

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

THESE

Présentée au Laboratoire de Commande des Processus
DER de Génie Electrique & Informatique
pour l'obtention du titre de :

MAGISTER

EN AUTOMATIQUE

Par

LOUDINI Malik

Ingénieur d'état en Automatique

THEME

**MODELISATION, ANALYSE ET METHODOLOGIES
DE COMMANDE LINGUISTIQUE FLOUE
D'UN BRAS MANIPULATEUR DE ROBOT FLEXIBLE**

Soutenue publiquement en Juillet 1997 devant la commission d'examen :

M. M. S. BOUCHERIT	Maître de Conférences	Président
M. C. LARBES	Ph. D.	Examineur
M. R. ILLOUL	Chargé de Cours	Examineur
M. D. BOUKHETALA	Chargé de Cours	Examineur
M. M. C. SOUAMI	Ph. D.	Directeur de thèse

Thèse préparée au L.C.P – DER de Génie Electrique & Informatique
E.N.P, 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El-Harrach, Alger

Résumé- Les travaux présentés dans cette thèse concernent la modélisation, l'analyse et le contrôle intelligent de l'organe terminal d'un bras de robot planaire à une liaison flexible.

Le but principal est la conception de stratégies de commande évoluées basées sur les concepts de logique floue et leur application à la commande en position et à la poursuite de trajectoire de l'extrémité de préhension du robot étudié. L'élasticité structurale inhérente à la liaison est étudiée en utilisant la théorie des poutres de Timoshenko. Deux modèles dynamiques linéaire et non linéaire sont alors développés en se basant sur l'association du formalisme Lagrangien et de la méthode des modes supposés. Nous appliquons un premier schéma de commande au modèle linéaire que nous testons, après, sur le modèle non linéaire. Nous proposons, ensuite, deux nouvelles structures de contrôle pour améliorer les résultats obtenus. Une simulation numérique montre les réponses du système commandé à ces structures de contrôle que nous discutons et prouvons l'efficacité à travers les performances réalisées.

Mots clés: Structure mécanique légère, robot manipulateur flexible, modèle linéaire, modèle non linéaire, logique floue, base de connaissances, commande linguistique floue, commande en position, poursuite de trajectoire, contrôleur de Mamdani, commande multi-échelle, commande hybride.

العنوان: نمذجة، تحليل ومنهجيات التحكم اللغوي الغامض لذراع ممارس لروبوت مرن

ملخص - يتعلق العمل المقدم في هذه الأطروحة بالنمذجة، التحليل والتحكم الذكي للعضو النهائي لذراع روبوت مستوي الحركة ذي وصلة مرنة واحدة.

يكن الهدف الرئيسي في تصميم خطط تحكم متطورة تركز أساساً على مفاهيم المنطق الغامض وتطبيقها للتحكم الموقعي والمتابعة المسارية للطرف النهائي الملتقط للروبوت المدروس. لدراسة المرونة البنيوية للوصلة المكونة للذراع، نستعمل نظرية روافد تيموشينكو. ثم يتم التحصل على نموذجين دينامكيين خطي ولاحطي بإشراك صياغة لاغرانج وطريقة الأنماط المفترضة. تطبيق خطة تحكمية أولى على النموذج الخطي وتختبر بعد ذلك على النموذج اللاخطي. ثم يتم اقتراح بنيتين تحكيميتين جديدتين لتحسين النتائج المحصل عليها. تبين محاكاة عديدة إجابات النظام المتحكم فيه لهذه الهياكل التحكيمية والتي سنناقشها ونثبت مدى نجاعتها من خلال الأداءات المنجزة.

الكلمات الدلالية: هيكل ميكانيكي خفيف، ذراع ممارس مرن، نموذج خطي، نموذج لاختي، منطق غامض، قاعدة المعارف، تحكم لغوي غامض، تحكم موقعي، متابعة مسارية، متحكم مامداني، التحكم متعدد المستويات، التحكم الهجين.

Title: Modelling, analysis and fuzzy linguistic control methodologies of a flexible robot manipulator arm

Abstract- The work presented in this thesis deals with the modelling, analysis and end-point intelligent control of a planar one-link flexible robot arm.

The main aim is the design of advanced control strategies based on fuzzy logic concepts and their application to the end-point positioning and trajectory tracking of the studied robot. The Timoshenko beam theory has been used to characterize the structural link elasticity. Then, two suitable dynamic models, linear and nonlinear, are derived on the basis of the Lagrangian-assumed modes method. We apply a first control scheme to the linear model and test it after to the nonlinear one. Then, two new control structures are proposed to enhance the obtained results. A computer simulation illustrates the responses of the controlled system to these control structures which we discuss and prove the effectiveness through the realized performances.

Key words: Lightweight mechanical structure, flexible robot manipulator, linear model, nonlinear model, fuzzy logic, knowledge base, fuzzy linguistic control, position control, trajectory tracking, Mamdani's controller, multiscale control, hybrid control.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I	GENERALITES SUR LES BRAS MANIPULATEURS DE ROBOTS FLEXIBLES
Introduction	5
I.1	Introduction à la modélisation des robots flexibles . 5
I.2	Méthodes et formalismes existants 6
I.3	Principales méthodes de modélisation des robots flexibles 7
I.4	Introduction à la commande des bras de robots flexibles 16
I.5	Principales méthodes de commande des robots flexibles 18
I.6	Conclusion 33
CHAPITRE II	MODELISATION DU BRAS MANIPULATEUR DE ROBOT A UNE LIAISON FLEXIBLE
Introduction	34
II.1	Présentation du bras de robot flexible 34
II.2	Etude mécanique 35
II.3	Etude énergétique 40
II.4	Obtention du modèle linéaire du bras de robot flexible 45
II.4.1	<i>Etude par simulation du comportement en boucle ouverte 51</i>
II.5	Obtention du modèle non linéaire du bras de robot flexible 74
II.5.1	<i>Etude par simulation du comportement en boucle ouverte 77</i>
II.6	Conclusion 90

CHAPITRE III METHODOLOGIES DE CONTROLE FLOU

Introduction	91
III.1 Logique floue	91
III.2 Principes de la logique floue	93
III.2.1 <i>Ensembles flous et terminologie</i>	93
III.2.2 <i>Opérations ensemblistes élémentaires</i>	94
III.2.3 <i>Variables linguistiques et ensembles flous</i>	95
III.2.4 <i>Logique floue et raisonnement approximatif</i>	97
III.3 Principe du contrôleur flou	97
III.3.1 <i>Stratégies de fuzzification</i>	99
III.3.2 <i>Base de données</i>	100
III.3.3 <i>Base de règles</i>	107
III.3.4 <i>Logique de prise de décision</i>	117
III.3.5 <i>Stratégies de défuzzification</i>	124
III.4 Conclusion	128

CHAPITRE IV ASPECTS DE LA MISE EN OEUVRE DU CONTROLEUR FLOU DE MAMDANI ET SON APPLICATION A LA COMMANDE DU BRAS MANIPULATEUR DE ROBOT FLEXIBLE

Introduction	129
IV.1 Description du schéma de contrôle typique	130
IV.2 Algorithme du contrôle flou	131
IV.2.1 <i>Loi de commande</i>	132
IV.2.2 <i>Implémentation</i>	132
IV.3 Application de l'algorithme du contrôle flou de Mamdani au modèle linéaire du bras de robot flexible	134
IV.3.1 <i>Fonctions d'appartenance</i>	134
IV.3.2 <i>Règles décisionnelles de contrôle flou</i>	137
IV.3.3 <i>Choix de la méthode d'inférence</i>	137
IV.3.4 <i>Choix de la période d'échantillonnage</i>	137
IV.3.5 <i>Simulation et résultats des essais en boucle fermée</i>	138

IV.4	Application de l'algorithme du contrôle flou de Mamdani au modèle non linéaire du bras de robot flexible	148
IV.4.1	<i>Simulation et résultats des essais en boucle fermée</i>	148
IV.5	Conclusion	156
CHAPITRE V COMMANDES FLOUES MULTI-ECHELLE ET HYBRIDE DU BRAS MANIPULATEUR DE ROBOT FLEXIBLE		
	Introduction	157
V.1	Commande floue multi-échelle	157
V.2	Commande floue hybride	159
V.3	Tests et performances	160
V.3.1	<i>Poursuite de trajectoire</i>	160
V.3.2	<i>Test de répétabilité</i>	162
V.3.3	<i>Test de robustesse vis-à-vis des variations de charge</i>	162
V.3.4	<i>Test de robustesse vis-à-vis de bruits de perturbation</i>	163
V.4	Conclusion	171
CONCLUSION GENERALE		172
ANNEXE A		175
ANNEXE B		176
ANNEXE C		181
ANNEXE D		183
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		184