Dimensionnement d'une flotte de robots coopératifs et reconfigurables pour le transport de charges hétérogènes

Mari Chaikovskaia, Jean-Philippe Gayon, Mairtin Marjollet
Université Clermont Auvergne, LIMOS, INP Clermont Auvergne, France
mari.chaikovskaia@doctorant.uca.fr, j-philippe.gayon@uca.fr,
mairtin.marjollet@etu.isima.fr

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

1 Introduction

Dans ce travail, nous considérons des robots pouvant être connectés de différentes manières pour effectuer les tâches requises, ce qui offre un potentiel prometteur [1]. Nous considérons 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 [2]. Par exemple, de petites charges peuvent être transportées par un robot seul tandis que des charges volumineuses ou lourdes nécessitent la collaboration de plusieurs robots. Le coût d'une flotte de robots est fonction du nombre de robots et de la distance parcourue par les robots. L'objectif de ce travail est de déterminer le nombre de robots élémentaires permettant de transporter un ensemble de charges hétérogènes sur un horizon de temps donné.

Ce travail s'inscrit dans la continuité de [3] qui considère des robots coopératifs, mais non reconfigurables, pour transporter des charges homogènes. Dans ce travail, nous intégrons la possibilité de reconfigurer la flotte en vue de transporter des charges hétérogènes.

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 A à un point B 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 entre A et B 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_{pk}^t le nombre de robots en configuration p transportant des charges de type k à la t-ième période.

L'objectif est déterminer le nombre de robots nécessaires pour transporter toutes les charges sur l'horizon de temps à coût minimum. Nous considérons deux types de coût : un coût fixe lié à l'acquisition du robot et un coût variable lié à la distance parcourue. Le coût fixe d'un robot élémentaire est α. Le coût d'un aller-retour pour un robot élémentaire est β. Le coût d'un aller-retour pour un p-bot est donc $p\beta$.

Récapitulons les notations et les variables de décision.
- $k = 1, \cdots, K$: types de charge
- n_k : nombre de charges de type k
- c_{pk} : capacité d'un p-bot transportant des charges de type k
- $p = 1, \cdots, P$: configurations des robots

— $t = 1, \cdots, T$: périodes
— α : coût d'un robot élémentaire
— β : coût d'un aller-retour pour un robot élémentaire
— γ : coût indépendant du nombre de robots (infrastructure Hardware et Software)
— T : nombre maximal de cycles

Les variables de décision sont :
— N : nombre de robots élémentaires utilisés
— N_{pk}^t : nombre de robots en configuration p transportant des charges de type k au t-ième cycle

Ce problème peut se formuler par le Programme Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) suivant.

$$\min(\alpha N + \beta \sum_{t=1}^{T} \sum_{k=1}^{K} \sum_{p=1}^{P} p \cdot N_{pk}^t + \gamma) \tag{1}$$

sous contraintes :

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{p=1}^{P} c_{pk} \cdot N_{pk}^t \geq n_k \qquad \forall k \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{p=1}^{P} p N_{pk}^t \leq N \qquad \forall t \tag{3}$$

$$N \in \mathbb{N},\ N_{pk}^t \in \mathbb{N} \qquad \forall k,\ \forall p,\ \forall t \tag{4}$$

La signification des contraintes est la suivante.
— Contrainte (2) : la capacité totale de la flotte doit permettre de transporter toutes les charges de chaque type ;
— Contrainte (3) : le nombre de robots élémentaires utilisés, N, doit être supérieur ou égal au nombre de robots élémentaires utilisés sur chaque période.

3 Conclusions et perspectives

Nous développons un cadre mathématique déterministe pour le dimensionnement d'une flotte de robots reconfigurables. Nous formulons le problème de dimensionnement de flotte par un PLNE. Notre modèle mathématique nous permet de déterminer le nombre de robots à reconfigurer dans chaque cycle afin d'avoir le coût de la flotte des robots minimum. Le programme a été résolu en utilisant Cplex.

À la suite de ce travail, nous considérerons le problème d'ordonnancement afin de minimiser le temps total de transport les charges. Nous étudierons aussi le cas où la distance n'est pas la même pour les différentes charges, impliquant un temps de déplacement non constant.

Références

[1] Tamio Arai, Enrico Pagello, Lynne Parker and others. Advances in multi-robot systems, IEEE Transactions on robotics and automation, volume=18, 655–661, 2002.

[2] 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.

[3] 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.