
Université Henri Poincaré NANCY I
UFR S.T.M.I.A.
Ecole Doctorale I.A.E.+M.
DFD Automatique et Production Automatisée

THESE

présentée pour l'obtention du

DOCTORAT

DE L'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ NANCY I

Spécialité Automatique

par

Mohamed Fayçal KHELFI

INGENIEUR E.N.I.T.A.

OBSERVATEURS NON LINEAIRES

Application à la commande des robots manipulateurs

Soutenue publiquement le 07 décembre 1995 devant la commission d'examen :

Président	:	R. HUSSON	Professeur, INP Lorraine
Rapporteurs	:	R. LOZANO	Directeur de Recherche, CNRS, Université de Compiègne
		D. MEHDI	Professeur, Université de Poitiers
Examineurs :		M. DAROUACH	Professeur, Université Henri Poincaré-Nancy I
		G. KRZAKALA	Professeur, Université Henri Poincaré-Nancy I
		E. RICHARD	Maître de Conférences, Université Henri Poincaré-Nancy I
		M. ZASADZINSKI	Chargé de Recherche, CNRS

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I. SYSTEMES NON LINEAIRES : <i>Observabilité - Observateurs</i>	
I-1. INTRODUCTION	9
I-2. OBSERVABILITE DES SYSTEMES NON LINEAIRES	10
I-2-1. Eléments de la théorie de l'observation	10
I-2-2. Systèmes uniformément observables	13
I-3. SYNTHESSES D'OBSERVATEURS POUR LES SYSTEMES NON LINEAIRES	14
I-3-1. Position du problème	14
I-3-2. Linéarisation au premier ordre de l'erreur d'observation	16
I-3-3. Linéarisation exacte de l'erreur d'observation	18
I-3-4. Observateurs à erreur non linéaire	22
I-3-4-1. Synthèse de l'observateur dans les coordonnées initiales	22
I-3-4-1-1. Méthode de Thau	22
I-3-4-1-2. Méthode de Hammami	24
I-3-4-2. Synthèse de l'observateur dans la forme canonique observable	26
I-3-4-2-1. Méthode de Gauthier	27
a) Cas mono-sortie	27
b) Cas multi-sortie	28
I-3-4-2-2. Méthode de Bornard	32
a) Cas mono-sortie	32
b) Cas multi-sortie	35
I-3-5. Observateurs considérant les incertitudes	36
I-3-5-1. Observateurs à structure variable	36
I-3-5-2. Filtrage H_∞ robuste des systèmes non linéaires incertains	38
I-4. STABILISATION VIA UN OBSERVATEUR	41
I-4-1. Quelques rappels de stabilité et de stabilisation	41
I-4-2. Position du problème	43
I-4-3. Stabilisation exponentielle globale	44
I-4-4. Stabilisation asymptotique globale	46
I-4-4-1. Approche basée la bornitude des trajectoires	46
I-4-4-2. Approche basée la détectabilité faible	49
I-5. CONCLUSION	50

Chapitre II. ROBOTS MANIPULATEURS : *Modélisation - Commande*

II-1. INTRODUCTION	53
II-2. DESCRIPTION DE LA STRUCTURE GEOMETRIQUE DES ROBOTS MANIPULATEURS A CHAINE OUVERTE SIMPLE	54
II-2-1. Introduction	54
II-2-2. Règles et conventions générales	54
II-2-3. Description des robots à chaîne ouverte simple	54
II-3. MODELISATION DYNAMIQUE DES ROBOTS MANIPULATEURS A CHAINE OUVERTE SIMPLE	57
II-3-1. Introduction	57
II-3-2. Formalisme de Lagrange	58
II-3-2-1. Introduction	58
II-3-2-2. Calcul de l'énergie cinétique	59
II-3-2-3. Calcul de l'énergie potentielle	61
II-3-2-4. Formulation du modèle dynamique	61
II-3-2-5. Propriétés structurelles du modèle dynamique	63
II-3-2-5-1. Propriétés de la matrice d'inertie du robot	63
II-3-2-5-2. Propriétés du vecteur des forces centrifuges et de Coriolis	63
II-3-2-5-3. Propriétés des vecteurs des forces de gravité, des frottements et des couples de perturbation	65
a) Propriété du vecteur $G(q)$	65
b) Propriété du vecteur $F(\dot{q})$	65
c) Propriété du vecteur Γ_d	66
II-3-3. Exemple d'un robot à deux degrés de liberté	66
II-4. QUELQUES LOIS DE COMMANDE CLASSIQUES POUR LES ROBOTS MANIPULATEURS	70
II-4-1. Introduction	70
II-4-2. Commande point à point	71
II-4-3. Commande de poursuite de trajectoire	73
II-5. CONCLUSION	74

Chapitre III. COMMANDE BASEE OBSERVATEUR DES ROBOTS MANIPULATEURS : *Observateurs d'ordre plein*

III-1. INTRODUCTION	77
III-2. APPLICATION DE L'OBSERVATEUR DE GAUTHIER A LA COMMANDE DES ROBOTS MANIPULATEURS	78
III-2-1. Représentation d'état du modèle dynamique d'un robot manipulateur	78
III-2-2. Etude en boucle ouverte	79
III-2-3. Etude en boucle fermée	81
III-2-3-1. Cas d'une loi de commande point à point	81
III-2-3-2. Cas d'une loi de commande de poursuite de trajectoire	83
III-3. APPLICATION DU FILTRAGE H_∞ DE DE SOUZA A LA COMMANDE DES ROBOTS MANIPULATEURS	85
III-3-1. Synthèse en boucle ouverte	85
III-3-2. Synthèse boucle fermée	86
III-4. RESULTATS DE SIMULATIONS	89
III-5. CONCLUSION	101

**Chapitre IV. COMMANDE BASEE OBSERVATEUR
DES ROBOTS MANIPULATEURS :**
Observateurs d'ordre réduit

IV-1. INTRODUCTION	105
IV-2. OBSERVATEUR D'ORDRE REDUIT	106
IV-2-1. Position du problème	106
IV-2-2. Synthèse de l'observateur d'ordre réduit en boucle ouverte	108
IV-2-3. Synthèse de l'observateur d'ordre réduit en boucle fermée	115
IV-2-3-1. Etude avec une loi de commande point à point	115
IV-2-3-2. Etude avec une loi de commande de poursuite de trajectoire	117
IV-3. ATTENUATION DE PERTURBATIONS VIA UN OBSERVATEUR H_∞ D'ORDRE REDUIT	121
IV-3-1. Position du problème	121
IV-3-2. Synthèse de l'observateur H_∞ d'ordre réduit	122
IV-4. ATTENUATION DE PERTURBATIONS VIA UNE COMMANDE H_∞ D'ORDRE REDUIT PAR RETOUR DE SORTIE	126
IV-4-1. Introduction	126
IV-4-2. Atténuation de perturbations avec une loi de commande point à point	126
IV-4-3. Atténuation de perturbations avec une loi de commande de poursuite de trajectoire	138
IV-5. RESULTATS DE SIMULATIONS	149
IV-6. CONCLUSION	158
CONCLUSION GENERALE	159
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	163
ANNEXES	171