

Université de Batna

Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Electronique

THESE

Présentée par

Foudil ABDESSEMED

Ingénieur d'Etat en Electronique, INELEC, Boumerdès
Magistère en Electricité Industrielle, Université de Batna

Thèse soumise en vue de l'obtention du titre de
Docteur d'Etat Es-Science

Spécialité: CONTROLE - ROBOTIQUE

APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE A LA COMMANDE DES PROCESSUS COMPLEXES DE LA MANIPULATION MOBILE

Jury d'Examen:

| | | | |
|------------------------|-------|-----------------------------|------------|
| Noureddine B OUGUECHAL | Prof. | U. Batna | Président |
| Khier BENMAHAMMED | Prof | U. Sétif | Rapporteur |
| Eric MONACELLI | M.C. | U. Versailles Paris, France | Rapporteur |
| Khaled BELARBI | Prof | U. Constantine | Examineur |
| Farès BOUDJEMA | Prof | E.N.P. Alger | Examineur |
| Stéphane DELAPLACE | Prof | IUT de Vélizy, France | Examineur |

23/09/2003

Table de Matières

| | Page |
|---|-----------|
| 1. Introduction | |
| 1.1 Généralités..... | 1 |
| 1.2 Etat de l'art | 4 |
| 1.3 But de la thèse | 6 |
| 1.4 Conclusion. | 8 |
| | |
| 2. Les Concepts de la Logique Floue et des Algorithmes Evolutionnaires | |
| 2.1 Histoire de la Logique Floue..... | 10 |
| 2.2 Commande et Réglage par la Logique Floue..... | 11 |
| 2.2.1 Construction d'un Contrôleur Flou..... | 12 |
| 2.2.1.1. Fuzzification..... | 12 |
| 2.2.1.2 Base de connaissances..... | 12 |
| 2.2.1.3 Moteur d'inférence..... | 13 |
| 2.2.1.4 Defuzzification..... | 14 |
| 2.2.2 Le Contrôleur Takagi-Sugéno..... | 15 |
| 2.2.2.1 Implication Flow..... | 15 |
| 2.2.2.2 Raisonnement Flou..... | 15 |
| 2.3 Quelques remarques sur les ensembles flous..... | 17 |
| 2.3.1 Recouvrement..... | 17 |
| 2.3.2 Influence de la fonction d'appartenance sur la variable de sortie..... | 18 |
| 2.4 Les Algorithmes Evolutionnaires..... | 19 |
| 2.4.1 Introduction | 19 |
| 2.4.2 Structure d'un algorithme évolutif..... | 20 |
| 2.4.3 Les algorithmes génétiques..... | 21 |
| 2.4.3.1 Reproduction | 22 |
| 2.4.3.2 Croisement..... | 22 |
| 2.4.3.3 Mutation.. | 22 |
| 2.4.4 Les Stratégies d'Evolution..... | 23 |
| 2.4.5 La Programmation Evolutionnaire..... | 24 |
| 2.5 Conclusion., | 25 |
| | |
| 3. Le Bras Manipulateur | |
| 3.1 Introduction..... | 27 |
| 3.2 Modélisation du Bras Manipulateur..... | 27 |
| 3.2.1 Modélisation Cinématique..... | 27 |
| 3.2.2 Modélisation Dynamique | 29 |
| 3.2.3 Quelques Propriétés Importantes..... | 31 |
| 3.2.4 Association des Moteurs à Courants Continus | 32 |
| 3.2.5 Modélisation des Frottements..... | 34 |
| 3.2.5.1 Les Frottements Secs..... | 35 |
| 3.2.5.2 Les Frottements Visqueux..... | 35 |
| 3.2.5.3 Les Forces de Stiction..... | 36 |
| 3.3 Application de la Commande..... | 37 |
| 3.3.1 Commande Linéarisante, dite Méthode du Couple Calculé | 37 |
| 3.3.2 Commande Linéarisante Adaptative., | 38 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.3.3 | Commande Adaptative Selon Spong et Ortega..... | 39 |
| 3.3.4 | Loi de Commande Selon Amestegui et al. | 39 |
| 3.3.5 | Commande Adaptative Basée sur la Passivité. | 40 |
| 3.4 | Commande du Bras Manipulateur par un Compensateur Flou..... | 42 |
| 3.4.1 | Description de la technique utilisée. | 42 |
| 3.4.2 | Implémentation du régulateur PID. | 43 |
| 3.4.3 | Implémentation du précompensateur flou | 45 |
| 3.4.3.1 | Le contrôleur flou propose..... | 45 |
| 3.4.3.2 | Derivation des règles floues Si-Alors par l'utilisation des algorithmes Génétiques | 49 |
| 3.4.3.3 | Defuzzification..... | 52 |
| 3.4.4 | Résultats de simulation. | 52 |
| 3.4.5 | Utilisation de la Programmation Evolutionnaire dans la génération de règles floues | 55 |
| 3.4.6 | Résultats de Simulation | 59 |
| 3.5 | Conclusion | 63 |
| 4. | Robot Mobile | 65 |
| 4.1 | Introduction. | 65 |
| 4.2 | Les Caractéristiques Cinématiques et Dynamiques..... | 69 |
| 4.2.1 | Modèle Cinématique du Robot..... | 69 |
| 4.2.2 | Commande différentielle. | 73 |
| 4.3 | La Commande Floue du Robot Mobile | 64 |
| 4.3.1 | Implémentation du Contrôleur Flou. | 74 |
| 4.3.2 | Description des Composantes du Système Flou | 75 |
| 4.3.3 | Programmation Evolutionnaire | 79 |
| 4.4 | Résultats de Simulation..... | 83 |
| 4.5 | Conclusion. | 85 |
| 5. | Evitement d'obstacles par l'utilisation de la méthode FIM | 86 |
| 5.1 | Introduction. | 86 |
| 5.2 | Description de la méthode FIM..... | 88 |
| 5.3 | Evitement d'obstacles multiples | 93 |
| 5.4 | Résultats de Simulations | 97 |
| 5.5 | Conclusion. | 98 |
| 6. | La Manipulation Mobile | 99 |
| 6.1 | Introduction., | 99 |
| 6.2 | Stabilité des manipulateurs Mobiles | 100 |
| 6.3 | Les Contraintes des Manipulateurs Mobiles | 100 |
| 6.3.1 | Position du Problème. | 100 |
| 6.3.2 | Analyse Cinématique du Système..... | 101 |
| 6.4 | Commande du Manipulateur Mobile..... | 102 |
| 6.4.1 | Commande séparée des mouvements du manipulateur et de la base mobile (mode alterné)..... | 104 |
| 6.4.2 | Résultats de Simulation., | 107 |
| 6.5 | Gestion Commune du bras et de la Base Mobile., | 108 |
| 6.5.1 | Approche p a r minimisation des vitesses articulaires..... | 110 |
| 6.5.1.1 | Evitement des limites articulaires. | 115 |
| 6.5.1.2 | Evitement des obstacles, | 115 |
| 6.5.1.3 | Résultats de simulations. | 119 |

| | | |
|---------|--------------------------------------|-----|
| 6.5.2 | Approche par Apprentissage | 125 |
| 6.5.2.1 | Analyse et Synthèse..... | 128 |
| 6.5.2.2 | Les signaux d'erreurs..... | 128 |
| 6.5.2.3 | Ajustement des Poids..... | 131 |
| 6.5.2.4 | Apprentissage Rapide..... | 134 |
| 6.5.2.5 | Résultats de Simulation..... | 134 |
| 6.5.2.6 | Méthode d'évitement d'Obstacles..... | 139 |
| 6.5.2.7 | Résultats de Simulation..... | 140 |
| 6.6 | Conclusion | 145 |
| | Conclusion et Perspectives | 146 |
| | Référence..... | 149 |
| | Annexe A..... | 155 |
| | Annex B..... | 159 |
| | Annex C..... | 160 |
| | Annexe D..... | 162 |
| | Annexe E..... | 164 |

Résumé

Cette thèse s'inscrit dans le cadre des sujets de coopération du programme intergouvernemental entre l'Algérie et la France. Elle présente les résultats de mes travaux sur la résolution du problème de la manipulation mobile dans un environnement contraignant. Le traitement se base particulièrement dans le cas où ces opérations se font sur une plate-forme mobile no-holonome, et un bras manipulateur à trois degrés de liberté. Le cas d'une commande séparée et d'une autre en coordinations sont envisagées. Ce type de coordination nécessite un mécanisme de génération de consignes afin de gérer de manière efficace l'accomplissement de la tâche. La structure ainsi développée intègre des modules de commande capables de gérer les organes en s'appuyant sur des schémas qualitatifs mis au point à partir de la théorie de la logique floue et des algorithmes évolutionnaires.

En plus des analyses et de l'utilisation de certains principes déjà connus en robotique, de nouvelles approches sont présentées dans cette thèse :

- 1. L'utilisation d'un compensateur flou dans la commande du bras manipulateur.*
- 2. Synthèse d'algorithmes d'extraction de règles floues.*
- 3. Synthèse de la méthode FIM dans l'évolution d'un robot mobile dans un environnement contraignant.*
- 4. Synthèse de la méthode du pseudo-réseaux de neurones dans la résolution de systèmes redondants.*

Mots clés :

Manipulateur mobile, commande floue, Algorithme génétique, Programmation évolutionnaire, Pseudo-réseaux de neurones, Inverse généralisée.