
Architecture décisionnelle pour la replanification dans une équipe d'agents

Olivier Bonnet-Torrès^{*,**} — Catherine Tessier^{*}

^{*} *Onera-DCSD*
2, avenue Edouard-Belin
31055 Toulouse cedex 4
obonnet@cert.fr, cath@cert.fr

^{**} *Supaéro*
10, avenue Édouard-Belin
31055 Toulouse cedex 4

RÉSUMÉ. Dans le cadre de la mise en œuvre d'une équipe de robots sur le terrain, nous proposons une architecture décisionnelle qui permet la replanification lorsque l'autorité est dévolue à l'équipe. Il s'agit de réparer le plus localement possible le plan devenu obsolète suite à un aléa, qu'il soit interne (défaillance matérielle) ou externe (actions de l'environnement ou de l'opérateur), au niveau local (une plate-forme) ou global (l'équipe). Cette réparation locale est facilitée par la représentation du plan d'équipe sous forme d'un réseau de Petri dont chaque marquage atteignable est associé à une hiérarchie d'agentivité correspondant à une organisation donnée de l'équipe.

ABSTRACT. A decisional architecture for replanning is proposed in the framework of the implementation of a team of robots on the field. When mixed initiative between the team and human operators is considered, this architecture allows the team to repair its plan as locally as possible after a failure or an unexpected action of the environment or the operators either at a local (one robot) or global (the team) level. The local repair is facilitated by the fact that the team plan is represented by a Petri net where each reachable marking is associated with an agentivity hierarchy corresponding to a given organization of the team.

MOTS-CLÉS : Travail d'équipe, replanification, réseau de Petri.

KEYWORDS: Teamwork, replanning, Petri net.

1. Introduction

Dans le cadre de la mise en œuvre de robots *sur le terrain*, la **planification** de la mission est généralement réalisée **hors ligne** selon un partage de l'autorité [DAL 03] défini *a priori* entre les robots et les opérateurs. Par ailleurs, il peut être décidé qu'un groupe de robots se verra affecté à la mission plutôt qu'un seul robot. On parle alors d'**équipe**.

En cours de mission, opérateur(s) et robots communiquent, par exemple pour l'envoi d'images d'un robot vers l'opérateur ou la transmission de points de passage de l'opérateur vers les robots. Cependant, du fait de la possible rupture momentanée des communications (environnement hostile, panne d'un nœud du réseau, opérateur occupé à d'autres tâches...), une certaine autonomie doit être conférée aux robots. Ils doivent alors « se débrouiller », prendre en charge des tâches de haut niveau, voire gérer des aléas. Le partage d'autorité initial ne pouvant plus être conservé du fait de la rupture des liaisons, l'allocation des tâches entre l'opérateur et les robots est modifiée. Dans ce cas, les robots doivent être capables de redéfinir un déroulement d'actions pour mener à bien l'objectif: on parle de **replanification**. Celle-ci doit se faire en ligne, pour éviter une discontinuité dans la mission.

Les travaux théoriques fondamentaux relatifs à la planification multiagent, dont le *Partial Global Planning* [DUR 87], l'intention commune [COH 91] et *SharedPlan* [GRO 96], ont inspiré, entre autres, le système de simulation *STEAM* [TAM 97]. Celui-ci met en œuvre la collaboration d'agents par l'utilisation de hiérarchies d'« opérateurs ». Un opérateur instancie une intention, qu'elle soit commune ou individuelle, et représente donc une activité. Les opérateurs principaux sont les opérateurs d'équipe, qui sont décomposés en sous-opérateurs jusqu'aux opérateurs individuels élémentaires. En ce qui concerne la replanification, elle est souvent fondée sur la coordination de plans [ALA 94, ELF 96] ou reste théorique [DUN 01]. Cependant, des travaux relatifs à la replanification au niveau équipe de robots mis en œuvre *sur le terrain* commencent à apparaître [BRO 04, NGU 04].

Dans le contexte des systèmes opérationnels soumis à des aléas et à des ruptures de communication avec les opérateurs, nous proposons une architecture décisionnelle adaptée au processus de replanification en ligne d'une équipe de robots. À partir du moment où une mission, une équipe (et la dynamique prévue de son organisation, c'est-à-dire la répartition dynamique des agents en sous-équipes) et un plan initial ont été définis, les degrés de liberté du système en cours de mission sont la réorganisation interne de l'équipe et la replanification des tâches, qui constituent autant de prises de décision.

2. Agentivité

Comme le note Shoham [SHO 93], il est possible de considérer un groupe d'agents en interaction forte comme un agent en lui-même, ce qui induit la possibilité d'un mécanisme d'héritage par les agents de caractéristiques du groupe. La relation qui régit

l'interaction à l'intérieur de l'équipe permet de définir l'engagement commun pour ce groupe. Nous proposons donc de considérer une équipe comme une *hiérarchie d'agentivité* dont les feuilles sont des agents individuels et les nœuds des sous-équipes, un nœud ayant pour nœuds fils les agents qui composent la sous-équipe qu'il représente (cf. figure 1).

Définition 1 : *l'agentivité d'un agent par rapport à une équipe ou une sous-équipe d'agents est sa profondeur dans la sous-hiérarchie de racine l'équipe ou la sous-équipe.*

Exemple : un agent qui n'appartient à aucune sous-équipe a une agentivité de 1 vis-à-vis de son équipe. Si tous les agents du système multiagent font partie de la même équipe, l'équipe est d'agentivité 0 par rapport à la population des agents.

Définition 2 : *le degré d'un agent est la plus grande des agentivités des agents individuels qui le composent.*

Définition 3 : *on appelle agent individuel ou agent élémentaire un agent dont le degré est nul. Un agent non élémentaire est dit composite.*

Définition 4 : *l'agent père d'un agent est celui qui correspond à son nœud père dans la hiérarchie d'agentivité. L'agentivité du père est inférieure de 1 à celle du fils.*

Exemple : si deux agents individuels forment la seule sous-équipe (non réduite à un agent élémentaire) d'une équipe, l'équipe est de degré 2. Le père des deux agents est l'agent composite représentant la sous-équipe.

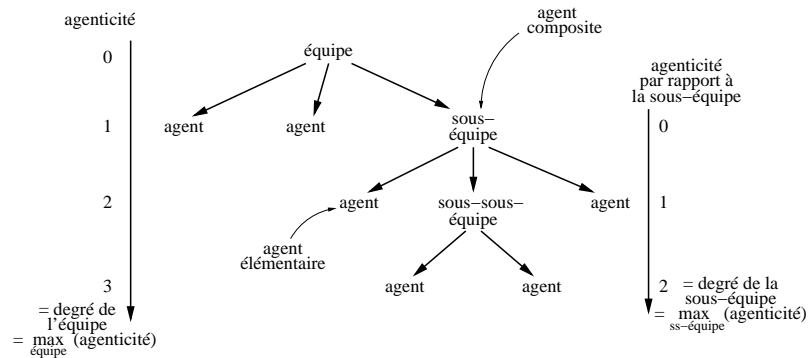


Figure 1. Hiérarchie d'agentivité

3. Structure de plan

Le plan d'équipe est représenté par un réseau de Petri (cf. figure 2) qui coordonne les tâches élémentaires découlant de la décomposition de l'objectif de la mission. Un marquage atteignable du réseau de Petri est associé à une hiérarchie d'agentivité et correspond à un état de l'équipe qui réalise la mission. Cette construction permet l'organisation dynamique de la structure de l'équipe.

Dans la figure 2, nous supposons que l'équipe est constituée des agents a, b, c, d, e, f et g. Les places de début (D) et de fin (F) du réseau sont associées à la même hiérarchie d'agentivité : les agents individuels sont directement subordonnés à l'équipe. Le marquage (10, 11) symbolise l'existence de deux sous-équipes A et B dans lesquelles sont répartis les agents en fonction de leurs ressources et de leurs compétences. On notera que les agents b et g font partie des deux sous-équipes : ils participent simultanément aux tâches 10 et 11 des deux sous-équipes en mettant en œuvre des ressources différentes. Le branchement suivant la tâche 10 symbolise l'existence de trois sous-équipes subordonnées à la sous-équipe A : les agents qui formaient l'agent A sont répartis dans ces trois sous-équipes. Les places Nop1 et Nop2 permettent une synchronisation au sein de la sous-équipe A.

On peut noter que dans chaque hiérarchie d'agentivité :

- il y a *collaboration* aux nœuds de la hiérarchie (but commun de sous-équipe) ;
- il y a *coopération* entre les nœuds fils d'un même nœud père (buts dépendants, c'est-à-dire buts individuels liés mais différents pour chaque agent ou instanciés différemment dans la même sous-équipe).

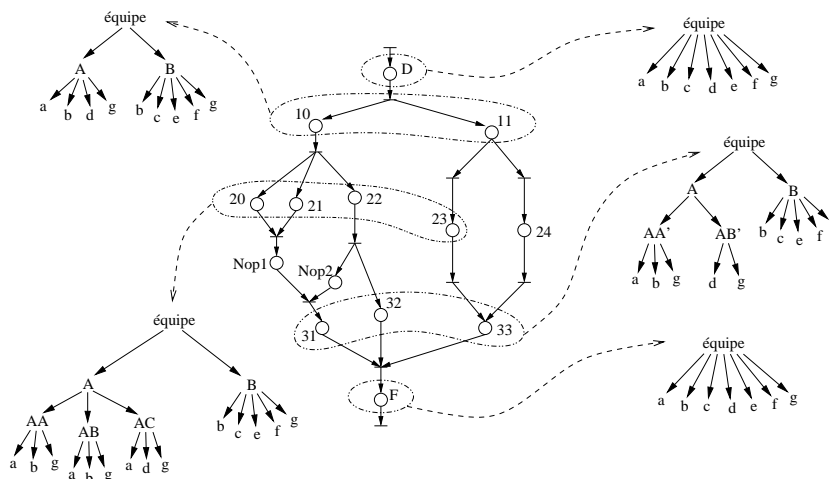


Figure 2. Exemples de marquages atteignables et hiérarchies d'agentivité associées

4. Architecture décisionnelle

La figure 3 présente, également sous forme de réseau de Petri, une architecture fonctionnelle adaptée, entre autres, à la replanification en ligne. Ce réseau décrit les grandes étapes de la vie du plan. La *planification initiale* est réalisée hors ligne et fournit un plan nominal tel que décrit à la section 3. L'*exécution nominale* est la mise en œuvre du plan courant : à chaque transition du réseau de Petri représentant le plan, dont l'incidence amont ou aval est strictement supérieure à 1, correspond une réorganisation des sous-équipes. Des sous-équipes peuvent être créées à partir d'un agent composite, des sous-équipes peuvent fusionner.

Lorsqu'un aléa est détecté, l'exécution du plan courant est suspendue. Un *mode réactif* met en œuvre un plan contingent (par exemple mise en attente sur hippodrome pour des drones). Parallèlement, un mode délibératif réalise le diagnostic : *localisation* de l'agent (élémentaire ou composite) concerné et *identification* des ressources et des tâches en cours affectées.

La replanification consiste à réparer puis ajuster le nouveau plan aux conditions actuelles. La *réparation* s'appuie sur la comparaison du graphe des marquages atteignables du plan nominal et du graphe développé à partir de l'état diagnostiqué. Cette comparaison permet une réparation locale adaptée afin de rendre à nouveau atteignables certains états par des séquences de transitions différentes. Concrètement, à partir des spécifications (en termes de ressources) des activités et des contraintes internes à chaque agent, une bibliothèque de morceaux de plans (morceaux de réseaux de Petri) est disponible ; lors d'une réparation, l'agent concerné recherche dans sa bibliothèque un morceau pour remplacer celui qui pose un problème. Si cette réparation locale échoue, la réparation est propagée à un niveau d'agentivité plus petit : il peut s'agir de réorganiser la sous-équipe de l'agent concerné, de modifier les conditions des transitions du réseau, voire de transformer tout ou partie de la structure du réseau. Ceci aura comme conséquence de modifier les hiérarchies d'agentivité. L'*ajustement* prend en compte l'état courant du plan contingent après le calcul du nouveau plan, de façon à déclencher sans discontinuité l'exécution du plan réparé : cela correspond à rajouter une (ou plusieurs) place(s) d'attente ou de modification d'état pour "recoller les morceaux". Il s'agit en effet d'insérer une transition dans le déroulement de la réaction et de réaliser une fusion de cette transition avec le morceau de plan réparé. L'ajustement et la double boucle réaction-replanification sont une forme d'entrelacement (*interleaving* — [EPH 94]). Cette simultanéité de l'exécution et de la (re)planification permet de garder un contrôle adapté de l'équipe à tout moment.

5. Conclusion et perspectives

Lors d'une mission impliquant une équipe d'agents, le plan prévu lors de la préparation de mission peut être mis en défaut par l'occurrence d'un aléa. Dans un contexte

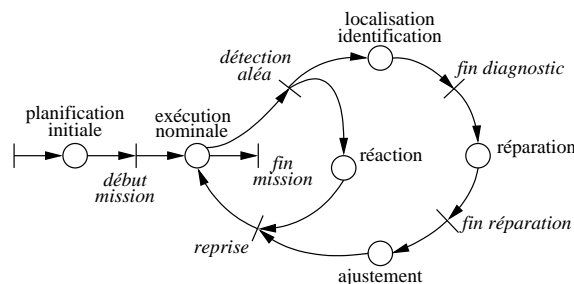


Figure 3. Architecture décisionnelle pour la réparation de plans

où les communications peuvent être perdues, l'équipe doit être capable de replanifier tout ou partie de la mission. En vue d'une telle replanification, nous proposons une architecture décisionnelle à laquelle on associe le plan d'équipe. Ce plan d'équipe est représenté par un réseau de Petri dont le marquage courant désigne les tâches actives et la hiérarchie d'agentivité associée. La replanification est déclenchée suite au diagnostic d'un aléa et consiste à réparer le plan d'équipe le plus localement possible. Les travaux en cours consistent à transcrire le concept proposé dans le formalisme des réseaux de Petri gigognes [LOM 99, SÁN 04] dans la perspective d'une mise en œuvre du contrôle d'exécution sur des robots de laboratoire.

6. Bibliographie

- [ALA 94] ALAMI R., ROBERT F., INGRAND F., SUZUKU S., « A paradigm for plan merging and its use for multi-robot cooperation », *IEEE Int. Conf. on SMC*, San Antonio, TX, 1994.
- [BRO 04] BROOKSHIRE J., SINGH S., SIMMONS R., « Preliminary results in sliding autonomy for coordinated teams », *AAAI'04 Spring Symposium*, Stanford, CA, March 2004.
- [COH 91] COHEN P., LEVESQUE H., « Teamwork », *Noûs*, vol. 25, n° 4, 1991, p. 487-512.
- [DAL 03] DALGALARRONDO A., « À propos de l'autonomie des robots », rapport n° CTA/02 350 108/RIEX/807, juillet 2003, DCE/Centre Technique d'Arcueil.
- [DUN 01] DUNIN-KĘPLICZ B., VERBRUGGE R., « A reconfiguration algorithm for distributed problem solving », *Engineering Simulation*, vol. 18, 2001, p. 227-246.
- [DUR 87] DURFEE E., LESSER V., CORKILL D., « Coherent cooperation among communicating problem solvers », *IEEE Trans. on SMC*, vol. SMC-36, n° 11, 1987, p. 1275-1291.
- [ELF 96] EL FALLAH-SEGHROUCHNI A., HADDAD S., « A recursive model for distributed planning », *ICMAS'96*, Kyoto, Japan, 1996.
- [EPH 94] EPHRATI E., ROSENSCHEIN J., « Divide and conquer in multi-agent planning », *AAAI'94*, vol. 1, Seattle, WA, 1994, p. 375-380.
- [GRO 96] GROSZ B., KRAUS S., « Collaborative plans for complex group action », *Artificial Intelligence*, vol. 86, n° 2, 1996, p. 269-357.
- [LOM 99] LOMAZOVA I., SCHNOEBELEN P., « Some decidability results for nested Petri nets », *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Perspectives of System Informatics (PSI'99)*, Novosibirsk, Russia, 1999.
- [NGU 04] NGUYEN H., PEZESHKIAN N., GUPTA A., FARRINGTON N., « Maintaining communication link for a robot operating in a hazardous environment », *10th Int. Conf. on Robotics and Remote Systems for Hazardous Environments*, Gainesville, FL, March 2004.
- [SÁN 04] SÁNCHEZ-HERRERA R., VILLANUEVA-PAREDES N., LÓPEZ-MELLADO E., « High level modelling of cooperative mobile robot systems », *7th Int. Symp. on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS'04)*, Toulouse, June 2004.
- [SHO 93] SHOHAM Y., « Agent-oriented programming », *Artificial intelligence*, vol. 60, 1993, p. 51-92.
- [TAM 97] TAMBE M., « Towards flexible teamwork », *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 7, 1997, p. 83-124.