
COMBINONS LE MONDE VIRTUEL ET LE MONDE REEL

CLASSIFICATION ET PRINCIPES DE CONCEPTION

Emmanuel Dubois ^{α,β}, Laurence Nigay ^α et Jocelyne Troccaz ^β

^αCLIPS - IJHM,
BP 53
38041 Grenoble Cedex 9

^βTIMC - GMCAO,
IAB, Faculté de Médecine
38706 La Tronche Cedex

{Emmanuel.Dubois, Laurence.Nigay, Jocelyne.troccaz}@imag.fr

Résumé – Fusionner les capacités de traitement d'un ordinateur dans l'environnement réel de l'utilisateur est à l'origine du concept de "Réalité Augmentée" (RA). L'essor de cette approche se traduit par des systèmes de plus en plus diversifiés, ayant comme seul point commun évident l'utilisation d'éléments du monde réel dans l'interaction. Aucune définition consensuelle de la RA n'a encore été adoptée. De plus les approches classiques de l'IHM sont à remettre en cause car un nouveau facteur de conception est à considérer : le monde réel, environnement de l'utilisateur. Dans cet article, nous proposons un espace de classification, centré sur l'analyse de l'interaction entre l'utilisateur, le système et le monde réel. Cet espace repose sur la notation OP-a-S, qui permet de modéliser un système en termes de composants et de relations. Nous montrons ensuite en quoi cet espace de classification constitue un point de départ au développement d'une méthode de conception pour les systèmes interactifs incluant des éléments du monde réel dans l'interaction.

Mots clés – *Réalité Augmentée, Classification, Principes de Conception*

1. Introduction

La réalité augmentée (RA) est un paradigme d'interaction qui est né de la volonté de fusionner les capacités de traitements informatiques et notre environnement physique de tous les jours. Au sein de la communauté Interaction Homme-Machine (IHM), la réalité augmentée définit l'un des principaux challenges des concepteurs de systèmes interactifs.

Une première approche pour cerner ce paradigme de RA consiste à le comparer avec celui de réalité virtuelle (RV). En RV, l'utilisateur est complètement plongé dans un monde reconstitué avec des données informatiques : l'utilisateur est coupé du monde réel. L'immersion en RV est donc totale, à l'opposé de la RA dont l'essence même est de maintenir l'utilisateur au contact de son environnement réel. Si cette approche a suffi pour éclairer le paradigme de RA à ses débuts, la diversité des systèmes se réclamant désormais de RA, et notamment ceux de chirurgie assistée par ordinateur [10], nécessite un cadre de définition et de conception. Cette absence de cadre de définition consensuelle se manifeste notamment par une prolifération de termes employés le plus souvent sans rigueur, en général les uns pour les autres : citons les termes de vidéo augmentée, chirurgie augmentée, bit/atome, interaction augmentée, ou encore virtualité augmentée.

De plus, nous identifions aujourd'hui clairement deux approches de recherche liées à la RA. Pour la communauté IHM, la RA est synonyme d'un enrichissement du monde grâce à l'informatique [13]. Pour les graphistes, la RA vise à combiner des scènes virtuelles et des images du monde réel pour rendre ces scènes plus réalistes. Ces deux approches de recherche mettent en évidence une première distinction : il convient

en effet de distinguer les systèmes de RA qui permettent d'effectuer des tâches dans le monde réel, de ceux dont les tâches portent sur des objets informatiques comme des images par exemple.

Cet article vise à faire le point sur la terminologie et sur les cadres d'étude liés à la RA. Regrouper ces systèmes novateurs au sein d'un cadre conceptuel d'étude permet d'identifier et d'organiser leurs principales caractéristiques mais aussi de développer des principes de conception qui leur soient adaptés. Nous présentons donc dans un premier temps les caractéristiques intrinsèques des systèmes de RA. Puis nous montrons comment notre espace de classification, basé sur ces caractéristiques et notre notation OP-a-S, organise ces différents types de systèmes interactifs. Enfin nous présentons des principes de conception s'appuyant sur cet espace de classification.

2. Caractéristiques intrinsèques d'un système de RA

2.1. Objet de la tâche

L'objectif de la RA est de briser la frontière existant entre le monde réel, incluant l'utilisateur et son environnement, et le monde informatique. Ainsi une caractéristique fondamentale des systèmes de RA est que des éléments du monde réel interviennent dans l'interaction. L'existence de ces deux mondes, réel et informatique, implique que l'objet de la tâche réalisée grâce au système, c'est à dire le but de la tâche, peut appartenir à l'un des deux mondes. Afin de distinguer les systèmes dont l'objet de la tâche réside dans le monde réel, de ceux dont la tâche porte sur des objets informatiques, nous définissons les deux continua de la Figure 1, que nous notons respectivement "Réalité Augmentée" et

"Virtualité Augmentée". Dans [5] un continuum allant du tout réel au tout virtuel en passant par la réalité augmentée, la virtualité augmentée puis la réalité virtuelle est défini pour classer les dispositifs d'affichage de RA. Appliqué à l'interaction, nous définissons :

- Un continuum noté Réalité Augmentée : il permet de caractériser des systèmes dont l'objet de la tâche est dans le monde réel comme les systèmes de chirurgie assistée par ordinateur.
- Un continuum noté Virtualité Augmentée : il est dédié aux systèmes dont l'objet de la tâche réside dans le monde informatique. Les systèmes considérés visent à rendre l'interaction plus "réaliste". A la Figure 1, nous illustrons ce continuum avec la classification proposée dans [4]. Par exemple dans les interfaces tangibles, l'interaction repose sur la manipulation d'objets du monde réel, comme des cubes, pour modifier des objets informatiques tels que des fichiers.

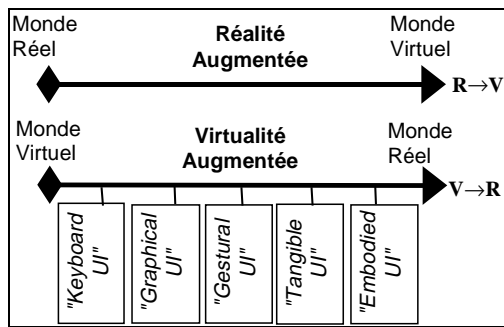


Figure 1 : Deux continua pour distinguer "Réalité Augmentée" et "Virtualité Augmentée".

2.2. Type d'augmentation

Les deux continua présentés au paragraphe précédent, "Réalité Augmentée" (RA) et "Virtualité Augmentée" (VA) distinguent des systèmes qui respectivement augmentent soit l'interaction avec le monde réel grâce à l'ordinateur, soit l'interaction avec l'ordinateur en exploitant des éléments du monde réel. Nous nous intéressons maintenant aux types d'augmentation de l'interaction fournis par le système, l'interaction étant soit entre l'utilisateur et le monde réel, soit entre l'utilisateur et le monde informatique. Avant de caractériser les types d'augmentation, considérons deux systèmes.

Le système AESOP, système de chirurgie augmentée [8], comprend un robot portant un laparoscope, que le chirurgien pilote par l'intermédiaire de pédales, mouvements de la tête ou parole. Ce robot joue le rôle d'un assistant, et permet au chirurgien de diriger le laparoscope comme il l'entend tout en lui laissant les mains libres pour pratiquer son intervention. Le chirurgien peut donc exécuter plus d'actions dans le monde réel grâce au système.

Notre système CASPER est un cas plus classique de chirurgie augmentée [2]. Utilisé pour guider le chirurgien lors de la réalisation d'une ponction péricardique, le système affiche en temps réel la position de l'outil

chirurgical, une aiguille de ponction, par rapport à la trajectoire planifiée avant l'intervention. La trajectoire souhaitée est donc rendue visible par le système : elle n'est plus seulement présente dans l'esprit du chirurgien.

La différence entre ces deux systèmes réside dans le type d'augmentation : CASPER augmente le nombre d'informations perceptibles par le chirurgien, AESOP augmente les capacités d'action du chirurgien. En se référant à la Théorie de l'Action de Norman [6], nous définissons deux types d'augmentation : l'exécution augmentée et la perception augmentée.

- L'exécution augmentée :
Un système de Réalité Augmentée (RA) augmentant l'exécution consiste à permettre à l'utilisateur d'effectuer des tâches dans le monde réel d'une façon nouvelle, comme par exemple le système AESOP. Un autre exemple consiste à porter un "active badge" [12] qui permet d'ouvrir une porte sans la toucher.
Un système de Virtualité Augmentée (VA) augmentant l'exécution consiste à permettre à l'utilisateur d'interagir avec l'ordinateur de façon nouvelle grâce à des éléments du monde réel. C'est par exemple le cas des "MediaBlock" [11] ou cubes, manipulés par l'utilisateur pour interagir avec des séquences vidéo stockées par l'ordinateur.

- La perception augmentée :
Il s'agit sans nul doute du type d'augmentation le plus communément mis en œuvre dans les systèmes actuels.
En RA, CASPER ou encore le musée augmenté [7] en sont des exemples : des informations pertinentes pour la tâche sont ajoutées à l'environnement de l'utilisateur. Dans CASPER il s'agit de la trajectoire pré-planifiée et dans le musée augmenté, il s'agit d'informations pouvant concerner le réalisateur d'une œuvre d'art.
En VA, des scènes virtuelles sont augmentées d'images du monde réel pour les rendre plus réalistes, comme c'est le cas dans le système "Interior Design" [1] qui incruste des meubles virtuels au sein d'une image d'une pièce réelle.

En synthèse, les deux caractéristiques "Objet de la tâche" et "Type d'augmentation" permettent d'identifier quatre classes de systèmes que nous présentons et illustrons à la Figure 2.

		Objet de la tâche		Type d'augmentation
		Exécution	Evaluation	
Monde réel (Réalité Augmentée)	Active Badge	CASPER		
	MIT MediaBlock	ECRC Interior Design		

Figure 2 : Les quatre classes intrinsèques à la "RA".

3. Caractéristiques interactionnelles d'un système de RA

Outre les deux caractéristiques intrinsèques présentées précédemment, la description de l'interaction mise en œuvre par les systèmes est une étape incontournable en vue de leur classification. Pour cela, nous utilisons notre notation OP-a-S [3]. Nous rappelons d'abord succinctement les deux principes de la notation puis nous en soulignons les apports.

3.1. Principes d'OP-a-S

Le premier principe consiste à représenter un système comme un ensemble de composants :

- composant **Oo** : un objet du monde réel, véritable objet de la tâche,
- composant **Ot** : un objet du monde réel, utilisé comme outil au cours de la réalisation de la tâche,
- composant **P** : l'utilisateur du système,
- composant **S** : le système informatique,
- composant **a** : un adaptateur, constituant un pont entre le monde réel (Oo, Ot, P) et le monde informatique (S), pour permettre le transfert d'informations d'un monde à l'autre. Cette notion d'adaptateur est précisée par son type : adaptateur de sortie (**AS**) pour véhiculer des informations du monde informatique vers le monde réel (écran, "HMD", "PDA"), adaptateur d'entrée (**AE**) pour véhiculer des informations du monde réel vers le monde informatique (clavier, localisateur, microphone).

Le second principe repose sur l'échange de données entre ces composants. Cet échange unidirectionnel est représenté par une flèche orientée de l'émetteur vers le destinataire. Ainsi la relation $AS \rightarrow P$ représente le fait que l'utilisateur perçoit des informations par le biais d'un adaptateur de sortie (un écran par exemple).

3.2. Mise en œuvre et intérêts d'OP-a-S

OP-a-S permet de comparer les systèmes modélisés selon la notation composant-relation. OP-a-S met en évidence pour une tâche donnée, les composants mis en jeu ainsi que les relations entre eux. L'ensemble des relations connectées à l'utilisateur (composant P de OP-a-S) caractérisent alors l'interaction de celui-ci avec l'intégralité du système.

Prenons l'exemple de notre système CASPER dans ses deux versions existantes : l'une procure un retour d'information visuel sur un écran [2], l'autre un retour tactile par l'intermédiaire d'un bras articulé et motorisé [9]. La Figure 3 présente les modélisations OP-a-S des deux versions de CASPER. Dans les deux cas, l'aiguille de ponction (Ot) est traquée par un localisateur (AE) ($Ot \rightarrow AE$), qui transmet les informations relatives à la position des outils au système informatique ($AE \rightarrow S$). Le système calcule les informations à rendre perceptibles par le chirurgien via l'adaptateur de sortie ($S \rightarrow AS$). Dans la première version de CASPER (retour d'information visuel), l'adaptateur de sortie est un écran. Les informations passent donc de l'écran vers le chirurgien

($AS \rightarrow P$). Dans la deuxième version (retour d'information tactile) l'adaptateur est un bras articulé motorisé. L'adaptateur agit donc directement sur l'outil chirurgical. On a donc la relation $AS \rightarrow Ot$. Enfin, dans les deux versions du système, le chirurgien perçoit le patient qui est l'objet réel de la tâche ($Oo \rightarrow P$) et il manipule l'aiguille de ponction ce qui justifie les deux relations : $Ot \leftrightarrow P$.

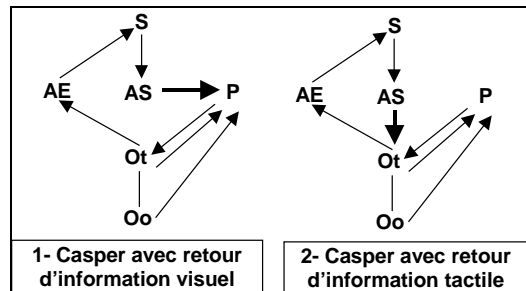


Figure 3 : Modélisation OP-a-S des deux versions du système CASPER.

A partir des modélisations OP-a-S de la Figure 3, nous constatons dans le premier cas (1), que le chirurgien a deux sources d'informations : le champs opératoire et l'écran. Dans le deuxième cas (2), nous observons que toutes les informations proviennent du champ opératoire par voix tactile et visuelle. Par contre le chirurgien n'est pas le seul à agir sur l'outil chirurgical. Or l'outil est directement en relation avec l'objet de la tâche : le patient.

En conclusion, par le biais de l'exemple du système CASPER, nous avons montré que la modélisation des systèmes interactifs selon OP-a-S permet de différencier des systèmes du point de vue de l'interaction (relations liées à l'utilisateur). OP-a-S constitue donc une deuxième étape de classification ou un affinement par rapport aux quatre classes de systèmes identifiés au paragraphe 2.

De plus toujours par le biais de notre exemple, nous avons souligné le fait que la modélisation OP-a-S peut aussi servir de support à la conception :

- en mettant en évidence des problèmes de sécurité comme par exemple le nombre de relations liées aux objets réels de la tâche qui peuvent être critiques (dans CASPER, l'objet de la tâche est le patient),
- en identifiant d'éventuels problèmes d'utilisabilité liés à de multiples sources d'information (provenance et destination des relations liées à l'utilisateur).

Les principes de conception directement dérivés de notre processus de classification et en particulier de la modélisation OP-a-S, font l'objet du paragraphe suivant.

4. Principes de conception

Les principes de conception sont issus de critères d'ergonomie que nous traduisons dans la notation OP-a-S. Nous considérons ici successivement deux critères: la criticité de la tâche et la continuité dans l'interaction.

4.1. Criticité de la tâche

Les informations fournies par le système à l'utilisateur peuvent être critiques, comme c'est le cas pour un poste de contrôle d'une centrale nucléaire. Dans une modélisation OP-a-S, de nombreuses relations à destination de l'utilisateur traduisent des sources d'information variées. Si les informations fournies par ces sources sont différentes et indépendantes, le risque de non perception par l'utilisateur peut être important.

De plus dans le cas où l'objet de la tâche est critique, comme par exemple dans les systèmes de chirurgie assistée par ordinateur, les outils (Ot) et les adaptateurs (A) en relation directe avec l'objet de la tâche (Oo) doivent faire l'objet d'une attention particulière du concepteur.

Ainsi la totalité des relations OP-a-S liées à l'utilisateur doit être étudiées avec un soin lors de la conception d'un système critique.

4.2. Continuité dans l'interaction

La continuité dans l'interaction s'applique au niveau cognitif mais aussi au niveau de l'action ou de la perception [3].

Considérons l'exemple du musée augmenté [7]. Ce système affiche des informations relatives à l'auteur d'une œuvre d'art que l'utilisateur est en train d'admirer. Une première version de ce système est basée sur l'utilisation d'un casque semi-transparent porté par le visiteur; une seconde repose sur l'utilisation d'un "PDA" ("Palm Top") porté à la main par l'utilisateur. Les informations perçues dans ces deux versions sont donc exactement les mêmes. Cependant dans le premier cas, la perception des informations est continue, l'œuvre et les informations sont perceptibles au même endroit, alors qu'elle est discontinuée dans la seconde version, l'œuvre étant affichée au mur et les informations sur l'écran du "PDA" dans la main de l'utilisateur. Dans cet exemple, le choix de l'adaptateur de sortie (AS) est au cœur du problème de conception. Ce choix est également valable pour CASPER. Afficher les informations au niveau du champs opératoire, HMD ou projection, rendrait compatible la perception des informations "virtuelles" et réelles.

La continuité de l'interaction, pour une tâche donnée, se vérifie au niveau de l'ensemble des relations liées à l'utilisateur dans la modélisation OP-a-S du système.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un processus de classification de systèmes interactifs en deux étapes. Nous avons identifié quatre classes de systèmes interactifs qui font intervenir des éléments du monde réel dans l'interaction : localiser un système dans cet espace constitue la première étape de classification. La deuxième étape consiste à caractériser l'interaction par une modélisation OP-a-S du système. Indépendante de la technologie utilisée, mais fortement couplée à l'interaction Homme-Système-Monde Réel, la classification proposée permet de rapprocher des systèmes interactifs, a priori sans point commun, comme par exemple un système

clinique et un prototype de réalité augmentée tel que le musée augmenté.

Nous avons également montré que l'étude de critères d'ergonomie au sein d'une modélisation OP-a-S fournit des éléments de conception. C'est un premier pas vers un cadre cohérent de conception des deux types de systèmes identifiés :

- Réalité Augmentée désignant l'Interaction Homme-Réel Augmentée (objet de la tâche dans le monde réel)
- Virtualité Augmentée désignant l'Interaction Homme-Machine Augmentée (objet de la tâche dans le monde informatique).

6. Bibliographie

- [1] Ahlers, K., et al., "Distributed Augmented Reality for Collaborative Design Applications", Actes de la conférence Eurographics'95, Elsevier Science Publishers, 1995, p.3-14.
- [2] Chavanon, O., Barbe, C., Troccaz, J., Carrat, L., Ribuo, C., Blin, D., *Computer Assisted Pericardial Punctures: animal feasibility study*, in G. Goos, J. Hartmanis and J. van Leeuwen (eds.), Actes de la conférence MRCAS'97, Springer Verlag, 1997, p. 285-291.
- [3] Dubois, E., Nigay, L., Troccaz, J., Chavanon, O., Carrat, L., *Classification Space for Augmented Surgery, an Augmented Reality Case Study*, in Sasse, A., Johnson, C., (eds.), Actes de la conférence Interact'99, 1999, pages 353-359.
- [4] Fishkin, K., Moran, T., Harrison, B., *Towards Invisible User Interfaces: Embodied User Interfaces*, in Chatty, S., Dewan, P. (eds.), Actes de la conférence EHCI'98, Kluwer, 1998, pp.1-18.
- [5] Milgram, P., Kishino, F., *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, IEICE Transactions on Information Systems, E77-D(12), 1994, pp.1321-1329.
- [6] Norman, D., Cognitive Engineering, in D. A. Norman & S. W. Draper (eds.), *User Centered System Design, New Perspectives on Human-Computer Interaction*, Lawrence Erlbaum Associates, 1986, pp.31-61.
- [7] Rekimoto, J., Katashi N., *The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments*, in Robinson, G. (ed.), Actes du Symposium User Interface Software and Technology, UIST'95, ACM Press, 1995, pp.29-36.
- [8] Sackier, J., et al., *Computer-Aided Guidance for Endoscopic Surgery*, American College of Surgeons, 1993.
- [9] Schneider, O., Troccaz, J., Chavanon, O., Blin, D. "Synergistic robotic assistance to cardiac procedures", à paraître dans les actes de la conférence CAR'99, 1999.
- [10] Troccaz, J., Peshkin, M., Davies, B., *The use of localizers, robots and synergistic devices in CAS*, in G. Goos, J. Hartmanis and J. van Leeuwen (eds.), Actes de la conférence MRCAS'97, Springer Verlag, 1997, pp.727-736.
- [11] Ullmer, B., Ishii, H., Glas, D., *MediaBlocks: Physical Containers, Transport, and Controls for Online Media*, Actes de la conférence SIGGRAPH'98, 1998, p.24-32.
- [12] Want, R., Hopper, A., Falcao, V. and Gibbons, J., *The Active Badge Location System*, ACM Transactions on Information Systems, 10(1), 1992, 91-102.
- [13] Wellner, P., Interacting with paper on DigitalDesk, CACM, (36), 7, 1993