

Méthodes de conception pour les systèmes de Réalité Augmentée

Benoît Mansoux

CLIPS-IMAG équipe IIHM & TIMC-IMAG équipe GMCAO
BP53
38041, Grenoble cedex 9, France
benoit.mansoux@imag.fr

RESUME

Mes travaux de recherche doctorale ont trait à la conception et à la réalisation de systèmes interactifs dans le cadre d'applications de chirurgie assistée par ordinateur. Dans ce contexte pluridisciplinaire (Interaction Homme-Machine et Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur), l'originalité de nos travaux réside dans l'étude de l'interaction entre le chirurgien et le système informatique. En effet aujourd'hui encore la conception de systèmes de chirurgie assistée par ordinateur est principalement guidée par les technologies disponibles et non par les besoins des utilisateurs. La conception reste ad-hoc. Afin de capitaliser les expériences de conception, l'objectif de nos travaux est donc la mise au point d'éléments et méthode de conception généraux, indépendants d'une spécialité clinique, pour des systèmes de chirurgie assistée par ordinateur.

MOTS CLES : Chirurgie Augmentée, Réalité Augmentée, Conception, Techniques d'Interaction, Mini-écran.

ABSTRACT

My doctoral research focuses on the design and development of Computer Assisted Surgery (CAS) system. The aim of our work is twofold. Firstly, we want to reinforce the consideration given to the surgeon and his/her interaction with a CAS system when designing such systems. This is crucial to facilitate the design of more usable CAS systems and to increase their ability to be smoothly integrated in a medical / surgical environment. This first goal relies on tools and mechanisms that will help the designer to choose well-suited devices and the best ways of merging digital and physical medical worlds. Secondly, we want to adopt a systematic design approach of CAS systems, in order to capitalise design experiences and so to increase the software and ergonomic quality of the developed CAS systems.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: H.5.2 [Information Interfaces And Presentation]: *User-Centered Design, Theory and Methods.*

GENERAL TERMS: Design, Human Factors.

KEYWORDS : Computer Assisted Surgery, Augmented Reality, Design Method, Interaction Techniques, Mini-screen.

MOTIVATION ET POSITIONNEMENT DES TRAVAUX

La Réalité Augmentée (RA) vise à enrichir la réalisation d'une tâche qui se situe dans le monde réel au moyen d'éléments issus du monde numérique. Les domaines d'application des systèmes de RA se diversifient (maintenance, transport, culture, jeux, etc.). Dans le domaine médical, l'évolution des techniques de chirurgie assistée par ordinateur et d'imagerie a permis la diversification des applications et par conséquent la diversification des techniques d'interaction utilisant la RA. Cependant, la majorité des systèmes, bien qu'innovante du point de vue clinique, est conçue de manière ad-hoc : nous constatons très peu de capitalisation et de réutilisation du savoir-faire. De plus, les méthodes de conception traditionnelles ne sont pas adaptées aux systèmes de RA qui nécessitent notamment la prise en compte du monde physique autour de l'utilisateur du système. Actuellement, de nombreux travaux de recherche portent sur la conception de systèmes de RA (ou de systèmes mixtes en général). Nous classons ces travaux en quatre catégories en fonction de leur apport au long du processus de développement. Ces catégories sont : Notations de conception, Approches par modèles, Approches par composants, Patrons de conception.

Notations de conception

Nous retenons deux notations ASUR [2] et IRVO [2]. Ces notations s'intéressent principalement à la conception de l'interaction en soulignant notamment les différentes caractéristiques des entités prenant part à l'interaction. Ces notations mettent aussi l'accent sur les relations entre les entités du monde physique qui participent à l'interaction. Bien qu'utilisant un vocabulaire différent, les mêmes concepts se retrouvent dans ces deux notations, même si IRVO est à priori adaptée pour la représentation de tous les systèmes mixtes alors qu'ASUR

se limite pour l'instant aux systèmes de RA. Ces notations constituent de bons outils pour décrire, comparer et donc classer les systèmes existants. Leurs apports lors de la conception de nouveaux systèmes semblent difficiles à évaluer. Des méthodes d'utilisation de ces notations ainsi que des patrons de conception pourraient favoriser l'assimilation des concepts manipulés et être très utiles en phase de conception.

Il convient également de noter dans cette catégorie la notation définie dans [10], utile dans le cadre des systèmes mixtes collaboratifs et mobiles.

Approches par modèles

Les travaux présentés dans [11] s'appuient sur le concept d'espace d'interaction mixte. Un espace d'interaction est modélisé par quatre aspects concernant les entités prenant part à l'interaction. Ces aspects sont : les relations spatiales, les relations temporelles, le contexte d'insertion et l'attention de l'utilisateur. Un système peut être constitué de plusieurs espaces d'interaction combinés, un espace d'interaction étant relatif à la réalisation d'une tâche donnée. Comme les notations ci-dessus, cette approche concerne particulièrement la conception de l'interaction par l'identification de questions que le concepteur doit traiter en phase de conception.

Approches par composants

Deux approches se placent dans cette catégorie : DWARF [1] et AMIRE [6]. DWARF est une plate-forme à composants. Chaque composant est un module qui fournit et requiert un ou plusieurs services. Une application est donc formée de composants reliés entre eux grâce à un mécanisme de gestion des services. AMIRE adopte la même démarche en proposant un mécanisme de réutilisation de solutions existantes (composants, bibliothèques, fonctions, boîtes à outils, etc.) pour des problèmes spécifiques d'implémentation qui reviennent régulièrement dans les systèmes mixtes.

Ces deux solutions, même si elles prennent en compte plusieurs rôles dans le processus de développement (concepteur, développeur de composants, utilisateur final) restent très axées sur l'architecture logicielle et la conception logicielle au détriment de la conception de l'interaction et des problèmes ergonomiques inhérents.

Patrons de conception

Enfin, [8] propose un ensemble de cinquante patrons de conception pour la RA regroupés au sein d'un modèle de référence des systèmes de RA. Ce modèle comprend six groupes de patrons de conception qui sont : localisation (*tracking*), contexte, modèle du monde, interaction, présentation et application.

Toutes ces approches partagent des objectifs et des concepts généraux à la Réalité Augmentée (*tracking*, re-

lations spatiales, contexte, etc.). Cependant, la plupart d'entre elles, hormis les notations de conception, sont dédiées à l'architecture et la conception logicielle au sein du processus de développement. Par ailleurs, aucune des approches présentées ne couvre tout le processus de développement du système. Enfin peu d'entre elles considèrent vraiment l'utilisabilité du système final.

Notre approche est résolument centrée sur la conception de l'interaction et vise à identifier des solutions de conception génériques qui serviront ensuite d'éléments logiciels de base à la conception logicielle. Notre objectif est également d'intégrer une prise en compte de critères ergonomiques dès la conception de l'interaction, pour faciliter ou guider le choix du concepteur parmi plusieurs solutions de conception.

METHODE

Dans nos travaux, nous adoptons une approche de conception descendante, de l'interaction abstraite à l'interaction concrète, que nous construisons en intégrant la notation ASUR. ASUR est un acronyme pour : Adapter, System, User, Real Objects. Cette notation permet de représenter graphiquement l'interaction concrète pour une tâche donnée. Un diagramme ASUR regroupe donc différentes entités qui prennent part à l'interaction principalement en s'échangeant des données. Entités et relations sont définies par un certain nombre de caractéristiques. Entre l'utilisateur (entité U) et le système (entité S), les adaptateurs servent de point de jonction entre les deux mondes : réel et numérique. Les adaptateurs A_{in} sont des dispositifs d'entrée (une souris, un micro, une pédale de commande), les entités A_{out} désignant des dispositifs de sortie (un écran, un casque de RA, des haut-parleurs, un vidéo projecteur). Le dernier type d'entité constituant un diagramme ASUR caractérise les objets réels (entité R). Les objets réels appartiennent à l'environnement physique de l'utilisateur et prennent également part à l'interaction. Un objet réel est soit objet de la tâche (R_{object}), soit outil de la tâche (R_{tool}). A titre illustratif, la Figure 1 est la représentation ASUR de l'interaction lors d'une tâche de ponction péricardique [3] avec transmission de données de guidage du système (S) vers le chirurgien (U).

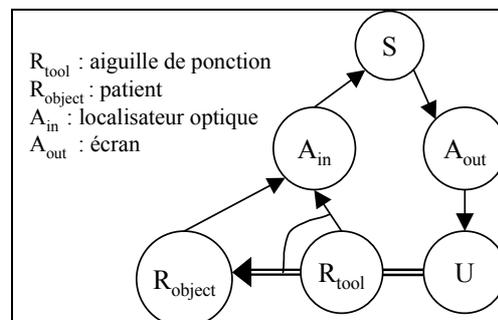


Figure 1 : Exemple de diagramme ASUR

Dans notre démarche de travail, tandis qu'ASUR est dédiée à l'interaction concrète, l'un de nos premiers objectifs est de fournir un espace de conception pour l'interaction abstraite, première phase d'une méthode de conception descendante. Pour cela, nous sommes partis des résultats du projet MMM (interface Médecin-Malade-Machine). En effet l'approche décrite dans [4] a permis d'identifier des fonctions génériques d'interaction, communes à plusieurs applications de chirurgie assistée par ordinateur. S'appuyant sur ces fonctions, notre approche a consisté à abstraire ces fonctions d'interaction des technologies qu'elles emploient. Nous obtenons donc un ensemble de situations d'interaction génériques (indépendantes de l'application) et abstraites (indépendantes de la mise en œuvre technique). Une situation d'interaction est un diagramme ASUR où l'on ne prend pas en compte les caractéristiques des entités et des relations. Seuls les échanges de données entre les différents types d'entité sont représentés. L'ensemble de ces situations d'interaction forme notre premier espace de conception décrit dans la section suivante.

RESULTATS

Résultats conceptuels

Notre espace de conception est composé de huit situations d'interaction. Ces situations d'interaction sont indépendantes de toute spécialité clinique et de toute modalité d'interaction spécifique. Cela permet au concepteur d'explorer l'ensemble des solutions de conception sans être limité par la technologie à employer. Pour structurer notre espace de conception, nous distinguons les situations en entrée (de l'utilisateur vers le système) des situations en sortie (du système vers l'utilisateur). Nous distinguons également si les situations d'interaction sont directes ou indirectes. Une situation est qualifiée de directe si elle implique l'objet de la tâche dans la relation entre l'utilisateur (U) et le système (S). Elle est dite indirecte si l'objet de la tâche n'est pas présent dans cette relation. Les huit situations d'interaction sont présentées dans la liste ci-dessous.

Situations d'interaction en entrée indirectes

- $U \rightarrow A_{in} \rightarrow S$
- $U \rightarrow R_{tool} \rightarrow A_{in} \rightarrow S$

Situations d'interaction en entrée directes

- $U \rightarrow [R_{tool}, R_{object}] \rightarrow A_{in} \rightarrow S$
- $U \rightarrow R_{object} \rightarrow A_{in} \rightarrow S$

Situations d'interaction en sortie indirectes

- $S \rightarrow A_{out} \rightarrow U$
- $S \rightarrow A_{out} \rightarrow R_{tool} \rightarrow U$

Situations d'interaction en sortie directes

- $S \rightarrow A_{out} \rightarrow [R_{tool}, R_{object}] \rightarrow U$
- $S \rightarrow A_{out} \rightarrow R_{object} \rightarrow U$

Cet espace, couvrant toutes les relations possibles entre U et S, est donc complet. Nos situations d'interaction constituent par conséquent des schémas de base qui peu-

vent être affinés ou même combinés [9] comme dans les applications de télé chirurgie où il est possible d'insérer une situation d'interaction dans une autre. Notre espace constitue donc une base de travail dans une démarche de conception descendante de l'interaction. Pour concevoir l'interaction concrète, le concepteur part de la tâche à réaliser. Pour cette tâche, elle/il explore l'espace de conception pour identifier les situations d'interaction les plus adaptées. Puis elle/il concrétise les différentes situations d'interaction en précisant les caractéristiques des entités et des relations ASUR, c'est-à-dire en choisissant les modalités d'interaction : les dispositifs et les langages d'interaction. L'espace de situations d'interaction permet ainsi de faire un premier choix en fonction de la nature de l'interaction. Les différentes situations d'interaction servent également de moyen de comparaison lorsque le concepteur hésite entre deux interactions plus spécifiques. L'interaction concrète décrite, il convient ensuite de développer les solutions logicielles et matérielles correspondantes.

Pour illustrer notre démarche, nous considérons un cas précis : l'application de ponction péricardique CASPER [3]. Lors de la tâche de ponction, le système localise la position de l'aiguille de ponction par rapport au cœur du patient. Le système met alors en correspondance cette position courante avec une trajectoire de ponction pré-établie sur un modèle numérique du cœur du patient. Il présente ensuite, de manière graphique, les données de guidage qui permettent au chirurgien de respecter au mieux la trajectoire prévue. Dans une première version, les données de guidage sont présentées à l'utilisateur sur un écran standard. Cela correspond à la situation d'interaction en sortie $S \rightarrow A_{out} \rightarrow U$. L'évaluation ergonomique de cette version a soulevé le problème de discontinuité perceptuelle identifié dans [2]. En effet, le chirurgien est en permanence obligé de détourner la tête du champ opératoire pour observer les données de guidage. Nos autres situations d'interaction en sortie amènent différentes réponses à ce problème, en proposant que les données soient mises en correspondance :

- avec l'outil ($S \rightarrow A_{out} \rightarrow R_{tool} \rightarrow U$),
- avec l'outil et l'objet ($S \rightarrow A_{out} \rightarrow [R_{tool}, R_{object}] \rightarrow U$),
- avec l'objet de la tâche seul ($S \rightarrow A_{out} \rightarrow R_{object} \rightarrow U$).

Par exemple, la mise en correspondance des données de guidage avec l'objet de la tâche correspond à la projection vidéo de ces données sur le corps du patient. Un retour d'effort dans la main de l'utilisateur qui tient l'outil, comme dans le système PADyC [12] est une illustration d'une mise en correspondance des données de guidage avec l'outil de la tâche.

L'étude de ces situations d'interaction nous a incités à étudier la mise en correspondance des données de guidage avec l'outil (ici une aiguille de ponction). Pour rendre concrète cette interaction, nous avons choisi d'utiliser un mini-écran LCD fixé à l'aiguille et qui agi-

rait comme une sorte de viseur. Nous adoptons alors la stratégie d'augmentation [7] d'un objet physique particulier, l'outil de la tâche.

Cet exemple concret a montré l'intérêt en conception de notre espace de situations. Il nous a aussi permis de cerner la difficulté de passer d'une situation abstraite à une interaction concrète et d'identifier le besoin d'espaces de caractérisation des modalités.

Ainsi, comme aide à la conception concrète, nous avons établi un deuxième espace de conception spécifique au mini-écran [9]. Cet espace caractérise les modalités d'interaction qui exploitent ce dispositif particulier. L'espace est constitué de 2 axes : (i) caractérisation des informations à afficher, (ii) caractérisation de l'utilisation du dispositif. Les différentes caractéristiques de ces deux axes ont été choisies en fonction des résultats des travaux effectués sur les interfaces « incarnées » [5].

Résultats logiciels

Une première version du module d'affichage dans le mini-écran a été développée afin de mener à court terme des évaluations ergonomiques en intégrant cette interface à l'application CASPER et à une application de ponction rénale.

TRAVAUX FUTURS

A court terme, nous réaliserons une évaluation ergonomique de la solution du mini-écran intégrée dans une application de ponction. Cette solution innovante sera comparée avec la version classique de l'application.

A plus long terme, nous souhaitons enrichir notre espace de situations d'interaction en y intégrant des critères ergonomiques pour guider le concepteur. Ceci permettra par exemple de souligner l'apparition de problèmes de discontinuité. Concernant la conception logicielle, nous identifierons les composants logiciels nécessaires aux solutions de l'espace du mini-écran. Ces composants logiciels constitueront ainsi les briques de bases d'une boîte à outils.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à Laurence Nigay et Jocelyne Troccaz (responsables de cette thèse) et aux membres des équipes IIHM et GMCAO pour leurs conseils. Ces travaux ont été en partie financés dans le cadre du projet RNTL MMM.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bauer et al. Design of a Component-Based Augmented Reality Framework, *In Proceedings of The Second IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2001)*.
2. Chalon, R., David, B. IRVO: an Architectural Model for Collaborative Interaction in Mixed Reality Environments, *The International Workshop on Exploring the Design and Engineering of Mixed Reality Systems MIXER'04*, January 2004, Funchal, Portugal, pp. 35-42.
3. Dubois, E. "Chirurgie Augmentée, un Cas de Réalité Augmentée ; Conception et Réalisation Centrées sur l'Utilisateur", Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, (2001), 275 pages.
4. Dubois, E. et al. Analytical Approach for the Design of the Surgeon's Interaction with a Computer Assisted Surgery System. *Actes de la conférence Surgetica 2002*, (2002), Grenoble, France, Sauramps Medical, pp. 211-216.
5. Fishkin, K.P., Moran, T.P. et Harrison, B.L. Embodied User Interfaces: Towards Invisible User Interfaces. *In Proceedings of EHCI'98*, (1998), Kluwer Academic Publ., pp. 1-18.
6. Grimm P. et al. AMIRE - Authoring Mixed Reality, *The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*, Darmstadt, Germany, 29 September, 2002.
7. Mackay, W.E. Augmented Reality: linking real and virtual worlds, *In Proceedings of ACM AVI '98, Conference on Advanced Visual Interfaces*, L'Aquila, Italy: ACM Press.
8. MacWilliams, A. et al. Design Patterns for Augmented reality Systems, *In Proceedings of MIXER'04*, (2004), Funchal, Portugal, pp. 64-71.
9. Mansoux, B, Nigay, L. et Troccaz, J. Abstract and Concrete Interaction with Mixed Reality Systems / The case of the mini-screen, a new interaction device in Computer-Assisted Surgery, *In Proceedings of MIXER'04*, (2004), Funchal, Portugal, pp. 12-18.
10. Renevier, P., Nigay, L. Notation de conception pour les Systèmes Mixtes Collaboratifs et Mobiles, *Actes de Mobilité et Ubiquité 2004*, (2004), pp. 66-73.
11. Trevisan, D., Vanderdonckt J. et Macq, B. Designing Interaction Space for Mixed Reality Systems *In Proceedings of MIXER'04*, (2004), Funchal, Portugal, pp. 27-34.
12. Troccaz, J., Delnondedieu, Y. *Semi-Active Guiding Systems in Surgery: A Two-DOF Prototype of the Passive Arm with Dynamic Constraints (PADyC)*. *Mechatronics* (1996), 6(4), Elsevier Science, pp. 399-421.