Minimisation du nombre de robots coopératifs et reconfigurables pour le transport de charges hétérogènes

Mari Chaikovskaia, Jean-Philippe Gayon, Alain Quilliot

Université Clermont-Auvergne, CNRS, Mines de Saint-Etienne, Clermont Auvergne INP, LIMOS, 63000 Clermont-Ferrand, France

mari.chaikovskaia@doctorant.uca.fr, j-philippe.gayon@uca.fr, alain.quilliot@uca.fr

Mots-clés : *Coopération de robots, dimensionnement, robots reconfigurables, transport.*

1 Introduction

Plusieurs travaux considèrent le problème de dimensionnement d'une flotte de robots mobiles (voir e.g. [1, 2]). Dans ce travail, nous considérons une flotte de robots élémentaires qui peuvent être connectés de différentes manières pour transporter des charges de différents types. Ce sont des robots reconfigurables, c'est-a-dire des systèmes robotiques qui se composent de nombreux modules identiques pouvant s'attacher et se détacher les uns des autres pour changer leur topologie globale [3]. Par exemple, un seul robot peut transporter une petite charge et l'association de deux robots peut soit transporter une grosse charge, soit plusieurs petites charges.

Nous cherchons à déterminer le nombre minimum de robots nécessaires à effectuer un ensemble de tâches de transport. [4] considère ce problème dans le cas de charges homogènes sans reconfiguration.[5] formule le problème avec charges hétérogènes sous la forme d'un programme linéaire en nombre entiers. Nous obtenons ici plusieurs résultats complémentaires. Nous montrons tout d'abord que le problème est NP-difficile au sens fort. Ensuite, nous étudions le gain, en termes de nombre de robots, rendu possible par la reconfigurabilité des robots.

2 Modèle

Nous considérons une flotte de N robots élémentaires mobiles capables de coopérer pour transporter des charges. Un p-bot est un ensemble de p robots qui collaborent pour transporter une même charge. Au maximum P robots peuvent collaborer. Il y a n_k charges de type k à transporter ($k = 1, \cdots, K$). Un p-bot est capable de transporter c_{pk} charges de type k. Toutes les charges sont à transporter d'un point à un autre de l'entrepôt. L'horizon de temps est divisé en T périodes ($t = 1, \cdots, T$). Au cours d'une période, un p-bot est capable de réaliser un aller-retour et de transporter au maximum c_{pk} charges de type k. On suppose qu'un robot ne transporte qu'un seul type de charge à la fois. A chaque période, les robots peuvent se reconfigurer. On notera N^t_{pk} le nombre de robots en configuration p transportant des charges de type k à la t-ième période.

L'objectif est de minimiser le nombre de robots nécessaires pour transporter toutes les charges sur l'horizon de temps. Les variables de décision sont les N^t_{pk}. Lorsque la reconfiguration est permise, on note N_R le nombre minimum de robots. Lorsque la reconfiguration n'est pas autorisée, on note N_W le nombre minimum de robots.

Le problème avec la reconfiguration se formule par le programme mathématique suivant :

$$
\begin{aligned}
N_R = \min \quad & \max_t \sum_{k=1}^{K} \sum_{p=1}^{P} p N_{pk}^t && (1)\\
& \text{sous contrainte :} \\
& \sum_{t=1}^{T} \sum_{p=1}^{P} c_{pk} \cdot N_{pk}^t \geq n_k \qquad \forall k && (2)\\
& N_{pk}^t \in \mathbb{N} \qquad \forall k, \forall p, \forall t && (3)
\end{aligned}
$$

Dans (1), $\sum_{k=1}^{K} \sum_{p=1}^{P} p N_{pk}^t$ représente le nombre de robots élémentaires utilisés en periode t. La contrainte (2) signifie que la flotte doit avoir la capacité de transporter toutes les charges de chaque type.

Nous montrons tout d'abord que le problème est NP-difficile au sens fort en réduisant le problème à un bin packing. En effet, les boîtes d'un problème de bin packing peuvent être vues comme les périodes de notre problème et un objet de poids w comme une charge ne pouvant être transportée que par un w-bot.

Nous montrons par ailleurs que le nombre minimum de robots élémentaires peut être divisé au maximum par un facteur K lorsqu'on utilise la reconfiguration :

$$1 \leq \frac{N_W}{N_R} \leq K.$$

Enfin, nous étudions les cas particuliers avec deux et trois types de charge pour lesquels nous obtenons des résultats analytiques.

3 Perspectives

À la suite de ce travail, nous considérerons le problème avec des contraintes de transport de charges par période. Nous essayerons par ailleurs de développer un algorithme polynomial mais heuristique pour déterminer le nombre de robots élémentaires.

Références

[1] Giuseppe Fragapane, Rene De Koster, Fabio Sgarbossa and Jan Ola Strandhagen. Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics : Literature review and research agenda, European Journal of Operational Research, 405–426, 2021.

[2] Vladimir Kats and Eugene Levner. Minimizing the number of robots to meet a given cyclic schedule, Annals of Operations Research, 209–226, 1997.

[3] Hristo Bojinov, Arancha Casal and Tad Hogg. Emergent structures in modular self-reconfigurable robots, Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No. 00CH37065), volume=2, 1734–1741, 2000.

[4] Mari Chaikovskaia, Jean-Philippe Gayon, Zine Elabidine Chebab and Jean-Christophe Fauroux. Sizing of a fleet of cooperative robots for the transport of homogeneous loads, 2021 IEEE 17th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 1654–1659, 2021.

[5] Mari Chaikovskaia, Jean-Philippe Gayon and Mairtin Marjollet. Sizing of a fleet of cooperative and reconfigurable robots for the transport of heterogeneous loads, 2022 IEEE 18th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 2253–2258, 2022.