

Virtualisation d'interfaces matérielles par l'intermédiaire d'un ordinateur porté

Alexandre Plouznikoff¹, Nicolas Plouznikoff², Jean-Marc Robert²

Laboratoire sur les Interactions Humain-Machine (LIHM)
Département de Génie Informatique (1) & Département de Génie Industriel (2)
École Polytechnique de Montréal
C.P. 6079, Succ. Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3A7
{ alexandre.plouznikoff, nicolas.plouznikoff, jean-marc.robert }@polymtl.ca

RÉSUMÉ

Après avoir rappelé la complémentarité de l'informatique portée et disséminée, cet article expose les principes de la virtualisation d'interfaces matérielles à l'aide d'un ordinateur porté. Nous présentons les avantages de cette approche et l'architecture de notre prototype actuel. Nos résultats préliminaires montrent que, même si la virtualisation d'interfaces matérielles ne permet actuellement pas d'augmenter la performance des utilisateurs, elle peut améliorer leur satisfaction.

MOTS CLÉS : Ordinateur porté, interfaces virtuelles.

ABSTRACT

After reminding the complementarity of wearable and pervasive computing, this paper describes the principles of hardware interfaces virtualization through wearable computers. We present the benefits of this approach and our current prototype's architecture. Our preliminary results show that, even though virtualizing hardware interfaces does not currently improve user performance, it can enhance user satisfaction.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: C.5.3 [Computer System Implementation]: Microcomputers - Portable Devices; H.5.2 [Information Interfaces and Presentation]: User Interfaces.

GENERAL TERMS: Design, Human Factors.

KEYWORDS: Wearable computer, virtual interfaces.

INTRODUCTION

Dans sa conception de l'informatique ubiquitaire, Weiser a imaginé une informatique omniprésente [11] qui peut aujourd'hui se manifester par une diffusion de l'informatique dans l'environnement (*pervasive compu-*

ting) et/ou une diffusion sur l'utilisateur (*wearable computing*). D'une part, la dissémination de l'informatique dans l'environnement tend à miniaturiser les dispositifs électroniques, les interconnecter et les intégrer dans les objets usuels ce qui pose de nouveaux défis pour les interactions humain-machine [1]. D'autre part, l'informatique portée se veut utile et entièrement fonctionnelle tout en étant portée par l'utilisateur [7]. Ces deux approches cherchent à favoriser l'accès transparent à des services et des informations en tout lieu et à tout moment, en partie pour supporter des tâches à accomplir dans le monde réel. En fait, ces approches sont complémentaires et gagnent à être rapprochées. En effet, les systèmes de l'informatique disséminée présentent en général des lacunes au niveau de la personnalisation et de la protection des informations personnelles mais permettent un contrôle efficace de ressources localisées et souvent une gestion globale de l'information; il s'agit du contraire pour les systèmes de l'informatique portée [8]. Nous proposons d'utiliser un ordinateur porté afin de mieux exploiter les capacités des appareils de l'environnement. Pour ce faire, nous voulons abstraire leurs interfaces matérielles pour les recréer en réalité augmentée. L'ordinateur porté se transforme alors en un conduit façonnant les interactions entre l'utilisateur et ces appareils. Il devient donc un point d'accès privé, un agent personnel face au monde de l'informatique disséminée.

RECHERCHES APPARENTÉES

L'idée d'un contrôleur universel personnel donnant accès aux fonctionnalités d'appareils de l'environnement a déjà été étudiée. Par exemple, la réalisation d'une tâche à travers une interface présentée sur un ordinateur de poche ou un assistant numérique personnel (PDA) semble nécessiter moitié moins de temps et produire moitié moins d'erreurs que sa réalisation à l'aide du panneau de contrôle intégré des différents appareils (chaîne stéréo ou téléphone) [5]. Pour ce type de contrôleurs à distance, la description fonctionnelle d'une interface matérielle, qui peut être basée sur un dérivé du langage XML [6], permet de générer dynamiquement des interfaces graphiques ou vocales pour dialoguer avec de multiples appareils conventionnels. Cependant, même si elle pourrait être adaptée pour tenir compte de certaines préférences explicites de l'utilisateur, une telle approche mène à une

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. IHM 2005, September 27-30, 2005, Toulouse, France. Copyright 2005 ACM X-XXXXX-XXX-X/XX/XXXX \$5.00

télécommande qui restreint l'utilisateur à un espace de travail fini et ne permet ni d'intégrer à terme l'interface utilisée au monde réel, ni de recueillir et de prendre en compte le contexte de l'utilisateur (*situated computing* [4]). D'autres recherches se sont penchées sur la découverte et l'activation de services environnementaux, par exemple par le biais de balises infrarouges [3]. Finalement, notons que des systèmes mobiles permettent déjà le contrôle d'appareils de l'environnement. Un téléphone portable peut ainsi être utilisé au Japon pour transiger avec une machine distributrice.

VIRTUALISATION D'INTERFACES MATÉRIELLES

Par l'intermédiaire de l'informatique portée, nos travaux tentent de découpler les interfaces homme-machine traditionnelles des systèmes qu'elles supportent. En synthétisant des interfaces virtuelles palliatives ou complètes, l'informatique portée introduit un niveau d'abstraction supplémentaire entre un appareil et son interface. Ainsi, un ordinateur porté permettrait à un utilisateur d'accéder à n'importe quel guichet bancaire à travers une interface familière. Cette approche peut aussi être utile pour l'adaptation à des utilisateurs atteints de déficiences. Nos travaux introduisent donc un nouveau paradigme d'interaction où l'utilisateur contourne les contrôles physiques propres à certains appareils pour dialoguer avec eux à travers une interface virtuelle et spécifique dans une forme de réalité augmentée. Ceci est bénéfique sur trois plans: la conception, la mise à jour et l'utilisation de tels appareils.

Impacts sur la conception et la mise à jour

En dissociant l'interface matérielle des fonctionnalités mécaniques d'un appareil, nous compartimentons le développement du système et de son interface. Ceci assouplit la conception, minimise les compromis souvent faits au dépend de l'interface pour accommoder le design technique (placement de boutons selon le routage électronique, modalités d'interaction tributaires des spécifications informatiques, etc.) et introduit un espace de travail virtuel presque infini utilisant le monde réel comme espace d'affichage et d'interaction. Ce gain de liberté sur le plan de l'élaboration de l'interface se répercute aussi lors de son évolution. En effet, l'introduction d'interfaces virtuelles simplifie les modifications: la mise à jour du matériel n'a plus à tenir compte des modifications physiques à apporter pour communiquer avec l'interface et cette dernière, libre de ses connexions matérielles, ne consiste plus qu'en une description de ressources facilement modifiable.

Impacts au niveau de l'utilisateur

Sur le plan de l'utilisateur, la virtualisation d'interfaces matérielles se répercute à trois niveaux et peut:

- 1- favoriser une consistance de l'interface d'un appareil à l'autre dans une classe donnée et faciliter l'évolution des interfaces et leur convergence. En fournissant des outils capables de lever les barrières

matérielles contraignant les interfaces actuelles et en facilitant leurs modifications, la virtualisation semble pouvoir jouer le rôle d'un catalyseur dans la poursuite d'interfaces plus standardisées.

- 2- accroître l'adaptabilité des interfaces. La virtualisation permet d'introduire des interfaces spécifiques, minimales et adaptables aux besoins de chaque utilisateur (préférences, handicaps visuels, différences culturelles, etc.), chose impossible pour les interfaces physiques traditionnelles conçues pour un utilisateur moyen (qui n'existe plus [10]) et difficilement adaptables car intimement liées au matériel. La virtualisation rend alors possible la création de multiple variantes d'interfaces pour un même appareil, accommodant ainsi la diversité des utilisateurs [9] et répondant mieux à leurs exigences.
- 3- éventuellement étendre à des appareils traditionnels le concept d'interfaces adaptatives déjà implémenté dans certains systèmes informatiques. Ces interfaces virtuelles pourraient alors être générées dynamiquement et évoluer avec l'utilisateur, selon son historique, ses habitudes, ou les données environnementales recueillies par l'ordinateur porté. Ceci vient rejoindre les mécanismes d'adaptation et de spécialisation en fonction de l'utilisateur mis de l'avant pour les interfaces unifiées [10].

PROTOTYPE ACTUEL

L'emploi d'un ordinateur porté pour gérer les interfaces virtuelles a) assure la mobilité de l'utilisateur pour se déplacer d'un appareil à l'autre et, b) comparativement à un l'utilisation d'un PDA, cherche à préserver les caractéristiques d'interaction associées aux appareils usuels; l'affichage tête haute intégrant les interfaces à l'environnement (pour le moment une superposition issue de la vision stéréo de l'utilisateur, sans registration) et les senseurs embarqués permettant l'interaction avec ces interfaces dans une forme de réalité augmentée.

Architecture matérielle

Notre plateforme portée est bâtie autour d'un module central PC-104+, comportant un processeur Transmeta 1.0GHz et 256MB de RAM, combiné à une carte d'acquisition vidéo et une carte d'accès sans-fil (802.11b) pour communiquer avec les appareils supportant une interface virtuelle. Ces composantes sont intégrées dans une veste de photographe. Un affichage monoculaire opaque MicroOptical SV6 (18 bits, 640x480 pixels) est utilisé comme dispositif d'affichage tête haute tandis qu'une caméra couleur est montée sur les lunettes de l'utilisateur pour la capture de ses gestes. Un ordinateur portable doté d'une carte d'accès sans-fil émule le système d'un appareil démuné d'interface matérielle en communiquant ses fonctionnalités et en recevant les commandes de l'ordinateur porté.

Architecture logicielle

Notre système est implémenté en C++ et utilise la librairie OpenCV de Intel™ pour le traitement d'images. L'architecture logicielle repose sur un modèle client-serveur (ordinateur porté - appareil) communiquant par sockets/messages. Notre prototype n'incorpore toutefois pas encore de découverte automatique de services. Une fois la connexion établie, le dialogue se base sur l'envoi progressif par l'appareil d'une description fonctionnelle de l'interface sous un format XML simplifié (figure 1), inspiré de la description hiérarchique de [6], où chaque état de la machine est décrit, incluant ses sous étapes, le type des données attendues pour ces dernières, les libellés, etc. Seule la description de l'état courant est transmise au client et la logique interne de l'appareil n'y figure pas. Une fois une spécification XML reçue, il incombe au dispositif client d'effectuer le rendu de l'interface en réalité augmentée afin d'obtenir les données nécessaires. Cette interface est générée grâce à un ensemble de règles propres à l'utilisateur qui peut par exemple préciser l'affichage des éléments, les méthodes d'entrée, l'ordre des sous étapes, l'entrée automatique d'une donnée, etc. Pour une plus grande flexibilité, chaque catégorie d'appareils est associée à un ensemble de règles. Une fois les données d'un état recueillies, elles sont transmises au serveur qui détermine le prochain état et renvoie la spécification XML correspondante.

```
11 <state>2
12 <stage>1
13 <stageName>Operation</stageName>
14 <stageDesc>Please, choose your operation</stageDesc>
15 <varName>varOp</varName><varType>Enum</varType>
16 <enum>Withdraw</enum>
17 <enum>Deposit</enum>
18 <enum>Balance</enum>
19 </stage>
20 </state>
21
22
23 <state>3a
24 <stage>1
25 <stageName>WithdrawReceipt</stageName>
26 <stageDesc>Do you want a receipt ?</stageDesc>
27 <varName>varReceipt</varName><varType>Bool</varType>
28 </stage>
29
30 <stage>2
31 <stageName>WithdrawAmount</stageName>
32 <stageDesc>Please, enter an amount</stageDesc>
33 <varName>varAmount</varName><varType>Int</varType>
34 </stage>
```

Figure 1 – Portion de spécification XML stipulant les données demandées par le serveur, pour chaque état.

L'interaction avec l'interface virtuelle est réalisée grâce à un algorithme de repérage du doigt de l'utilisateur inspiré de [2] et implémenté sur le client. Après avoir segmenté selon la couleur de la peau et nettoyé chaque image, l'extrémité du doigt est obtenue en prenant le point de courbure maximale du contour. En déterminant le rayon de l'extrémité du doigt, sa profondeur dans l'image est approximée pour compléter les coordonnées 2D déjà connues et savoir, en fonction d'une profondeur seuil, s'il y a contact avec un élément de l'interface. Un composite de l'interface perçue est présenté à la figure 2.

Une telle architecture permet à l'utilisateur de configurer son interface, dans les limites matérielles de l'appareil reflétées par la structure des états de la description XML,

et ce anonymement (l'utilisateur gardant un plus grand contrôle sur les informations qui lui sont associées). Il est alors possible pour un utilisateur de conserver la même interface de chaîne stéréo tant temporellement que spatialement, d'éliminer les choix inintéressants des machines distributrices, etc. Pour le moment, ces règles comportementales sont prédéfinies et ne permettent pas d'obtenir une interface virtuelle adaptative.



Figure 2 – Guichet bancaire de référence (gauche) et composite de l'interface virtuelle perçue (droite)

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

Nous avons cherché à comparer l'utilisabilité d'une interface virtuelle (calquée sur une interface matérielle familière) à celle d'une interface matérielle peu connue en mesurant l'efficacité et le degré de satisfaction de l'utilisateur. Le domaine des guichets bancaires, où les utilisateurs font souvent face à des interfaces différentes selon le propriétaire du guichet, a été choisi pour étudier l'impact de la virtualisation d'une interface matérielle.

Expérience

Quatre sujets utilisant régulièrement les guichets de la banque A ont été recrutés (3 hommes et 1 femme, 23 à 52 ans, compétences informatiques ordinaires à avancées). Chaque sujet a dû retirer 20\$ à 5 guichets de banques différentes et, chaque fois, a été chronométré après l'insertion de sa carte bancaire et jusqu'à la fin de la transaction. Suite à un retrait, un utilisateur devait préciser sur une échelle de Likert son degré de satisfaction face à l'interface utilisée. Chaque utilisateur a aussi testé l'interface virtuelle (calquée sur celle d'un guichet de la banque A) après avoir été sensibilisé aux méthodes d'interaction de ce guichet simulé. La figure 3 présente les moyennes de ces résultats.

Discussion des résultats

Le guichet de la banque A, dont l'interface est connue de chaque utilisateur, présente le temps d'exécution minimal tandis que celui de l'interface virtuelle est relativement élevé. Son interface étant calquée sur celle de la banque A, cette augmentation pourrait s'expliquer par les modalités d'interactions qui sont encore nouvelles pour les utilisateurs. Dans un cas cependant (banque C), les utilisateurs ont mieux réussi avec l'interface virtuelle qu'avec l'interface matérielle. Pour les interfaces matérielles, le degré de satisfaction semble quant à lui inversement proportionnel au temps d'exécution. Il semble que, face à un guichet peu familier, les utilisateurs des

guichets conventionnels ont fait face à des problèmes lors des transactions et que pour eux ces interfaces ne sont pas optimales. Bien que le temps d'exécution de la tâche avec le guichet virtuel soit supérieur aux autres, la satisfaction des utilisateurs face à cette interface se situe au même niveau que face aux guichets matériels. Ceci laisse supposer que l'interface virtuelle n'a pas présenté un défi majeur pour les utilisateurs et que leur charge cognitive devait être relativement faible. Pour corroborer cette hypothèse, tous les utilisateurs ont souligné à la fin de l'expérience la relative facilité d'utilisation de l'interface virtuelle.

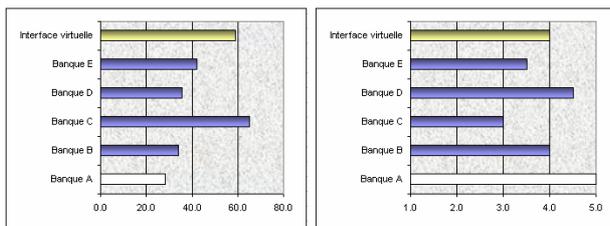


Figure 3 – Temps d'exécution moyen (gauche) et degré moyen de satisfaction (droite)

Cette étude montre qu'une interface matérielle peut être virtualisée. Suite à une familiarisation des méthodes d'interactions virtuelles et une personnalisation de l'interface (raccourcis, affichage visuel personnalisé, disposition des touches...), il semble possible d'atteindre des temps d'exécution et des degrés de satisfaction similaires à ceux des interfaces matérielles connues.

TRAVAUX FUTURS

À court terme, nous poursuivrons nos tests afin de compléter notre étude, notamment pour éliminer l'aspect « nouveauté » pouvant influencer la satisfaction des utilisateurs. Sur le plan logiciel, une robustesse accrue de notre algorithme de détection du doigt, qui ne fonctionne à ce jour que dans un environnement contrôlé, minimiserait les erreurs de manipulation. À moyen terme, nous supporterons des éléments d'interface allant au delà de simples boutons afin d'étendre le domaine des interfaces virtualisables. En raffinant notre langage de description et en nous dirigeant vers un langage de haut niveau, nous espérons réduire les contraintes que la syntaxe actuelle impose sur nos interfaces. Cela mènera à un système plus souple qui, idéalement, générera dynamiquement des interfaces spécifiques à un utilisateur en éliminant les fonctionnalités non utilisées, en regroupant les chemins les plus courants en une seule requête, en mettant à profit le contexte, etc.

CONCLUSION

La contribution principale de cet article est d'introduire un paradigme d'interaction reposant sur une utilisation novatrice des ordinateurs portés. En virtualisant les interfaces matérielles, ils permettent aux utilisateurs de se défaire des interfaces conventionnelles et de dialoguer de

manière efficace, consistante et personnalisable avec les appareils de l'environnement. Un ordinateur porté devient un support personnel pour accéder aux services d'un environnement saturé d'informatique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Abowd G.D. & Mynatt E.D., Charting past, present and future research in ubiquitous computing, Carroll J.M. ed. *Human-Computer Interaction in the new millennium*, Addison-Wesley, 2002, pp.511-536.
2. Dominguez S.M., Keaton T. & Sayed A.H., Robust finger tracking for wearable computer interfacing, *Proceedings of the Workshop on Perceptive User Interfaces*, ACM, Orlando, U.S.A., 2001, pp.1-5.
3. Kortuem G., Segall Z. & Bauer M., Context-aware, adaptative wearable computers as remote interfaces to intelligent environments, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Wearable Computers (ISWC'98)*, Los Alamos, U.S.A., 1998, pp.58-65.
4. Mills K.L. & Scholtz J., Situated computing: the next frontier for HCI research, Carroll J.M. ed. *Human-Computer Interaction in the new millennium*, Addison-Wesley, Boston, 2002, pp.537-552.
5. Nichols J. & Myers B.A., Studying the use of handhelds to control smart appliances, *International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing, Proceedings of the 23rd IEEE Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, Providence, U.S.A., 2003, pp.274-279.
6. Nichols J., Myers B.A., Litwack K., Higgins M., Hughes J. & Harris T.K., Describing Appliance User Interfaces Abstractly with XML, *Workshop on Developing User Interfaces with XML: Advances on User Interface Description Languages, Proceedings of the Advanced Visual Interfaces 2004 Conference*, Gallipoli, Italy, 2004, pp.9-16.
7. Plouznikoff N. & Robert J.-M., Caractéristiques, enjeux et défis de l'informatique portée, *Compte rendu de la 16ième Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM'04)*, Namur, Belgique, Septembre 2004.
8. Rhodes B., Minar N. & Weaver J., Wearable Computing Meets Ubiquitous Computing, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Wearable Computers (ISWC'99)*, San Francisco, U.S.A., 1999, pp.141-149.
9. Shneiderman B. & Plaisant C., Accomodation for human diversity, *Designing the User Interface : Strategies for Effective Human-Computer Interaction (3rd edition)*, Addison-Wesley, 1998, pp.18-27.
10. Stephanidis C., The concept of unified user interfaces, Stephanidis C. ed. *User Interfaces for All: Concepts, Methods, and Tools*, Lawrence Erlbaum Associates, 2001, pp.371-388.
11. Weiser M., The computer for the twenty-first century, *Scientific American*, 265 (3), 1991, pp.94-104.