

CONCEPTION ET OPTIMISATION D'ALGORITHMES DE COORDINATION  
MULTI-ROBOT POUR L'EXPLORATION AUTONOME DE RÉSEAUX DE GALERIE.

# I Introduction

Definition d'un robot, Spécification du type étudié dans ce rapport, les défis de la planification de trajectoire, l'évitement d'obstacle (petit point sur l'optimisation de trajectoire en milieu ouvert pour de la recherche de victime par exemple) Les contraintes extérieures et celle du robot lui même

## II Etat de l'art

### II.1 Planification de la trajectoire et évitement d'obstacle

La planification de la trajectoire d'un système mécatronique est la base de tous les systèmes autonomes allant des drones au bras de manutention et d'assemblage.

Parmi les méthodes déterministe, on trouve une large variété de méthodes principalement basées sur trois approches différentes. Les approches par graphes, celle de décomposition cellulaire et enfin les celles utilisant des champs potentiels.[1][2]

Les méthodes des graphes consistent à construire une carte des chemins empruntable en partant des obstacles de la scène. Parmi ces méthodes utilisant des graphes, on peut distinguer quatre types différents : Les graphes de visibilité[3], les diagrammes de Voronoï [4] ou encore la méthode des Silhouettes[2].

Les méthodes associées à la décomposition cellulaire consistent à diviser l'espace libre du robot en régions simples, appelées cellules, où il est facile de générer un chemin entre deux configurations. Un graphe représentant les relations d'adjacence entre les cellules est ensuite construit et exploré.[1][5][6][7]

Une autre méthode repose sur une subdivision fine de l'espace afin de repérer les zones libres. La méthode des champs potentiels s'appuie sur cette idée en définissant des potentiels qui traduisent des forces d'attraction, dirigées vers les coordonnées cibles, et de répulsion, correspondant par exemple aux obstacles. Le chemin est ensuite déterminé en suivant l'opposé du gradient du potentiel total ainsi calculé.[1][8]

### III Définitions mathématiques

Soit  $\Omega \in \mathbb{R}^2$ , soit  $\mathbf{X}(t)$  les coordonnées du robot à l'instant  $t$  dans cet espace.

Soit  $V(t)$  le champ de vision du robot à l'instant  $t$

Soit  $\mathbf{M}(t, \theta)$  le premier point d'intersection entre un segment et les murs,

$$\mathbf{M}(t, \theta) = \mathbf{X}(t) + R(t, \theta) \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

On note  $\mathbf{M}_{max}(t, \theta)$  le point tel que  $R(t, \theta) = R_{max}$

Ici,

$$R(t, \theta) = \min(\text{distance}(\mathbf{X}(t), L(\theta) \cap W))$$

$$L(\theta) = \{ (1-l)\mathbf{X}(t) + l\mathbf{M}_{max}(t, \theta) \mid l \in [0, 1] \}$$

$$W = \{ \text{Segment}(\Omega) \}$$

On défini le champ de vision du robot tel que:

$$V(t) = \{ (1-l)\mathbf{X}(t) + l\mathbf{M}(t, \theta) \mid l \in [0, 1], \theta \in [0, 2\pi[ \} \quad (1)$$

Autrement dis,  $V(t)$  est l'ensemble des points de  $\Omega$  présents dans un disque de rayon  $R_{max}$  et situé entre le robot et la plus proche intersection à un mur

On construit maintenant la fonctionnelle que l'on cherchera plus tard à optimiser, celle-ci est relative au déplacement du robot.

On défini  $KM$  (*Known Map*) l'espace de la map connu par le robot et  $EM$  (*Explorable Map*) la partie de  $\Omega$  explorable par le robot.

$$J(\mathbf{X}(t)) = \int_0^T |\dot{\mathbf{X}}(t)| dt \quad (2)$$

$J$  est une fonctionnelle fonction de la position initiale du robot, elle donne la longueur du chemin parcourue par le robot avant que  $t = T$ .

$T$  étant l'instant à partir du quel la map est explorée au maximum des capacités du robot, c'est à dire :  $KM = EM$ .

Pour savoir si  $KM = EM$ , on calcul les contours du domaine connu, si tous les contours sont fermés, alors  $KM \subset EM$ , si de plus les mesures de  $KM$  et de  $EM$ , à savoir leur surface, sont égales alors, on peut raisonnablement dire que  $KM = EM$ .

Pour plus de simplicité lors de l'étude de la fonctionnelle, on la modifie légèrement.

$$J(\mathbf{X}(t)) = \frac{1}{2} \int_0^T \dot{\mathbf{X}}(t)^2 dt \quad (3)$$

## IV Avancement

### IV.1 1ère semaine :

- Recherche documentaire autour des méthodes pour définir l'espace mathématique dans lequel le robot évolue
- Recherche documentaire autour des méthodes d'exploration multi-robot
- Définition de l'espace étoilé relatif champ de vision du robot
- Définition de la fonctionnelle du robot
- 

### IV.2 2ème semaine :

- Début de la rédaction de l'état de l'art autour des méthodes de planification de trajectoire
- Définition de la fonctionnelle  $J$
- Définition de la borne supérieure de l'intégrale de  $J$
- Correction du comportement du lidar pour l'exploration de la map
- Implémentation des collisions du robot avec la map
- 

Note sur les LiDAR (*Wikipedia*):

La télédétection par laser ou LIDAR, acronyme de l'expression en langue anglaise « light detection and ranging » ou « laser imaging detection and ranging » (soit en français « détection et estimation de la distance par la lumière » ou « par laser »), est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.

À la différence du sonar qui utilise des ondes acoustiques et du radar qui emploie des ondes électromagnétiques de plus basse fréquence (ondes radio), le lidar utilise des ondes électromagnétiques proches de la lumière visible (du spectre visible, infrarouge ou ultraviolet). La lumière utilisée par le lidar est presque toujours issue d'un laser, ce qui permet d'avoir une source lumineuse directionnelle, monochromatique, polarisée, de haute amplitude et cohérente.

Le principe de la télémétrie (détermination de la distance d'un objet), qui concerne une grande partie des applications du lidar, requiert généralement l'utilisation d'un laser impulsif. La distance est donnée par la mesure du délai (aussi appelé « temps de vol ») entre l'émission d'une impulsion et la détection d'une impulsion réfléchie, connaissant la vitesse de la lumière. Quand la source laser est entretenue et modulée en fréquence, on parle de lidar FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave).

Faire un histogramme des temps de recouvrement de la map en définissant plusieurs critères ou de manière aléatoire afin de dégager des comportements qui semblent "optimaux", recommencer afin de trouver le minimum global ou du moins local de manière expérimentale.

Implémentation de l'évitement d'obstacle.

Approfondir la compréhension autour de FMM et des équations Eikonal

Regarder comment le relier avec un portrait de phase, équation différentielle. Tracer la trajectoire  $x_1$  en fonction de la trajectoire  $x_2$ . Portrait de phase de système dynamique aléatoire ? Est-ce possible ?

Système dynamique avec contrôle (optimal dans la suite)

## V Partie à développer

### Création du monde

- Automate cellulaire
- Méthode de square marching appliquée à des triangles

### Capteurs utilisés

- Fonctionnement d'un lidar
- Accéléromètre

### Planification de trajectoire

- Définition de la trajectoire optimale
- Description mathématique dans notre cas
- Manière de le résoudre, temps nécessaire, possibilités

### Évitement d'obstacles

#### Essais

- Diagramme de Voronoi
- DFS (Depth-First Search)

### Création d'une carte de caractéristique sur un maillage cartésien uniforme

### Planification dynamique de trajectoire

### Contrôle du robot

- Cinématique du robot utilisé
- Modèle intégré

### Temps de calcul

- Liste des optimisations
  - Subdivision de la carte
  - Détection d'obstacles par le Lidar
    - \* Fonction `move_on_line` (parallèle avec le `computer graphics`)

### Non encore implémenté

- Sauvegarde dynamique de l'exploration

## References

- [1] Latombe Jean-Claude. Robot Motion Planning. Springer US, Boston, MA, 1991.
- [2] Bhattacharyya Aneeta, Singla Ekta, and Dasgupta Bhaskar. Robot path planning using silhouette method. In 13th National Conference on Mechanisms and Machines, pages 12–13, January 2008.
- [3] Lozano-Pérez Tomás and Wesley Michael A. An algorithm for planning collision-free paths among polyhedral obstacles. Communications of the ACM, 1979.
- [4] Garrido Santiago, Moreno Luis, Abderrahim Mohamed, and Martin Fernando. Path planning for mobile robot navigation using voronoi diagram and fast marching. In 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pages 2376–2381, 2006.
- [5] Zhu David and Latombe Jean-Claude. New heuristic algorithms for efficient hierarchical path planning. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 7:9–20, 1991.
- [6] Kedem K. and Sharir M. An efficient motion-planning algorithm for a convex polygonal object in two-dimensional polygonal space. Discrete and Computational Geometry, 5(1):43–76, 1990.
- [7] Avnaim Francis, Boissonnat Jean-Daniel, and Faverjon Bernard. A practical exact motion planning algorithm for polygonal objects amidst polygonal obstacles. In Proceedings of the 1988 IEEE International Conference on Robotics and Automation, volume 3, pages 1656–1661, 1988.
- [8] Koren Y. and Borenstein J. Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation. In Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, volume 2, pages 1398–1404, 1991.