

Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur : Application de la Réalité Augmentée

Emmanuel Dubois^{1,2}

¹ CLIPS-IMAG
385 rue de la bibliothèque
BP 53
F-38041 Grenoble Cedex 9
Tél. : 04 76 63 59 70

² TIMC-IMAG
Faculté de Médecine
Institut Albert Bonniot
F-38706 La Tronche Cedex
Tél. : 04 76 54 95 23

Emmanuel.Dubois@imag.fr

RESUME

Apporter les capacités de traitement d'un ordinateur dans l'environnement réel de l'utilisateur, avec des moyens d'interaction encore plus intégrés au monde réel, est l'origine du concept de "Réalité Augmentée" (RA). L'expansion des systèmes de RA a suscité l'intérêt des chercheurs en Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur (GMCAO). En effet ces systèmes de GMCAO constituent une application concrète de la RA.

Dans cet article, nous proposons OP-a-S, un espace de classification centré sur l'analyse de l'interaction entre un utilisateur et un système interactif. Cet espace permet de regrouper des systèmes de RA à priori différents et fait apparaître des nuances entre les systèmes de RA. Cet espace de classification de systèmes interactifs, est un point de départ au développement d'une méthode de conception pour les systèmes de GMCAO.

MOTS CLES : RA, Espace de Classification, GMCAO.

INTRODUCTION

Le terme "Réalité Augmentée" (RA) est aujourd'hui largement utilisé dans la communauté Interaction Homme-Machine (IHM). Souvent mise en parallèle de la "Réalité Virtuelle" (RV), ces deux concepts sont facilement discernables dès lors que l'on s'intéresse à l'immersion de l'utilisateur. En réalité virtuelle, l'utilisateur est complètement immergé dans un monde informatique alors qu'en réalité augmentée, il reste dans et en contact avec le monde réel. Cette dernière caractérisation de la réalité augmentée sert de définition à ce paradigme et, mise à part [8,9], aucune autre proposition de classification n'a été proposée jusqu'alors. Pourtant l'analyse de nombreux systèmes mettant en présence ces deux mondes (informatique et réel), et respectant ainsi la caractérisation de la RA énoncée précédemment, montre qu'il existe des différences importantes entre ces systèmes en termes d'interaction. Nous proposons donc un espace de classification, baptisé OP-a-S, permettant de distinguer clairement différents types de systèmes interactifs et tout particulièrement ceux relevant actuellement de la catégorie floue que constitue la RA.

Ce travail s'inscrit dans une démarche plus globale destinée à fournir un cadre de conception ergonomique pour les systèmes de Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur (GMCAO). En effet la GMCAO, cas particulier de la RA, a pour objectif d'améliorer une intervention chirurgicale, en fournissant au chirurgien des informations directement dans le champ opératoire : il y a donc présence d'information du monde informatique (imagerie, robots) et d'une partie du monde réel (outils, le patient). Cet aspect s'est d'autant plus renforcé depuis le développement de la chirurgie minimalement invasive qui ne permet plus au chirurgien de directement percevoir les structures anatomiques internes. La GMCAO est donc un domaine concret de mise en œuvre de la RA. Nous présenterons dans le paragraphe suivant les concepts de la GMCAO ainsi que plusieurs systèmes de GMCAO afin de mettre en évidence l'existence de types de systèmes complètement différents. Puis nous présenterons notre espace de classification OP-a-S.

LES GESTES MEDICO-CHIRURGICAUX ASSISTES PAR ORDINATEUR (GMCAO)

Le but de cette discipline est d'améliorer la réalisation d'une intervention chirurgicale. Le moyen utilisé consiste à rendre des données acquises, calculées ou définies avant l'intervention, accessibles et utilisables par le chirurgien pendant l'intervention et sur le lieu de l'intervention. Ces informations peuvent par exemple être une trajectoire à réaliser, comme le fait notre système CASPER (Computer Assisted PERicardial puncture) [2]. Un système de croix permet, en suivant en temps réel la position d'un outil dans l'espace, d'indiquer schématiquement la position de l'outil (deux croix) par rapport à une trajectoire planifiée (une croix). La figure 1 montre les informations affichées sur l'écran au cours de l'exécution de la ponction avec le système CASPER.

Mais indiquer une trajectoire au chirurgien peut aussi se faire en utilisant un robot : c'est le principe du système Orthosista [5] utilisé pour insérer une vis dans le fémur après réduction manuelle d'une fracture. Compte tenu d'une trajectoire définie par le chirurgien sur les images médicales, le robot positionne automatiquement un guide

dans lequel le chirurgien glisse le forêt de la perceuse lui permettant ainsi de réaliser le perçage planifié.

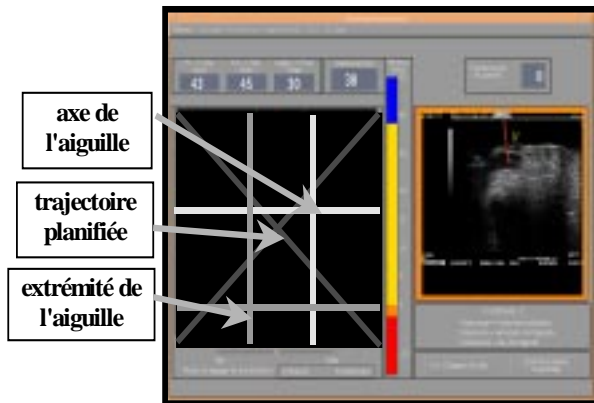


Figure 1 : Ecran de visualisation de l'application CASPER

Dans les deux systèmes, le principe est le même. Mais les méthodes utilisées pour le mettre en œuvre sont différentes : l'un procure des informations visuelles, l'autre des informations haptiques. Nous allons donc présenter un espace de classification, permettant d'identifier ces différences.

OP-a-S : ESPACE DE CLASSIFICATION

Nous avons choisi comme première étape, d'analyser les systèmes de RA en fonction de ses différents composants, l'objectif principal étant de prendre en considération l'utilisateur lors de son interaction avec le système. La seconde étape consiste à étudier les interactions, ou relations existantes entre chacun de ces composants. Ces deux notions de composants et relations sont présentées dans les paragraphes suivants.

Les composants O, P, a et S

Nous modélisons chaque système interactif sur la base de quatre composants distincts. Le **système informatique** (S) est doté de capacités de stockage, de traitement et de restitutions de données informatiques. Une **personne** (P) utilise le système. Une partie du monde réel est également utilisée dans la réalisation de la tâche : il s'agit d'un **objet réel** (Oobj) véritable objet de la tâche, ou/et d'un **outil réel** (Oout) manipulé lors de l'exécution de la tâche. Enfin pour réaliser le lien entre le monde réel (composants O et P) et le monde informatique (composant S), c.-à-d. faire passer des informations d'un monde à l'autre, nous identifions un dernier composant, l'adaptateur (A), qui peut être, du point de vue du système, un **adaptateur d'entrée** (AE) comme une souris, un clavier ou un localisateur magnétique, ou bien un **adaptateur de sortie** (AS) comme par exemple un écran, un casque semi-transparent, un bras à retour d'effort ou un haut-parleur.

Les relations entre composants

Chacun de ces composants peut être lié à un ou plusieurs autres composants, transmettant de l'information d'un composant vers l'autre. Nous représentons ce transfert ou flux d'informations par une relation unidirectionnelle. Ainsi une relation d'un écran (AS) vers l'utilisateur (P) caractérise le fait que l'utilisateur perçoit les informations visuelles affichées sur l'écran. Un autre exemple est la relation d'un outil (Oout) vers un localisateur (AE), le localisateur réalisant le suivi de l'outil dans l'espace.

La figure 2 illustre les deux principes de base pour notre application CASPER, application de GMCAO : l'aiguille de ponction (Oout), manipulée par le chirurgien (P), est suivie par un système de caméras (AE), qui transmet les informations au système (S). Le système (S) peut ensuite afficher à l'écran (AS) la position réelle de l'outil par rapport à la position planifiée.

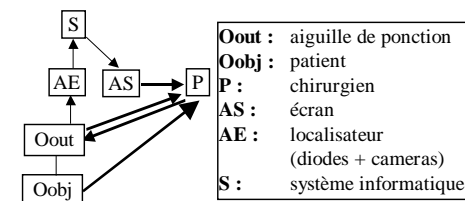


Figure 2 : Modélisation de CASPER dans OP-a-S.

D'autres systèmes modélisés avec OP-a-S sont présentés dans [4].

Caractérisation de l'interaction

Composants et relations permettent d'établir une modélisation explicite du système. Mais l'aspect que nous voulons privilégier est l'interaction entre l'utilisateur (P) et le système. Or l'ensemble des relations, liées à l'utilisateur, définit les différents aspects de l'interaction. Aussi pour compléter la modélisation d'un système interactif nous caractérisons l'évaluation et l'action en analysant respectivement l'interaction en entrée et en sortie d'un point de vue utilisateur (P). L'interaction globale peut ensuite être caractérisée en prenant en compte l'intégralité des interactions (entrée et sortie).

Accéder à des informations en provenance de deux mondes peut se faire de façon simple en procurant deux sources d'informations à l'utilisateur : le monde réel et le monde informatique. La conséquence immédiate est une discontinuité visuelle qui ne peut être recommandée lors de l'exécution d'une tâche critique comme par exemple un geste chirurgical. Evaluer et garantir la continuité de l'interaction lors de la juxtaposition de ces deux mondes nous semble donc un point particulièrement crucial. La définition que nous proposons de la continuité est basée sur les travaux menés dans le réseau de recherche européen TACIT (Theory and Applications of Continuous Interaction Techniques). Définir ce concept,

son impact et sa prise en compte dans un processus de développement d'IHM constitue l'axe principal d'étude du projet TACIT. Dans le cadre d'OP-a-S, nous définissons la continuité d'une interaction comme étant la capacité pour l'utilisateur de mener cette interaction sans devoir changer d'environnement perceptif. L'environnement perceptif d'une relation est défini comme étant le lieu géographique où l'utilisateur doit focaliser son attention pour percevoir ou émettre l'information portée par la relation en cause. Par conséquent :

- L'évaluation est caractérisée par l'analyse des environnements perceptifs requis par l'ensemble des relations à destination de l'utilisateur.
- L'action est caractérisée par l'analyse des environnements perceptifs requis par l'ensemble des relations en provenance de l'utilisateur.
- L'interaction globale est caractérisée par l'analyse des environnements perceptifs requis par l'ensemble des relations liées à l'utilisateur.

Il est donc possible de caractériser l'évaluation, l'action et l'interaction globale en utilisant le terme :

- **continuité**, dans le cas où les environnements perceptifs requis par les relations liées à l'utilisateur (composant P) ne sont pas mutuellement exclusifs,
- **discontinuité** dans le cas contraire, c.-à-d. si un sens perceptif est requis au cours de l'exécution de la tâche dans deux environnements perceptifs mutuellement exclusifs, ou si différents sens perceptifs requièrent des environnements perceptifs mutuellement exclusifs.

Par exemple, nous considérons que le son requiert un environnement perceptif non exclusif avec la vision. Plus concrètement, dans notre application CASPER, les environnements perceptifs requis sont le champ opératoire et l'écran. Si le toucher n'est requis qu'au niveau du champ opératoire, la vue est requise dans les deux environnements perceptifs. Par conséquent, la modélisation de la version actuelle de CASPER dans OP-a-S révèle une évaluation discontinue (en raison de la vue), une action continue (seul le toucher est requis) et une interaction globale discontinue.

Considérons un autre système de RA nommé Chameleon. Il combine l'utilisation d'une carte géographique et celle d'un Palm-Top localisé dans l'espace [6]. En positionnant le Palm-Top au niveau d'une ville de la carte, le système de localisation du Palm-Top permet de repérer de quelle ville il s'agit et d'afficher sur l'écran du Palm-Top des informations particulières relatives à la ville (nombre d'habitants, surface, activités, etc.). La modélisation OP-a-S de ce système est montrée dans la figure 3 et met en évidence :

- une discontinuité de l'évaluation: les environnements perceptifs requis par la vue sont la carte et le Palm-Top,
- une continuité de l'action,
- une discontinuité de l'interaction globale.

Ainsi il apparaît que Chameleon et CASPER, différents du point de vue de leur domaine d'application, sont des systèmes similaires du point de vue de l'interaction. En particulier ils ont un problème commun de discontinuité visuelle.

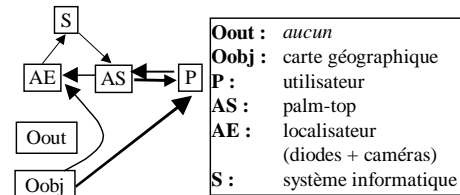


Figure 3 : Modélisation de Chameleon dans OP-a-S.

Un dernier exemple, est une application de la NavyCam de Sony [11] qui permet d'afficher des informations dans un casque semi-transparent, porté par un visiteur dans un musée. Le système est basé sur la lecture d'un code-barre disposé dans un coin du tableau, qui entraîne l'affichage d'informations dans le casque. Ces informations sont relatives au tableau que l'utilisateur est en train de contempler et concernent l'auteur de l'œuvre, ou encore des caractéristiques techniques du tableau. La Figure 4 montre la modélisation de ce musée augmenté dans OP-a-S. Il apparaît que le seul environnement perceptif requis est le tableau. En effet en regardant le tableau, l'utilisateur perçoit les deux types d'information (réelles et informatiques). Le musée augmenté met donc en œuvre une évaluation et une action continue. L'interaction globale est également continue.

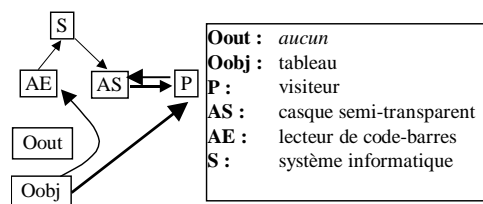


Figure 4 : Modélisation du musée augmenté dans OP-a-S.

La modélisation OP-a-S de ce système est donc en apparence très semblable à celle de Chameleon (cf. Figure 3). Mais le type de l'interaction mise en œuvre est différente, notamment au niveau de l'évaluation.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons montré dans cet article comment nous modélisons les systèmes interactifs faisant intervenir un système informatique ainsi qu'un ou plusieurs objets du monde réel. L'identification des composants du monde réel mis en jeu, permet de distinguer deux cas :

In Nanard, J., Girard, P. (eds), Proceedings of IHM'99, Cépaduès-Edition, (1999), Montpellier, (France), p.203.
In Nanard, J., Girard, P. (eds), Companion Proceedings of IHM'99, (1999), Montpellier, (France), p.120-124.

- Le réel favorise ou s'intègre dans l'utilisation d'un système informatique : seul un outil (Oout) est présent et l'objet de la tâche est informatique.
- Le réel est le véritable objet de la tâche : les capacités informatiques améliorent la manipulation et la perception de l'objet réel (composant Oobj). La tâche réside dans le monde réel.

Dans ce dernier cas, les différentes modélisations OP-a-S envisageables, en fonction des relations, des composants, ainsi que la caractérisation de l'interaction induite par le système, permettent d'identifier différents types de systèmes de réalité augmentée.

L'intérêt d'OP-a-S est double : d'une part il fournit un cadre de classification à ce paradigme d'interaction qu'est la réalité augmentée; d'autre part il permet de rapprocher des systèmes interactifs, à priori sans points communs, comme par exemple un système clinique et un prototype de réalité augmentée comme Chameleon. Ce dernier point est particulièrement intéressant pour la suite de nos travaux. En effet, le domaine de la chirurgie assistée par ordinateur ne s'est que faiblement intéressé à l'aspect IHM [1][10][7]. Aussi proposer une méthode de conception, basée sur l'analyse de l'interaction, nous semble essentiel [3].

Nos prochains travaux visent à établir une démarche de conception de systèmes de chirurgie assistée par ordinateur. La classification des systèmes interactifs avec OP-a-S nous ayant permis de rendre comparables des systèmes à priori distincts, nous nous baserons en premier lieu sur des méthodes de conception et des critères d'ergonomie en vigueur en IHM. Ces méthodes de conception et critères d'ergonomie seront ensuite adaptés au domaine de la GMCAO, en particulier à sa criticité et à l'interaction chirurgien-système induite. Tout ceci apportera alors un cadre de conception permettant aux concepteurs de choisir le type d'interaction en se basant sur une modélisation OP-a-S de cette interaction.

Cette méthode de conception sera ensuite complétée par des aspects de validation. Nous estimons que ces aspects de validation seront fortement couplés à la modélisation des systèmes dans OP-a-S, en particulier en fonction des relations liées au patient, afin de prendre en considération les aspects cliniques et critiques de la validation.

En termes de réalisation logicielle, nous développons une seconde version de notre système CASPER, basée sur la RA au sens d'une application induisant une "interaction globale continue" : la solution consiste à utiliser des lunettes semi-transparentes portées par le chirurgien. Dans cette solution, le casque procure des informations semblables à celles affichées actuellement sur l'écran, mais au niveau du champ opératoire, c.-à-d. le même

environnement perceptif que celui déjà utilisé. La discontinuité de l'interaction de la version actuelle sera alors en partie comblée.

REMERCIEMENTS

Ce travail ne pourrait être mené sans l'aide et l'encadrement de L. Nigay et J. Troccaz, co-directrices de ma thèse. Les travaux menés dans le cadre du réseau de recherche européen TACIT, ainsi que la coopération du service de cardiologie du CHU de Grenoble m'ont également aidé à mener cette recherche.

BIBLIOGRAPHIE

1. Blackwell, M., Simon, D., Rao, S., DiGioia, A., "Design and Evaluation of 3D Preoperative Planing Software: Application to Acetabular Implant Alignment", CMU Technical Report CMU-TR-RI-96-44, (1996), 11 pages.
2. Chavanon, O. et al., "Computer Assisted Pericardial Puncture : Work in Progress", Computer Aided Surgery, vol. 2, n°66, (1998), p. 356-364.
3. Coble, J., Human-Computer Interaction in Health Care: What works? What doesn't?, in Summary Proceedings of CHI'98 (1998), p. 80-81.
4. Dubois, E., Nigay, L., Troccaz, J., et al., "Classification Space for Augmented Surgery, an Augmented Reality Case Study", à paraître dans Interact99, (1999).
5. Finlay, P., A., "Orthosista™: an Active Surgical Localiser for Assisting Orthopaedic Fracture Fixation", MRCAS'95, (1995), p. 203-207.
6. Fitzmaurice, G., Ishii, H., Buxton, W., "Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces", CHI'95, (1995), p. 442-449.
7. Furness, T.A., "Advanced Human Interfaces for Telemedicine", HITL Technical Report R-97-33, (1997), 20 pages.
8. Mackay, W.E., "Réalité Augmentée : le Meilleur des Deux Mondes", La Recherche n°285, (1996), p. 80-84.
9. Milgram, P., Kishino, F., "A taxonomy of Mixed Reality Visual Displays", IEICE Trans. on Information Systems, E77-D(12), (1994), 13 pages.
10. Radermacher, K., et al., "Recommendations for Ergonomic Analysis", IGOS Project Deliverable 04, Lehrstuhl fuer Biomedizinische Technik der RWTH Aachen, (1996), 91 pages.
11. Rekimoto, J., Nagao, K., "The World through the Computer : Computer Augmented Interaction with Real World Environments", UIST'95, (1995).