

# République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Normale Supérieure

Vieux-Kouba (Alger)

*N° d'ordre : MAG/ ... /2011*

## Mémoire

En vue de l'obtention du grade de Magister

Physique Appliquée

Présenté par

Mr. SLIMANI Kamel

*(Ingénieur d'état en Informatique, Option Hardware)*

Développement d'une plate-forme de simulation  
pour le pilotage d'un robot mobile de type aspirateur

Soutenu publiquement le 04 Juin 2010 à 10H00 (Salle audio-visuel) Devant le jury

Dr. MERAGHNI A.	Professeur	ENS-Kouba	Président
Dr. BENAYAT D.	Professeur	ENS-Kouba	Examineur
Dr. MAHDI A.	Chargé de cours	ENS-Kouba	Examineur
Mr. CHOUTRI A.	Chargé de Cours	ENS-Kouba	Examineur
Mr. BELKHATIR M.	Chargé de Cours	ENS-Kouba	Examineur
Dr. TOUKAL Z.	Maitre de conférences	ENS-Kouba	Rapporteur

# Sommaire

1. Introduction générale.....	2
2. Présentation du sujet.....	10
3. Etat de l'art sur la robotique mobile.....	13
4. Modélisation de l'environnement.....	25
5. Mise en Œuvre.....	43
5.1. Première approche.....	43
5. 2. Deuxième approche.....	57
6. Conclusion et perspectives des travaux futurs.....	69
 Bibliographie.....	 71

# Chapitre 1

## **Introduction générale**

### 1. Introduction générale

#### 1.1 Présentation des robots mobiles

De manière générale, on regroupe sous l'appellation *robots mobiles* l'ensemble des robots à base mobile, par opposition notamment aux robots manipulateurs. L'usage veut néanmoins que l'on désigne le plus souvent par ce terme les robots mobiles à roues. Les autres robots mobiles sont en effet le plus souvent désignés par leur type de locomotion, qu'ils soient marcheurs, sous-marins ou aériens.

On peut estimer que les robots mobiles à roues constituent le gros des robots mobiles. Historiquement, leur étude est venue assez tôt, suivant celle des robots manipulateurs, au milieu des années 70. Leur faible complexité en a fait de bons premiers sujets d'étude pour les roboticiens intéressés par les systèmes autonomes. Cependant, malgré leur simplicité apparente (mécanismes plans, à actionneurs linéaires), ces systèmes ont soulevé un grand nombre de problèmes difficiles. Nombre de ceux-ci ne sont d'ailleurs toujours pas résolus. Ainsi, alors que les robots manipulateurs se sont aujourd'hui généralisés dans l'industrie, rares sont les applications, industrielles qui utilisent des robots mobiles. Si l'on a vu depuis peu apparaître quelques produits manufacturiers (chariots guidés) ou grand public (aspirateur), l'industrialisation de ces systèmes bute sur divers problèmes délicats. Ceux-ci viennent essentiellement du fait que, contrairement aux robots manipulateurs prévus pour travailler exclusivement dans des espaces connus et de manière répétitive, les robots mobiles sont destinés à évoluer de manière autonome dans des environnements peu ou pas *structurés*<sup>1</sup>.

Néanmoins, l'intérêt indéniable de la robotique mobile est d'avoir permis d'augmenter considérablement nos connaissances sur la *localisation* et la *navigation* de systèmes autonomes. La gamme des problèmes potentiellement soulevés par le plus simple des robots mobiles à roues en fait un sujet d'étude à part entière et forme une excellente base pour l'étude de systèmes mobiles plus complexes.

Dans notre document, on se limitera volontairement à une présentation des robots mobiles à roues et des problèmes associés à leur déplacement autonome. Le lecteur avide d'en savoir plus peut consulter le document de David Filliat [FILLIAT 2006].

<sup>1</sup> Environnement structuré : terminologie consacrée habituelle pour dire que l'on connaît la géométrie de l'environnement dans lequel évolue le robot.

### 1.2. Présentation de la robotique mobile

La robotique est une science à la croisée de plusieurs disciplines scientifiques et techniques (mécanique, électronique, informatique,...). Ses applications sont à présent principalement connues dans l'industrie. Ici nous nous intéresserons à la robotique mobile autonome, qui se différencie de la robotique industrielle par l'ajout de fonctions perceptuelles et décisionnelles permettant l'évolution du robot dans un environnement complexe. Les missions martiennes de la NASA ont permis au grand public de découvrir des robots autonomes. Le robot *Sojourner* de la mission *Mars Pathfinder* est le premier rover semi autonome envoyé dans l'espace. Il se posa sur Mars le 4 juillet 1997 et au cours de ses 83 jours de fonctionnement, il envoya 550 photos vers la Terre ainsi que des analyses de roches. Le robot dirigé depuis la Terre embarquait une fonction d'évitement d'obstacles autonome, sa vitesse de déplacement étant de 1cm par seconde. La mission *Mars Exploration Rover* (MER), qui a pour objectif la recherche de traces de vie, est la plus ambitieuse à ce jour. Deux rovers *Spirit*15 et *Opportunity*, de dimensions imposantes (1,5 m de haut, 2,3 m de large et 1,6 m de long pour 185 kg, en comparaison des 10,6 kg de *Sojourner*), se sont posés sur Mars les 3 et 24 janvier 2004. Les rovers sont dotés d'un planificateur de trajectoires et d'un algorithme d'évitement d'obstacles. Si dans ces deux missions les robots ne planifient pas leurs actions (elles sont envoyées depuis la Terre), elles montrent en revanche le gain d'autonomie des robots d'exploration planétaire. Dans le domaine civil, la robotique autonome commence à faire son apparition. Passons les robots commerciaux (robot Sony *AIBO*, robots aspirateurs . . .) qui n'intègrent peu ou pas de capacités de décision, et regardons des applications souvent encore expérimentales. Le robot *Rackham*1 du LAAS-CNRS a évolué pendant plusieurs semaines à la Cité de l'Espace à Toulouse en présence du public. Ce robot, doté d'un très grand nombre de fonctionnalités (capacités de décision, de perception, de locomotion, d'interaction avec le public . . .), a servi de guide interactif pour les visiteurs. De même des projets actuels de recherche concernant la robotique domestique, montrent l'intérêt croissant pour la robotique autonome. Ainsi le projet européen *COGNIRON2* s'intéresse au robot cognitif compagnon l'objectif ultime étant d'arriver à concevoir des robots capables d'assister l'homme dans la vie de tous les jours. Ceci requiert des capacités cognitives avancées et une capacité à interagir en étroite collaboration avec l'homme. Les recherches actuelles en robotique autonome visent toutes à donner plus d'autonomie au robot, que ce soit en développant de nouvelles capacités ou en rendant plus robustes celles existantes.

## 1. Introduction générale

En robotique, le technicien l'ingénieur, le chercheur envisagent l'exécution d'une tâche (peindre un objet, saisir un livre, etc...) en vue d'un objectif : réaliser un produit, lire, etc. soit en substituant une machine l'opérateur et à ses sens, soit en complétant par une machine l'opérateur et/ou ses sens.

Cette machine que nous appellerons d'une manière générale un robot (ou système robotisé) comprend à priori six sous-systèmes :

- Une structure ou architecture
- Un appareil sensoriel
- Un appareil moteur
- Un organe terminal ou effecteur
- Un système de traitement des informations
- Un système de commande.

Le robot doit remplir les trois fonctions qui permettent à l'opérateur d'agir sur l'environnement :

- L'information sur l'environnement, sur l'objectif à atteindre, sur la tâche à accomplir
- La décision à prendre en vue de l'exécution de la tâche
- L'action sur l'environnement, sur l'objet, sur le robot lui-même.

Il est intéressant de faire l'analogie avec l'homme, dont le robot est en fait une copie extrêmement simplifiée (la comparaison se limitant à la possibilité d'avoir une action sur un environnement hostile)

- L'information fournie par le système sensoriel humain (vue, ouïe, touches, goût, odorat) ;
- La décision prises par le système nerveux (cerveau, moelle épinière, nerfs)
- L'action effectuée par le squelette et les muscles.

L'intérêt d'une telle machine (robot) est évident, notamment lorsque les tâches doivent s'accomplir dans un milieu hostile à l'homme : milieu marin, spatial, nucléaire, chimique... le robot présente également un intérêt en milieu médical en compensant les handicaps physiques, en suppléant les déficiences d'organes humain.

Le roboticien, pour atteindre, pour atteindre l'objectif et exécuter la tâche assignée peut se poser plusieurs questions parmi lesquelles :

- Un robot individuel à poste fixe ou un robot mobile (véhicule porteur) ?
- Un robot à automate programmable ou un robot intelligent (intelligence artificielle) ?
- Un seul robot, une association de robots ou une association de robots avec d'autres machines (l'atelier flexible : il y a reconfiguration de la chaîne de production quand on passe d'un produit à un produit voisin ou que le rythme de production change) ?

## 1. Introduction générale

- La robotisation est-elle totale, partielle (cas des télé-opérations) ou mixte (le problème du couplage et découplage homme-machine est à envisager lors du passage « commande automatique ») ?
- Le robot est-il industriel ou médical ? L'adaptation à l'handicap est toujours spécifique bien que les principes utilisés soient les mêmes pour les problèmes orthèses, télésthésies, pour les robots industriels et pour télémanipulateurs »
- La tâche implique-elle le mouvement grâce au « bras » et à ses articulations (épaule, coude, poignet) et à la « main » (organe terminal) ?
- La préhension grâce aux « doigts » ? la locomotion grâce au support (pied, roue) ?
- La commande de la position et de la vitesse de l'organe terminal est elle séquentielle (pas à pas) à l'avance ou sur place (apprentissage) ?
- La capacité de mesure et de reconnaissance (parole, forme, couleur ...) caractérise le robot.

### 1.3. Tâches de base exécutées par les robots

L'homme a commencé à faire exécuter certaines tâches par des êtres artificiels ( les robots). De nos jours la réussite est indiscutable pour plusieurs tâches (ou fonctions) pour d'autres, la solution est à améliorer voire à trouver (travail de recherche).

La manutention intervient dès la réception du matériel et des matières premières, puis elle est présente à chaque stade de la fabrication. Enfin elle assure l'achèvement des produits finis jusqu'à leur livraison. On peut distinguer deux classes de pièces à manutentionner.

- Les pièces manipulées à l'unité : ce sont en général des pièces de taille et de poids imposants (carrosseries d'automobile, pièces de fonderie), ou qui présentent des caractéristiques géométriques particulières (vilebrequins de moteurs) ou celles dont la précision et l'aspect sont importants ou qui sont fragiles (tubes de télévisions). Il y a manipulation dans un environnement structuré (leur forme, leurs dimensions et leur position sont déterminées et connues) et la précision demandée est faible. les robots de première génération (type Unimate, Versatran), conviennent assez bien à cette manutention ;

- Les pièces manipulées en vrac : ce sont généralement des pièces de faibles dimensions dont la forme et la position sont précises la manipulation de ces pièces constitue l'une des difficultés majeures de la robotique : en effet, n'étant pas renseigné à l'avance sur la forme et position de ces pièces, le robot doit s'informer lui-même en utilisant un équipement sensoriel adapté et, par procédé de reconnaissance des formes, il doit élaborer un scénario de commande lui permettant de saisir de déplacer puis de poser la pièce dans une position donnée. Le problème de manutention des pièces en vrac n'est résolu que partiellement et les applications industrielles qui ne sont possibles que dans une position quelconque font l'objet de nombreuses études et recherches. les robots de troisième génération sont appelés à résoudre ces problèmes.

### La fonction fabrication

Il lui correspond l'intégration du robot dans une Chaîne de production les robots sont dans ce cas des supports d'outils et participent directement à l'élaboration des produits. Les principales applications sont

- La soudure par points, à l'arc, par fusion, le découpage au chalumeau
- Le pistelage, dont le robot de peinture Renault Acma appelé  
« Trompe d'éléphant » en raison de la structure poly-articulée  
de son bras terminal, continue un exemple significatif
- L'ébarbage et le polissage de pièces. L'opération d'ébarbage consiste à  
Supprimer l'excédent de matière sur une plaque de métal en général.
- Et bien d'autres applications, l'organe terminal du robot ou « main » pouvant être équipé de différents outils tels que tronçonneuse, perceuse poinçon, tournevis burin etc....
- Les robots utilisés sont ceux de la première génération mais ils sont plus élaborés (construction et commande) que ceux utilisés pour la manutention et sont, d'autre part, plus précis

### La fonction assemblage

L'assemblage de pièces nécessite généralement une grande précision dans le positionnement. Dans des cas particuliers, quelques robots actuels commencent à satisfaire cette spécification ; citons par exemple le modèle HiT-Hand construis par la société japonaise Hitachi, qui est capable d'introduire un piston dans un cylindre avec une tolérance de 20 microns.

Dans les problèmes d'assemblage semble se préciser le créneau d'utilisation concernant les pièces fabriquées en petites quantités, assemblage d'accessoires tels que dynamos, démarreurs, essuie-glaces rentrent dans cette catégorie, sans oublier les petits moteurs qui sont probablement les mieux adaptés à l'assemblage par robots. L'assemblage de pièces, dans sa phase industrielle n'en est qu'à ses premiers développements ; la mise au point de robots de troisième génération devrait permettre de la robotique met en relief le rôle essentiel du robot : exercer une action physique sur son environnement en divers points de l'espace.

### Autres fonctions

D'autres opérations ne nécessitant pas une action directe sur l'environnement sont réalisées par des robots en mettant profit la mobilité de leur organe terminal. Il s'agit essentiellement d'opérations de contrôle. Citons comme exemples, la surveillance de réacteur nucléaire, le contrôle automatique de la soudure à l'arc d'une classe de joints, l'inspection des circuits imprimés et la fabrication de composants électroniques.



## 1. Introduction générale

Ce mémoire se compose de cinq chapitres.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons quelques généralités concernant le domaine de la robotique en général, ainsi que son historique et quelques applications relatives à la robotique existant dans la littérature.

Dans le troisième chapitre, nous traiterons de la navigation des robots mobiles, nous verrons les architectures de contrôle, les problèmes de la robotique mobile, nous détaillerons quelques exemples de localisateurs, ainsi que les systèmes de perceptions.

Le quatrième chapitre, sera consacré à la modélisation dynamique de l'environnement, et au développement des deux stratégies, et aux procédures élaborées dans ce but.

Enfin, le cinquième chapitre sera consacré à la mise-en-œuvre selon les approches préconisées pour notre plate-forme de simulation avec une étude critique de la première approche avec quelques exemples de situations avec les stratégies d'évitement des obstacles dans l'environnement de navigation, et la seconde approche proposée basée sur l'algorithme A STAR et à l'interprétation de ces exemples.

Nous terminerons par une conclusion où nous résumerons l'essentiel des travaux exposés dans ce mémoire et les perspectives futures de ce travail.