

Dimensionnement d'une flotte de robots coopératifs pour le transport de charges homogènes

Mari Chaikovskaia¹, Jean-Philippe Gayon¹, Zine Elabidine Chebab², Jean-Christophe Fauroux²

¹ Université Clermont Auvergne, LIMOS, INP Clermont Auvergne, France

`mari.chaikovskaia@etu.uca.fr`, `j-philippe.gayon@uca.fr`

² MecaBotiX, Université Clermont Auvergne, CNRS, Institut Pascal, Clermont Auvergne INP, France

`{ze.chebab,jc.fauroux}@mecabotix.com`

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

1 Résumé

Nous considérons le problème de la détermination du nombre de robots nécessaires pour transporter un ensemble de charges homogènes dans un intervalle de temps donné, d'une zone A à une zone B d'un entrepôt logistique, à coût minimum. Le coût est fonction du nombre de robots et de la distance parcourue par les robots. Le cycle d'un robot est divisé en plusieurs phases : chargement, déplacement chargé, déchargement, déplacement à vide et chargement de la batterie. Nous considérons d'abord le cas de robots non coopératifs, généralisant [1] à une capacité non unitaire. Nous considérons ensuite le cas de robots coopératifs où les charges peuvent être transportées soit par un seul robot (mono-robot), soit par plusieurs robots qui coopèrent (poly-robot). Le problème du dimensionnement de la flotte peut être formulé sous la forme d'un programme mathématique. Nous distinguons plusieurs scénarios, en fonction des capacités respectives des mono-robots et poly-robots. Nous abordons également le problème de l'horizon infini qui modélise une flotte de véhicules fonctionnant en permanence et conduit à des résultats plus simples.

2 Dimensionnement d'une flotte de robots coopératifs

2.1 Formulation du problème

Dans ce travail, nous considérons une flotte de N robots mobiles identiques qui doivent transporter un ensemble de n charges identiques d'une zone A à une zone B .

Nous utilisons les concepts et la terminologie développés dans [2] :

- Mono-robot (m-bot) = Un robot élémentaire, qui est conçu pour travailler tout seul ou avec les autres ;
- Poly-robot (p-bot) = Un ensemble de p m-bots, qui coopèrent sur une même tâche.

Nous utiliserons par ailleurs les notations suivantes :

- n : nombre de charges à transporter de A à B
- d : distance aller-retour de A à B
- p : nombre de m-bots constituant un p-bot
- c_m : capacité d'un m-bot
- c_p : capacité d'un p-bot
- T : horizon de planification
- t_b : temps où le robot est immobilisé (charge batterie, maintenance, etc)
- τ_m : temps de cycle d'un m-bot

- τ_p : temps de cycle d'un p-bot
- α : coût fixe par unité de temps d'un m-bot
- β : coût par mètre parcouru d'un m-bot
- γ : coût fixe par unité de temps, indépendant du nombre de m-bot
- N_m : nombre de m-bot travaillant seul
- N_p : nombre de p-bot
- n_m : nombre de charges transportées par les m-bot travaillant seuls
- n_p : nombre de charges transportées par les p-bot

Nous ferons les hypothèses suivantes : (1) $\tau_m \leq \tau_p$ car un p-bot perd du temps en coopération, (2) il n'y a pas de coût supplémentaire lié au p-bot(le coût d'un p-bot est induit par les m-bots le constituant), (3) il n'y a pas de reconfiguration possible (un p-bot reste toujours un p-bot et un m-bot travaillant seul reste toujours seul).

2.2 Programme mathématique

En minimisant le coût total de la flotte de robots, le problème de dimensionnement de la flotte peut se modéliser par le programme mathématique suivant :

$$\min \quad \alpha(N_m + pN_p) + \frac{\beta d}{T} \left(\left\lceil \frac{n_m}{c_m} \right\rceil + p \left\lceil \frac{n_p}{c_p} \right\rceil \right) + \gamma \quad (1)$$

$$s.c. \quad N_m c_m \left\lfloor \frac{T - t_b}{\tau_m} \right\rfloor + N_p c_p \left\lfloor \frac{T - t_b}{\tau_p} \right\rfloor \geq n \quad (2)$$

$$n_m \leq N_m c_m \left\lfloor \frac{T - t_b}{\tau_m} \right\rfloor \quad (3)$$

$$n_p \leq N_p c_p \left\lfloor \frac{T - t_b}{\tau_p} \right\rfloor \quad (4)$$

$$n = n_m + n_p \quad (5)$$

$$n_m \in \mathbb{N}, n_p \in \mathbb{N}, N_m \in \mathbb{N}, N_p \in \mathbb{N} \quad (6)$$

3 Conclusions et perspectives

Nous développons un cadre mathématique déterministe pour le dimensionnement d'une flotte de robots. Lorsque la coopération est autorisée et la reconfiguration interdite, nous formulons le problème de dimensionnement de flotte par un programme mathématique avec contraintes linéaires et fonction objectif non linéaire. Cela peut être résolu en utilisant des solveurs d'optimisation non linéaire ou des algorithmes de langage de programmation tels que Python. Notre modèle mathématique nous permet de déterminer le nombre de robots pour coopérer afin d'avoir la flotte de coût minimum.

A la suite de ce travail, nous considérerons le cas où un p-bot peut être reconfiguré en m-bot, conduisant à une utilisation plus élevée des robots. Nous étudierons aussi le cas du transport de charges hétérogènes.

Références

- [1] Achraf Rjeb, Jean-Philippe Gayon, and Sylvie Norre. *Fleet-sizing of robots in a logistics warehouse - Transport operation between reception area and storage area*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03149661>, working paper, 2021.
- [2] Zine Elabidine Chebab. *Conception et commande collaborative de manipulateurs mobiles modulaires*. Thèse, 2018.