

Les Espaces d'Interaction : un Modèle pour les Systèmes Distribués et Mobiles

Frédéric Peschanski, Reynald Affeldt et Akinori Yonezawa
Département des Sciences de l'Information
Université de Tokyo
E-mail : {pesch,affeldt,yonezawa}@yl.is.u-tokyo.ac.jp

Résumé :

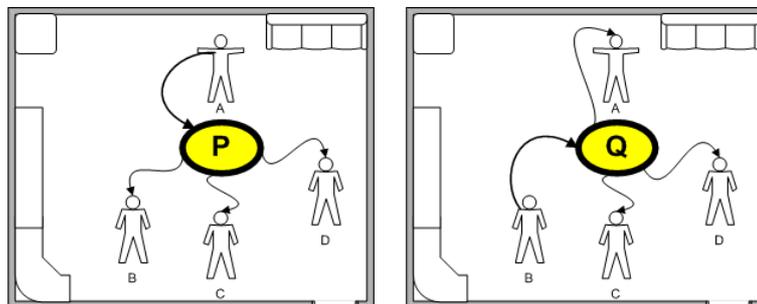
Ce document introductif décrit, à partir de principes très généraux, le modèle calculatoire des **Espaces d'Interactions**. Ces espaces géométriques formalisent le comportement de systèmes multi-agents distribués et mobiles. L'abstraction proposée permet de décrire simplement les interactions se produisant dans ces systèmes: communication (synchrone/asynchrone, unipoint/multipoint) et mobilité (des agents et des ressources). Ces opérations correspondent à des transformations géométriques simples des espaces d'interactions considérés. Notre objectif à long terme concerne le raisonnement assisté (par ordinateur) sur le comportement dynamique de ces systèmes d'agents logiciels. Nous ne proposons pas ici de formulation mathématique du modèle mais tentons plutôt d'en exposer les principales intuitions sous-jacentes.

Abstract :

We describe in this paper, from general principles, the computational model of **Interaction Spaces**. These geometrical spaces formalize the behaviour of distributed and mobile multi-agent systems. The proposed abstraction eases the description of interactions taking place within such systems: communication (synchronous/asynchronous, unicast/multicast) and mobility (of agents and of resources). These operations are implemented as simple geometrical transformations of the interaction spaces. Our long-term goal is to help at the mechanical reasoning on the dynamic behaviour of such software agent systems. The formal model is not discussed in this paper, only the main intuitions underlying the approach are exposed.

Introduction : Les interactions « du monde »

Pour aborder la notion d'interaction, plaçons nous tout d'abord dans un cadre très général. Imaginons une salle dans laquelle sont réunies quatre personnes A, B, C et D en cours de discussion. Représentons leurs interactions sous la forme de diagrammes :



Dans le scénario de gauche, A dit une phrase P que B, C et D entendent. Nous pouvons également représenter ce qu'il se « produit » lorsque l'on change de locuteur. Sur la figure de droite, l'interlocuteur B émet l'information Q (peut-être en réponse à P). La **nature** des interactions est, dans notre premier scénario, « conversationnelle » et très générale, en tout cas éloignée de nos préoccupations informatiques. Nous pouvons cependant isoler dans ce cadre très général un certain nombre de propriétés selon nous fondamentales :

1. Une interaction « atomique » (comme P ou Q sur nos schémas) possède un sens: du locuteur (source d'information) vers le (ou les) interlocuteur(s) (récepteur(s)).
2. Il n'est pas possible d'occuper simultanément le rôle de locuteur et d'interlocuteur

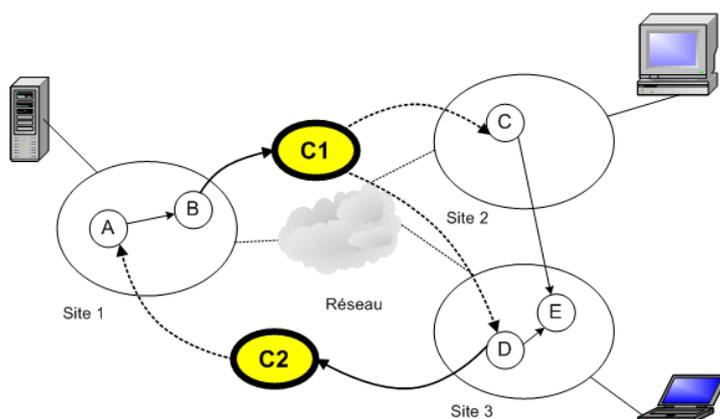
dans une même interaction.

3. Un unique locuteur peut être mis en présence de plusieurs interlocuteurs.
4. Pour une interaction donnée, chaque locuteur peut recevoir une information différente (phénomène d'interprétation) et/ou la percevoir à des moments différents.

Ces quatre propriétés sont étonnamment peu fréquentes dans les modèles informatiques courants. Nous pensons cependant qu'il existe un lien fort entre ces propriétés. Ce lien, nous le construisons sous la forme des **Espaces d'Interactions**.

Agent et Localisations

Une entité participant à une interaction est nommée, de façon très générale, **agent**. Dans le cadre informatique, ces agents seront des programmes en cours d'exécution et qui donc interagissent entre eux. Ils forment ainsi, par leur dynamique interactive, un système multi-agents. Voici un exemple de « conversation » entre agents informatiques :

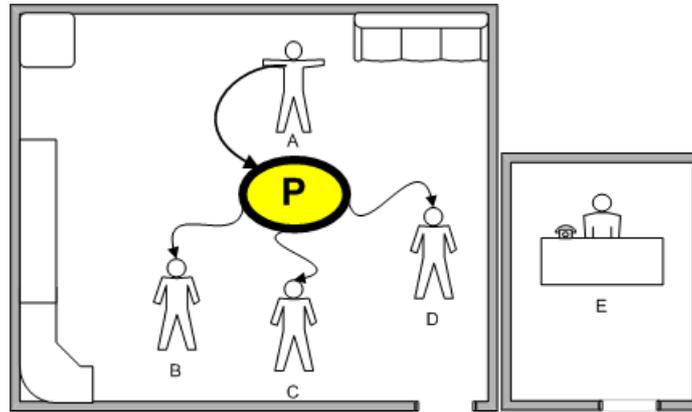


Cet exemple montre plusieurs interactions « instantanées », ou plutôt **concurrentes** dans la terminologie usuelle. L'agent A, par exemple, communique une information à un agent B. Cet agent émet, au même moment une même information vers deux agents C et D, et ainsi de suite. La définition précise d'un agent dans ce cadre informatique est une tâche extrêmement complexe. La principale raison d'être de notre travail est de justement s'abstraire de la notion d'agent pour ne plus considérer que l'espace dans lequel les agents interagissent. Si l'on « photographie » cet espace à un instant donné, alors il n'est plus nécessaire de considérer l'agent lui-même. En revanche, l'évolution dynamique de l'espace est elle fortement dépendante de ce que font les agents. L'avantage de l'approche est de séparer clairement l'agent de son environnement, ce dernier étant précisément défini.

Que ce soit dans le cas de la conversation ou dans celui des agents informatique, les « objets » du monde réel sont **localisés**. Si l'on considère notre scénario conversationnel, nous pouvons distinguer deux types de **localisation** : absolue et relative. Dans le cas absolu, un agent est positionné par rapport à son « univers », indépendamment de tout autre objet, alors que dans le cas relatif, cette position dépend d'un autre objet du monde. Les deux visions sont utiles et complémentaires mais nous introduirons les localisations comme entités absolues. De fait, la position exacte d'un agent n'est pas vraiment importante, nous exploitons surtout le fait qu'elle soit différente de toute autre localisation, ce qui nous permet d'identifier cet agent de façon unique.

Canaux de communication

Reprenons le premier scénario de conversation et considérons une nouvelle fois le cadre de l'échange P. Nous distinguons désormais les localisations des agents que nous pouvons associer aux identificateurs A, B, C et D (mathématiquement parlant, il s'agit d'entiers naturels). Introduisons un tiers agent E, situé dans une autre pièce :



Puisque notre notion de localisation est absolue, il n'est pas possible de distinguer la « nature » des localisations A, B, C et D d'un côté, et E de l'autre. Le fait que E se trouve dans une autre salle n'est pas une information « capturée » par le concept absolu de localisation. La seule information dont on dispose est que toutes ces localisations sont distinctes deux à deux. Pourtant, le fait que E se trouve « ailleurs » que les autres est une information capitale au sens de l'interaction P puisque cet agent n'entend pas et ne participe donc pas à cette conversation. Il nous faut donc introduire une nouvelle notion pour capturer cette information, c'est le but du **canal** de communication. Intuitivement, un canal de communication est l'« objet » supportant l'information échangée (P sur la figure).

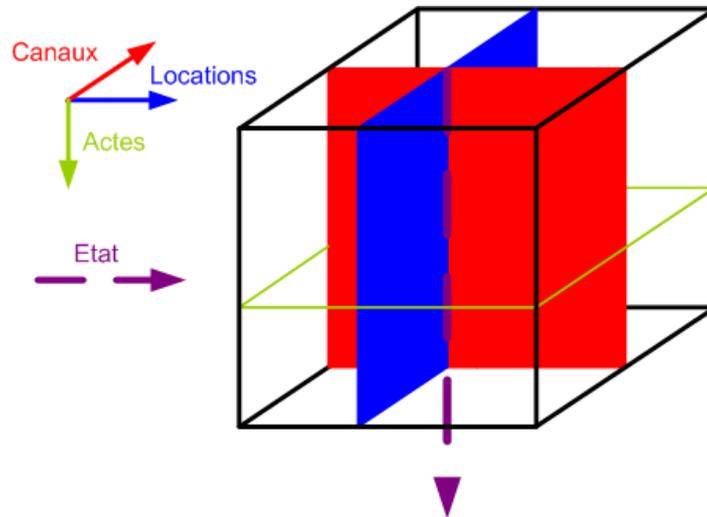
Un tel canal permet de modéliser la **distribution** du système, en associant un agent **source** ou **émetteur** d'information à au moins un agent **destination** ou **récepteur** de l'information. Pour l'interaction P, il est possible d'identifier la source de façon unique, c'est A, mais trois récepteurs sont présents : B, C et D. Ainsi, nous distinguons une **asymétrie**, selon nous fondamentale, entre source et récepteur d'information au sens de la cardinalité qui peut être multiple pour les récepteurs mais est unique pour la source. Notre argumentation concernant l'unicité de la source se fonde sur la « valeur » des informations échangées. Lors d'une interaction, pour éviter toute confusion, nous partons du principe qu'une seule information est émise à un instant donné. Cette information, pour être unique, doit être associée à une identification elle-même unique : la localisation de l'agent émetteur. En ce qui concerne la multiplicité des récepteurs, l'exemple de la conversation est assez évocateur. Il serait semble-t-il superflu de distinguer un canal d'interaction différent entre A et B, A et C puis A et D pour l'interaction P puisque la même information est reçue par les trois destinataires.

Nous pouvons donc retenir qu'un canal de communication, support de l'interaction, relie une source unique, appelée **propriétaire** du canal, et zéro, un ou plusieurs récepteurs dits **connectés** au canal. Il s'agit donc d'un « objet » asymétrique, possédant un sens. Même si la pratique informatique privilégie la communication point-à-point, ou **unipoint**, dans laquelle sources et récepteurs d'informations sont uniques, nous nous inspirerons plutôt du « monde réel » en constatant que la communication **multipoint** semble plus « naturelle ». Certains modèles théoriques, comme le π -calcul [1], ne distinguent pas non plus sources et récepteurs dans la manipulation des canaux de communication.

Une autre propriété fondamentale pour la constitution claire de notre modèle est qu'un canal ne peut pas être, lui-même, localisé. Il se situe, par définition, entre la localisation source et les localisations réceptrices.

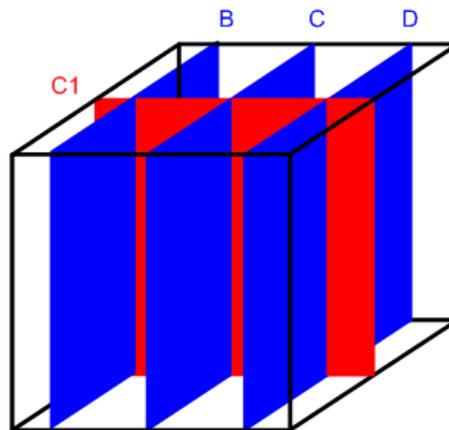
Géométrie des Espaces d'Interactions

Etape fondamentale, nous définissons maintenant l'espace d'interaction comme un relation entre les localisations des agents du monde et les canaux d'interaction qui les interconnectent. Nous pouvons considérer la structure obtenue comme une sorte de cube dont une représentation possible est la suivante :



Le « cube » considéré ici possède trois dimensions. Tout d'abord, figuré en bleu, la dimension des **locations**. Une location, comme on peut le voir, est donc une « surface plane » à deux dimensions ; on peut la voir comme une « coupe verticale » de l'espace d'interaction. La dimension des **canaux**, figurée en rouge, correspond également à un plan de coupe de l'espace à la verticale mais bien sûr orthogonal au précédent. Nous définirons de plus – et préciserons par la suite – les **actes** d'interaction (plans de coupe horizontaux) ainsi que les **états** des canaux. Chacun de ces **états** correspond à l'intersection entre un canal et une location, ou plutôt projection d'une location sur un canal.

Si nous reprenons notre exemple informatique et – par soucis de clarté – ne considérons que l'interaction C1, alors une abstraction « instantanée » du système distribué considéré serait l'espace d'interaction suivant :



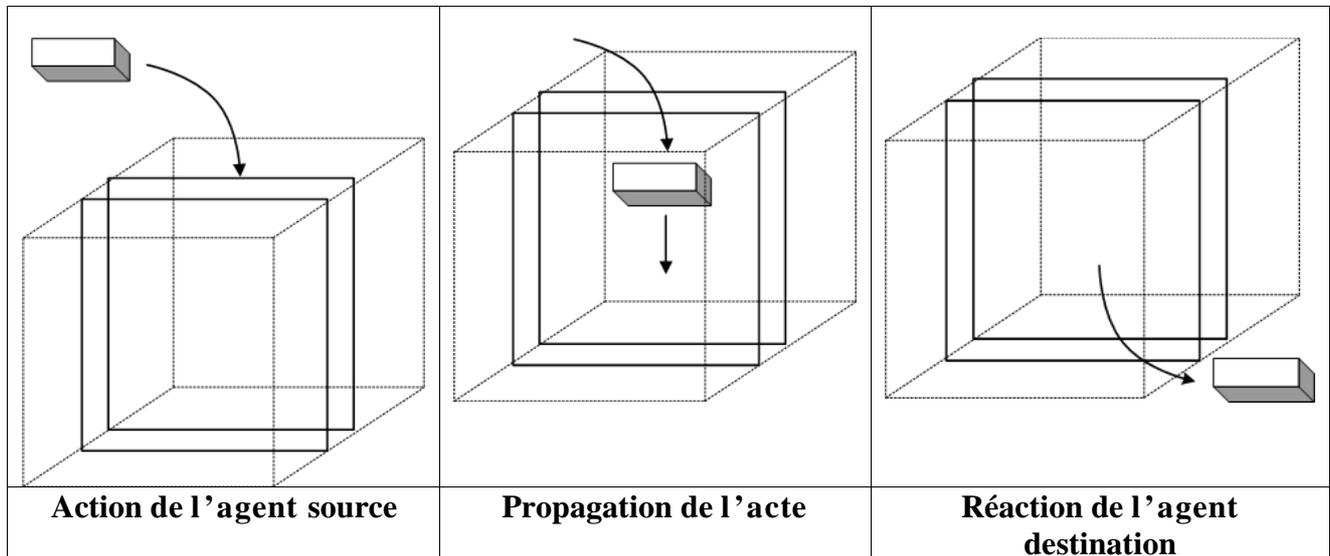
Nous pensons que les espaces d'interactions offrent ainsi une représentation géométrique concise des systèmes interactifs que nous nous proposons d'étudier.

Le processus interactif

Nous avons jusqu'à présent considéré l'interaction comme étant identifiée à une « conversation simultanée » entre deux ou plusieurs agents, que ce soient des êtres humains ou encore des programmes informatiques. Mais ce que nous nommons interaction dans notre approche ne concerne non pas les échanges directs entre agents mais plutôt les interactions entre les agents via leur espace « environnant ». Il existe donc deux catégories de « moments d'interaction », que nous nommerons **actes** : **positif** pour l'émission d'information par un propriétaire de canal et **négatif** pour la réception d'une information par un ou plusieurs récepteurs. Les interactions sont donc **polarisées**. Si nous nous plaçons du point de vue des agents et non plus de l'espace, on parlera d' **action** pour le cas positif et de **réaction** pour le cas négatif. La distinction clairement identifiée ici entre le point de vue de l'espace - appelé point de vue **objectif** - et le point de vue des agents -

dit **subjectif** - est selon-nous fondamentale.

Le phénomène d'action/réaction peut-être quasiment simultané et nous parlerons de **synchronisme** dans ce cas ou alors fortement découplé, cas de l' **asynchronisme**. Les espaces d'interaction peuvent servir à modéliser les deux types d'interactions. Le cas par défaut, parce que c'est le cadre le plus général, concerne les échanges asynchrones. Chaque acte positif réalisé par l'action d'un agent correspond à l'augmentation d'un temps virtuel, caractérisé par l'extension de l'espace d'interaction dans la dimension des actes. La réalisation d'un acte asynchrone peut-être schématisée de la façon suivante :



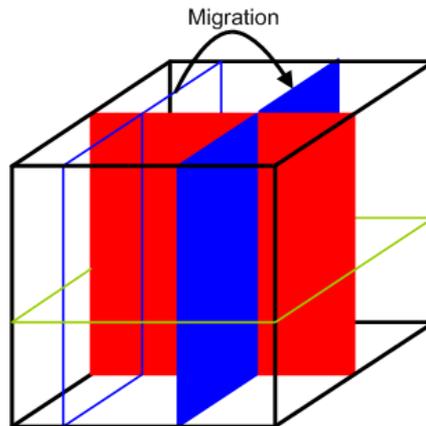
La figure la plus à gauche montre l'émission d'une information dans l'espace par un agent source propriétaire du canal de communication considéré. Au milieu, l'acte se propage dans la dimension du temps relatif des actes, pour tout agent destination connecté au canal (pour l'instant, nous considérons un acte unique). La figure de droite décrit la consommation de l'acte dans l'espace par la réaction de l'agent destination connecté. Un acte synchrone est également simplement modélisable dans ce modèle. Il suffit pour cela de considérer un espace dont la dimension des actes est vide. En ce sens, la phase intermédiaire de propagation est absente. Pour l'informaticien, les deux points de vue sont à la fois nécessaires et complémentaires. Les interactions synchrones sont réalistes dans les systèmes centralisés concurrents. De nombreux modèles reposent donc sur des principes synchrones, comme le calcul des processus séquentiels (CSP [2]) ou le calcul de communications synchrones (CCS [3]), le π -calcul [1] et ses dérivés. L'asynchronisme, plus complexe, intervient de façon inévitable lorsque l'on se place du point de vue distribué. Les calculs asynchrones existent également, notamment des variations asynchrones du π -calcul comme [4] mais la théorie sous-jacente est très différente du cas synchrone. De même, réfléchir sur les propriétés de **cardinalité** (potentiellement plusieurs récepteurs pour une même information), d' **ordre** (deux informations émises en séquence seront-elles perçues dans le même ordre ?) et de **fiabilité** (toute l'information est-elle acheminée ? est-elle perturbée ?) demandent en général la révision du cadre syntaxique et sémantique des modèles de calcul. Les espaces d'interaction permettent d'aborder ces questions dans un cadre unique et immuable.

La Mobilité

De nombreux travaux s'intéressent aujourd'hui à la notion de mobilité des systèmes informatiques. L'idée est que les différents « acteurs » des systèmes - programmes, ressources et utilisateurs - peuvent se déplacer dans leurs espaces respectifs. Dans le cadre des espaces d'interaction, raisonner sur cette notion de mobilité est bien sûr possible et pour cela, nous introduisons deux types de mouvements :

1. Mouvement des agents dans l'espace des localisations
2. Mouvement des ressources dans l'espace des canaux de communication

Le premier cas est courant en informatique et est appelé **migration**. Nos travaux nous ont menés à l'expérimentation de ce principe (dans le cadre du projet Comet [5]). Dans un espace d'interaction, la migration correspond au déplacement d'une location (tranche verticale de l'espace) d'une localisation de départ vers une localisation d'arrivée, comme le montre la figure suivante :



La deuxième forme de mobilité proposée se situe dans l'espace (virtuel) des canaux de communication. L'unique propriétaire d'un canal est associé, dans notre approche, à la notion de ressource. Ainsi, le canal identifie par son propriétaire une ressource unique comme un fichier, un utilisateur, etc. La mobilité d'une ressource est donc également modélisable dans ce modèle, elle correspond au changement de propriétaire d'un canal. Ce changement s'effectue en deux étapes : perte du statut de propriétaire (*undocking* en anglais) puis, à un moment ultérieur, acquisition de ce même statut par un agent tiers (*docking*). Ici, la perturbation de l'espace est triviale puisque sa topologie reste constante, seule une information interne est modifiée (chaque canal identifie son propriétaire et les agents qui lui sont connectés).

Travaux en cours et Perspectives

Nos travaux actuels concernent l'implantation, dans un assistant de preuve (nommé ACL2 [6]), du modèle des espaces d'interaction dont les principes fondamentaux sont décrits ci-dessus. Cette implantation (qui est une formalisation logique) est constituée de deux parties. La première concerne la structure des espaces ainsi que leur manipulation (création d'une location, réalisation d'une interaction, etc.). Certaines propriétés importantes comme l'unicité des locations et des canaux de communication ont été prouvées formellement. La seconde partie concerne la définition d'un langage non-déterministe permettant de traduire la description d'agents dans le modèle. L'objectif ultime serait d'employer les outils d'aide à la preuve pour démontrer des propriétés de systèmes informatiques formalisés dans ce langage. Bien sûr, notre approche ne simplifie pas le problème global de la preuve de programmes distribués et mobiles qui est d'une grande complexité. Il est notable par exemple que les systèmes qui nous intéressent sont sensibles à l'historique de leur propre comportement. Contrairement à la plupart des systèmes étudiés en physique par exemple, il ne s'agit donc pas de modèles markoviens. Cependant, des logiques [7] et des techniques de preuve existent d'ores et déjà pour aborder l'étude symbolique de ces systèmes [8]. Notre objectif concerne donc le support informatique de ces techniques, pour à la fois aider la conduite des preuves mais également pour valider mécaniquement la preuve lorsque celle-ci est terminée. Nous pensons que de ce point de vue, les espaces d'interaction offrent un certain nombre d'avantages, les plus fondamentaux étant peut-être leur relativement simple formulation logique ainsi que leur nature géométrique.

References

- [1] Milner, R. Communicating and Mobile Systems : the π -calculus. Cambridge University Press 1999.

[2] Hoare, C. Communicating Sequential Processes. Prentice Hall 1985.

[3] Milner, R. Communication and Concurrency. Prentice Hall 1989.

[4] Honda, K. et Tokoro, M. An Object Calculus for Asynchronous Communications. Actes de European Conference on Object Oriented Programming'91. LNCS 512. Springer-verlag 1991.

[5] Peschanski, F. A Reflective Middleware Architecture for Adaptive, Component-based Systems. IEEE Distributed Systems vol 7 numéro 1. IEEE 2001.

[6] Kaufman, M, Manolios, P et Moore, J.S. Computer-Aided Reasoning : an Approach. Kluwer Academic Publishing 2000.

[7] Girard, J-Y. Locus Solum. Manuscript 2001.

[8] Jacobs B. et Rutten, J. A Tutorial on (Co)Algebras and (Co)Induction, Rapport Technique Université de Nijmegen, Hollande 1996.

Remerciements

Nos remerciements les plus sincères à Jean-Pierre Briot qui soutient très activement, depuis la France, ce projet. Merci également à Jean-Yves Girard dont l'influence sur notre travail est indéniable.