

Planification pour un essaim de satellites : rapport préliminaire

G. Bonnet et C. Tessier
ONERA-DCSD

{gbonnet, tessier}@onera.fr

M.-C. Charmeau
CNES

marie-claire.charmeau@cnes.fr

P. Dago
ALCATEL ALENIA SPACE

pierre.dago@space.alcatel.fr

Résumé

Nous envisageons la planification à bord dans un essaim de satellites via la communication et la négociation. Il s'agit de bâtir des comportements individuels qui permettront d'obtenir d'un comportement global conforme aux spécifications de la mission, en fonction des algorithmes de planification choisis et de la négociation. De premières idées relatives aux messages échangés et au mécanisme d'affectation des tâches sont données.

1 Introduction

De nombreuses recherches sont menées pour accroître l'autonomie des satellites : en leur permettant de résoudre les problèmes qui peuvent survenir au cours d'une mission, d'adapter leur comportement aux nouveaux événements et en transférant la planification à bord, même si le coût de développement est augmenté, il y a un accroissement des performances et des possibilités de mission [5]. Par ailleurs, la mise en place d'essaims de satellites - ensembles de satellites volant en formation ou répartis en constellation autour de la Terre - permet d'envisager des activités conjointes, de distribuer les compétences et d'assurer la robustesse.

L'objectif de ces travaux est d'utiliser les liaisons inter-satellites (ISL¹) au sein d'une constellation inspirée de la mission Fuego [1, 2] pour augmenter la réactivité du système et améliorer le retour de mission. Dans un premier temps, nous présentons les caractéristiques spécifiques de notre problème puis un protocole de communication et enfin les premières idées pour une planification distribuée.

2 Caractérisation du problème

Notre étude est dimensionnée par quatre paramètres :

- le nombre de satellites de la constellation (3 à 20) ;
- communication 2 à 2 lorsqu'ils se croisent aux pôles ;
- pas d'intervention du sol dans la planification ;
- 2 types de requêtes arrivant de manière asynchrone et de priorités variables : (1) des requêtes simples réalisables par un satellite et (2) des requêtes complexes réalisables par un sous-ensemble de satellites.

De plus, un essaim² de satellites d'observation est un système multiagent qui présente les particularités sui-

vantes : les requêtes n'ont pas à être effectuées dans un ordre donné fixe et les satellites n'ont pas d'interaction physique. Que l'un réalise une observation ne peut empêcher un autre d'en faire une, y compris la même. Tout au plus, il y a aura sous-optimalité.

3 Protocole de communication

Le protocole proposé s'inspire de ce que nous nommons la *métaphore du couloir*. Divers agents font des va-et-vient dans un couloir où apparaissent au fil du temps des objets à ramasser. Deux objets trop proches spatialement ne peuvent être ramassés par le même agent car l'action prend un certain temps et un agent ne peut à aucun moment arrêter son déplacement. Afin d'optimiser la collecte, les agents peuvent communiquer lorsqu'ils se croisent.

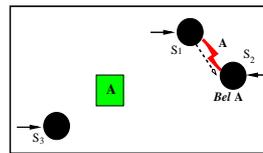


FIGURE 1 – Instant t

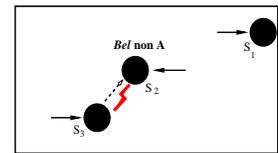


FIGURE 2 – Instant t'

Exemple 1. Supposons trois agents, S_1 , S_2 , S_3 et un objet A à ramasser. A l'instant t , S_1 n'a pu ramasser A dont S_2 et S_3 ne connaissent pas l'existence. Lorsque S_1 arrive dans le voisinage de S_2 , il lui communique la liste des objets qu'il connaît, soit A . S_2 croit alors que A existe et se prépare à le ramasser. Il n'est pas certain que A soit toujours là, un autre agent peut passer avant lui, mais il peut le prendre en compte dans sa planification.

A l'instant t' , S_3 ramasse A . Dans le voisinage de S_2 , S_3 lui communique sa liste des objets et A n'y est pas. Comme les deux agents se sont croisés en un lieu qui permet à S_3 d'être passé près de A , l'objet aurait été dans la liste s'il n'avait pas été ramassé. S_2 peut donc croire que A n'existe plus et le retirer de sa planification.

Au vu de cette métaphore qui résume les caractéristiques de notre problème, on peut définir un protocole de communication dont l'idée est de tirer profit au maximum de toutes les occasions de communication. On notifie tout changement de connaissance et chaque satellite doit propager ces changements à ses voisins qui mettent à jour leurs connaissances et réitèrent le processus. Il s'agit d'une variante d'un protocole épidémique [3] inspiré des travaux sur l'écoute flottante [4].

1. Inter Satellite Link.

2. Nous emploierons ce terme pour désigner une constellation de satellites communicants.

Définition 1. Un essaim \mathcal{E} est un triplet $\langle \mathcal{S}, \tau, \text{Voisins} \rangle$:

- \mathcal{S} est un ensemble de n satellites $\{s_1 \dots s_n\}$.
- τ est une horloge commune à \mathcal{S}
- $\text{Voisins} : \mathcal{S} \times \tau \mapsto 2^{\mathcal{S}}$ décrit une relation de voisinage.

Définition 2. Une requête R est un tuple $\langle r, b, s_i^R, S_R, t_R \rangle$:

- r est l'ensemble des caractéristiques de R .
- $b \in \{\text{vrai}, \text{faux}\}$ spécifie si R a été réalisée.
- $s_i^R \in \mathcal{S}$ est le satellite actuellement chargé de R .
- $S_R \subseteq \mathcal{S}$ est l'ensemble des satellites connaissant R .
- $t_R \in \tau$ est une estampille.

Soit \mathcal{R}_{s_i} l'ensemble des requêtes connues du satellite s_i .

Protocole. Soit un satellite $s_i \in \mathcal{S}, \forall t \in \tau$:

- $\forall s_j \in \text{Voisins}(s_i, t), s_i$ exécute :
 1. s_i construit $\mathcal{I} \subseteq \mathcal{R}_{s_i}$ tel que $\forall R \in \mathcal{I}, s_j \notin S_R$.
 2. $\forall R \in \mathcal{I}$:
 - (a) s_i transmet R à s_j .
 - (b) s_i met à jour S_R si s_j accuse réception de R .
- $\forall \mathcal{R}_{s_j}$ reçu par s_i :
 1. s_i construit $\mathcal{I} \subseteq \mathcal{R}_{s_j}$ tel que $\mathcal{I} \not\subseteq \mathcal{R}_{s_i}$.
 2. s_i met à jour \mathcal{R}_{s_i} avec \mathcal{I} .
 3. s_i accuse réception à s_j .
- $\forall R \in \mathcal{R}_{s_i}$ réalisée par s_i à l'instant t, s_i écrase la requête par $\{r, \text{vrai}, \emptyset, \{s_i\}, t\}$.

Deux types de mises à jour peuvent exister pour un satellite :

1. Une requête jusqu'alors inconnue est simplement rajoutée à l'ensemble des requêtes connues ;
2. Les requêtes qui ont été affectées sont idéalement discriminées par l'estampille. Cependant, l'introduction de délais dans les communications peut rendre caduque la valeur de l'estampille. D'autres facteurs discriminants dépendant des stratégies de négociation et d'affectation des requêtes doivent être pris en compte.

4 Affectation des requêtes

Ce protocole permet de maintenir une représentation commune de l'ensemble des requêtes. Cependant il est nécessaire de définir un mécanisme d'affectation des requêtes capable de résoudre les conflits qui peuvent survenir. Un conflit est défini comme un sous-ensemble de requêtes liées entre elles en cas de redondance ou de complémentarité. Le mécanisme est basé sur les idées suivantes :

1. *Engagement différé* : il est plus intéressant de travailler sur des affectations partielles, dans le sens où les agents raisonnent non seulement sur des ensembles de tâches ordonnées dans le temps mais aussi sur des ensembles disjonctifs de tâches. De cette manière, des compromis visant à résoudre les conflits entre agents pourront être définis plus aisément.

Exemple 2. Supposons qu'un agent a_i puisse réaliser un des deux ensembles de tâches suivants $\{t_1, t_2, t_3\}$ et $\{t_1, t_2, t_4\}$. Nous voudrions que l'agent raisonne sur un unique ensemble $\{t_1, t_2, (t_3 \vee t_4)\}$.

2. *Localité du raisonnement* : Afin de ne pas remettre en cause la totalité des affectations, raisonner localement permet d'isoler les conflits et de les traiter indépendamment. Ceci s'avère utile en présence de délais entre les communications.

Exemple 3. Soient deux agents a_1 et a_2 ayant planifiés respectivement les ensembles de tâches $\{t_1, t_2, (t_3 \vee t_4), t_5\}$ et $\{t_0, (t_2 \vee t_3), t_5\}$. Deux raisonnements porteront alors sur les ensembles en conflit $\{t_2, t_3, t_4\}$ ³ et $\{t_5\}$.

3. *Utilité* : Afin de pouvoir prendre une décision, un agent doit raisonner sur l'utilité à réaliser telle ou telle requête. Cette utilité intrinsèque à l'agent se base sur de multiples critères : consommation en ressources, priorité de la requête, adéquation avec les dates désirées de début et de fin d'observation. Nous nous proposons de définir une seconde forme d'utilité, *volatile*, qui permettrait de raisonner sur un sous-ensemble de requêtes formant un conflit entre les agents dans le but d'éviter de remettre en cause l'ensemble des affectations.

5 Conclusion et perspectives

Le protocole décrit dans la Section 3 a été implanté, vérifiant qu'il n'y a pas d'impasse ou babillage lors de la communication, et un premier modèle d'agent à base de réseau de Petri a été défini. Il nous faut désormais étudier trois notions : (1) le conflit au sein du système, (2) la représentation compacte des utilités des agents en vue d'une négociation et (3) les stratégies collectives à employer (minimisation d'un coût ou du temps de réponse, maximisation d'un nombre de requêtes exécutés, etc.) Par la suite, nous envisagerons d'étudier les fonctionnements dégradés de l'essaim pour valider la robustesse de nos mécanismes de négociation.

Références

- [1] S. Damiani. *Gestion d'une constellation de satellites de surveillance de la Terre : autonomie et coordination*. PhD thesis, SUPAERO, Toulouse, Décembre 2005.
- [2] D. Escorial, I. F. Tourne, and F. J. Reina. Fuego : a dedicated constellation of small satellites to detect and monitor forest fires. *Acta Astronautica*, Vol.52(9-12) :765–775, 2003.
- [3] J. Holliday, D. Agrawal, and A. ElAbbad. Database replication using epidemic communication. In *Proceedings of the 6th International Euro-Par Conference on Parallel Processing*, pages 427–434, 2000.
- [4] F. Legras. *Organisation dynamique d'équipes d'engins autonomes par écoute flottante*. PhD thesis, SUPAERO, Toulouse, Décembre 2003.
- [5] B. Polle. Autonomy requirement and technologies for future constellation. *Astrium Summary Report*, 2002.

3. t_4 est en conflit car elle se trouve dans la disjonction $(t_3 \vee t_4)$.