

La Réalité Augmentée via Internet : Méthodes et Architecture Pour La Téléopération Collaborative

S. Otmane¹ N. Khezami¹ M. Mallem¹

¹ LSC (Laboratoire Systèmes Complexes)

Université d'Evry Val d'Essonne, 40, rue du Pelvoux, 91020 - Evry, France

{otmane, khezami, mallem}@cemif.univ-evry.fr

Résumé

Le succès que connaît actuellement Internet ainsi que la notion du télétravail, nous a motivés à réaliser le système ARITI (Augmented Reality Interface for Telerobotic applications via Internet) qui permet à un Opérateur Humain (OH) non expérimenté de superviser et de commander un robot depuis n'importe quelle machine connectée à Internet. L'architecture du système ARITI est basée sur le principe de Réalité Augmentée (RA) en vision indirecte (des informations sont superposées à des images vidéo obtenues par une caméra). Cet article présente une étude réalisée pour l'extension du système ARITI vers un système de télétravail collaboratif, on parlera alors de la téléopération collaborative en Réalité Augmentée via Internet. Cette étude concerne les méthodes de représentation de données (graphique 3D portable) et la conception d'une architecture pour la téléopération collaborative.

Mots clefs

Réalité Augmentée, Travail Collaboratif, Représentation de données, Internet.

1 Introduction

Amorcée dans les années 1970, l'informatisation professionnelle a récemment élargi son empire du poste de travail isolé à la prise en charge des tâches communicantes par réseau. Les outils de communication, promettent aussi de créer un espace de travail commun permettant de partager des applications, d'échanger des documents animés ou sonores, d'écrire sur un même texte, d'élaborer un diagnostic médical sur un même cliché, et de faire circuler dans les réseaux des conférences, des cours ou des diagnostics, etc.

Les recherches menées ces dernières années dans le domaine du télétravail, nous ont permis de définir quelques caractéristiques d'un système de télétravail idéal [1] qui sont : la convivialité, multimodalité, portabilité, télécoopération, télémaintenance, flexibilité et le coût. A

la base de ces caractéristiques, un système de télétravail robotisé a été réalisé et nommé ARITI [1,2].

La deuxième section, est consacrée à une brève présentation du système de télétravail ARITI. Dans la troisième section est présenté une méthode de représentation de données (graphique 3D portables) pour la téléopération collaborative en réalité augmentée via Internet. La quatrième section, est consacrée à la méthode de modélisation multi-agent utilisée pour la conception d'une architecture de collaboration pour la mise en place d'un système de téléopération collaborative. La cinquième section présente deux applications de la modélisation, la première pour la communication et la seconde pour le partage de ressources.

2 Présentation du système ARITI

ARITI est le premier système en France de téléopération de robot via Internet accessible sur le site web du laboratoire depuis 1998 au <http://lsc.cemif.univ-evry.fr:8080/Projets/ARITI/> et sur le site de la NASA depuis janvier 2000 au http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/realrobots.html. Les techniques utilisées ont permis d'apporter à l'opérateur en situation de télétravail, une assistance à la perception de l'environnement et à la commande d'un robot (en mettant en œuvre un concept nouveau de guides virtuels)[1,3]. Ces assistances ont pour objectif l'amélioration de la précision et de la sécurité du déroulement de la tâche. La Figure 1 montre l'interface utilisateur du système ARITI.

3 Représentation des données

Nous rappelons que notre objectif n'est pas seulement de représenter le robot et les objets, mais surtout de les représenter pour qu'ils puissent être utilisés en réalité augmentée pour le télétravail via Internet. Par conséquent, ils ne doivent pas dépendre d'une certaine plate forme ou de bibliothèques graphiques particulières qui empêcheraient leurs mobilités (utilisation à distance via le réseau Internet). De plus, ces objets ne doivent pas être lourds à l'affichage et à la manipulation et surtout ne doivent pas

trop encombrer l'interface de télétravail fournie à l'utilisateur. Nous avons donc choisi le modèle fil de fer pour représenter le robot, les objets et les guides virtuels. Le premier niveau de représentation du modèle se situe au niveau des fichiers. Chaque fichier est au format wavefront¹ dont quelques éléments principaux sont décrits comme suit :

- $v\ x\ y\ z$: Introduit un nouveau point de coordonnées (x, y, z) dans le modèle.
- $f\ p1\ p2\ p3\ p4\ \dots$: Décrit un polygone formé des points $p1\ p2\ p3\ p4\ \dots$
- $l\ p1\ p2$: Crée un lien (une arête) entre les points $p1$ et $p2$.

Un modèle « fil de fer » d'un objet est donc constitué de l'ensemble des points du modèle (appelés sommets) et de l'ensemble des arêtes de l'objet.

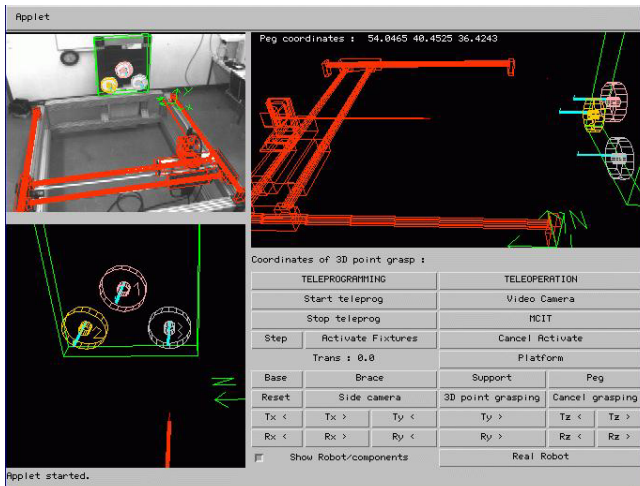


Figure 1 - Interface de ARITI

4 Modélisation de l'architecture pour la téléopération collaborative

Deux types de modélisation ont été utilisés pour la mise en place d'une architecture de téléopération collaborative. La première est conceptuelle et elle est basée sur UML². La seconde modélisation est formelle et utilise le concept de multi-agent. Dans ce qui suit nous présenterons uniquement la seconde modélisation (formelle). La première (conceptuelle) est présentée dans [5].

4.1 Modélisation formelle du système

Dans cette section nous présenterons une modélisation formelle de notre système en utilisant la notion du système multi-agent [6,7]. Les systèmes multi-agent peuvent être abordés de deux façons différentes. Nous pouvons soit

¹ format standard et stable utilisé pour la représentation physique des objets sous Java. Il est supporté par la plupart des navigateurs Internet
² UML : Unified Modeling Language

chercher à identifier des agents spécialisés hétérogènes, soit essayer de construire des agents ayant une structure plus homogène.

Dans ce qui suit nous allons présenter un modèle de système multi-agent conçu par Ferber [7], que nous avons ensuite modifié afin de l'adapter pour concevoir notre modèle.

Ferber considère un agent en interaction avec le monde comme un système composé de deux sous-systèmes dynamiques couplés, le couplage s'effectuant au travers des perceptions que l'agent a du monde et des actions qui modifient ce monde [8]. Il représente un système multi-agent par le couple $\langle a, w \rangle$ où a est un agent et w un monde qui sont chacun décrits ainsi :

$$a = \langle P_a, Percpta, Fa, Infla, Sa \rangle$$

$$w = \langle E, \Gamma, \Sigma, R \rangle$$

Où P_a représente la fonction de perception de l'agent, $Percpta$ l'ensemble des stimuli et sensations qu'un agent peut recevoir,

- Fa la fonction de comportement de l'agent qui détermine l'état de l'agent à partir de ses perceptions et de l'état précédent,

- $Infla$ la fonction d'action de l'agent, c'est-à-dire la fonction qui tend à modifier l'évolution du monde en produisant des influences [9],

- Sa l'ensemble des états internes de l'agent,

- E l'espace dans lequel l'agent évolue,

- Γ l'espace des influences produites par l'agent et ayant comme conséquences de modifier l'évolution du monde,

- Σ l'ensemble des états du monde et

- R la loi d'évolution du monde :

$$P_a : \Sigma \rightarrow Percpta$$

$$Infla : Sa \rightarrow \Gamma$$

$$Fa : Sa \times Percpta \rightarrow Sa$$

$$R : \Sigma \times \Gamma \rightarrow \Sigma$$

Ces fonctions satisfont les équations suivantes qui décrivent la dynamique de l'agent en interaction avec son environnement :

$$s_a(t+1) = Fa(s_a(t), P_a(\sigma(t)))$$

$$\sigma(t+1) = R(\sigma(t), Infla(s_a(t)))$$

Où s_a est un élément de Sa et

σ un élément de Σ .

Dans un système multi-agent, les différentes actions des agents sont combinées par l'intermédiaire d'un opérateur

de combinaison d'influences Π qui prend les résultats des actions des agents et les combine de manière simple (union des influences, sommation vectorielle, etc.). Dans ce cas, un système multi-agent est défini par un triplet $\langle A, w, \Pi \rangle$,

Où A est un ensemble d'agents décrits comme précédemment,

w un monde et

Π un opérateur de combinaison d'influences. La dynamique du système est alors donnée par le système des $n+1$ équations suivantes :

$$s_1(t+1) = F_1(s_1(t), P(\sigma(t)))$$

.

$$s_n(t+1) = F_n(s_n(t), P_n(\sigma(t)))$$

$$\sigma(t+1) = R\left(\sigma(t), \prod_i Infl_i(s_i(t))\right)$$

4.2 Notre modèle

Les agents du système décrit par Ferber [7] sont tous des agents réactifs. Vu la nature de notre système et le choix que nous avons adopté, à savoir un système d'agents hétérogène, nous allons ajouter quelques fonctions à ce modèle pour l'adopter à notre système de téléopération collaborative. En effet, nous allons ajouter une fonction qui représente les connaissances des agents cognitifs (C_a). Ainsi, un agent a sera décrit de la manière suivante :

$$a = \langle P_a, Percept_a, F_a, Infl_a, S_a, C_a \rangle$$

Où C_a représente l'ensemble des connaissances d'un agent sur les autres agents du système ayant comme conséquence le changement de la perception du monde et les actions vis à vis des autres agents.

Par conséquent, la fonction F_a devient

$$F_a : S_a \times Percept_a \times C_a \rightarrow S_a$$

$$C_a : C_a \times R \rightarrow C_a$$

F_a fonction de comportement de l'agent qui détermine l'état de l'agent à partir de ses perceptions, de l'état précédent et de ses connaissances.

5 Application du modèle pour la communication et le partage de ressources

5.1 Modélisation de la communication

Nous représentons notre modèle par $(n+1)$ agents réactifs et $(n+1)$ agents cognitifs de la manière suivante :

- **Un Agent Serveur (AS) réactif** : il exécute les commandes des clients sur le robot réel et il répond aux requêtes des agents clients à travers de l'Agent Communication Serveur (ACS) (voir la Figure 2). le modèle de cet agent est le suivant :

$$AS = \langle P_{AS}, Percept_{AS}, F_{AS}, Infl_{AS}, S_{AS} \rangle$$

Avec

P_{AS} représente la fonction de réception des ordres envoyés par l'ACS issues des différents clients. $Percept_{AS}$ représente les informations et les demandes reçues par l'ACS des différents clients.

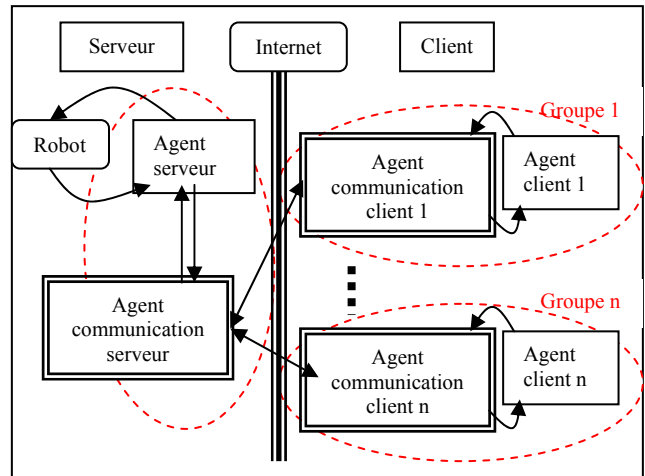


Figure 2 – Modélisation de la communication

F_{AS} représente l'exécution des ordres de l'ACS. $Infl_{AS}$ représente le bilan sur l'état du robot après exécution des ordres. Cet agent ne possède pas de connaissances.

S_{AS} représente l'état de cet agent à un instant donné (activé/désactivé)

- **Un Agent Communication Serveur (ACS) cognitif** : Il joue le rôle d'interface entre les différents Agents de Communication Client (ACC) et l'AS. En effet, l'ACS se charge de vérifier toutes les informations (login, code identifiant client, qualité de service, les ordres à envoyer au robot, etc.). le modèle de cet agent est le suivant :

$$ACS = \langle P_{ACS}, Percept_{ACS}, F_{ACS}, Infl_{ACS}, S_{ACS}, C_{ACS} \rangle$$

Avec

P_{ACS} représente la fonction de réception et de contrôle des informations provenant des différents clients. $Percept_{ACS}$ représente les informations et les demandes reçues des ACC et de l'état du réseau.

F_{ACS} représente les décisions prises suite aux différentes informations reçues.

$Infl_{ACS}$ représente la communication (l'envoi) des décisions prises à l'AS. L'ACS possède un ensemble de connaissances sur tous les agents et sur l'environnement. Il mémorise les états suite aux décisions prises. Cet ensemble de connaissances est le C_{ACS} .

S_{ACS} représente l'état de l'agent (activé/désactivé).

- **N Agents Clients (AC) réactifs** : Chaque AC peut communiquer avec l'AS ou avec n'importe quel autre AC par l'intermédiaire de l'ACS.

Le modèle de chaque agent est le suivant :

$$AC = \langle P_{AC}, Percept_{AC}, F_{AC}, Infl_{AC}, S_{AC} \rangle$$

Avec

P_{AC} représente les interactions de l'opérateur avec l'interface de télétravail dans le but d'une connexion et de la téléopération collaborative.

$Percept_{AC}$ représente les informations provenant de l'opérateur et de l'ACC.

F_{AC} représente l'exécution des ordres provenant de l'opérateur et de l'ACC.

$Infl_{AC}$ représente la communication (l'envoi) des informations nécessaires à l'opérateur et à l'ACC.

Cet agent ne possède pas de connaissances.

S_{AC} représente l'état (activé/désactivé).

- **N Agents Communication Client (ACC) cognitifs** : Chaque ACC permet à un AC de communiquer avec l'AS ou un autre AC par l'intermédiaire de l'ACS. Le modèle de chaque agent est le suivant :

$$ACC = \langle P_{ACC}, Percept_{ACC}, F_{ACC}, Infl_{ACC}, S_{ACC}, C_{ACC} \rangle$$

Avec

P_{ACC} représente la fonction de réception des demandes provenant de l'AC.

$Percept_{ACC}$ représente les informations et les demandes reçues de l'AC et de l'ACS.

F_{ACC} représente les décisions prises suite aux différentes informations reçues de la part de l'opérateur (AC) et de l'ACS.

$Infl_{ACC}$ représente la communication (l'envoi) des

décisions prises à l'ACS. L'ACC possède un ensemble de connaissances sur tous les agents et sur l'environnement. Il mémorise les états suite aux décisions prises. Cet ensemble de connaissances est le C_{ACC} . S_{ACC} représente l'état (activé/désactivé).

Tous ces agents coopèrent ensemble pour effectuer une tâche de téléopération. Ainsi la loi d'évolution du monde dans ce cas est une loi de coopération (R = la coopération entre différents agents). Cette coopération est représentée dans la Figure 2 par deux types de modèles :

- Un modèle de coopération hiérarchique [10] qui représente chaque agent cognitif avec l'agent réactif dont il dépend. Dans ce cas l'agent cognitif sera l'agent *manager* et l'agent réactif sera le *subordonné*. Un agent manager peut transmettre des ordres à ses subordonnés et recevoir continuellement des informations sur leurs états. Ces modèles considèrent que les agents ont à priori un problème commun à résoudre. La coopération est un comportement parmi d'autres comportements de résolution de problèmes.

- Un modèle de coopération par adoption de buts [11] qui représente l'interaction des groupes d'agents entre eux.

Dans la Figure 2, les agents représentés par un double-trait sont les managers et ceux représentés par un simple-trait sont les subordonnés. Chaque groupe d'agent correspond soit à un client, soit au serveur. Ces groupes d'agents sont en interaction à travers les agents de communication et ils coopèrent par adoption de but.

5.2 Modélisation du partage de ressources

La modélisation du partage de ressources se fait de la même manière que la précédente. En effet, il s'agit de substituer l'ACS par un Agent Partage de Ressources (agent cognitif) (APR) représenté dans la Figure 3. Le rôle de cet agent est de planifier le partage de ressources entre les différents opérateurs et ce en tenant compte des états de l'environnement et des connaissances de tous les agents présents dans le système. Le modèle de cet agent est :

$$APR = \langle P_{APR}, Percept_{APR}, F_{APR}, Infl_{APR}, S_{APR}, C_{APR} \rangle$$

Avec

P_{APR} représente la fonction de réception de demandes des différents clients pour partager certaines ressources (robot, caméra, etc.).

$Percept_{APR}$ représente les informations et les demandes (concernant le partage des ressources) reçues de l'AS et des différents clients.

F_{APR} représente les décisions prises suite aux différentes informations reçues de la part des ACC et de l'AS.

$Infl_{APR}$ représente la communication (l'envoi) des décisions prises à l'AS. L'ACS possède un ensemble de connaissances sur tous les agents et sur l'environnement. Il mémorise les états suite aux décisions prises. Cet

ensemble de connaissances est le C_{APR} .
 S_{APR} représente l'état (activé/désactivé).

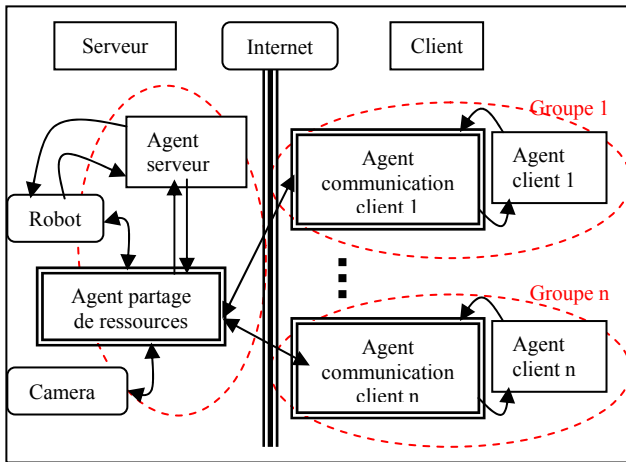


Figure 3 – Modélisation du partage des ressources

6 Conclusion

Dans cet article nous avons présenté deux méthodes : la première est une méthode de représentation de données (graphique 3D portables) destinée à la téléopération collaborative en réalité augmentée via Internet. La seconde est une méthode de modélisation formelle basée sur le concept de multi-agent. Cette dernière étant utilisée pour la conception d'une architecture de collaboration pour la mise en place d'un système de téléopération collaborative.

La première méthode a déjà fait ces preuves vu qu'elle est utilisée dans le système expérimentale de télétravail ARITI pour la commande d'un robot à 4 degrés de liberté (ddl). En effet, la légèreté des objets 3D générés par le système et leur superposition au retour vidéo ont permis la téléopération du robot par plusieurs personnes et dans les quatre coins du monde.

L'utilisation du concept multi-agent avec une modélisation formelle va nous permettre à court terme l'implémentation des différents agents modélisés afin de rajouter au système ARITI des fonctionnalités nouvelles telle que la coopération entre utilisateurs et le partage de ressources distantes (la commande du robot et de la caméra).

Références

[1] S. Otmane. Télétravail Robotisé et Réalité Augmentée : application à la téléopération de robots via Internet, *Thèse de doctorat en sciences de l'ingénieur*, Université d'Evry Val d'Essonne., Décembre 2000.

[2] S. Otmane, M. Mallem, A. Kheddar and F. Chavand. ARITI : an Augmented Reality Interface for Teleoperation on the Internet. *In Advanced Simulation Technologies Conference 2000, High Performance Computing HPC 2000*, Pages 254-261, Wyndham City Center Hotel, Washington, D.C., USA, April 16-20.

[3] S. Otmane, M. Mallem, A. Kheddar and F. Chavand. Active virtual guide as an apparatus for augmented reality based telemanipulation system on the Internet. *In IEEE Computer Society, 33rd Annual Simulation Symposium ANSS 2000*, Pages 185-191, Wyndham City Center Hotel, Washington, D.C., USA, April 16-20, 2000.

[4] Guareis C. R., Pires L.F. and Sinderen M. A conceptual model for the development of CSCW systems. *In Designing Cooperative Systems: the Use of Theories and Models, Proceedings of the 5th International Conference on the Design of Cooperative Systems (COOP 2000)*, Sophia Antipolis (France), pp. 189-204, May/2000.

[5] N. Khezami, S. Otmane, M Mallem. Etude et conception d'une architecture logicielle pour la téléopération collaborative via Internet. *Journées des Jeunes Chercheurs en Robotique (JJCR'16)*. Lyon, Septembre, 2002.

[6] Jennings N.R., Faratin P., Lomuscio A.R, Parsons S., Sierra C. & Wooldridge M. Automated Negotiations: Prospects, Methods & Challenges. *Journal of Group Decision and negotiation*, Octobre 2001.

[7] Ferber J. Les systèmes Multi-agent: vers une intelligence collective. *Interéditions*, 1995.

[8] Ferber, J. Les systèmes Multi-Agents. Un Aperçu Général, *InterEditions, Revue Techniques et Sciences Informatiques*, Vol 16, n°8, Hermès, 1997.

[9] Ferber, J. & Müller, J.P. Influences and Reaction : a Model of Situated Multiagent Systems", *ICMAS'96*, Kyoto, December, 1996.

[10] Nii, H.P. & Aiello, N. CAGE: A Knowledge-Based Program for Building Knowledge-Based Programs. *IJCAI*, 1979 and also in Engelmores, R.S. and Morgan, A. (eds.) *Blackboard Systems*, 1988.

[11] Sichman, J. Du raisonnement Social chez les Agents : une Approche Fondée sur la Théorie de la Dépendance. *Thèse de Doctorat*, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1995.