

Pour une typologie des espaces d'interaction dans les SMA

C. Sibertin-Blanc

IRIT / Université Toulouse 1, Place A. France, 31042 Toulouse Cedex

résumé

Depuis quelques années, l'attention s'est portée sur le niveau organisationnel des Systèmes Multi-Agents et notamment sur les protocoles qui permettent aux agents d'interagir. La définition et l'implantation d'un protocole mettent en jeu un grand nombre de mécanismes et de propriétés qui concernent non seulement le protocole lui-même, mais aussi les entités en interaction et leurs environnements d'exécution, ainsi que les media de communication et les mécanismes de régulation qui peuvent exister au niveau de l'ensemble du système. L'ensemble de ces éléments déterminent ce que l'on pourrait appeler un *espace d'interaction*, et donc les caractéristiques des protocoles que l'on peut déployer dans un système.

Cet article se propose d'établir un inventaire de ces éléments en les répartissant en quatre niveaux, ce qui pourrait déboucher sur une typologie des espaces d'interaction.

Les recherches dans le domaine des Systèmes Multi-Agents se sont longtemps concentrées sur les modèles et architectures d'agents, pour en faire des entités computationnelles autonomes présentant des aptitudes de haut niveau (agents réactifs, agents cognitifs, architecture Believes / Intentions / Desires,...).

Depuis quelques années, l'attention s'est portée sur le niveau organisationnel de ces systèmes, sur les concepts dont la mise en jeu conduisent les agents d'un système à "faire société" (par exemple [Ferber...98], [Caire...01], [Zambonelli...01]). En effet, le phénomène d'émergence, c'est à dire l'effet de synergie des aptitudes et comportements des agents individuels, qui est le bénéfice concret le plus important de l'approche multi-agent, semble résulter de mécanismes liés à ces concepts. Si l'émergence n'est pas le fruit du hasard, elle résulte de mécanismes concernant les relations entre les agents, c'est à dire l'organisation du système, et non pas des propriétés individuelles des agents.

Ces concepts organisationnels, tels que rôle, responsabilité, tâche, mission ou groupe, se manifestent, ou s'implantent, principalement en termes des interactions qu'un agent peut ou doit avoir avec certains autres agents. (D'une façon générale, on peut observer dans les sociétés humaines que les organisations qui se mettent en place, par exemple l'extension urbaine, la production juste à temps ou les réseaux d'entreprises, sont directement liées aux (propriétés des) moyens de communication disponibles, voir [Malone...94] sur l'impact du développement du chemin de fer). D'où l'idée que les dispositifs d'interaction qu'il est possible de mettre en place dans les SMA déterminent très directement les concepts organisationnels qu'il est possible d'y incorporer et donc que, pour favoriser l'approche organisationnelle des SMA, il faut développer une ingénierie des interactions.

Pour fixer la terminologie, nous considérerons que les interactions entre agents se produisent dans le contexte de *conversations*, c'est à dire de séquences d'interactions élémentaires (partiellement) ordonnées par des relations causales. Chaque conversation se déroule selon les règles, conventions, etc. déterminées par un certain *protocole d'interaction*, qui est caractérisé par :

- les *rôles* que les participants peuvent jouer, la notion de rôle étant ici circonscrite à un protocole donné et non pas à l'échelle de l'ensemble du système ; par exemple, un protocole d'enchère comporte les rôles de vendeur, commissaire et enchérisseur.

- le *type des interventions*, ou interactions élémentaires, que les participants d'une conversation peuvent effectuer les uns envers les autres.
- L'*état initial*, c'est à dire les conditions qui doivent prévaloir pour l'ouverture d'une nouvelle conversation.
- l'*état terminal* c'est à dire les conditions qui marquent la fin d'une conversation et correspondent soit à son échec soit à son succès (on suppose que chaque conversation a un *objectif*, qui est ce qui justifie que des agents y participent, et le succès est la caractérisation de l'atteinte de cet objectif).
- des *contraintes de distribution* qui portent sur l'attribution des rôles aux agents : les conditions qu'un agent doit satisfaire pour pouvoir jouer un certain rôle, le nombre des agents qui peuvent jouer chaque rôle, la compatibilité entre les rôles, les possibilités de changer de rôle, l'ordre dans lequel les rôles peuvent être attribués,...
- des *contraintes de comportement* qui portent sur les occurrences d'intervention et déterminent les séquences d'interventions qui peuvent constituer le cours d'une conversation : dans quelles circonstances un participant jouant un certain rôle peut (ou doit) réaliser une intervention d'un certain type vis à vis d'autres participants spécifiés ?

Une conversation qui suit un certain protocole est donc une instance de ce protocole, c'est à dire un processus au cours duquel des agents réalisent des interventions conformes aux contraintes du protocole. La variété des conversations que l'on peut envisager est considérable, par exemple si l'on considère un protocole dans lequel il n'y a qu'un seul rôle, tout énoncé du langage naturel est un type d'intervention, toute situation correspond à un état initial et terminal, et il n'y a aucune contrainte de distribution et de comportement.

La définition et la mise en place d'un protocole mettent en jeu un grand nombre de mécanismes et de propriétés qui concernent non seulement le protocole lui-même, mais aussi les entités en interaction, le médium de communication (ou l'infrastructure, l'environnement dans lequel chacun des agents s'exécute) et les mécanismes de régulation qui peuvent exister au niveau de l'ensemble du système. L'ensemble de tous ces éléments caractérisent ce que l'on pourrait appeler un *espace d'interaction* ; cet espace détermine les caractéristiques des conversations susceptibles de se dérouler, et donc le type d'organisation du système. Il en découle une démarche de conception des SMA comportant les étapes suivantes :

- choix du type d'organisation;
- choix du type d'espace d'interaction, en fonction des protocoles mettant en œuvre cette organisation;
- choix techniques concernant les agents et leur environnement d'exécution;
- définition des mécanismes de régulation qui implantent ces protocoles en déterminant comment les agents utilisent les ressources de l'environnement d'exécution, et inversement les contraintes imposées par cet environnement sur le comportement des agents.

On voit alors d'intérêt d'une ingénierie des interactions, dont l'objet pourrait être de :

1. établir une typologie des espaces d'interaction possibles,
2. évaluer les mérites respectifs des différents types d'espaces d'interaction et leur adéquation avec les différents types de protocoles, et au-delà avec les différents domaines d'application des SMA,
3. repérer les architectures, formalismes, méthodes et outils les plus appropriés à chaque type d'espace, tant en ce qui concerne les agents que les environnements d'exécution.

En vue de l'établissement d'une telle typologie des espaces d'interaction, cet article se propose d'établir un inventaire – certainement incomplet – de l'ensemble des éléments caractéristiques d'un espace d'interaction. En effet, ces éléments correspondent à des choix que les concepteurs

d'un SMA doivent opérer ; il est donc utile de les expliciter, afin de mettre en lumière ce qui est en jeu, les incidences de ces choix et leurs relations.

Pour sérier ces caractéristiques, nous proposons de les répartir en quatre niveaux qui correspondent aux questions essentielles suivantes : quelle est la nature des messages véhiculés à l'occasion de ces interactions, comment ils sont traités, quelles sont les relations entre ces messages, comment ces relations sont mises en œuvre.

Les propriétés des messages

Toute interaction passe par la communication d'un message, c'est à dire un transfert d'un agent vers un autre. Ce niveau répond aux questions de type "qui communique quoi à qui", telles que :

1. la syntaxe des messages envoyés, qui détermine le contenu de ce qui peut être transmis ; par exemples : un simple identificateur de signal, un nom de procédure, de sélecteur, d'événement, de service... accompagné ou non de paramètres, ou bien un énoncé d'un langage de type Agent Communication Language faisant référence à une ontologie [Gruber... 93], [Cost...99]).
2. la possibilité pour un message d'avoir un ensemble des destinataires ; (la question réciproque ne se pose pas, si l'on suppose qu'un message n'a toujours qu'un seul expéditeur).
3. le mode de désignation du (ou des) destinataire, directement par son identificateur ou de façon associative par certaines de ses propriétés.
4. le fait que les interventions soient de type question / réponse (auquel cas l'agent qui envoie un message pour réaliser une intervention s'attend toujours à recevoir un message en réponse, et cette réponse fait partie de la même intervention), ou bien de simples envois de messages, auquel cas l'éventuelle réponse constitue une autre intervention.

On peut remarquer que si les messages sont délivrés directement aux destinataires sans passer par une structure de donnée partagée (cf. point 1 de l'acheminement des messages), le choix entre la communication point à point ou par diffusion est lié aux points 2 et 3.

L'acheminement et le traitement des messages

Ce niveau répond aux questions concernant l'acheminement des messages et les actions d'envoi et de réception des messages par les agents participants. Il met donc en jeu directement les propriétés du média de communication et les aptitudes comportementales des agents.

1. un message est-il délivré directement au(x) destinataire (en point à point ou par diffusion), ou ce dernier doit-il s'enquérir des messages qui lui sont destinés en accédant à une structure de donnée partagée de type tableau noir ou base de données ?
2. l'envoi d'un message est-il synchrone (l'émetteur est bloqué jusqu'à ce que le/les destinataire ait reçu le message, ou jusqu'à la réception du résultat dans le cas d'une intervention de type question / réponse), éventuellement avec un délai maximal d'attente, ou bien asynchrone (après l'émission d'un message, l'émetteur poursuit son activité ce qui suppose, dans le cas des interventions de type question / réponse, qu'il peut se mettre en attente tout en continuant un autre fil d'activité) ? Ou bien encore, les interactions se produisent-elles à l'occasion de Rendez-Vous entre l'expéditeur et le destinataire du message ?
3. si les messages sont délivrés, que devient un message arrivant à un instant où le destinataire est occupé : il est ignoré, il est mis dans une file d'attente (possiblement gérée avec des priorités), ou il préempte l'activité du destinataire ?
4. Les interventions de type question / réponse peuvent-elles être sur le long terme, c'est à dire que l'envoi de la réponse se produit relativement longtemps après la réception de la question ?
5. un agent est-il en mesure de traiter une séquence d'interactions comme une transaction qui peut être soit validée soit invalidée (les effets de toutes ces interactions sur son état sont alors annulés) ?

La définition d'un protocole

Ce niveau concerne les règles qui définissent un protocole, le pouvoir d'expression du formalisme avec lequel les contraintes sont exprimées et les propriétés générales des Conversations qui en résultent.

1. comment sont définis les états, notamment initiaux et terminaux, des conversations ?
2. quelle sont les conditions qui déterminent à quels moments un agent peut entrer dans une conversation (à l'initialisation ou en cours de conversation, avec un nombre maximal de participants ou non,...) ou en sortir ? En d'autres termes, les conversations sont-elles ouvertes ou fermées ?
3. comment sont définies, dans les contraintes de distribution, les caractéristiques d'un agent qui déterminent s'il peut ou non occuper un rôle ? Plus généralement, quel est le pouvoir d'expression du formalisme utilisé pour exprimer les contraintes de distribution ?
4. le temps intervient-il dans les contraintes comportementales du protocole, sous la forme de délai avant lequel une intervention doit être faite ?
5. le protocole est-il séquentiel (à chaque instant, un seul participant a la possibilité d'intervenir) ou concurrent ? Plus généralement, quel est le pouvoir d'expression du formalisme utilisé pour exprimer les contraintes comportementales ?
6. les conversations d'un protocole sont-elles cycliques, avec des états de reprise pour le démarrage d'un nouveau cycle, ou bien une conversation s'achève-t-elle dès que l'objectif est atteint ?
7. les contraintes sont-elles strictes, ou supportent-elles un degré d'interprétation dans chaque conversation ? Les contraintes sont-elles hiérarchisées, avec des domaines de validité plus ou moins étendus ?

Le contrôle des conversations

Enfin, ce niveau concerne les mécanismes qui assurent le respect des règles des protocoles.

1. le contrôle du respect des règles est-il réparti (chaque participant veille, en ce qui le concerne, à respecter et/ou faire respecter les règles), assuré par un superviseur, par l'infrastructure, l'environnement d'exécution des agents rendant physiquement impossible le non respect des règles [Castelfranchi 00], ou bien hybride ? Cette question concerne aussi bien les contraintes de distribution (authentification des entités, limitation du nombre de participants,...) que celles de comportement (ordonnancement des interventions, activation de time-out,...).
2. comment sont initialisées et closes les conversations ?
3. quelle est la visibilité sur le déroulement d'une conversation (l'état courant, la liste des participants, l'historique des interventions...) pour les agents qui y participent, mais aussi pour les autres (degrés de confidentialité d'une conversation) ?
4. Les mécanismes de contrôle concernent aussi des contraintes que nous n'avons pas évoquées jusqu'à maintenant, et qui portent sur les relations entre conversations telles que :
 - le nombre de conversations d'un même protocole (ou de protocoles différents) qui peuvent se dérouler simultanément ;
 - l'enchaînement des conversations (règle du type : toute conversation du protocole X est suivie d'une conversation de type Y), et plus généralement les interactions possibles entre conversations ;
 - le nombre et le type des conversations auxquelles un agent peut participer, simultanément ou successivement, et les relations entre les rôles qu'il peut y jouer.

Comme on l'aura reconnu, toutes les questions mentionnées ci-dessus font plus ou moins directement référence à des techniques actuellement disponibles. Cependant, ces quatre niveaux correspondent à des questions de nature conceptuelle, et les réponses qui leurs sont apportées commandent les choix plus techniques portant sur :

- le modèle des agents fonctionnels, c'est à dire les agents qui contribuent directement à la production des résultats du système,
- les services, fonctionnalités offertes par l'environnement d'exécution, environnement qui peut comporter des agents non-fonctionnels, ou Agents Intermédiaires [Decker...97], dont le rôle est de faciliter, organiser l'activité des agents fonctionnels.

Par ailleurs, si les choix apparaissent nombreux, ils ne sont pas tous indépendants et certaines combinaisons sont incompatibles ou à l'évidence inefficaces. C'est l'étude des relations entre ces alternatives qui permettra de repérer les grands types d'espaces d'interaction.

Remerciements

L'auteur remercie les relecteurs de cet article pour la pertinence de leurs observations.

Bibliographie

[Castelfranchi 00] C. Castelfranchi

Engineering Social Order. Int. Workshop Engineering Societies in the Agents World, ESAW 2000, LNAI 1972, p. 1-18, Springer-Verlag, 2000.

[Caire...01] G. Caire, F. Leal, P. Chainho, R. Evans

Agent Oriented Analysis using Message/UML. Agent-Oriented Software Engineering, P. Ciancarini & M. Wooldridge eds., Springer-Verlag, Berlin, 2001.

[Cost...99] R.S. COST, Y. CHEN, T. FININ, Y. LABROU, Y. PENG.

Modeling Agent Conversations with Colored Petri Nets. In Proc of the Workshop on Specifying and Implementing Conversation Policies, p. 59-66, Seattle, May 1999.

[Decker...97] K. Decker, K. Sycara, M. Williamson

Middle-Agents for the Internet. In IJCAI'97 International Joint Conference on Artificial Intelligence, Nagoya, Japan, 1997.

[Ferber...98] J. Ferber & O. Gutknecht

A Meta-Model for the Analysis and Design of Organizations in Multi-Agent Systems. in Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Agents Systems (ICMAS). IEEE CS Press, June 1998.

[Gruber... 93] T. R. GRUBER.

A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*, **5** (2), pp. 199-200, 1993.

[Malone...94] T. W. Malone, K. Crowston

The interdisciplinary study of Coordination. *ACM Computing Surveys*, vol 26 (1), March 1994.

[Zambonelli...01] F. Zambonelli, N. R. Jennings, and M. Wooldridge

Organizational Abstractions for the Analysis and Design of Multi-Agent Systems. In P. Ciancarini and M. Wooldridge, editors, *Agent-Oriented Software Engineering*. Springer-Verlag Lecture Notes in AI Volume 1957, January 2001.