d'une soumission à CHI 2012 [13].

¹ <http://www.veadigital.com/>

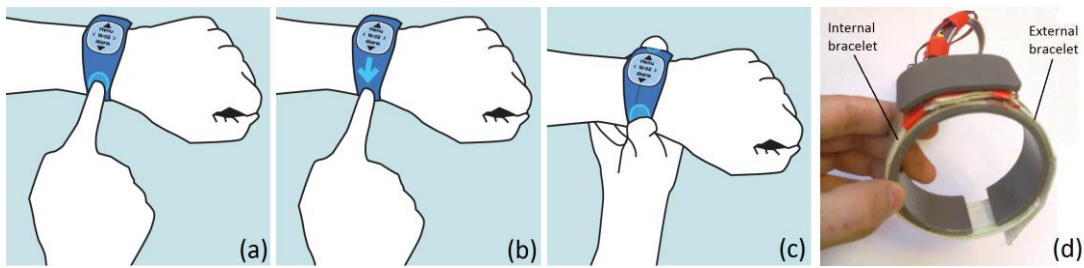


Figure 3 : WatchIt permet d'interagir avec des gestes sur le bracelet: (a) avec un doigt en pointant sur le bracelet interne, (b) en glissant sur le bracelet interne, (c) avec deux doigts, (d) le prototype expérimental WatchIt. Les gestes (a) et (b) sont aussi faisables sur le bracelet externe.

4. PERSPECTIVES

A la suite des différents travaux présentés ci-dessus nous souhaitons étudier ou approfondir plusieurs axes de recherche.

Le premier axe consiste à poursuivre l'étude de l'interaction sur bijoux numériques. Plusieurs pistes s'offrent à nous, en premier lieu, l'augmentation du bracelet qui semble particulièrement prometteuse d'après les premiers travaux effectués dans ce sens [13]. L'enjeu de ce prototype est aussi de faire un lien concret entre la loi de Fitts (qui sert de référence pour les tâches de pointage) et les bijoux numériques : avec un bracelet « tactile » il serait alors possible de faire une expérience classique sur de petites échelles, et corroborer les éventuels résultats des expériences en cours décrites dans la partie 2.

Une autre approche pratique serait l'exploration d'alternatives aux retours d'interactions visuels. Jusque là, nous nous sommes focalisés sur l'entrée (input), mais les problématiques générales du domaine s'appliquent aussi bien aux sorties (output). Nous souhaiterions nous intéresser de plus près à l'utilisation de vibreurs disposés à plusieurs endroits vibrant à tour de rôle, ou à l'utilisation d'une diode. La diode consomme peu d'énergie et peut s'intégrer facilement à un tout petit dispositif. En faisant clignoter celle-ci de différentes couleurs et à différentes fréquences, nous souhaiterions voir combien de cas différents nous pourrions isoler. Cela permettrait surtout d'alléger les sorties visuelles classiques des bijoux interactifs (écran de la montre par exemple).

Enfin, le dernier axe plus théorique permettra de fournir de nouveaux outils pour la mise en place de techniques d'interaction en entrée sur bijoux digitaux. Les expériences précédemment décrites sont en cours de passage ou d'analyse de résultats.

5. CONCLUSION

Ce travail de thèse consiste en une étude de la loi de Fitts dans de faibles niveaux d'échelles, afin de déterminer un nouveau paradigme qui servira à évaluer des techniques d'interaction adaptées aux petits dispositifs mobiles en général, et aux bijoux numériques en particulier. Ensuite, une étude a été réalisée, et a permis de confirmer l'intérêt porté par de potentiels utilisateurs aux bijoux numériques. Enfin, nous avons réalisé un espace de classification des nombreuses techniques d'interaction gestuelles existantes. En s'appuyant sur cet espace, nous allons concevoir et comparer différentes techniques d'interaction gestuelle sur plusieurs bijoux (colliers, bracelets, anneaux), puis les évaluer grâce au volet théorique de cette thèse.

6. REFERENCES

- [1] Ashbrook, D., Baudisch, P., and White, S. Nanya : Subtle and Eyes-Free Mobile Input with a Magnetically-Tracked Finger Ring. In Proc. *CHI 2011*, ACM Press (2011).
- [2] Baglioni, M., Lecolinet, E., and Guiard, Y. 2009. Espace de caractérisation des interactions gestuelles physiques sur dispositifs mobiles. In Proc. *IHM '09*, ACM Press (2009).
- [3] Chapuis O., Dragicevic P. Effects of Motor Scale, Visual Scale and Quantization on Small Target Acquisition. In *ToCHI* 18, 3, Article 13 (August 2011), 32 pages.
- [4] Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. In *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- [5] Guiard, Y. (2009). The problem of consistency in the design of Fitts' law experiments: Consider either target distance and width or movement form and scale. In Proc *CHI'09*.
- [6] Guiard, Yves, Olafsdottir, Halla B. and Perrault, Simon T., Fitts' Law as an Explicit Time/Error Trade-Off. In Proc *CHI'11*.
- [7] Harrison, C. and Hudson, S.E. Abracadabra: wireless, high-precision, and unpowered finger input for very small mobile devices. In Proc. *CHI'09*, ACM (2009), 121-124.
- [8] MacKenzie, I.S. & Isokoski, P. (2008). Fitts' throughput and the speed-accuracy tradeoff. In Proc *CHI'08*.
- [9] Miner, C.S., Chan, D.M., and Campbell, C., Digital Jewelry: Wearable Technology for Everyday Life. In Proc. *CHI'01*.
- [10] Narayanaswami, C., Kamijoh, N., Raghunath, M.T., et al., IBM's Linux watch, the challenge of miniaturization. In *IEEE Computer*, Vol 35(1), January (2002), 33-41.
- [11] Olafsdottir, H., Perrault, S. T., Guiard, Y. and Rioul, O., Testing Fitts' Throughput Invariance: Some New Data and a Warning about Jensen's Inequality, Soumis.
- [12] Perrault, Simon T., Bailly, Gilles, Guiard, Yves and Lecolinet, Eric, Promesses et contraintes de la joaillerie numérique interactive : Un aperçu de l'état de l'art, In Proc. *IHM'11*, To appear.
- [13] Perrault, S. T., Lecolinet, E., Guiard, Y., WatchIt: Simple Gestures for Watchstrap Interaction, Soumis.
- [14] Roudaut, Anne and Lecolinet, Eric, Un espace de classification pour l'interaction sur dispositifs mobiles. In Proc. *IHM '07*, ACM Press (2007), 99-106.
- [15] Shannon, C., A mathematical theory of communication. In *Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379-423 and 623-656, July and October, 1948
- [16] Zhai, S. (2004). Characterizing computer input with Fitts' law parameters: The information and the noninformation aspects of pointing. *Int J Human Computer Studies*, 61.