

Un modèle d'interaction collaborative pour les environnements virtuels collaboratifs

N. Ouramdane-Djerrah*
Laboratoire IBISC
Université d'Evry / CNRS 2873
40, rue du Pelvoux, 91000
Evry, France

S. Otmane†
Laboratoire IBISC
Université d'Evry / CNRS 2873
40, rue du Pelvoux, 91000
Evry, France

M. Mallem‡
Laboratoire IBISC
Université d'Evry / CNRS 2873
40, rue du Pelvoux, 91000
Evry, France

Résumé

Au cours de ces dernières années est apparue une nouvelle technologie, celle des Environnements Virtuels Collaboratifs (EVCs) qui est le résultat de la convergence des intérêts de deux communautés de chercheurs : la Réalité Virtuelle (RV) et le Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur. Les EVCs sont des systèmes qui peuvent supporter différentes formes de collaboration et d'interaction entre les utilisateurs. La collaboration dans ces systèmes se réfère à l'interaction simultanée (*interaction collaborative "IC"*) de plusieurs utilisateurs sur des objets virtuels. Même s'il existe plusieurs travaux dans ce domaine, il y a peu de chance de trouver des modèles qui contrôlent et structurent l'interaction au sein des environnements virtuels mono-utilisateur et multi-utilisateurs. Pour pallier ce problème, nous proposons dans cet article un modèle formel pour l'IC afin de contrôler et gérer l'interaction de groupe dans les EVCs. Notre modèle est composé de deux sous modèles : le Modèle Fonctionnel (MF) et le Modèle Conceptuel (MC). Le MF est caractérisé par le Trèfle Fonctionnel de l'Interaction 3D (TFI) qui définit la fonction d'un utilisateur dans l'EVC (navigation, sélection et/ou manipulation). Le MC est chargé de la gestion de l'interaction de groupe et prend en considération la présence de chaque utilisateur dans l'EVC par rapport aux autres utilisateurs et aux objets de l'environnement. Le MC est défini par les quatre concepts : le Focus, le Nimbus, le Degré d'Interaction et l'Awareness de l'Interaction.

Mots clé

Interaction 3D, Collaboration, Réalité Virtuelle, Environnement Virtuel Collaboratif.

1. INTRODUCTION

L'interaction 3D est un paradigme de la RV qui est en évolution importante au cours de ces dernières années grâce aux avancées technologiques dans le domaine des IHM [7]. L'interaction représente

*Doctorante en 3ème année de thèse.

†Maître de conférence.

‡Professeur des Universités.

un handicap majeur de la plupart des applications en RV. Même s'il existe plusieurs travaux dans ce domaine[4][3][6], il y a peu de chance de trouver des modèles qui contrôlent et gèrent l'interaction au sein des environnements virtuels mono-utilisateur et multi-utilisateurs [1] [5][8]. Dans les EVCs, l'utilisateur appartient à un groupe et travaille en collaboration avec les autres utilisateurs pour réaliser une oeuvre commune [1][7]. La plupart des travaux existants qui traitent le problème de l'interaction de groupe dans un EVCs se concentrent sur un domaine bien particulier. D'où la nécessité de proposer un modèle générique pour l'interaction collaborative dans les EVCs.

Dans ce papier, nous proposons un modèle pour la gestion dynamique d'interaction collaborative dans les EVCs. Notre modèle est développé pour gérer et contrôler l'interaction, d'une part entre les différents utilisateurs du système et d'autre part entre les utilisateurs et les objets virtuels. Ce modèle est composé de deux sous modèles: le Modèle Fonctionnel (MF) et le Modèle Conceptuel. Le MF est caractérisé par le rôle fonctionnel de l'interaction qui définit la tâche d'un utilisateur à un moment donné. Le MC définit l'Awareness de l'interaction collaborative. Ce modèle est chargé de structurer l'interaction de groupe et prend en considération la présence de chaque utilisateur dans l'EVC.

Dans la section 2, nous présentons une modélisation fonctionnelle de l'interaction collaborative. La section 3 décrit le modèle conceptuel de l'interaction. La section 4 présente le processus de gestion de l'interaction collaborative.

2. LA MODÉLISATION FONCTIONNELLE DE L'INTERACTION COLLABORATIVE

La collaboration dans les environnements virtuels consiste à réaliser un travail en commun entre plusieurs utilisateurs qui partagent le même espace virtuel. Les utilisateurs naviguent dans l'environnement virtuel et interagissent ensemble sur les objets virtuels dans le but de les sélectionner ou de les manipuler.

Les CVEs peuvent être vus comme une extension des technologies de la RV mono-utilisateur adaptée pour supporter plusieurs utilisateurs et plusieurs types d'applications [2].

Dans notre cas, un EVC peut être représenté par un ensemble d'objets et un ensemble d'utilisateurs qui les manipulent. Il est représenté comme suit :

$$EVC = \langle U, O \rangle$$

Avec

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} = \{u_i / i = 1..n\}$$

$$O = \{o_1, o_2, o_3, \dots, o_m\} = \{o_j / j = 1..m\}$$

Un utilisateur u_i est représenté par le couple $(IDu_i, Ru_i^{t/m})$, tel que IDu_i est son identifiant et $Ru_i^{t/m}$ est le référentiel de sa tête ou de sa main.

Un objet o_j peut également être représenté par le couple (IDo_j, Ro_j) , tel que IDo_j est son identifiant et Ro_j est son référentiel.

Nous définissons le rôle fonctionnel de l'interaction 3D comme étant la tâche qu'un utilisateur est en train de réaliser à un moment donné dans l'environnement virtuel. L'interaction 3D est composée de quatre tâches principales : la navigation, la sélection, la manipulation et le contrôle d'application. Donc, un utilisateur peut avoir comme fonction au sein d'un espace virtuel, la navigation, la sélection et/ou la manipulation. La tâche contrôle d'application, qui est une tâche système, intervient à chaque instant et à chaque étape de l'interaction. Nous proposons une représentation fonctionnelle de l'interaction 3D par un trèfle fonctionnel (voir figure 1) qui est composé de trois espaces fonctionnels qui sont : l'Espace de Navigation (EN), l'Espace de Sélection (ES) et l'Espace de Manipulation (EM).

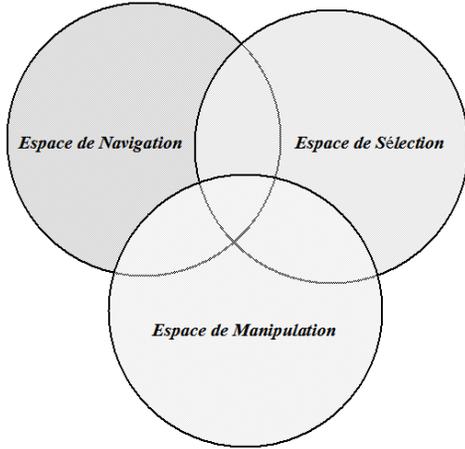


Figure 1: Le trèfle fonctionnel de l'interaction 3D

2.1 Espace de Navigation

Il correspond aux fonctionnalités permettant les changements de position et d'orientation des utilisateurs (navigation) dans un environnement virtuel ainsi que celles permettant la prise en compte de la navigation des autres utilisateurs.

Dans notre cas, nous considérons l'espace de navigation (*Esp_Navigation*) comme l'ensemble des utilisateurs qui naviguent pour se rapprocher d'un objet donné dans l'environnement virtuel. Cet espace peut contenir l'ensemble des couples (IDu_i, IDo_j) , tels que l'utilisateur u_i est en train de naviguer en direction de l'objet o_j dans le monde virtuel :

$$Esp_Navigation = \{(IDu_i, IDo_j) \mid u_i \in U, o_j \in O\}$$

2.2 Espace de Sélection

Cet espace représente les fonctionnalités dédiées à la spécification (sélection) d'un objet ou d'un ensemble d'objets dans un environnement virtuel. Ces fonctionnalités permettent aussi pour chaque utilisateur d'avoir une vue globale sur les sélections qui se font par les autres utilisateurs dans l'environnement virtuel.

Dans le cas de notre étude, l'espace de sélection (*Esp_Selection*) peut être représenté par l'ensemble des couples (IDu_i, IDo_j) , tel

que l'utilisateur u_i est en train de sélectionner l'objet o_j :

$$Esp_Selection = \{(IDu_i, IDo_j) \mid u_i \in U, o_j \in O\}$$

2.3 Espace de Manipulation

Cet espace correspond aux fonctionnalités permettant le changement des propriétés d'un objet ou d'un ensemble d'objets (position et/ou orientation) par les utilisateurs dans un monde virtuel. Elles se chargent aussi de la prise de conscience de toutes les manipulations qui se font par les autres utilisateurs.

En ce qui nous concerne, cet espace (*Esp_Manipulation*) sera composé de l'ensemble des triplets $(IDu_i, IDo_j, Action_k)$, tels que l'utilisateur u_i est en train d'exécuter l'action $Action_k$ sur l'objet o_j :

$$Esp_Manipulation = \{(IDu_i, IDo_j, Action_k \mid u_i \in U, o_j \in O, Action_k : \text{action élémentaire})\}$$

3. MODÉLISATION CONCEPTUELLE DE L'INTERACTION COLLABORATIVE

Les EVCs sont des espaces virtuels peuplés par des objets qui peuvent être des personnes, des informations ou des objets virtuels. Une interaction peut se produire au moment où un certain nombre de supports sont disponibles [7].

La plupart des problèmes des EVCs se posent lorsque des utilisateurs interagissent entre eux ou agissent sur des objets de l'espace virtuel partagé. Pour remédier à ces problèmes, nous utilisons dans notre modélisation quelques concepts du modèle spatial de l'interaction de Benford [1]. Dans ce qui suit, nous présentons les concepts qui sont nécessaires pour notre modélisation.

3.1 L'Awareness de l'interaction

L'Awareness de l'interaction "AI" mesure le degré, la nature ou la qualité d'une interaction entre deux objets [5]. La mesure d'Awareness entre deux objets n'est pas mutuellement symétrique (l'Awareness de A par rapport à B n'est pas forcément égale à l'Awareness de B par rapport à A), l'Awareness entre les objets pour un support donné est mesurée par l'intermédiaire du Focus et du Nimbus.

3.1.1 Le Focus de l'interaction

Il correspond à un ensemble d'objets virtuels avec lesquels un utilisateur peut potentiellement interagir, autrement dit les objets appartenant à une région (zone) dans laquelle la présence de l'utilisateur peut être perçue par les objets du monde virtuel. Les utilisateurs portent leur Focus quand ils naviguent dans le monde virtuel. Lorsque deux Focus (ou plus) se recouvrent (collision des Focus), même partiellement, l'interaction entre ces utilisateurs devient possible. Nous supposons que le Focus peut avoir n'importe quelle forme et taille.

Dans notre cas, nous considérons le Focus comme un cylindre infini "C" émanant de la tête ou de la main de l'utilisateur et qui est dans la même direction du regard d'un utilisateur donné.

Le Focus de l'interaction peut être vu comme un outil pour diriger l'attention et par conséquent filtrer l'information en fonction des frontières délimitées par la forme géométrique du Focus (le volume du cylindre dans notre cas). Le Focus définit pour chaque utilisateur l'ensemble des objets appartenant au cylindre émanant de la tête ou de la main de l'utilisateur (voir figure 2). Il est représenté formellement par la fonction suivante:

$$\text{Focus} : U \longrightarrow O$$

$$\text{Focus}(u_i) = \{o_j \mid o_j \in O \text{ et } o_j \in C\}$$

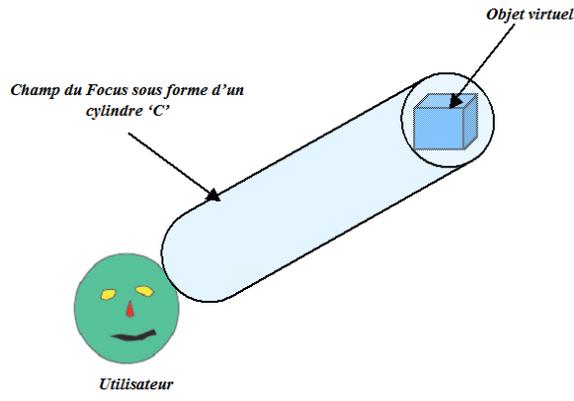


Figure 2: Exemple de Focus associé à la tête de l'utilisateur.

3.1.2 Le Nimbus

Le Nimbus correspond à un sous-ensemble de l'ensemble des utilisateurs dans lequel les utilisateurs se voient mutuellement. Dans cet ensemble, l'utilisateur rend certain de ses aspects disponibles aux autres utilisateurs ainsi que les objets de l'espace virtuel. Ceux-ci peuvent être sa présence, son identité, son activité ou une combinaison de ces derniers.

La fonction Nimbus retourne pour chaque objet l'ensemble des utilisateurs qui travaillent en commun pour réaliser une mission spécifique. Elle est définie formellement comme suit:

$$\begin{aligned} \text{Nimbus} : O &\longrightarrow U \\ \text{Nimbus}(o_j) &= \{u_i \mid o_j \in \text{Focus}(u_i)\} \end{aligned}$$

3.1.3 Degrés d'interaction sur un objet

A partir des deux fonctions Focus et Nimbus, nous définissons la fonction degré d'interaction d'un utilisateur u_i sur un objet o_j (DI_{u_i/o_j}) en prenant en compte tous les utilisateurs intéressés par ce même objet :

$$DI_{u_i/o_j} = \begin{cases} \frac{1}{\text{Card}(\text{Nimbus}(o_j))} \times k_i & \text{si } o_j \in \text{Focus}(u_i) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

La fonction $\text{Card}(\text{Nimbus}(o_j))$ retourne le nombre d'utilisateurs susceptibles de partager l'objet o_j . k_i est un coefficient qui dépend de l'état de l'interaction des utilisateurs (navigation, sélection et manipulation).

Dans ce qui suit nous présenterons comment est calculé ce coefficient en fonction des trois états de l'interaction 3D.

- **Le degré d'interaction par rapport à l'espace de navigation:** Le degré d'interaction par rapport à l'espace de navigation d'un utilisateur u_i sur l'objet virtuel o_j (DI_{u_i/o_j}^N) peut être défini comme la probabilité qu'un utilisateur u_i navigue jusqu'à l'objet o_j . Cette probabilité est la même pour tous les utilisateurs se trouvant dans le Nimbus de l'objet o_j . Cela se traduit par la fonction ci-dessous en fixant le coefficient K_i à 1 (pour $i = 1..n/o_j \in \text{Focus}(u_i)$). On obtient alors:

$$DI_{u_i/o_j}^N : U \times O \longrightarrow [0, 1]$$

$$DI_{u_i/o_j}^N = \begin{cases} \frac{1}{\text{Card}(\text{Nimbus}(o_j))} & \text{si } o_j \in \text{Focus}(u_i) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- **Le degré d'interaction par rapport à l'espace de sélection:** Pour la tâche de sélection, les distances entre le centre de gravité de l'objet et l'axe du focus sont prises en compte. En effet, plus l'objet est proche de l'axe du focus (c'est-à-dire l'axe du cylindre représentant le champ du focus dans notre cas) plus le degré de sélection est important. La figure 3 illustre les distances entre le centre de gravité d'un objet et chaque axe des focus des trois utilisateurs.

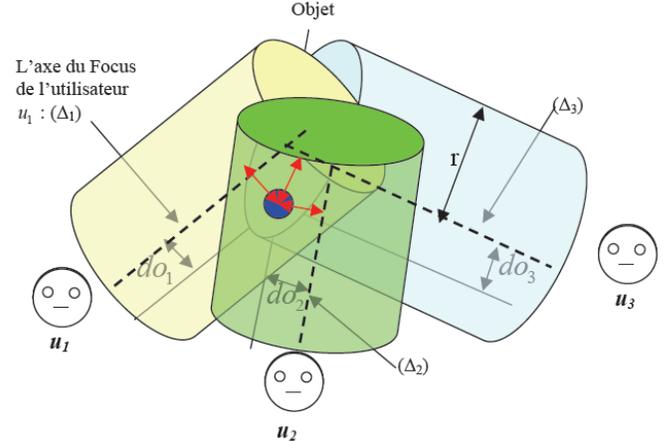


Figure 3: Illustration des distances entre le centre de gravité de l'objet virtuel et l'axe du Focus des utilisateurs.

Le degré d'interaction par rapport à l'espace de sélection d'un utilisateur u_i sur l'objet virtuel o_j (DI_{u_i/o_j}^S) peut être défini de la façon suivante:

$$DI_{u_i/o_j}^S : U \times O \longrightarrow [0, 1]$$

$$DI_{u_i/o_j}^S = \begin{cases} \frac{1}{\text{Card}(\text{Nimbus}(o_j))} \times \frac{r - d_{o_j/\Delta_i}}{r} & \text{si } o_j \in \text{Focus}(u_i) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Avec r le rayon du cylindre C représentant le champ du focus. d_{o_j/Δ_i} représente la distance entre le centre de gravité de l'objet o_j et l'axe Δ_i du focus de l'utilisateur u_i .

- **degré d'interaction par rapport à l'espace de manipulation:** En ce qui concerne l'espace de manipulation, les distances entre les utilisateurs et le centre de gravité de l'objet virtuel sont prises en compte pour le calcul du coefficient k_i . En effet, plus l'utilisateur est proche de l'objet plus le degré de manipulation est important. La figure 4 illustre les distances entre le centre de gravité d'un objet et chaque utilisateur.

Le degré d'interaction par rapport à l'espace de manipulation d'un utilisateur u_i sur l'objet virtuel o_j (DI_{u_i/o_j}^M) peut être défini de la façon suivante :

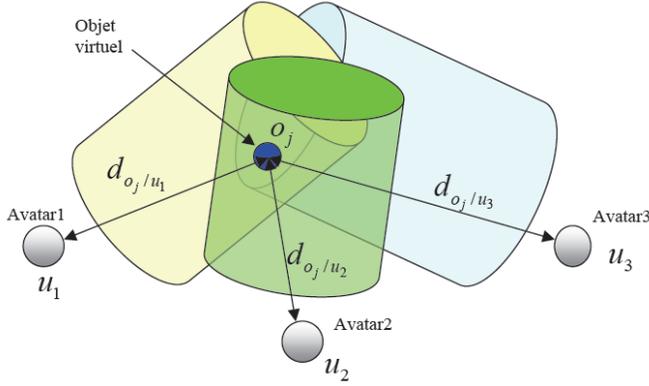


Figure 4: Illustration des distances entre le centre de gravité de l'objet virtuel et les avatars virtuels des utilisateurs.

$$DI_{u_i/o_j}^M : U \times O \longrightarrow [0, 1]$$

$$DI_{u_i/o_j}^M = \begin{cases} \frac{1}{\text{Card}(\text{Nimbus}(o_j))} \times \frac{d_{o_j/u_i}}{\sum_{i=1}^n d_{o_j/u_i}} & \text{si } o_j \in \text{Focus}(u_i) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Avec d_{o_j/u_i} la distance entre le centre de gravité de l'objet o_j et l'avatar de l'utilisateur u_i .

4. LE PROCESSUS DE GESTION DYNAMIQUE DE L'INTERACTION COLLABORATIVE

L'interaction 3D peut être vue comme un processus dynamique qui utilise les fonctions déjà définies (Focus, Nimbus, degré d'interaction) afin d'analyser et de contrôler l'interaction par le système d'une part et d'aider les utilisateurs à mieux se coordonner et collaborer d'autre part. Nous considérons un espace virtuel EV composé de N utilisateurs et de M objets. Nous pouvons ainsi décrire le processus de gestion dynamique de l'interaction collaborative comme suit :

- Initialisation de l'espace de navigation avec l'ensemble des utilisateurs appartenant à l'EV;
- Calcul des Focus de tous les utilisateurs appartenant à l'espace de navigation;
- Calcul des Nimbus de tous les objets qui composent l'EV;
- Une fois que les Focus de tous les utilisateurs et les Nimbus de tous les objets sont calculés, nous calculons à ce moment là les degrés d'interaction des différents utilisateurs par rapport aux trois espaces fonctionnels Navigation, Sélection et Manipulation;
- A partir des différents degrés d'interaction par rapport à la navigation, la sélection et la manipulation, nous pouvons déterminer le contenu des différents espaces de l'interaction 3D.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Malgré les avancés technologiques dans les domaines de l'interaction homme machine et de la réalité virtuelle, les recherches dans le domaine des EVCs restent toujours pauvres en matière de modèles et de formalismes pour l'interaction 3D alors que cette dernière représente la base de toute application en EVC. En effet, dans cet article nous avons essayé d'aborder le problème de l'interaction 3D collaborative à travers deux étapes de modélisation en prenant en compte l'interaction du groupe. Nous avons proposé en premier lieu une décomposition fonctionnelle de l'interaction 3D en trois espaces fonctionnels : l'espace de navigation, l'espace de sélection et l'espace de manipulation. Chacun des trois espaces correspond aux différentes fonctionnalités qui permettent d'accomplir les tâches demandées. Nous avons également proposé un modèle conceptuel de l'interaction 3D qui prend en considération quelques concepts tels que le Focus, le Nimbus et le degré d'interaction. Le formalisme proposé a pour objectif de contrôler les flux d'informations véhiculés dans l'espace virtuel afin que le système puisse informer les utilisateurs de la présence des autres et de coordonner les interactions 3D entre les différents utilisateurs. Ce modèle doit permettre une interaction plus facile et plus efficace au sein du groupe. Enfin, ce travail fera à l'avenir l'objet de validation en simulation et en expérimentation sur la plate-forme de réalité virtuelle et augmentée EVR@ du laboratoire IBISC. L'algorithme de gestion dynamique de l'interaction 3D doit être amélioré et adapté aux applications éventuelles.

6. REFERENCES

- [1] S. Benford and L. Fahl. A spatial model of interaction in large virtual environments. In *Third European Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pages 109–124. Milano, Italy, 1993.
- [2] S. Benford, C. Greenhalgh, T. Rodden, and J. Pycock. Collaborative virtual environments. *COMMUNICATIONS OF THE ACM*, 44(7), July 2001.
- [3] M. Capps, D. McGregor, D. Brutzman, and M. Zyda. Npsnet-v : A new beginning for dynamically extensible virtual environments. In *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 12–15, 2000.
- [4] C. Carlsson and O. Hagsand. Dive - a multi-user virtual reality system. In *IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS)*, pages 394–400. Los Alamitos, March 1993.
- [5] D. Ding and M. Zhu. A model of dynamic interest management: Interaction analysis in collaborative virtual environment. In *VRST'03*, pages 15–22. Osaka JAPAN, October 2003.
- [6] C. Dumas, S. Degrande, C. Chaillou, G. Saugis, P. Plnacoste, and M. Viaud. Spin : A 3-d interface for cooperative work. *Virtual Reality Journal*, 4(7):15–25, 1999.
- [7] P. Fuchs, J.-M. Burkhardt, and S. Coquillart. *le trait de la ralité virtuelle, volume 2: Linterfaage, limmersion et linteraction en environnement virtuel*. Edition Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2006.
- [8] T. Rodden. Populating the application: A model of awareness for cooperative applications. In *Computer Supported Cooperative Work '96*, 1996.