

Agents et Systèmes multi-agents

Agents - Interaction - Environnement

Claude Moulin

Université de Technologie de Compiègne

IA04

Sommaire

- 1 Champs d'application des SMA
- 2 Environnement
- 3 Interactions
 - Interactions - Compétition
 - Dilemme du prisonnier
 - Situations symétriques

Sommaire

- 1 Champs d'application des SMA
- 2 Environnement
- 3 Interactions

Familles

- Simulation : études de phénomènes complexes du monde réel
 - éthologie, sociologie, économie, environnement
- Résolution de problème : contrôle de processus distribué sans centralisation
- Intégration : interopération des logiciels avec des êtres humains et des systèmes mécaniques

Simulation - 1

- Représentation et simulation de systèmes sociaux ou naturels faisant intervenir un grand nombre d'individus :
 - Ecosystème avec pêcheurs, bancs de poissons et polluants,
 - Société d'insectes : construction d'enfouragement chez les fourmis, les araignées, les termites, les abeilles, etc.
 - Formation d'embouteillage, plan d'évacuation, dynamique d'opinion, etc.

Simulation - 2

- Compréhension des interactions entre humains, simulations comportementales, explication de l'impact de comportement individuel sur le niveau global :
 - Etude de clientèles.
 - Crédibilité des personnages virtuels.
 - Phénomènes de foule.

Simulation - 3

- Modélisation des environnements virtuels :
 - jeux vidéo (massivement parallèles) multi-joueurs.
 - formation sur des environnements pour activités collectives (serious games)

Simulation - Emergence

- Décrire l'influence réciproque entre des entités de niveaux différents.
- Décrire des systèmes qui dépassent les capacités de leurs composants.
- L'émergence est perçue comme un tout supérieur à la somme de ses parties ; le gain obtenu ne peut s'expliquer que par l'interaction.

Résolution de problèmes - 1

- Supervision d'un atelier de production : plusieurs machines, plusieurs pièces, plusieurs usinages, organisation ? Réorganisation en cas de panne ?
- Supervision de réseaux de télécommunications : agents de suivi, agents de diagnostic de panne, agent opérateur de maintenance
- Réseaux de transport (d'énergie, etc.)

Résolution de problèmes - 2

- Recherche d'une solution à un problème : et non optimisation (pas nécessairement la meilleure)
- Définition d'un objectif global, de critères globaux de succès
- Division des connaissances, des ressources, du contrôle
- Absence d'une méthode ou d'un modèle global de résolution
- Définition locale d'objectifs et/ou de contraintes, activation dynamique avec minimisations locales
- Convergence globale, observation de l'état stable sous contrainte

Intégration de systèmes - 1

- Commerce électronique : applications B2C, B2B, processus d'achats avec négociations sophistiquées (enchères automatisées, négociation bilatérale, de contrats
 - agent acheteur ou vendeur qui représente l'acheteur / vendeur avec différents types de comportement.
- Recherche et filtrage d'informations sur le Web : agrégation de services (organisation d'un voyage : billet train, chambre d'hotel, billet musée, etc.)
- Informatique diffuse ou intelligence ambiante : pervasive computing
 - Monde informatique ouvert, capteurs
 - Militaire : surveillance
 - Social : surveillance, aide aux personnes âgées (handicapées) à domicile.

Intégration de systèmes - 2

- Encapsulation d'un sous-système par un agent
- Aide à l'information et à la négociation
- Partage de représentations

Sommaire

- 1 Champs d'application des SMA
- 2 Environnement
- 3 Interactions

Définition

- Environnement d'un agent :
 - Environnement du SMA + les autres agents du système
- Environnement du SMA :
 - Espace commun aux agents du système
 - Ensemble des objets pouvant être situés (dont la position peut être déterminée) et passifs (perçus, modifiés, détruits par les agents ou l'environnement)

Applications

- Simulation : l'environnement contient des objets actifs, passifs, manipulables.
- Résolution : l'environnement est le contexte dans lequel s'appliquent les règles codées dans les agents, et les interactions.
- Intégration : l'environnement est constitués par des objets, des informations, des systèmes non contrôlés par les agents.

Caractéristiques

- Accessible / non Accessible
 - Si l'état de l'environnement est complètement observable, l'agent n'a pas besoin de le mémoriser.
- Déterministe / non déterministe
 - L'environnement est déterministe si le prochain état est déterminé par l'état courant et les actions des agents. Le résultat des actions est certain. Il n'y a pas de probabilité attachées à ces résultats.
- Episodique / Séquentiel
 - Les actions des agents sont divisées en épisodes. Ce qui est exécuté dans un épisode ne dépend pas des autres épisodes. Les prochaines évolutions de l'environnement ne dépendent pas des actions déjà réalisées. Au contraire, pour un agent joueur (échec, autre jeu), une action peut avoir des conséquences à long terme.

Caractéristiques

- Statique / Dynamique
 - Statique lorsque la structure de l'environnement ne change pas. Statique lorsque l'environnement ne change pas entre deux actions d'un agent et durant une action. La conduite d'une automobile se réalise dans un environnement dynamique.
- Discret / Continu
 - L'environnement est continu lorsque au moins une variable possède des valeurs continues (réelles) comme la vitesse, le positionnement. L'environnement est discret lorsque les paramètres sont entiers.
- Compétitif / Collaboratif

Exemples

- Lieu pour les interactions : signaux, traces, lois physiques, etc.
- Lieu pour les actions et où sont perçues les réactions.
- Espace de déplacement
- Moyen de structuration des agents.
- Source d'information, de données

Accessibilité

- Centralisé : tous les agents ont accès à la même structure (même si les agents sont délocalisés)
- Distribué : l'environnement est composé d'un ensemble d'entités disposées en réseau. Chaque entité gère les influences des agents situés sur la même station.

Algorithme basique

procedure RUN-ENVIRONMENT(*state*, UPDATE-FN, *agents*, *termination*)

inputs: *state*, the initial state of the environment

UPDATE-FN, function to modify the environment

agents, a set of agents

termination, a predicate to test when we are done

repeat

for each *agent* **in** *agents* **do**

PERCEPT[*agent*] \leftarrow GET-PERCEPT(*agent*, *state*)

end

for each *agent* **in** *agents* **do**

ACTION[*agent*] \leftarrow PROGRAM[*agent*](PERCEPT[*agent*])

end

state \leftarrow UPDATE-FN(*actions*, *agents*, *state*)

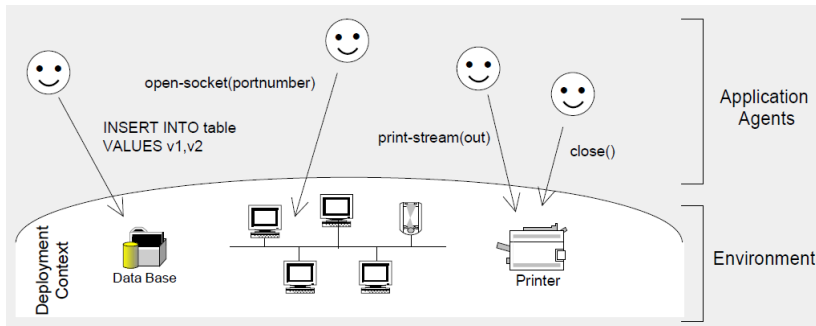
until *termination*(*state*)

- Russell et Norvig (1995)

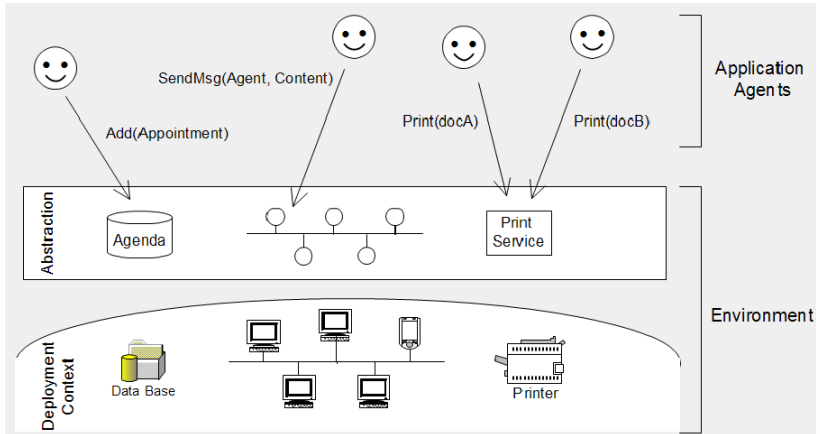
Niveaux d'abstraction

- Généralisation à partir des rôles de l'environnement :
 - Base : accès direct au contexte de déploiement
 - Abstraction : le lien entre l'agent et le contexte de déploiement est abstrait. Les détails de bas niveau sont masqués aux agents.
 - Interaction régulée : l'accès aux ressources partagées est régulé et les interactions entre agents sont médiatisées

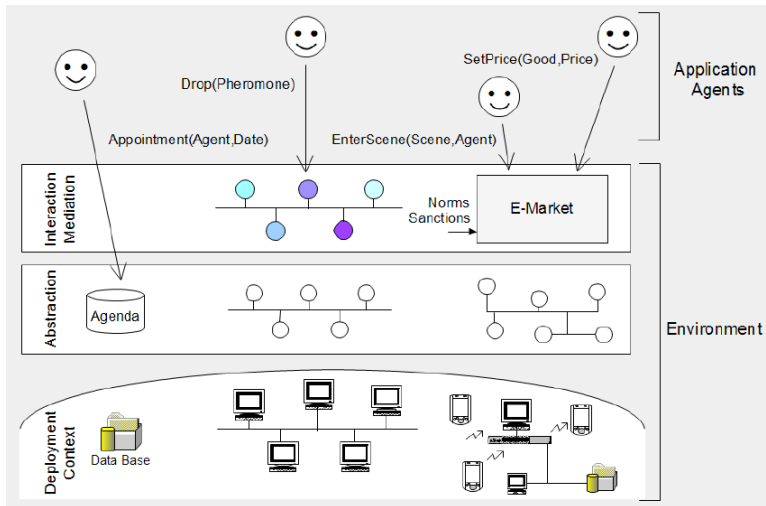
Base



Abstraction



Interaction régulée



Sommaire

- 1 Champs d'application des SMA
- 2 Environnement
- 3 Interactions**

Interaction

- Les systèmes multiagents ont surtout l'avantage de faire intervenir des schémas d'interaction sophistiqués.
- Les agents peuvent ainsi :
 - coexister
 - être en compétition
 - coopérer.

Co-existence

- Chaque agent ne considère les autres agents que comme des composantes de l'environnement, au même titre que toutes les autres composantes.
- Communication
 - Il n'y a aucune communication directe entre les agents.
 - il peut y avoir une certaine forme de communication indirecte lorsque les agents peuvent se percevoir les uns les autres.

Compétition

- Le but de chaque agent est de maximiser sa propre satisfaction, ce qui se fait généralement aux dépens des autres agents.
- Exemple : plusieurs agents veulent utiliser ou acquérir la même ressource.
- Les agents doivent pouvoir communiquer entre eux pour résoudre le conflit.
- Négociation : Les agents se transmettent des propositions et des contre-propositions jusqu'à ce qu'ils arrivent à une entente ou qu'ils se rendent compte qu'une entente est impossible.
 - requiert un protocole de négociation et un langage de communication de haut niveau
 - nécessite une certaine structuration de la négociation

Coopération

- Le but des agents n'est plus seulement de maximiser leur propre satisfaction mais aussi de contribuer à la réussite du groupe.
- Résolution d'un problème commun :
 - les agents communiquent ensemble, à l'aide de messages plus ou moins sophistiqués.
 - ils peuvent s'échanger des informations sur l'environnement pour augmenter leurs perceptions individuelles.
 - ils peuvent se transmettre leurs intentions pour que les agents puissent avoir une idée de ce que les autres font.

Sommaire

- 1 Champs d'application des SMA
- 2 Environnement
- 3 Interactions
 - Interactions - Compétition
 - Dilemme du prisonnier
 - Situations symétriques

Décision

- Une leçon très importante des systèmes multi-agents est de comprendre le type d'interaction qui prend place entre les agents de façon à ce qu'ils prennent la meilleure décision possible et donc de choisir l'action à exécuter.
- On dit qu'un jeu est statique lorsque les joueurs choisissent simultanément leurs actions et reçoivent ensuite leurs gains respectifs.

Etude

- Considérons deux agents 1 et 2.
- Chaque agent a ses propres préférences au sujet de l'état du monde.
- Une action a un ensemble de résultats possibles :
 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$.
- On exprime les préférences de chaque agent par une fonction d'utilité : $u_i : \Omega \longrightarrow \mathbb{R}$.
- Plus le nombre est élevé et plus la préférence est grande.

Préférences

- Une fonction d'utilité conduit à un ordre sur les préférences.
- $\omega \succeq_i \omega' \iff u_i(\omega) \geq u_i(\omega')$
- $\omega \succ_i \omega' \iff u_i(\omega) > u_i(\omega')$.
- \succeq_i est une relation d'ordre : réflexive, transitive et antisymétrique.

Environnement

- Chaque agent doit entreprendre une action et les deux actions conduisent à un résultat de Ω .
- Le résultat dépend de la combinaison des deux actions.
- Les agents doivent exécuter une action et donc peuvent influencer sur le résultat.
- On considère qu'ils ne peuvent pas connaître l'action choisie par l'autre.
- Pour simplifier on considère qu'ils n'ont que deux actions possibles : Coopération, Défection.

Environnement

- $\tau : A_{C_1} \times A_{C_2} \longrightarrow \Omega$.
- On considère que chaque couple d'actions conduit à un résultat différent.
- $\tau(D, D) = \omega_1 ; \tau(D, C) = \omega_2 ; \tau(C, D) = \omega_3 ; \tau(C, C) = \omega_4$.
- Exemple :

$$\left. \begin{array}{l} u_1(\omega_1) = 1, u_1(\omega_2) = 1, u_1(\omega_3) = 4, u_1(\omega_4) = 4 \\ u_2(\omega_1) = 1, u_2(\omega_2) = 4, u_2(\omega_3) = 1, u_2(\omega_4) = 4 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} u_1(D, D) = 1, u_1(D, C) = 1, u_1(C, D) = 4, u_1(C, C) = 4 \\ u_2(D, D) = 1, u_2(D, C) = 4, u_2(C, D) = 1, u_2(C, C) = 4 \end{array} \right\}$$

Préférences

$$\left. \begin{array}{l} u_1(D, D) = 1, \quad u_1(D, C) = 1, \quad u_1(C, D) = 4, \quad u_1(C, C) = 4 \\ u_2(D, D) = 1, \quad u_2(D, C) = 4, \quad u_2(C, D) = 1, \quad u_2(C, C) = 4 \end{array} \right\}$$

$$\begin{array}{l} (C, C) \succeq_1 (C, D) \succeq_1 (D, C) \succeq_1 (D, D) \\ (C, C) \succeq_2 (D, C) \succeq_2 (C, D) \succeq_2 (D, D) \end{array}$$

- Pour l'agent 1 quelle action choisir ?
- Il préfère tous les résultats où il coopère.
- De même pour l'agent 2.

Matrice des gains

$$\left. \begin{array}{l} u_1(D, D) = 1, \quad u_1(D, C) = 1, \quad u_1(C, D) = 4, \quad u_1(C, C) = 4 \\ u_2(D, D) = 1, \quad u_2(D, C) = 4, \quad u_2(C, D) = 1, \quad u_2(C, C) = 4 \end{array} \right\}$$

	1 défection	1 coopération
2 défection	1	1
2 coopération	4	4

Stratégie dominante

- La meilleure réponse pour un agent est la stratégie qui lui donne le meilleur gain.
- Une stratégie s_i est dominante pour le joueur i si c'est la meilleure réponse à toutes les stratégies de l'autre agent.
- L'existence d'une stratégie dominante rend la décision de l'agent très simple : l'agent garantit son meilleur résultat en jouant la stratégie dominante.

Equilibre de Nash

- 2 stratégies s_1 et s_2 sont en équilibre de Nash si :
 - lorsque l'agent 1 suit s_1 l'agent 2 ne peut mieux faire que suivre s_2 et
 - lorsque l'agent 2 suit s_2 l'agent 1 ne peut mieux faire que suivre s_1
- 2 stratégies s_1 et s_2 sont en équilibre de Nash si ce sont les meilleures réponses l'une à l'autre.
- Limites :
 - toute interaction ne conduit pas nécessairement à un pur équilibre de Nash.
 - certains scénarios ont plus d'un équilibre de Nash.

Contre-exemple

- 2 joueurs choisissent le côté d'une pièce (pile ou face).
- Si les deux choix sont les mêmes, le joueur 1 gagne (et le joueur 2 perd)
- Si les deux choix sont différents, le joueur 1 perd (et le joueur 2 gagne)

	1 pile	1 face
2 pile	- 1	1
2 face	1	-1

- Un des deux agents aurait préféré faire un autre choix que celui qu'il a fait.

Stratégies mixtes

- Dans le cas où il n'y a pas d'équilibre de Nash, une stratégie consiste à choisir une action au hasard.
- k choix possibles : on choisit s_1 avec la probabilité p_1 , \dots s_k avec la probabilité p_k .
$$p_1 + p_2 + \dots + p_k = 1$$
- La stratégie qui consiste à choisir une action au hasard avec une distribution équiprobable est un équilibre de Nash avec elle-même.
- Théorème de Nash : dans chaque jeu où les joueurs ont un ensemble fini de stratégies, il existe un équilibre de Nash dans les stratégies mixtes.

Optimum

- L'existence d'un équilibre n'implique pas que celui-ci soit nécessairement optimal.
- Il peut en effet exister d'autres choix des joueurs qui conduisent, pour chacun, à un gain supérieur.
- Ces choix peuvent, ou non, correspondre à un autre équilibre (le théorème de Nash dit qu'il existe au moins un équilibre, mais pas qu'il est unique).
- Les exemples d'équilibre non-optimaux sont parfois évoqués pour montrer que si chaque acteur économique raisonne individuellement selon son intérêt, alors il peut en résulter une situation pire que si les acteurs se concertaient.

Sommaire

- 1 Champs d'application des SMA
- 2 Environnement
- 3 Interactions
 - Interactions - Compétition
 - Dilemme du prisonnier
 - Situations symétriques

Situation

- Deux prisonniers (complices d'un délit) sont retenus dans des cellules séparées et ne peuvent communiquer.
 - si un des deux prisonniers dénonce l'autre, il est remis en liberté alors que le second obtient la peine maximale (10 ans) ;
 - si les deux se dénoncent entre eux, ils seront condamnés à une peine plus légère (5 ans) ;
 - si les deux refusent de dénoncer, la peine sera minimale (6 mois), faute d'éléments au dossier.

Equilibre

	1 dénonce (D)	1 se tait (C)
2 dénonce (D)	2 2	0 5
2 se tait (C)	5 0	3 3

$$\left. \begin{aligned} u_1(D, D) = 2, \quad u_1(D, C) = 5, \quad u_1(C, D) = 0, \quad u_1(C, C) = 3 \\ u_2(D, D) = 2, \quad u_2(D, C) = 0, \quad u_2(C, D) = 5, \quad u_2(C, C) = 3 \end{aligned} \right\}$$

$$(D, C) \succ_1 (C, C) \succ_1 (D, D) \succ_1 (C, D)$$

$$(C, D) \succ_2 (C, C) \succ_2 (D, D) \succ_2 (D, C)$$

Raisonnement

$(D,C) \succ_1 (C,C) \succ_1 (D,D) \succ_1 (C,D)$

$(C,D) \succ_2 (C,C) \succ_2 (D,D) \succ_2 (D,C)$

- Pour le 1 : si 2 dénonce le mieux est de dénoncer
si 2 se tait le mieux est de dénoncer
- Donc le mieux pour 1 est de dénoncer.
- Le scénario est symétrique.
- L'attitude rationnelle est (D,D)

Gain social

- C'est la somme des utilités de chaque agent.

$$sw(\omega) = \sum_{i \in Ag} u_i(\omega)$$

$$\left. \begin{array}{l} u_1(D, D) = 2, \quad u_1(D, C) = 5, \quad u_1(C, D) = 0, \quad u_1(C, C) = 3 \\ u_2(D, D) = 2, \quad u_2(D, C) = 0, \quad u_2(C, D) = 5, \quad u_2(C, C) = 3 \end{array} \right\}$$

$$sw(D, D) = 4 ; sw(D, C) = 5 ; sw(C, D) = 5 ; sw(C, C) = 6$$

- L'action qui optimiserait le gain social serait : (C,C).
- Les agents feraient mieux de coopérer alors que le raisonnement conduit à dénoncer.

Bilan - 1

- L'équilibre de Nash pour ce type de jeu ne conduit pas à un optimum de Pareto (c'est-à-dire un état dans lequel on ne peut pas améliorer le résultat d'un individu sans détériorer celui d'un autre).
- A l'équilibre, chacun des prisonniers choisit de faire défaut même s'ils gagneraient ensemble à coopérer.
- Malheureusement pour les prisonniers, chacun est incité à tricher après avoir fait la promesse de coopérer. C'est le cœur du dilemme.

Bilan - 2

- Dans un jeu du dilemme du prisonnier répété, chaque joueur a l'opportunité de "punir" l'autre joueur pour sa précédente non-coopération. La coopération peut donc survenir dans cette configuration.
- L'incitation à tricher est inférieure à la menace de punition, ce qui introduit la possibilité de coopérer.

Sommaire

- 1 Champs d'application des SMA
- 2 Environnement
- 3 Interactions
 - Interactions - Compétition
 - Dilemme du prisonnier
 - Situations symétriques

Situations

- Dans le dilemne du prisonnier :

$$(D,C) \succ_1 (C,C) \succ_1 (D,D) \succ_1 (C,D)$$

On compte $4! = 24$ possibilités d'ordonner les préférences de choix du joueur 1.

Coopération dominante

$(C,C) \succ_1 (C,D) \succ_1 (D,C) \succ_1 (D,D)$

$(C,C) \succ_1 (C,D) \succ_1 (D,D) \succ_1 (D,C)$

- Dans ces situations la coopération est évidente

Défection dominante

$(D,D) \succ_1 (D,C) \succ_1 (C,C) \succ_1 (C,D)$

$(D,D) \succ_1 (D,C) \succ_1 (C,D) \succ_1 (C,C)$

- Dans ces situations la défection est évidente

Situation de la poule mouillée

	1 trahit (D)	1 coopère (C)
2 trahit (D)	0	1
2 coopère (C)	10	5

$$\left. \begin{aligned} u_1(D, D) = 0, u_1(D, C) = 10, u_1(C, D) = 1, u_1(C, C) = 5 \\ u_2(D, D) = 0, u_2(D, C) = 1, u_2(C, D) = 10, u_2(C, C) = 5 \end{aligned} \right\}$$

$$(D, C) \succ_1 (C, C) \succ_1 (C, D) \succ_1 (D, D)$$

$$(C, D) \succ_2 (C, C) \succ_2 (D, C) \succ_2 (D, D)$$

Raisonnement

$(D,C) \succ_1 (C,C) \succ_1 (C,D) \succ_1 (D,D)$

$(C,D) \succ_2 (C,C) \succ_2 (D,C) \succ_2 (D,D)$

- Pour le 1 : si 2 trahit le mieux est de coopérer
si 2 coopère le mieux est de trahir
- Le scénario est symétrique.

Prisonnier - Poule mouillée

- Dilemne du prisonnier

	1 dénonce (D)	1 se tait (C)
2 dénonce (D)	2 2	5 0
2 se tait (C)	0 5	3 3

- Poule mouillée

	1 trahit (D)	1 coopère (C)
2 trahit (D)	0 0	10 1
2 coopère (C)	1 10	5 5

Origine

- Deux voitures se lancent l'une vers l'autre, prêtes à se rentrer dedans. Chaque joueur peut dévier et éviter la catastrophe (coopération) ou garder le cap au risque de la collision (défection).
- Si l'on pense que l'adversaire est plus brave, ou plus fou, il vaut mieux renoncer.
- Si l'on pense que l'adversaire est moins brave ou plus sage, on peut risquer.
- Il est avantageux d'apparaître comme un "dur" qui ne renoncera pas et d'intimider l'adversaire . . . tant qu'on parvient à rester en jeu.