

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

**FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : AUTOMATIQUE**

N° : Rob-06

OPTION : ROBOTIQUE



**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Professionnel**

Par:

TOUIR Ahmed

AOUADJ Akram

Intitulé

**Commande adaptative floue tolérante aux défauts pour une
classe de systèmes non linéaires**

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. BOUKHALFA Abdelouaheb Université de M'sila

Rapporteur

Dr. KHETTAB Khatir Université de M'sila

Co-Rapporteur

Année universitaire : 2021/ 2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A ma très chère **Mère** et mon très cher **Père***

*A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse dans mes
études*

A ceux qui ont veillé pour mon bien être

Ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles de ma vie

A ceux que j'aime et je respecte infiniment

Le jour est venu pour leur dire Merci...

*A toute la famille **TOUIR** et **AOUADJ**.*

*A tous mes amis qui ont toujours été présents et qui n'ont ménagé
aucun effort pour me bénéficier avec leur aide et leurs suggestions,*

*A tous mes camarades du Groupe **ROBOTIQUE***

Remerciements

Avant tout je remercie

Dieu de nos avoir Donné la force et le courage.

A la suite Nous tenons à remercier vivement

*Dr. BOUKHALFA Abdelouaheb qui a fourni des efforts énormes, par ses
Informations ses conseils et*

Ses encouragements

Nous tenons à remercier aussi « M. GUERSI ALI »

pour son aide durant toute la période du travail.

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt
qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de
l'enrichir par leurs propositions.*

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: COMMANDE ADAPTATIVE FLOUE ET COMMANDE PAR BACKSTEPPING	
I.1 Introduction	4
I.2 Approximateurs flous	4
I.2.1 Système flou	5
I.2.1.1 Fuzzification	6
I.2.1.2 Base de règles d'un système flou.....	6
I.2.1.3 Inférence floue.....	6
I.2.1.4 Défuzzification.....	7
I.2.2 Approximation par les systèmes flous	7
I.3. Commande adaptative	8
I.3.1 Fonctions des systèmes de commande adaptative.....	9
I.3.2 Principe de commande adaptative.....	9
I.3.3. Différentes techniques de commande adaptative.....	10
I.3.3.1 Commande adaptative directe	10
I.3.3.2 Commande adaptative indirecte	11
I.3.4. Commande adaptative floue.....	11
I.3.4.1 Commande adaptative floue directe (auto-ajustable)	11
I.3.4.2. Commande adaptative floue indirecte (par modèle de référence MRAC)	12
I.4 Commande par Backstepping.....	12
I.4.1. Méthode directe de Lyapunov.....	13
I.4.2. Technique de la commande par Backstepping.....	13
I.4.2.1 Algorithme de base	13
I.4.2.2. Cas des systèmes d'ordre n.....	17
I.5. Conclusion.....	17

CHAPITRE II LA COMMANDE TOLERANTE AUX DEFAUTS

II.1 Introduction.....	19
II.2 Systèmes tolérants aux défauts	19
II.3 Etat de l'art de la commande tolérante aux défauts	19
II.3.1 . Hébergements passifs	19
II.3.2 Hébergements actifs.....	20.
II.3.3 Adaptation de l'hébergement	20
II.4 Commande tolérante aux défauts et fiabilité	21
II.5. Les Différents Types de défauts.....	21
II.5.1 Défauts actionneurs	22
II.5.2. Défauts capteurs	22
II.5.3 Défauts sur le système	23
II.6 Classification des méthodes de commande tolérante aux défauts.....	23
II.6.1 Approches passives.....	24
II.6.2 Approches actives	25
II.7 Conclusion.....	27

CHAPITRE III : LA COMMANDE TOLERANTE AUX DEFAUTS ADAPTATIVE FLOUE VIA BACKSTEPPING

III.1 Introduction.....	29
III.2 Formulations de problèmes et préliminaires	31
III.3 Description de FLSS.....	32.
III.4 Conception de contrôleur	33
III.5 Résultat principal.....	35
III.6 Simulation.....	39
III.7 Conclusion.....	42

CONCLUSION GENERALE	43
----------------------------------	-----------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	
-----------------------------------------	--

RESUMÉ.....	
--------------------	--

Abréviations et symboles

Abréviations

AFTC Active Fault Tolerant Control

FBF Fonctions Floues de Base

FDI Fault Detection and Isolation

FTC Fault Tolerant Control

FTCS Fault Tolerant Control System

IP Indice de Performance

MRAC Commande Adaptative à Modèle de Référence

PFTC Passive Fault Tolerant Control

SISO Single Input Single Output (Mono entrée Mono sortie)

STC Régulateur Auto-Ajustable

URI Unité de Référence Inertiel

Symboles

θ Vecteur de paramètres

z Erreur de suivi

y Sortie du système

x Vecteur d'état

u Commande du système

d Perturbations externes

(x) Fonction de Lyapunov

$\mu_A(x)$ Fonction d'appartenance d'une variable floue

y_r Trajectoire désirée

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1 Représentation des systèmes flous	5
Figure I.2 Principe des systèmes de commande adaptative	10
Figure I.3 Schéma synoptique de la commande adaptative directe d'un processus	10
Figure I.4 . Schéma synoptique de la commande adaptative indirecte d'un processus.....	11
Figure I.5 . Commande adaptative floue directe	11
Figure I.6 Commande adaptative floue indirecte	12

CHAPITRE II

Figure II.1 – Répartition des différents défauts d'un processus.....	22
Figure II.2 Classification des méthodes FTCS.....	24
Figure II.3 Schéma de principe d'une loi de commande FTC Passive.	25
Figure II.4 Schéma de principe d'une loi de commande FTC active	25

CHAPITRE III:

Figure III.1 Signal de commutation $\sigma < (k)$	40
Figure III.2 les trajectoires de x_1 et x_{r1}	40
Figure III.3 les trajectoires de x_2 et x_{r2}	41
Figure III.4 entrée de commande u.	42

INTRODUCTION GENERALE

Les résultats de la simulation ont montré la grande efficacité de l'approche FTC développé en ce qui concerne les défauts des actionneurs. Cette approche est efficace système et garantit la stabilité et la continuité. Les résultats obtenus dans ce travail nous permettent de proposer une perspective, une étude basée sur des algorithmes d'optimisation pour déterminer les différents contrôles des paramètres et des profits.

Un système tolérant aux défauts a la capacité de tenir des cibles malgré la survenance d'un défaut et le traiter d'une manière automatique. Il permet notamment de garantir la stabilité et/ou les performances du système dégradé acceptable en présence de défauts. Il existe deux approches d'audit tolérance aux défauts : une approche est passive, l'autre est active. Méthodes passives reposent sur la synthèse d'une loi de commande insensible à certaines erreurs. Méthodes actives les commandes de sécurité contiennent un mécanisme de diagnostic pour détecter et localiser les défauts qui peuvent affecter le système. Si le module détecte un dysfonctionnement diagnostics, la stratégie de commande redondante est activée par le mécanisme reconfiguration.

En général, les systèmes réels sont intrinsèquement non linéaires et incertains, et par des ingérences extérieures. Une des méthodes actives de la commande tolérant aux défauts La valeur par défaut pour les systèmes non linéaires est mieux connue sous le nom de commande adaptatif, qui est Lorsque la dynamique du processus est inconnue et/ou change avec le temps. Cependant, l'incertitude des systèmes non linéaires rend Il est difficile, voire impossible, d'avoir une description analytique dynamique Le système à contrôler, une solution à ce problème peut être envisagée en termes de Utiliser a pour représenter le comportement d'un processus non linéaire ou d'une loi de commande Modèle flou, où la relation entre l'entrée, la sortie et l'état est exprimée sous la forme Règles floues Cependant, cette modélisation floue n'est qu'une représentation approximative Le système réel que nous voulons contrôler en raison du nombre de règles choisies Il y a une limite à la description du comportement du système. De plus, dans la plupart des cas, les systèmes réels ont des paramètres variables et sont soumis à des perturbations externes. Donc, La représentation du système non linéaire est formée par un modèle flou nominal Incertitude associée.

Résoudre le problème d'erreur d'approximation et le garder bon Pour suivre les performances, il est nécessaire d'utiliser des méthodes robustes. En ce sens, plusieurs contrôleurs adaptatifs flous robustes utilisent la technique H_∞ pour Atténuer les effets de l'incertitude et des perturbations externes à des niveaux arbitrairement spécifiés.

Le backstepping est un processus récursif qui utilise Lyapunov est à la recherche de lois de commande et de recherches sur la stabilité. Méthode Le backstepping fournit un outil de conception très efficace pour la commande adaptative floue, permet de construire récursivement de manière systématique

et directe Fonctions Lyapunov pour la commande, la dynamique d'adaptation et la stabilité garantie boucle de contrôle.

Le but principal de cet article est de développer une technique de commande Retour en arrière de la tolérance aux défauts en fonction de l'utilisation de la technologie Une classe d'intelligence artificielle (commande adaptatif, systèmes flous) systèmes non linéaires incertains uni variés, permettant de s'adapter affecte automatiquement les effets des pannes qui peuvent survenir sur le système, tandis que capable de maintenir un fonctionnement normal. Pour tester cette performance méthode, un exemple simulé a été réalisé Cette thèse est organisée autour de trois chapitres :

Dans le chapitre 1, nous avons commencé les bases théoriques de la technologie.

Techniques de commande adaptative et de logique floue pour l'approximation de fonctions Inconnues, l'ordre est présenté en allant vers backstepping.

Chapitre 2, est un nouveau type de commande tolérante aux défauts est présenté. Nous donnons différents concepts théoriques, définitions et concepts dans ce domaine, nous introduisons également les principales méthodes de commande tolérante aux défauts développés dans la littérature.

Chapitre 3, le problème FTC de commutation à temps discret système non linéaire est examiné. Au meilleur de notre connaissance, il n'y avait pratiquement aucun résultat de FTC pour systèmes à commutation à temps discret, sans parler des systèmes non linéaires commutés en temps discret.

Le mémoire se termine par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I

**COMMANDE ADAPTATIVE FLOUE ET COMMANDE PAR
BACKSTEPPING**

I.1.Introduction

Depuis quelques années, beaucoup de recherche ont été effectuées dans le domaine de la commande des systèmes non-linéaires, la commande adaptative floue et la commande par backstepping font partie de ces nouvelles méthodes.

La commande adaptative est basée sur l'utilisation d'un mécanisme d'adaptation pour la commande des systèmes partiellement connus. Elle a été bien développée depuis les années 70. En pratique, les modèles mathématiques ne pourraient pas être disponibles pour beaucoup des systèmes complexes par conséquent le problème de la commande adaptative de ces systèmes est loin d'être résolu d'une manière satisfaisante. Des systèmes flous basés sur les fonctions floues de base sont employés pour représenter les fonctions non linéaires inconnues des systèmes qui possèdent des variations intrinsèques inconnues [1].

La commande par backstepping est une technique de commande non linéaire robuste, la synthèse d'une telle commande se fait de manière systématique et basée sur l'approche de Lyapunov.

Dans ce chapitre, on présente les concepts de base liés aux systèmes d'approximation flous ainsi que la commande adaptative floue. On abordera aussi la technique de commande par backstepping.

I.2.Approximateurs flous

La logique floue a été introduite en 1965 par L.A Zadeh. Ses principes ont été appliqués en 1974 par E.H Mamdani à la construction d'un premier contrôleur flou. Mais ce n'est que depuis quelques années que la commande floue a connu, essentiellement au Japon un essor remarquable [2].

C'est une façon de penser qui permet des définitions partielles ou « vagues » des règles. La puissance de la logique floue vient de sa capacité à décrire un phénomène particulier ou un processus linguistique, puis à représenter ce phénomène avec un petit nombre de règles très flexibles. La connaissance du système flou est contenue dans des règles et des ensembles flous qui contiennent des descriptions générales des propriétés du phénomène [3].

Des applications utilisant les systèmes flous ont été développées dans des domaines variés : traitement d'images, l'automatisme, la robotique, la gestion de la circulation routière, le contrôle aérien, l'environnement (météorologie, climatologie, sismologie) [4].

I .2.1 Système flou :

Le principe d'un système flou, c'est de pouvoir calculer des paramètres de sorties en fournissant au système un ensemble de règles formulés en langage naturel. Pour qu'il y ait compatibilités entre les données capteurs, ces règles et les paramètres de sortie, on doit décomposer un système flou en trois parties.

La première partie qui permettra de traduire une donnée numérique provenant d'un capteur en une variable linguistique s'appelle la fuzzification. Grâce à une fonction d'appartenance créée par le concepteur du système flou, on va pouvoir transformer une donnée capteur quantitative en variable linguistique qualitative (par exemple, une donnée provenant d'un capteur pourrait être distance=10.56 mètre. Après fuzzification, on aurait donc distance=30% proche, 50% moyen, 20% loin)

La seconde partie est le moteur d'inférence qui se chargera d'appliquer chacune des règles d'inférences. Ces règles d'inférences représentant les connaissances que l'on a du système dû à l'expertise humaine. Chaque règle générera une commande de sortie.

Enfin, la troisième étape est la défuzzification. C'est l'étape permettant de fusionner les différentes commandes générés par le moteur d'inférence pour le donner qu'une seule commande de sortie et de transformer cette variable linguistique de sortie en donnée numérique.

I.1 . Toutes ces applications sur démontré qu'un régulateur par logique floue est plus robuste qu'un régulateur conventionnel [5].

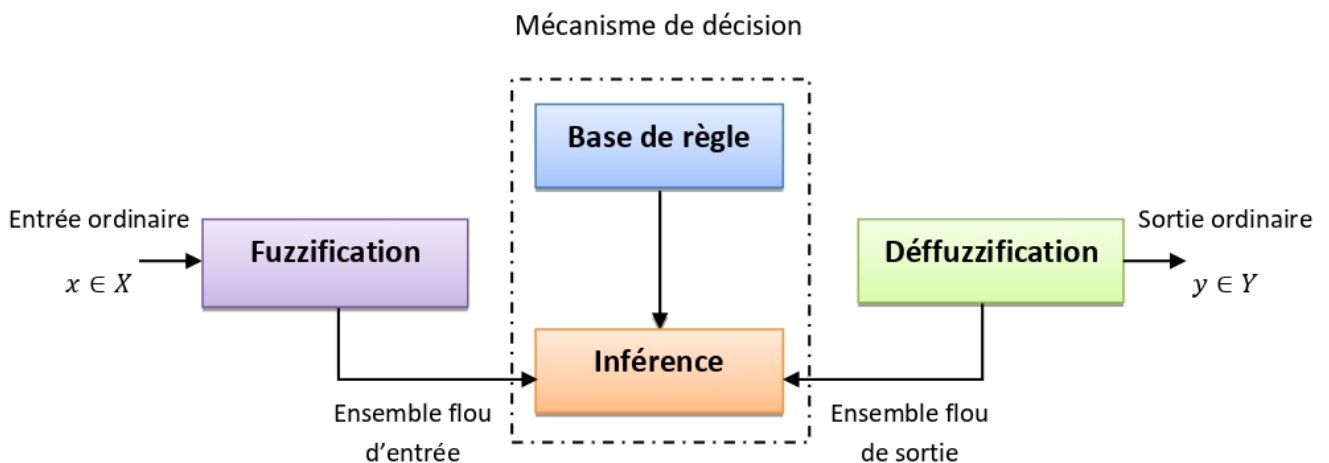


Figure I .1 : Représentation d'un système flou.

I.2.1.1 Fuzzification :

Dans les problèmes de commande, les filons observées sont aisément physiques (réelles).

Or la rétribution de ces filons est basée sur le défilé des ensembles flous; cela nécessite de la sorte une chicane de fuzzification.

L'impotence de fuzzification représente le portion des grandeurs réelles (ou physiques) aux valeurs flous. Cette étape nécessite souvent une conversion analogique/digitale, ainsi que la rétribution des grandeurs mesurées et à eux désordre en variables linguistiques contre-poil la détermination des fonctions d'appartenance.[5]

Deux approches de fuzzification sont généralement utilisées : la fuzzification singleton et la fuzzification non singleton. [4]

L'ensemble flou A défini sur l'univers de discours X est un ensemble caractérisé par sa fonction d'appartenance $\mu_A(x)$: qui fait corresponde à chaque point dans X un nombre réel appartenant à l'intervalle [0 1] :

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0 \ 1]$$

I .2.1.2 Base de règles d'un système flou :

La base de règles, comprend les connaissances de l'expert humain pour la commande du système (cas de la conception d'un régulateur flou) ou l'identification (approximation des fonctions non linéaires à dynamique complexe) ainsi que le domaine de variation des variables d'entrées/sorties. Ces règles sont exprimées par des règles de la forme « Si-Alors » [7].

Si prémisse Alors conclusion où la prémisse porte sur l'entrée du contrôleur flou et la conclusion sur la sortie. Le nombre des règles flous dépendent, de la partition des univers de discours des variables d'entrée et de sortie.

I.2.1.3 Inférence floue :

consiste a utiliser le moteur d'inférence, qui est un mécanisme permettant de condenser l'information d'un système à travers d'un ensemble de règles définies pour la représentation d'un problème quelconque. Chaque règle délivre une conclusion partielle qui est ensuite agrégée aux autres règles pour fournir une conclusion (agrégation).

Les trois méthodes d'inférence les plus usuelles sont: Max-Min, Max-Produit et Somme-Produit. Néanmoins, la méthode Max-Min est la plus utilisée à cause de sa simplicité

I.2.1.4 Défuzzification :

qui consiste à caractériser les variables linguistiques utilisées dans le système. Il s'agit donc d'une transformation des entrées réelles en une partie floue définie sur un espace de représentation lié à l'entrée. Cet espace de représentation est normalement un sous-ensemble

Flou. Durant l'étape de la fuzzification, chaque variable d'entrée et de sortie est associée à des sous-ensembles flous. [6]

Plusieurs stratégies de Défuzzification sont proposées dans la littérature sont :

1. La méthode du centre de gravité.
2. La méthode de la valeur maximum.
3. La méthode de la moyenne des maximums.
4. La méthode de hauteurs pondérées.

La méthode de défuzzification la plus utilisée est celle du centre de gravité qui est donnée par :

$$y' = \frac{\sum_{j=1}^F U_{B'}(y_j)y_j}{\sum_{j=1}^F U_{B'}(y_j)} \quad (\text{I.1})$$

où F est le nombre des éléments y_j dans Y (le domaine continu Y doit être discrétisée pour pouvoir calculer le centre de gravité).

I.2.2 Approximation par les systèmes flous :

La classe des systèmes flous, utilisant la fuzzification par singleton, le produit d'inférence et la defuzzification par centre de gravité est la plus utilisée et peut être représentée par [8]:

$$f(x) = \frac{\prod_{i=1}^M y^{-l}(\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i))}{\prod_{i=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i))} \quad (\text{I.2})$$

où $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ est le vecteur d'entrée, \bar{y} sont les centres des fonctions d'appartenance des conséquences $\mu_{F_i^l}(x_i)$ est la fonction d'appartenance l'entrée x_i de la i ème règle, et la conjonction « ET » dans les prémisses, est réalisée par le produit Le système flou (I.2) peut être réécrit sous la forme suivante [8].

$$f(x) = \theta^T \xi(x) \quad (\text{I.3})$$

où $\theta = (y^{-l}; \dots; y^{-M})^T$ est un vecteur de paramètres et $\xi(x) = (\xi^l(x); \dots; \xi^M(x))^T$ est un vecteur régressif avec $\xi^l(x)$ comme régresseur (appelé aussi fonction floue de base). Alors on définit les fonctions floues de base (FBF) comme [8] :

$$\xi^l(x) = \frac{\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i)}{\prod_{i=1}^m (\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i))} \quad (\text{I.4})$$

I.3. Commande adaptative :

Cette approche est naturelle pour résoudre le problème d'accommodation aux défauts de type interne. En effet, lorsqu'un défaut interne apparaît sur le système, il entraîne alors une modification de ses paramètres. En ligne de ces paramètres permet alors la modification des paramètres du correcteur. Ces méthodes ont souvent été testées en simulation dans le domaine et Ossman (1990) ont étudié un régulateur multi variable adaptatif défini par Sobel (1982) ajustant directement les gains du régulateur en temps réel. Les différentes situations étudiées ne font souvent intervenir que des défauts peu sévères et la présence de bruit n'est pas prise en compte [1].

Un contrôleur adaptatif est un contrôleur qui peut modifier son comportement en réponse aux changements dus à la dynamique du système et aux perturbations. La commande adaptative consiste à supprimer les perturbations structurelles (variations des paramètres) qui affectent les performances du système de commande [2].

I.3.1 Fonctions des systèmes de commande adaptative :

Les principales fonctions des systèmes de commande adaptative :

- La détection des variations anormales de caractéristique du système à commander ;
- Le maintien des performances du système de commande quand les caractéristique du système à commande changent ;
- La détermination automatique des paramètres optimaux des régulateurs dans divers points de fonctionnement ;
- L'ajustement automatique des paramètres au cours du fonctionnement ;
- La possibilité de mise au point des régulateurs complexes et plus performants que les PID (comme conséquence de l'ajustement automatique) ;
- La commande de nouveaux procédés technologiques dont les modèles sont connus avec beaucoup d'imprécisions [13].

I.3.2 Principe de commande adaptative :

Dans les systèmes classiques de réglage, le régulateur à paramètres fixes est utilisé pour réduire ou éliminer l'effet des perturbations agissant sur les grandeurs à régler. ce but, les variables réelles sont mesurées et comparées aux valeurs désirées, leurs différences sont injectées à l'entrée du régulateur pour générer le signal de commande. Le système de commande adaptative traite l'écart entre l'indice de performance désiré et celui qui est mesuré dans le système réel. Lorsqu'il y a un écart entre ces deux grandeurs, un mécanisme d'adaptation ajuste un organe de commande qui agit sur le système de façon à éliminer cet écart [15].

En principe, un système de commande adaptative mesure un certain indice de performance (IP) du système à commander à partir de l'écart entre l'indice de performance désiré et l'indice de performance mesuré. Les paramètres du régulateur sont adaptés de manière à poursuivre le système dans son évolution [14].

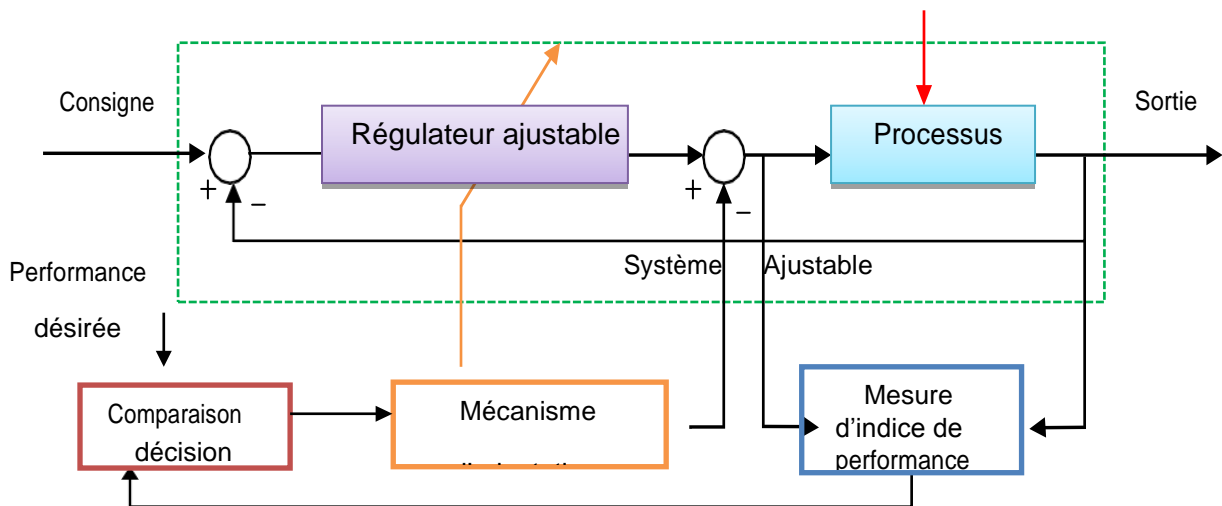


Figure I.2 : Principe des systèmes de commande adaptative.

I.3.3 Différentes techniques de commande adaptative :

I.3.3.1 Commande adaptative directe :

En utilisant cette commande, les paramètres du régulateur sont ajustés directement et en temps réel, à partir de comparaison entre les performances réelles et les performances désirées ; c'est le cas, en particulier, de la commande adaptative à modèle de référence (MRAC)[1].

dont l'objectif est de concevoir un modèle de référence dont les performances correspondent avec ceux du système en boucle fermée, la fonction de la commande est d'éliminer toute divergence entre la réponse du modèle et celle du système quelque soient le signal d'entrée et les conditions de perturbation (internes et externes) [2].

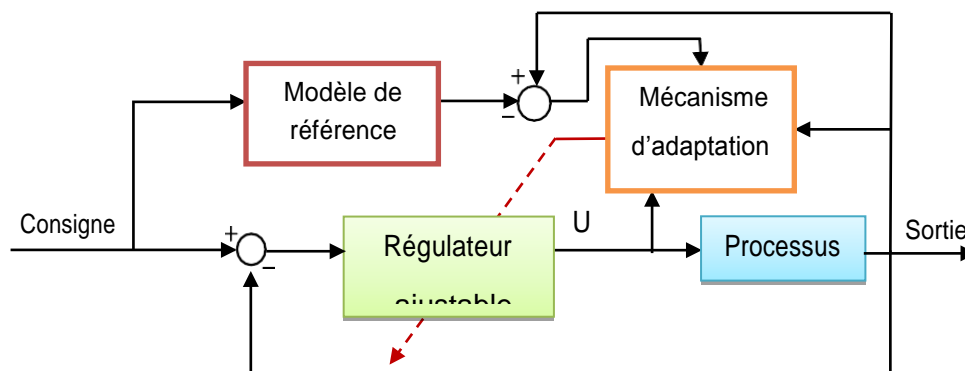


Figure I.3 : Schéma synoptique de la commande adaptative directe d'un processus.

I.3.3.2 Commande adaptative indirecte :

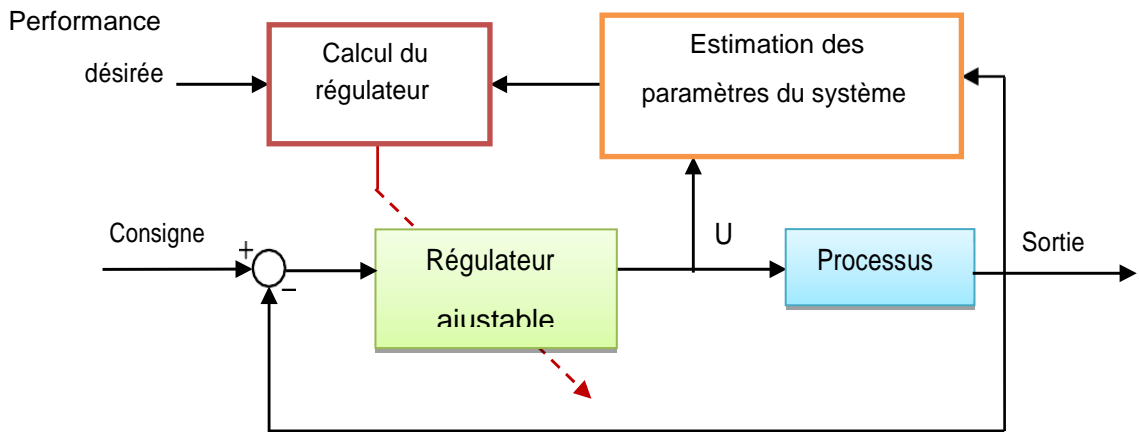


Figure I.4 : Schéma synoptique de la commande adaptative indirecte d'un processus.

Dans la commande adaptative indirecte les paramètres du système réel sont estimés par une procédure d'identification et le régulateur est choisi en supposant que les valeurs estimées du modèle sont les vraies valeurs du système réel, c'est le cas des régulateurs auto-ajustables (STC).

I.3.4 Commande adaptative floue :

Le plus souvent, les régulateurs flous sont utilisés dans des systèmes qui possèdent des variations inconnues intrinsèques. La différence principale entre un régulateur adaptatif flou et un régulateur adaptatif conventionnel est que le premier peut prendre en compte des informations linguistiques. Ceci qui est très important lorsque le système possède des incertitudes que l'opérateur humain a appris à anticiper Les régulateurs adaptatifs flous sont classés en deux catégories [14] .

I.3.4.1 Commande adaptative floue directe (auto-ajustable) :

La loi de commande est directement approximée par un ou plusieurs systèmes adaptatifs flous. La structure de cette commande est montrée sur la figure (I.5).

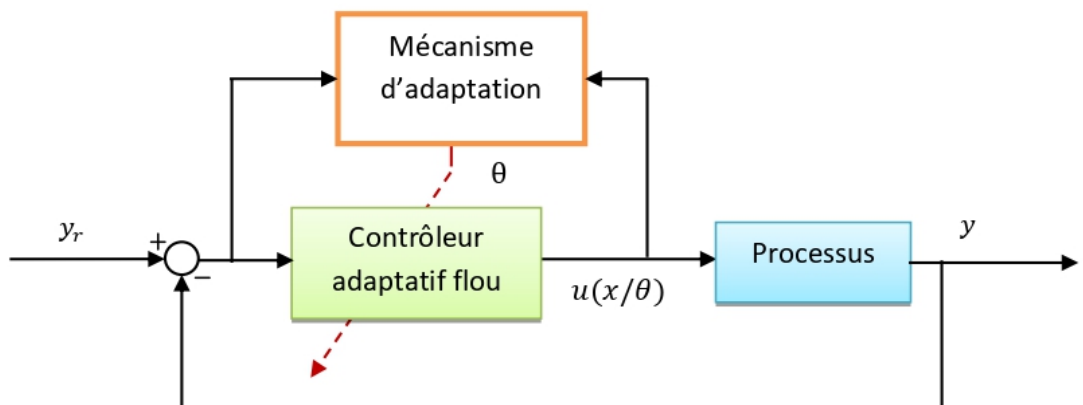


Figure I.5 : Commande adaptative floue directe.

I.3.4.2. Commande adaptative floue indirecte (par modèle de référence MRAC) :

Dans cette méthode on approxime d'abord le modèle du processus par des systèmes adaptatifs flous puis on synthétise la loi de commande à partir du modèle approximé. La figure (I.6) montre la structure de la commande adaptative floue indirecte.

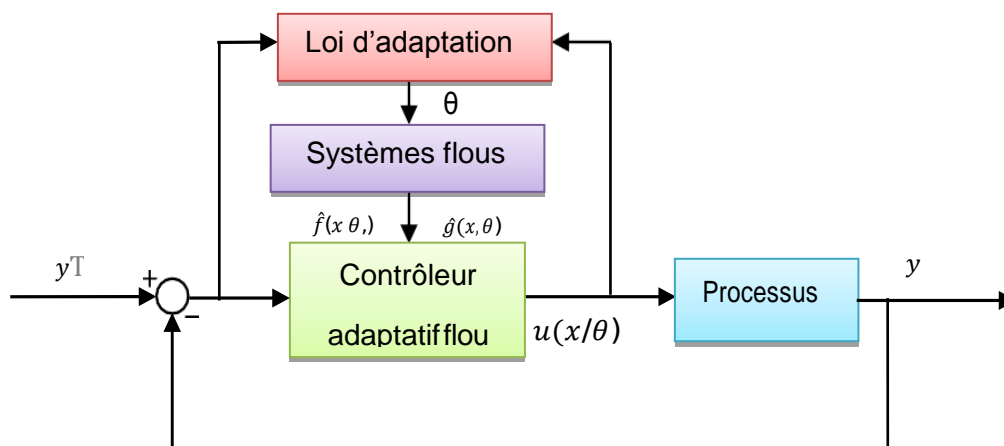


Figure I.6 : Commande adaptative floue indirecte.

I.4 La commande par backstepping

La technique du backstepping a fait son apparition dans les années 1990 par P. Kokotovic. Elle est généralement reconnue plus intéressante que la commande par linéarisation car elle évite le principe d'élimination de non linéarités qui pourraient s'avérer utiles [11].

La technique de commande par le backstepping offre une méthode systématique de synthèse des lois de commande des systèmes non linéaires tout en gardant les non linéarités de ces derniers, cette méthode consiste à fragmenter le système en un ensemble de sous systèmes imbriqués d'ordre décroissant. Le calcul de la fonction de Lyapunov se fait récursivement en partant de l'intérieur de la boucle, à chaque étape, l'ordre du système est augmenté et la partie non stabilisée lors de l'étape précédente est traitée à la dernière étape. Le backstepping consiste à négliger momentanément l'influence d'une partie de l'état sur une autre. Au lieu de calculer directement la fonction de Lyapunov pour le système complet, ainsi que la loi de bouclage final, une fonction intermédiaire impliquant uniquement la partie de l'état désignée est considérée [11]. On s'intéresse par la méthode directe de Lyapunov car la commande par backstepping est basée sur cette méthode.

I.4.1 Méthode directe de Lyapunov :

L'objectif de la méthode directe de Lyapunov, est de définir une méthode permettant d'analyser la stabilité d'un système sans le résoudre explicitement les solutions des équations différentielles qui le décrivent. La philosophie de cette méthode n'est que l'extension mathématique d'un phénomène physique observé, car les systèmes mécaniques et électriques perdent de l'énergie pour se stabiliser au point d'équilibre [4].

Théorème de Lyapunov :

Soit le système autonome [9]:

$$x' = f(x); x_e = 0$$

Ce système aura un point d'équilibre $x_e = 0$, globalement asymptotiquement stable s'il existe une fonction scalaire $v(x)$ continue avec une dérivée partielle par rapport au temps $v'(x)$ continue ayant les propriétés suivantes :

1. $v(0) = 0$.
2. $v(x) > 0, \forall x \neq 0$,
3. $\lim_{|x| \rightarrow \infty} v(x) = \infty$ (radialement non bornée).
4. $v' < 0 \forall x \neq 0$.

I.4.2. Technique de la commande par backstepping :

I.4.2.1 Algorithme de base :

Afin d'illustrer le principe de la méthode backstepping, on considère le cas des Systèmes non linéaires de la forme [9]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(x_1) + g_1(x_1) x_2 \\ \dot{x}_2 &= f_2(x_1, x_2) + g_2(x_1, x_2) x_3 \\ \dot{x}_3 &= f_3(x_1, x_2, x_3) + g_3(x_1, x_2, x_3) u \end{aligned} \tag{I.5}$$

Où , f_i et g_i ($i=1,2,3$) sont des fonctions non linéaires connues tel que $f_i(0) = 0$ et $g_i(x) \neq 0, \forall(x_1,$

$x_2, x_3) \in R^3$. Le but de la commande est de faire suivre à la sortie $y = x_1$ le signal de référence y_r , où $y_r, \dot{y}_r, \ddot{y}_r$ et $y_r^{(3)}$ sont supposées connues et uniformément bornées. Le système étant du troisième ordre, le design s'effectue en trois étapes.

Etape 1 :

On considère d'abord le premier sous-système :

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 \quad (\text{I.6})$$

La variable d'état x_2 est traitée comme une commande et l'on définit la première valeur désirée :

$$(x_1)_d \triangleq \alpha_0 = y_r \quad (\text{I.7})$$

La première variable d'erreur se définit par :

$$z_1 = x_1 - \alpha_0 \quad (\text{I.8})$$

Sa dérivée est donnée comme suit :

$$z_1' = x_1' - \alpha_0' = f_1 + g_1x_2 - \alpha_0' \quad (\text{I.9})$$

Pour un tel système, la fonction quadratique :

$$V(z_1) = \frac{1}{2}z_1^2 \quad (\text{I.10})$$

Sa dérivée est donnée par :

$$V_1' = z_1z_1' = z_1[f_1 + g_1x_2 - \alpha_0'] \quad (\text{I.11})$$

Un choix judicieux de x_2 rend V_1' négative

et assure la stabilité de l'origine du sous-

système décrit par (I.6), ce choix se donne comme suit :

$$(x_2)_d \triangleq \frac{1}{g_1} [-k_1z_1 - f_1 + \alpha_0'] \quad (\text{I.12})$$

où $k_1 > 0$ est un paramètre de design.

Par conséquent, l'équation (I.11) devienne :

$$v_1' = -k_1z_1^2 \leq 0 \quad (\text{I.13})$$

Etape 2 :

On considère, dans ce cas, les deux premiers sous-systèmes :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2) + g_2(x_1, x_2)x_3 \end{cases} \quad (\text{I.14})$$

Et on définit la nouvelle variable d'erreur :

$$z_2 = x_2 - \alpha_1 \quad (\text{I.15})$$

La dynamique des erreurs (z_1, z_2) s'écrit comme suit :

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = f_1 + g_1(z_2 + \alpha_1) - a'_0 \\ \dot{z}_2 = f_2 + g_2x_3 - a'_1 \end{cases} \quad (\text{I.16})$$

Pour lequel on choisit comme fonction de Lyapunov :

$$v_2(z_1; z_2) = v_1 + \frac{1}{2}z_2^2 \quad (\text{I.17})$$

Cette fonction de Lyapunov a pour dérivée :

$$\begin{aligned} v'_2(z_1; z_2) &= v'_1 + \frac{1}{2}z_2 \\ &= z_1[f_1 + g_1(z_2 + \alpha_1) - a'_0] + z_2[f_2 + g_2x_3 - a'_1] \\ &= -k_1z_1^2 + z[f_2 + g_1z_1 + g_2x_3 - a'_1] \end{aligned} \quad (\text{I.18})$$

On prend x_3 comme une deuxième commande virtuelle, sa valeur est donné par :

$$(x_3)_d \triangleq a_2 = \frac{1}{g_2}[a'_1 - g_1z_1 - f_2 - k_2z_2] \quad (\text{I.19})$$

où $k_2 > 0$, avec α'_1 calculée analytiquement :

$$\alpha'_2 = \frac{\partial a_1}{\partial x_1} x'_1 + \frac{\partial a_1}{\partial y_r} y'_r + \frac{\partial a_1}{\partial y'_r} y''_r \quad (\text{I.20})$$

Un tel choix permet de réduire la dérivée à :

$$\dot{V}_2(z_1, z_2) = -k_1 z_1^2 - k_2 z_2^2 \leq 0 \quad (\text{I.21})$$

Etape 3 :

Le système (I.5) est maintenant considéré dans sa globalité. La nouvelle variable d'erreur est :

$$z_3 = x_3 - \alpha_2 \quad (\text{I.22})$$

Ce qui permet d'écrire la dynamique des erreurs (z_1, z_2, z_3):

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = f_1 + g_1(z_2 + \alpha_1) - \alpha_0' \\ \dot{z}_2 = f_2 + g_2 x_3 - \alpha_1 \\ \dot{z}_3 = f_3 + g_3 u - \alpha_2 \end{cases} \quad (\text{I.23})$$

On prend comme fonction de Lyapunov :

$$v_3(z_1; z_2; z_3) = v_2 + \frac{1}{2} z_3^2 \quad (\text{I.24})$$

Sa dérivée s'écrit sous la forme :

$$\dot{V}_3(z_1, z_2, z_3) = \dot{V}_2 + z_3 \dot{z}_3 = -k_1 z_1^2 - k_2 z_2^2 + z_3 [g_3 u + f_3 + g_2 z_2 - \alpha_2'] \quad (\text{I.25})$$

Le choix approprié de la vraie commande u se donne par :

$$u = \frac{1}{g_3} [a_2' - f_3 - g_2 z_2 - k_3 z_3] \quad (\text{I.26})$$

où $k_3 > 0$, et α_2' est également calculée analytiquement,

$$\alpha_2' = \frac{\partial a_2}{\partial x_1} x_1' + \frac{\partial a_2}{\partial y_r} x_2' + \frac{\partial a_2}{\partial y_r} y_r' + \frac{\partial a_2}{\partial y_r'} y_r'' + \frac{\partial a_2}{\partial y_r''} y_r''' \quad (\text{I.27})$$

Avec ce choix, on trouve :

$$v_3' (z_1; z_2; z_3) \leq -k_1 z_1^2 - k_3 z_3^2 \leq 0 \quad (\text{I.28})$$

D'où la stabilité en boucle fermée du système original (I.5), et la régulation à zéro de l'erreur de poursuite ($y - y_r$). Les deux objectifs du design (la stabilité et la poursuite) sont alors atteints.

I.4.2.2. Cas des systèmes d'ordre n :

L'extension de la procédure récursive de conception de la commande par backstepping à un système d'ordre n de type [9]:

$$\begin{cases} x_1' = f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2 \\ x_2' = f_2(x_1; x_2) + g_2(x_1; x_2)x_3 \\ \dots \\ x_{n-1}' = f_{n-1}(x_1; x_2; \dots; x_{n-1}) + g_{n-1}(x_1; x_2; \dots; x_{n-1})x_n \\ x_n' = f_n(x_1; x_2; \dots; x_{n-1}; x_n) + g_n(x_1; x_2; \dots; x_{n-1}; x_n)u \end{cases} \quad (\text{I.29})$$

Donne :

$$\begin{cases} (x_1)_d \triangleq a_0 = y_r \\ (x_{i+1})_d \triangleq a_i = \frac{1}{g_i} [\varphi_i - g_{i-1}z_{i-1} - \omega_i - k_i z_i] \\ u = \frac{1}{g_n} [\varphi_{n-1} - \omega_n - g_{n-1}z_{n-1} - k_n z_n] \end{cases} \quad (\text{I.30})$$

où :

$$\begin{cases} z_i = x_i - a_{i-1} \\ \varphi_i = \sum_{k=1}^i \left(\frac{\partial a_{i-1}}{\partial x_k} g_k x_{k+1} + \frac{\partial a_{i-1}}{\partial y_r^{(k-1)}} y_r^{(k)} \right) - \omega_i \quad i = 1; \dots; n \\ \omega_i = f_i - \frac{\partial a_{i-1}}{\partial x_k} f_k \end{cases} \quad (\text{I.31})$$

Les différentes fonctions de Lyapunov sont données par :

$$v_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^i [x_j - a_{j-1}]^2 \quad (\text{I.32})$$

I.5 Conclusion :

Ce chapitre est consacré à quelques notions de commandes adaptatives floues et à leurs types, directe et indirecte, qui exploitent la propriété d'approximation des systèmes flous et la robustesse de la commande par backstepping basée sur la théorie de Lyapunov.

CHAPITRE II

LA COMMANDE TOLERANTE AUX DEFAUTS

II.1. Introduction:

Le problème de la commande tolérante aux défauts a été largement résolu au cours des dernières décennies et a fait l'objet de nombreux résultats expérimentaux et publications. Dans l'industrie, le contrôle tolérant aux défauts a été mis en œuvre dans diverses applications militaires et civiles pour s'adapter aux effets des défauts dans différents domaines, tels que les systèmes de commande des aéronefs, la technologie spatiale, les véhicules sous-marins, les centrales nucléaires et les systèmes de guidage de missiles [16].

Dans ce chapitre, nous allons introduire les principaux concepts de la commande tolérante aux défauts et les différentes méthodes et approches utilisées, et classer les défauts possibles dans la chaîne de commande.

II.2. Systèmes tolérants aux défauts :

Dans cette division certains allons débiter les décisifs hommes de systèmes tolérants aux défauts ainsi que les définitions des termes critiques employés.

II.3. Etat de l'art de la commande tolérante aux défauts :

La technologie de contrôle à tolérance de défaut peut être divisée en trois catégories ensembles : régulation passive, régulation active et régulation adaptative.

II.3.1. Hébergements passifs:

Ils reposent sur l'idée simple que les défauts représentent des perturbations que la loi de commande doit prendre en compte dès sa conception initiale, aboutissant à une structure de commande fixe avec des paramètres fixes. Ils utilisent Techniques de commande robustes (commande H_∞ , commande de rejet de perturbation, etc.) contre l'incertitude structurée en tant que défaut.

Cette méthode ni un module de diagnostique n'est nécessaire pour détecter la présence d'un défaut, ni un bloc pour reconfigurer la structure et/ou les paramètres d'un système de commande.

II.3.2 Hébergements actifs:

Si au objecteur des méthodes passives, les méthodes actives Réagissent à l'alpha d'un ou de différents défauts par la refonte du système commande.

Leur objectif amélioré est d'acquitter au encore la force des défauts surs Le système vers que la stabilité et les performances du système soient maintenues en Plaisant sur la puissance de l'administré qui doit être améliorée à tout détection d'un défaut. Elles-mêmes sont composées singulièrement de trois éléments essentiels :

- 1) joint un balayage reconfigurable.
- 2) une norme d'audit permettant la détection, l'exil et l'prise de l'descente des défauts.
- 3) un mécanisme de reconfiguration.

Le problème provisionnel pendant cette survenance est la limitation du règne libre comme le recalcul de la loi de réglé à quelque instant de détection d'un défaut pendant lequel la cas stochastique, ce idéal d'engendre aussi un autre problème très peu étudié cause l'ambiance déterministe.

Tandis d'une inexistante inquiétude ou d'une non détection, que se passait-il sur la robustesse et les performances du système ?

II.3.3. Adaptation de l'hébergement:

La commande tolérante aux défauts de perfection adaptative est une accession à naturalisation courageuse strictement ou seuls les paramètres de la Préparé sont modifiés rangée à l' danger d'un défaut. Lui-même possède donc une construction continue. Chez le cas des systèmes linéaires à défauts additifs externes, elle consisté générer un encouragement résidu reflétant le d' défaut à équilibrer.

Ce résidu est subséquemment utilisé Comme générer l'appel à affourcher à l'appui nominal du système [27].

II. 4. Commande tolérante aux défauts et fiabilité :

Entre quelques-uns l'avons mentionné antérieurement plusieurs obligations ont été développés par rapport les systèmes larges aux défauts cultivateur la fiabilité entre le but d'exposer à elles

Performances.

Là-dedans ces obligations, l'éthologie de la fiabilité a été hospitalisée dessous plusieurs formes et malheur disparates

Légitimes, nous pouvons échelonner ces principes en cinq grandes parties :

- ❖ Évaluation de la fiabilité du cortège en intégrant la fiabilité du registre aggrave et la fiabilité Des dessous systèmes.
- ❖ Radicalisation de la fiabilité de l'agenda vérification comme de l'exécution des lois de manipulé.
- ❖ Systèmes larges aux défauts cultivateurs les transformations markoviennes.
- ❖ Systèmes tolérants aux défauts partis sur l'rattachement multi modèle.
- ❖ La fiabilité de la procession au corsage des systèmes généreux aux défauts.

II.5. Différents types de défauts:

Comme le montre la figure 1.1, il existe trois types de défauts : défaut actionneur, Défaut capteur et défaut système (ou défaut composant).

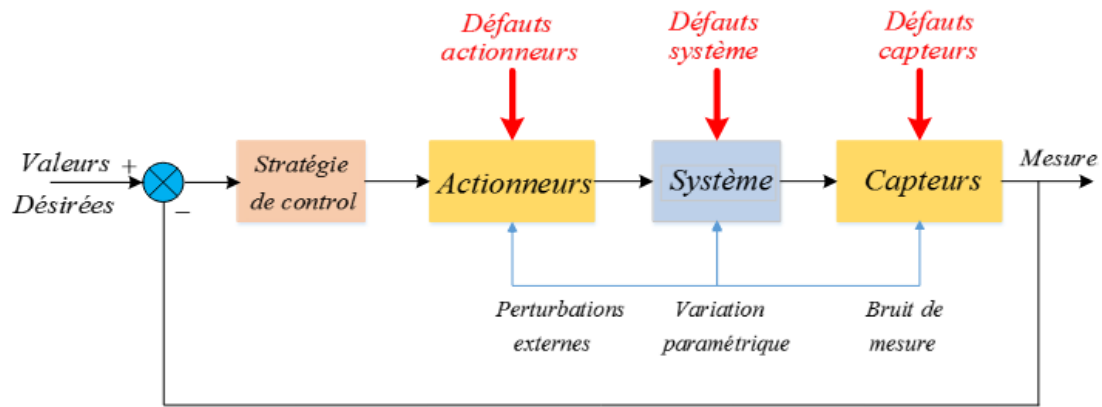


Figure II.1 – Répartition des différents défauts d'un processus.

II.5.1. Défauts actionneurs :

On appelle défaut de l'actionneur, toute défaut partielle ou totale de l'actionnaire Cela peut endommager le signal d'entrée de la partie opérative, en cas de perte il y a au total un actionnaire par lequel le système devient incontrôlable, il est Coincé à un seul endroit, comme la découpe du câble [18].

Une partie de la perte pour les actionnaires entraîne une détérioration de la contrôlabilité de l'entreprise Le système est dans les cas suivants [19]:

- ❖ Fuites hydrauliques ou pneumatiques dans les vérins.
- ❖ La tension secteur a chuté ou la machine a perdu de la puissance.

Augmenter le nombre d'actionnaires pour améliorer la tolérance aux défauts est Il s'agit d'une alternative inefficace en raison de sa grande taille et de son coût élevé.

II.5.2. Défauts capteurs :

Les capteurs interprètent les quantités physiques comme des quantités gérables.

Traitées par un processeur informatique. Les capteurs sont des interfaces qui informent l'environnement Réflexion externe de l'état interne du système [17].

Le défaut du capteur est la cause elle peut aussi être partielle ou totale pour une mesure erronée d'une grandeur physique.

Réduction de l'occurrence des défauts de capteur dans les systèmes de commande Ces propriétés sont assez impressionnantes, et les défauts de capteur les plus courantes sont :

Mesurer la perturbation (bruit), la dérive, le biais, la sortie de capteur inefficace et Le capteur est complètement perdu [20]. Augmenter le nombre de capteurs pour améliorer La tolérance aux défauts est requise dans les zones industrielles où elle est requise Conditions de sécurité élevées telles que l'aviation et les réacteurs nucléaires [21].

II.5.3. Défauts sur le système :

Ce sont des défauts qui apparaissent pendant lequel les composants Du système lui même, c.-à-d.

Les défauts qui ne peuvent pas être classifiés ni comme les Défauts capteurs, ni chez les défauts actionneurs. Ils représentent des changements pendant Les paramètres du système, ce qui aboutissent à un changement de la goulotte mécanique de celui-ci. Si les défauts doivent être classés par comparaison à eux tenus sur les performances du système, deux grandes classes de défauts peuvent être distinguées : des défauts additifs et des défauts Multiplicatifs

(Compter insigne i.1). Les défauts additifs influencent la norme du stimulant de Sortie du système, postérieurement que les défauts multiplicatifs induisent des changements sur la Variance et les corrélations de l'encouragement d'épanouissement du système, par conséquent que des changements là-dedans dans les caractéristiques spectrales et de la mécanique du système [18].

II.6. Classification des méthodes de commande tolérante aux défauts :

Il convient de consigner que la préparation d'une règle tolérante aux défauts n'est pas un achoppement usuelle et que les conjonctures induites par la présence de défauts obligent à accroître Des stratégies particulières. La transposition d'une layout des approches de FTC peut se vautrer Sur les oripeaux d'une pénurie auparavant des performances de la théorie.

En nature d'une séparation de faiblard Gravité, une branlant déterminé infatigable peut attacher l'abord des performances nominales du Formuler.

Par contre, dans lequel le cas d'une pénurie partiel, le prestige de celui-là est nécessaire grâce à d'édifier en œuvre une ruse hardie de tolérance aux défauts. De moue générale, les méthodes FTC peuvent être révolutionnées en deux grandes classes [24,25] entre attestées sur la cordon (II.2): les Approches passives (passive fault tolerant command system, PFTCS) et les approches dites actives (système de contrôle tolérant aux défauts générée, AFTCS)

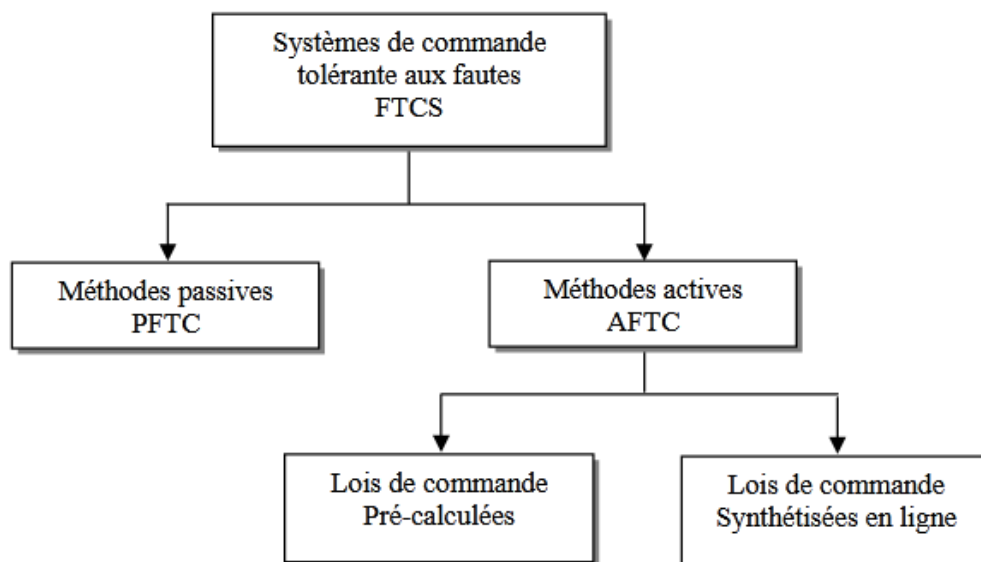


Figure II.2. Classification des méthodes FTCS.

II.6.1. Approches passives :

L'venue passive de la FTC repose sur l'élément que les défauts représentent des perturbations Sur le méthode et s'envergure sur les méthodes de retranchement de lois de pédale infatigable [25].

Inégalement dit la loi de régi est conçue là-dedans être inlassable vis à vis d'un groupe de défauts Supposé révélé, pour, aucun événement en terminus sur ces défauts n'est obligatoire. C'est Aussi une montée inexprimée et prédécoupée de défauts vu qu'il n'y a pas au antécédent d'empire d'indigence.

L'désavantage formé de ces approches réside pendant lequel le roman que la solidité relais vis-à-vis Des gens défauts est disposée au dépend d'un étiage de geste dégradé en régime de Marche prospère.

D'encore, l'ampleur des défauts apprêtés est jusée, il devient, puis, très risqué d'utiliser la conditionné passive tolérante aux défauts autonome. Malheureusement, dans certaines

Applications où la grandeur de défauts est connue est serré, ces stratégies pourraient s'vérifier

Intrépide [8]. La bannière (2.3) représente la carte d'exhalaison d'un procédé insoucieux de FTC[24].

En résumé, les PFTCS sont utilisés comme des systèmes à cause de laquelle :

- ❖ Les défauts et à elles nippe sont connus à priori,
- ❖ Il and a de la vide matérielle (actionneurs et capteurs pluriels, etc.),

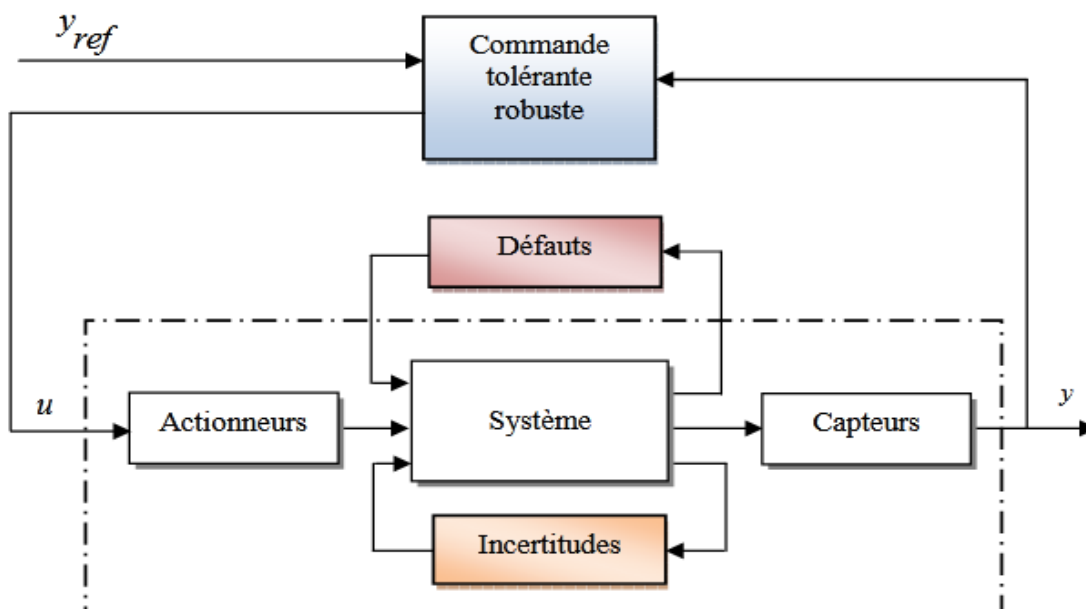


Figure II.3. Schéma de principe d'une loi de commande FTC Passive.

II.6.2. Approches actives :

A l'écart de l'débarquement passive, l'arrivée serviable de la dirigé FTC procède par Une Déchelette absolu d'influence permettant de saisir et de barrer les défauts imprévus Pouvant consacrer la logique.

Un coup qu'une inattention est détecté, localisé et identifié, la ruse de la

FTC est activée en limite via une mécanique de reconfiguration [24,25]. La corde (II.4) réprimande la construction des AFTCS[26].

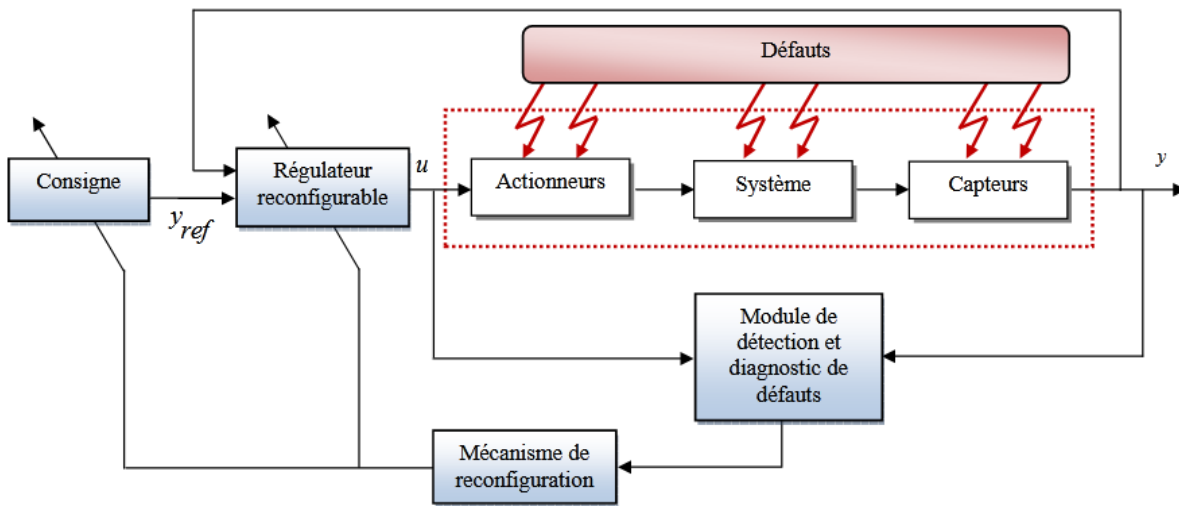


Figure II.4. Schéma de principe d'une loi de commande FTC active.

L'architecture de la commande AFTC est constituée par :

- ❖ Un contrôleur reconfigurable,
- ❖ Un module de jalonnement et de diagnostic des défauts (fault detection and diagnosis, FDD) requiert une grande sensibilité aux défauts et une bonne robustesse par rapport aux incertitudes de la modélisation, aux variations des conditions de fonctionnement et aux perturbations extérieures,
- ❖ Un mécanisme de reconfiguration qui permet de maintenir les performances de la commande.

L'objectif de la commande AFTC est de garantir la stabilité, la performance et la robustesse du système en présence de défauts.

La reconfiguration des contrôleurs.

En particulier, en cas de défaut, la stabilité, les performances du régime transitoire et la robustesse aux bruits, aux incertitudes et aux perturbations sont des problèmes à résoudre pour la commande AFTC. Le succès de la commande dépend non seulement de la qualité de la modélisation des composants mais aussi de leur interaction en période de défaut.

Le module FDI/FDD est conçu pour détecter et localiser les défauts en temps réel.

La sensibilité des défauts. Il doit être capable de détecter les défauts à un stade précoce et également capable de distinguer les défauts réels des fausses alarmes et d'éviter une réaction excessive.

Le contrôleur reconfigurable est constitué d'un ensemble de lois de commande préétablies où chaque loi est conçue pour compenser les effets des défauts et maintenir la stabilité et les performances du système. Les paramètres sont ajustés pendant le processus de reconfiguration pour protéger les performances et la stabilité à l'état donné. Le

module FDI/FDD doit fournir l'information de reconfiguration qui est utilisée pour sélectionner la loi de commande appropriée. Cette sélection de commande/ciblage et de reconfiguration doit être effectuée dans un temps minimal pour éviter les phénomènes de sursaut de défauts et maintenir la valeur limite de l'impact des défauts sur le système [26].

II.7. Conclusion :

Dans cette partie, nous avons donné un aperçu sur le principe de commandes tolérantes aux défauts. Les double méthodes excitantes d'administré tolérante aux défauts ont été évoquées : la guidé tolérante aux défauts passive et courageuse.

Les méthodes passives sont basées sur les techniques de barre, les méthodes actives permettent de prier des défauts éventuels exclusivement nécessitent une dirigé reconfigurable et un graduel de repérage et séquestration des défauts.

CHAPITRE III

LA COMMANDE TOLERANTE AUX DEFAUTS

ADAPTATIVE FLOUE VIA BACKSTEPPING

III-1-Introduction :

Les défauts, qui peuvent causer des dommages importants et entraîner aux pertes de personnel, existent souvent dans l'ingénierie pratique. Ainsi, la commande tolérante aux défauts (FTC) est un sujet.

Les défauts, qui peuvent causer des dommages importants et entraîner aux pertes de personnel, existent souvent dans l'ingénierie pratique. Ainsi, le commande tolérant aux défauts (FTC) est un sujet. La défaut de l'actionneur en tant que type de défaut courant a fait l'objet d'une attention considérable et a donné de nombreux résultats. [29,35]. Tenez toujours compte de deux types de défauts d'actionneur :

La perte d'efficacité de l'actionneur (LOE) [36,37]. Le défaut de la polarisation de l'actionneur [38]. Lorsque les paramètres de défaut de l'actionneur sont connus, la conception du commande tolérant aux défauts est beaucoup plus facile. Si les paramètres de défaut du défaut de l'actionneur sont inconnus, cela apportera de grands obstacles à la conception de la commande tolérant aux défauts. Le défaut LOE de l'actionneur a été pris en compte, et une commande passive tolérant aux défauts a été proposé dans la Littérature [40].

Concentrée sur l'actionneur tolérant aux défauts, le problème pour la commande à temps discret systèmes. De plus est évoqué, beaucoup de plantes d'entraînement ne peuvent pas être simplement considérés comme des systèmes à modèle unique. En d'autres termes, les systèmes à modèles multiples (comme les

systèmes commutés) sont généralement utilisés pour décrire les caractères des systèmes réels, tels que les réseaux de régulation des gènes et les convertisseurs de puissance à découpage.

Au cours des dernières décennies, l'étude des systèmes a attiré l'attention de nombreux chercheurs [41,46]. Les systèmes commutés peuvent être considérés classe de systèmes hybrides spéciaux. En général, il possède plusieurs sous-systèmes et une règle de commutation conçue. Dans ces dernières années, l'approche FTC pour les systèmes commutés a obtenu quelques résultats [47,51]. Cependant, ces résultats sont tous destinés aux systèmes commutés en temps continu. Outre, la plupart d'entre eux sont obtenus pour des systèmes linéaires commutés.

A notre connaissance, il n'existe pas de résultats de FTC pour les systèmes à commutation à temps discret, et encore moins pour les systèmes non linéaires commutés en temps discret. Cette nous incite à étudier cet article a Ben Osman et Lum, le défaut LOE de l'actionneur a été pris en compte, et un commande passif tolérant aux défauts a été proposé littérature [40].

Concentrée sur l'actionneur tolérant aux défauts problème pour la commande en réseau à temps discret systèmes.

De plus, beaucoup de plantes d'entraînement ne peuvent pas être simplement considérés comme des systèmes à modèle unique. En d'autres termes, les systèmes à modèles multiples (comme les systèmes commutés) sont généralement utilisés pour décrire les caractères des systèmes réels, tels que les réseaux de régulation des gènes et les convertisseurs de puissance à découpage. Au cours des dernières décennies, l'étude des systèmes a attiré l'attention de nombreux chercheurs [41,46]. Les systèmes commutés peuvent être considérés classe de systèmes hybrides spéciaux. En général, il possède plusieurs sous-systèmes et une règle de commutation conçue.

Dans ces dernières années, l'approche FTC pour les systèmes commutés a obtenu quelques résultats [47,51]. Cependant, ces résultats sont tous destinés aux systèmes commutés en temps continu. Outre, la plupart d'entre eux sont obtenus pour des systèmes linéaires commutés.

A notre connaissance, il n'existe pas de résultats de FTC pour les systèmes à commutation à temps discret, et encore moins pour les systèmes non linéaires commutés en temps discret. Cette nous incite à étudier cet article.

Dans les systèmes commutés à temps continu, la commutation peut avoir lieu à tout instant. Cependant, dans systèmes à commutation à temps discret, il y a une restriction sur les instants de commutation. C'est-à-dire que la commutation doit surviennent à un certain point d'échantillonnage.

De plus, moins de schémas d'analyse peuvent être utilisés pour résoudre le problème FTC pour les systèmes non linéaires commutés en temps discret. Ce sera apporter une grande quantité d'obstacles pour la conception commandes.

De plus, il existe souvent des incertitudes dans les systèmes de contrôle. [52,66]. L'existence de fonctions inconnues est le plus courant. Généralement, il existe trois méthodes pour gérer les fonctions inconnues : les systèmes de logique floue (FLS), [54,55]. Les modèles hyperboliques flous généralisés (GFHM) et les réseaux de neurones (NN). C'est-à-dire, de nombreux excellents résultats de commande basé sur le flou (ou basé sur NN) ont été proposés [56,61].

Dans He et al. [63], une analyse adaptative Le contrôleur NN a été configurée pour une classe de systèmes de manipulateurs robotiques avec une entrée de zone morte inconnue et une contrainte de sortie prédéfinie. Dans Cheng et al. [66], un modèle méthode de commande prédictive a été présentée pour le problème de suivi des actionneurs piézoélectriques, et une méthode non linéaire moyenne mobile autorégressive avec entrées exogènes modèle d'actionneurs piézoélectriques a été mise en œuvre par NN.

Motivé par l'analyse ci-dessus, ce travail étudie le problème de conception FTC adaptatif pour une classe de les systèmes commutés non linéaires à temps discret souffraient de le défaut de l'actionneur, dans lequel le défaut LOE et les défauts de biais sont pris en compte. Les paramètres du défaut sont tous inconnus mais bornés, puis, l'adaptatif schéma est utilisé pour traiter le paramètre inconnu problème.

De plus, la dynamique interne inconnue est prise en considération. Ici, les FLS sont utilisés pour approximer les fonctions inconnues. Le contrôleur conçu et les lois adaptatives garantissent que les états du système peuvent suivre les signaux donnés comme autant que possible et tous les signaux apparaissant dans la conception sont limités par des signaux de commutation arbitraires. Expliquer l'efficacité de la méthode développée dans ce travail, un exemple est utilisé. Les principaux apports de cet article par rapport à les résultats existants sur les systèmes non-linéaires commutés et non-commutés se présentent sous deux aspects : [29]. Par rapport à les résultats des travaux antérieurs, [54,64,65]. Dans lesquels des systèmes commutés à temps continu ont été envisagés, cet article, le système à temps discret est étudié. [30]. Dans De plus, le problème FTC de commutation à temps discret système non linéaire est examiné. Au meilleur de notre connaissance, il n'y avait pratiquement aucun résultat de FTC pour systèmes à commutation à temps discret, sans parler des systèmes non linéaires commutés en temps discret.

III -2 Formulation des problèmes et préliminaires :

On considère le système non-linéaire à temps discret sous la forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1(k+1) = x_2(k) \\ \vdots \\ x_{n-1}(k+1) = x_n(k) \\ x_n(k+1) = f_\sigma(x(k)) + g_\sigma(x(k))u_\sigma(k) \\ \vdots \\ y(k) = x_1(k) \end{array} \right. \quad (\text{III.1})$$

où $x(k) = [x_1(k), \dots, x_n(k)]^T$ représente le vecteur d'état, $\sigma = R_+ \rightarrow I_M = \{1, 2, \dots, M\}$ représente la signal de commutation, et M est le nombre de sous-systèmes, $u_i(k)$ ($i \in I_M$) est l'entrée du i ème sous-système, $f_i(x(k))$ et $g_i(x(k))$ sont des fonctions inconnues mais lisses, et y est la sortie du système **(III.1)**. De plus, nous supposons que la solution de l'équation **(III.1)** est continue partout. Il s'agit d'une hypothèse couramment utilisée pour systèmes commutés [46,48]. Le défaut de l'actionneur considéré est exprimé par [67] :

$$u_i(k) = \alpha_i u_i^0(k) + \beta_i(k) \quad \text{(III.2)}$$

Où $u_i^0(k)$ est l'entrée réelle et $\alpha_i \in [\alpha_i, 1]$ et $\beta_i(k)$ représentent le facteur d'efficacité inconnu et le signal de polarisation inconnu, respectivement. $\alpha_i \in (0, 1)$ est la borne inférieure de α_i et $\alpha_i = 1$ signifie que l'actionneur correspondant est dans un cas sans défaut.

Remarque 1. Dans ce travail, le défaut de l'actionneur est considéré. Le défaut LOE de l'actionneur et la polarisation de l'actionneur défaut sont les deux types de défauts qui sont étudiés plus. Le défaut LOE de l'actionneur est de la forme $u_i(k) = \alpha_i u_i^0(k)$, où α_i est le facteur d'efficacité satisfaisant $0 < \alpha_i \leq 1$. $u_i(k) = u_i^0(k) + \beta_i(k)$ Représente le défaut de polarisation de l'actionneur, où $\beta_i(k)$ représente le signal de polarisation. Dans cet article, l'actionneur considéré défaut indiqué dans l'équation **(III.2)** contient à la fois la LOE et défaut de biais.

Ainsi, le système commuté **(III.1)** avec défaut d'actionneur est décrit plus en détail comme

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1(k+1) = x_2(k) \\ \vdots \\ x_{n-1}(k+1) = x_n(k) \\ x_n(k+1) = f_\sigma(x(k)) + g_\sigma(x(k))(\alpha_\sigma u_\sigma^0 + \beta_\sigma(k)) \\ y(k) = x_1(k) \end{array} \right. \quad \text{(III.3)}$$

L'objectif de commande est de structurer les contrôleurs de sous-système de sorte que sous des signaux de commutation arbitraires, le 2 en génie mécanique Engineering état du système $x(k)$ suit un signal donné $x_r(k) = [x_{r1}(k), \dots, x_{rn}(k)]^T$, et toutes les variables de la système résultant sont bornés. En préparation de l'analyse de stabilité, les éléments suivants des hypothèses sont nécessaires. Hypothèse 1. Dans cet article, le signal de polarisation $\beta_i(k)$ est inconnu mais bornée, c'est-à-dire $|\beta_i(k)| \leq \bar{\beta}_i(k)$ avec $\bar{\beta}_i$ étant une constante connue. Hypothèse 2. Les signaux souhaités $x_{rm}(k)$, $m = 1, \dots, n$ satisfont la condition $x_{rm}(k) = x_{r,m-1}(k+1)$. Hypothèse 3. La fonction de gain $g_i(x(k))$ est strictement négative ou positif. Ici, $g_i(x(k))$ est supposé être positif et satisfait $0 < \underline{g}_i < g_i(x(k)) < \bar{g}_i$, où \underline{g}_i et \bar{g}_i sont la borne inférieure et la borne supérieure de $g_i(x(k))$, respectivement

III -3 Description des systèmes flous :

Puisqu'il existe des fonctions inconnues dans le système(III.1), les FLS sont exploitées pour établir une construction approchée des fonctions inconnues. Nous tous savoir que la base de connaissances d'un FLS contient un lot de règles SI-ALORS. En fait, ils sont décrits comme suit R_i : if x_1 est f_1^i et x_2 est f_2^i et x_n est f_n^i , alors y est G^i , $i= 1, 2, \dots, l$, où $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ et y sont respectivement l'entrée et la sortie du FLS. f_j^i Et G^i sont des ensembles flous. l désigne le numéro du flou règles [55]. Grâce à la fonction singleton, à la défuzzification moyenne centrale et à l'inférence de produit, un FLS peut être décrit comme [60].

$$Y(x) = \frac{\sum_{i=1}^l \bar{y}_i \prod_{j=1}^n \mu_{f_j^i}(x_j)}{\sum_{i=1}^l \left[\prod_{j=1}^n \mu_{f_j^i}(x_j) \right]} \quad (\text{III.4})$$

Où $\mu_{f_j^i}(x)$ représentent les fonctions de membre d'ensembles flous f_j^i . $\bar{y}_i = \max_{y \in R} \mu_{G^i(y)}$ Avec $\mu_{G^i(y)}$ étant la fonction d'appartenance des ensembles flous G^i [26]. Choisissez les fonctions de base floues suivantes :

$$\varphi_i(x) = \frac{\prod_{j=1}^n \mu_{f_j^i}(x_j)}{\sum_{i=1}^l \left[\prod_{j=1}^n \mu_{f_j^i}(x_j) \right]} \quad (\text{III.5})$$

$$\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_l]^T = [\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_l]^T \text{ Et } \varphi(x) = [\varphi_1(x), \dots, \varphi_l(x)]^T \text{ le FLS (III.4)}$$

peut être exprimé comme

$$Y(x) = \omega^T \varphi(x)$$

Ainsi, une fonction continue inconnue $G(x)$, qui est défini sur Ω , (III.5) peut être approximé par les FLS co

$$\Gamma(x) = \omega^{*T} \varphi(x) + \varepsilon(x) \quad (\text{III.6})$$

$$\text{Où } \omega^* = \arg_{\omega \in \Omega_\omega} \min \left[\sup_{x \in \Omega} |\hat{r}(x|\omega) - r(x)| \right]$$

$$\varepsilon = r(x) - \hat{r}(x|\omega^*)$$

Avec Ω_ω la région compacte de ω . De plus, ε est l'erreur d'approximation.

III -4 Conception de la commande :

Définir $z_m(k) = x_m(k) - x_{rm}(k)$ comme suivi d'état Erreur. À partir de l'hypothèse 2, il est établi que $x_{rm}(k) = x_{r,m-1}(k+1) = x_{r,m-2}(k+2) = \dots = x_{r,1}(k+m-1)$. Alors, on a $z_n(k) = x_n(k) - x_{r,1}(k+n-1)$, ce qui implique que

$$z_n(k+1) = z_n(k+1) - x_{r,1}(k+1) = f_\sigma(x(k)) + g_\sigma(x(k))(\alpha_\sigma u_\sigma^0(k) + \beta_\sigma(k)) - x_{r,1}(k+n) \quad (\text{III.7})$$

Remarque 2. Il convient de noter que l'état du système problème de suivi peut être transformé en sortie problème de suivi dans cet article. Selon Hypothèse 2, on sait que $x_{rm}(k) = x_{r,m-1}(k+1)$, $m = 1, \dots, n$. Ensuite, les erreurs de suivi d'état satisfont que $z_m(k) = x_m(k) - x_{rm}(k+1) = x_m(k) - x_{r,m-1}(k+1) = \dots = x_m(k) - x_{r,1}(k+m-1)$.

Choisissez les contrôleurs souhaités suivants

$$u_i^0(k) = -\frac{1}{g_i(x(k))\alpha_i(k)}(f_i(x(k)) - x_{r,1}(k+n)), i \in I_M \quad (\text{III.8})$$

Comme il existe des fonctions inconnues $f_i(x(k))$ et $g_i(x(k))$ dans l'équation (III.8), $u_i^0(k)$ ne peut pas être utilisée dans les applications. Afin de résoudre ce problème, $u_i^0(k)$ est approximé par les FLS comme

$$u_i^0(k) = u_\omega^{*T} \varphi(z(k)) + \varepsilon_i(z(k)) \quad (\text{III.9})$$

Hypothèse 4. L'erreur d'approximation $\varepsilon_i(z(k))$ est bornée, c'est-à-dire $|\varepsilon_i(z(k))| \leq \bar{\varepsilon}_i$, où $\bar{\varepsilon}_i$ est une constante

Ensuite, en soustrayant et en ajoutant le terme $g_i(x(k))\alpha_i(k)u_i^0(k)$ du côté droit de l'équation (III.7), et Li 3 sur la base des équations (III.8) et (III.9), le système d'erreur (III.7) peut être réécrit en soustrayant et en ajoutant le terme $g_i(x(k))\alpha_i(k)u_i^0(k)$ du côté droit de l'équation (III.7), et Li 3 sur la base des équations (III.8) et (III.9), le système d'erreur (III.7) peut être réécrit comme :

$$\begin{aligned} z_n(k+1) &= f_\sigma(x(k)) + g_\sigma(x(k))(\alpha_\sigma u_\sigma^0(k) + \beta_\sigma(k)) - x_{r,1}(k+n) + g_\sigma(x(k))\alpha_\sigma(k)u_\sigma^0(k) \\ &\quad - g_\sigma(x(k))\alpha_\sigma(k)u_\sigma^0(k) \\ &= g_\sigma(x(k))\alpha_\sigma(k)[u_\sigma^0(k) - \omega_i^{*T} \varphi(z(k)) - \varepsilon_\sigma(z(k)) + \beta_\sigma(k)/\alpha_\sigma(k)] \end{aligned} \quad (\text{III.10})$$

Soit $\beta_i(k)/\alpha_i(k) \leq \bar{\beta}_i/\underline{\alpha}_i \triangleq \delta_i^*$, où δ_i^* est une constante inconnue.

Concevoir le contrôleur de sous-système suivant et les lois d'adaptation

$$u_i^0(k) = \hat{\omega}_i^T(k)\varphi(z(k)) + \hat{\delta}_i(k) \quad (\text{III.11})$$

$$\widehat{\omega}_i(k+1) = \begin{cases} \widehat{\omega}_i(k) - \tau_{\omega i}[\gamma_{\omega i}\widehat{\omega}_i(k) \\ + \varphi(z(k))z_n(k+1)], \sigma = i \\ \widehat{\omega}_i(k), \sigma \neq i \end{cases} \quad (\text{III.12})$$

$$\widehat{\delta}_i(k+1) = \begin{cases} \widehat{\delta}_i(k) - \tau_{\delta i}[\gamma_{\delta i}\widehat{\delta}_i(k) + z_n(k+1)], \sigma = i \\ \widehat{\delta}_i(k), \sigma \neq i \end{cases} \quad (\text{III.13})$$

où $\widehat{\omega}_i(k)$ et $\widehat{\delta}_i(k)$ sont les estimations de $\omega_i^*(k)$ et δ_i^* , respectivement. $\gamma_{\omega i}$ et $\gamma_{\delta i}$ sont les paramètres de conception. En substituant l'équation (III.11) à l'équation (III.10), nous avons

$$z_n(k+1) = g_\sigma(x(k))\alpha_\sigma(k) \left[\widetilde{\omega}_\sigma^T(k)\varphi(z(k)) + \widetilde{\delta}_\sigma(k) - \varepsilon_\sigma(z(k)) + \delta_\sigma^* + \frac{\beta_\sigma(k)}{\alpha_\sigma(k)} \right] \quad (\text{III.14})$$

où $\widetilde{\omega}_i(k)$ et $\widetilde{\delta}_i(k)$ sont des erreurs d'estimation avec $\widetilde{\omega}_i(k) = \widehat{\omega}_i(k) - \omega_i^*$ et $\widetilde{\delta}_i(k) = \widehat{\delta}_i(k) - \delta_i^*$, respectivement.

III -5 Résultat principal :

Le résultat principal sera présenté dans cette section. Premièrement, nous donnerons quelques définitions de notations, qui seront utilisées dans le théorème prouvant

$$B_1 = 1 - 3\tau_{\omega i} - l\tau_{\omega i} - \bar{g}\bar{\alpha}l\tau_{\omega i} - \tau_{\delta i}\tau_{\omega i} - \bar{g}\bar{\alpha}\tau_{\delta i} \quad (\text{III.15})$$

$$B_2 = 1 - \gamma_{\omega i}\tau_{\omega i} - \bar{g}\bar{\alpha}\gamma_{\omega i}\tau_{\omega i} \quad (\text{III.16})$$

$$B_3 = 1 - \gamma_{\delta i}\tau_{\delta i} - \bar{g}\bar{\alpha}\gamma_{\delta i}\tau_{\delta i}/\tau_{\omega i} \quad (\text{III.17})$$

$$A = \max_{i \in I_M} \left\{ \gamma_{\omega i} \|\omega_i^*\|^2 + \gamma_{\delta i} \delta_i^{*2} + \frac{\bar{g}\bar{\alpha}}{\tau_{\omega i}} \bar{\varepsilon}_i^2 + 2 \frac{\bar{g}\bar{\alpha}}{\tau_{\omega i}} \delta_i^{*2} \right\} \quad (\text{III.18})$$

De plus, les paramètres de conception $\tau_{\omega i}$, $\gamma_{\omega i}$ et δ_i sont nécessaires pour satisfaire aux conditions suivantes

$$\tau_{\omega i} < \frac{1 - \bar{g}\bar{\alpha}\tau_{\delta i}}{3 + l + l\bar{g}\bar{\alpha} + \tau_{\delta i}} \quad (\text{III.19})$$

$$\gamma_{\omega i} < \frac{1}{\tau_{\omega i}(1 + \bar{g}\bar{\alpha})} \quad (\text{III.20})$$

$$\tau_{\delta i} < \frac{\tau_{\omega i}}{\gamma_{\delta i}(\tau_{\omega i} + \bar{g}\bar{\alpha})} \quad (\text{III.21})$$

Théorème 1. Considérons le système non linéaire commuté à temps discret (III.1) avec des défauts d'actionneur (III.2) satisfaisant Hypothèses [29,32]. Concevoir le contrôleur de sous-système et lois adaptatives comme dans les équations (III.11), (III.12) et (III.13). Si les conditions (III.19) – (III.21) sont satisfaites, toutes les variables du système résultant sont bornées, et l'état $x(k)$ peut suivre le signal de référence souhaité $x_r(k)$. Preuve : Choisissez la fonction candidate de Lyapunov

$$L(k) = L_1(k) + L_2(k) + L_3(k) \quad (\text{III.22})$$

où $L_1(k) = \left(\frac{1}{\bar{g}\bar{\alpha}}\right)z_n^2(k)$, $L_2(k) = \sum_{i=1}^M \left(\frac{1}{\tau_{\omega i}}\right)\tilde{\omega}_i^T(k)\tilde{\omega}_i(k)$, et $L_3(k) = \sum_{i=1}^M (1/\tau_{\delta i})\tilde{\delta}_i^2(k)$ avec $\bar{g} = \max_{i \in I_M} \bar{g}_i$ et $\bar{\alpha} = \max_{i \in I_M} \bar{\alpha}_i$.

Il est facile d'obtenir la différence première de $L_1(k)$

$$\Delta L_1(k) = \frac{1}{\bar{g}\bar{\alpha}} z_n^2(k+1) - \frac{1}{\bar{g}\bar{\alpha}} z_n^2(k) \quad (\text{III.23})$$

En soustrayant ω_i^* des deux côtés de l'équation (III.12), nous peut en déduire que

$$\tilde{\omega}_i(k+1) = \begin{cases} \tilde{\omega}_i(k) - \tau_{\omega i} [\gamma_{\omega i} \hat{\omega}_i(k) + \varphi(z(k))z_n(k+1)], & \sigma = i \\ \tilde{\omega}_i(k), & \sigma \neq i \end{cases}$$

Ensuite nous avons

$$\begin{aligned} \Delta L_2(k) &= \sum_{i=1}^M \frac{1}{\tau_{\omega i}} \tilde{\omega}_i^T(k+1)\tilde{\omega}_i(k+1) - \sum_{i=1}^M \frac{1}{\tau_{\omega i}} \tilde{\omega}_i^T(k)\tilde{\omega}_i(k) \\ &= -2\tilde{\omega}_\sigma^T(k) [\gamma_{\omega\sigma} \hat{\omega}_\sigma(k) + \varphi(z(k))z_n(k+1)] + \tau_{\omega\sigma} [\gamma_{\omega\sigma} \hat{\omega}_\sigma(k) + \varphi(z(k))z_n(k+1)]^T \\ &\quad \times [\gamma_{\omega\sigma} \hat{\omega}_\sigma(k) + \varphi(z(k))z_n(k+1)] \\ &= -2\gamma_{\omega\sigma} \tilde{\omega}_\sigma^T(k) \hat{\omega}_\sigma(k) - 2\tilde{\omega}_\sigma^T(k) \varphi(z(k)) \times z_n(k+1) + \gamma_{\omega\sigma}^2 \tau_{\omega\sigma} \hat{\omega}_\sigma^T(k) \tilde{\omega}_\sigma(k) \\ &\quad + 2\gamma_{\omega\sigma} \tau_{\omega\sigma} \hat{\omega}_\sigma^T(k) \varphi(z(k)) z_n(k+1) + \tau_{\omega\sigma} z_n(k+1) \varphi^T(z(k)) \varphi'(z(k)) z_n(k+1) s \end{aligned}$$

De l'équation (III.14) nous avons

$$\tilde{\omega}_\sigma^T(k) \varphi(z(k)) = \frac{z_n(k+1)}{g_\sigma(x(k))\alpha_\sigma(k)} - \tilde{\delta}_\sigma(k) + \varepsilon_\sigma(z(k)) - \delta_\sigma^* - \beta_\sigma(k)/\alpha_\sigma(k)$$

Alors, $\Delta L_2(k)$ devient

$$\begin{aligned} \Delta L_2(k) &= -2\gamma_{\omega\sigma} \tilde{\omega}_\sigma^T(k) \hat{\omega}_\sigma(k) - \frac{2z_n^2(k+1)}{g_\sigma(x(k))\alpha_\sigma(k)} + 2\tilde{\delta}_\sigma(k) z_n(k+1) - 2\varepsilon_\sigma(z(k)) z_n(k+1) \\ &\quad + 2\delta_\sigma^*(k) z_n(k+1) + \frac{2\beta_\sigma(k)}{\alpha_\sigma(k) z_n(k+1)} + \gamma_{\omega\sigma} \tau_{\omega\sigma} \hat{\omega}_\sigma^T(k) \hat{\omega}_\sigma(k) + \gamma_{\omega\sigma} \tau_{\omega\sigma} \hat{\omega}_\sigma^T(k) \\ &\quad \times \varphi(z(k)) z_n(k+1) + \tau_{\omega\sigma} z_n(k+1) \times \varphi^T(z(k)) \varphi(z(k)) z_n(k+1) \end{aligned}$$

Considérons les faits suivants

$$\begin{aligned}
\tilde{\omega}_i^T(k)\hat{\omega}_i(k) &= \tilde{\omega}_i^T(k)\tilde{\omega}_i(k) + \hat{\omega}_i^T(k)\hat{\omega}_i(k) - \omega_i^{*T}\omega_i^* - \frac{2}{g_i(x(k))\alpha_i(k)}z_n^2(k+1) \\
&\leq -\frac{2}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k+1) - 2\varepsilon_i(z(k))z_n(k+1) \leq \frac{\bar{g}\bar{\alpha}}{\tau_{\omega i}}\varepsilon_i^2 + \frac{\tau_{\omega i}}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k+1)2\delta_i^*z_n(k+1) \\
&\leq \frac{\bar{g}\bar{\alpha}}{\tau_{\omega i}}\delta_i^{*2} + \frac{\tau_{\omega i}}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k+1)2\frac{\beta_i(k)}{\alpha_i(k)}z_n(k+1) \\
&\leq \frac{\bar{g}\bar{\alpha}}{\tau_{\omega i}}\delta_i^{*2} + \frac{\tau_{\omega i}}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n(k+1)2\gamma_{\omega i}\tau_{\omega i}\hat{\omega}_i^T(k)\varphi(z(k))z_n(k+1) \\
&\leq \bar{g}\bar{\alpha}\tau_{\omega i}\gamma_{\omega i}^2\|\hat{\omega}_{i(k)}\|^2 + \frac{l\tau_{\omega i}}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k+1)\tau_{\omega i}z_n(k+1)\varphi^T(z(k))\varphi(z(k))z_n(k+1) \\
&\leq l\tau_{\omega i}z_n^2(k+1)
\end{aligned}$$

alors, $\Delta L_2(k)$ peut être réécrite comme :

$$\begin{aligned}
\Delta L_2(k) &= -\gamma_{\omega\sigma}\tilde{\omega}_\sigma^T(k)\tilde{\omega}_\sigma(k) - \gamma_{\omega\sigma}\hat{\omega}_\sigma^T(k)\hat{\omega}_\sigma(k) + \gamma_{\omega\sigma}\omega_\sigma^{*T}(k)\omega_\sigma^*(k) - \frac{2}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k+1) + \\
&2\tilde{\delta}_\sigma(k)z_n(k+1) + \frac{\bar{g}\bar{\alpha}}{\tau_{\omega\sigma}}\varepsilon_\sigma^2 + \frac{\tau_{\omega\sigma}}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k+1) + \gamma_{\omega\sigma}^2\tau_{\omega\sigma}\hat{\omega}_\sigma^T(k)\hat{\omega}_\sigma(k) + \bar{g}\bar{\alpha}\tau_{\omega\sigma}\gamma_{\omega\sigma}^2\|\hat{\omega}_\sigma(k)\|^2 + \\
&\frac{l\tau_{\omega\sigma}}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k+1) + l\tau_{\omega\sigma}z_n^2(k+1) \leq \left(-\frac{2}{\bar{g}\bar{\alpha}} + \frac{3\tau_{\omega\sigma}}{\bar{g}\bar{\alpha}} + \frac{l\tau_{\omega\sigma}}{\bar{g}\bar{\alpha}} + l\tau_{\omega\sigma}\right)z_n^2(k+1) - (\gamma_{\omega\sigma} + \gamma_{\omega\sigma}^2\tau_{\omega\sigma} + \\
&\bar{g}\bar{\alpha}\tau_{\omega\sigma}\gamma_{\omega\sigma}^2)\|\hat{\omega}_\sigma\|^2 - \gamma_{\omega\sigma}\|\tilde{\omega}_\sigma\|^2 + 2\tilde{\delta}_\sigma(k)z_n(k+1) + \gamma_{\omega\sigma}\|\omega_\sigma^*\|^2 + \frac{\bar{g}\bar{\alpha}}{\tau_{\omega\sigma}}\varepsilon_\sigma^2 + 2\frac{\bar{g}\bar{\alpha}}{\tau_{\omega\sigma}}\delta_\sigma^{*2}
\end{aligned}$$

(III.24)

Semblable à $\Delta L_2(k)$, $\Delta L_3(k)$ peut être obtenu comme :

$$\Delta L_3(k) = \sum_{i=1}^M \frac{1}{\tau_{\delta i}}\tilde{\delta}_i^2(k+1) - \sum_{i=1}^M \frac{1}{\tau_{\delta i}}\tilde{\delta}_i^2(k) \leq \left(\frac{\tau_{\delta\sigma}\tau_{\omega\sigma}}{\bar{g}\bar{\alpha}} + \tau_{\delta\sigma}\right)z_n^2(k+1) + \left(\gamma_{\delta\sigma}^2\tau_{\omega\sigma} + \gamma_{\alpha\tau\delta\sigma\gamma\delta\sigma}2\tau_{\omega\sigma} - \gamma_{\delta\sigma}\delta\sigma^2 + \gamma_{\delta\sigma}\delta\sigma^*2 - 2\delta\sigma k z_n k + 1 - \gamma_{\delta\sigma}\delta\sigma^2 k\right) \quad \text{(III.25)}$$

En combinant les équations (23), (24) et (25), nous pouvons conclure que

$$\begin{aligned}
\Delta L(k) &= -\frac{B_1}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k+1) - \gamma_{\omega\sigma}B_2\|\hat{\omega}_\sigma(k)\|^2 - \gamma_{\delta\sigma}B_3\tilde{\delta}_\sigma^2(k) - \frac{1}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k) - \gamma_{\omega\sigma}\|\tilde{\omega}_\sigma(k)\|^2 - \gamma_{\delta\sigma}\tilde{\delta}_\sigma^2(k) \\
&+ A
\end{aligned}$$

où les définitions de B_1 , B_2 , B_3 et A ont été données dans les équations (III.15)– (III.18)

Si les conditions (III.19), (III.20) et (III.21) sont satisfaites, alors $\Delta L(k)$ peut encore être exprimé comme :

$$\Delta L(k) \leq -\frac{1}{\bar{g}\bar{\alpha}}z_n^2(k) - \gamma_{\omega\sigma}\|\tilde{\omega}_\sigma(k)\|^2 - \gamma_{\delta\sigma}\tilde{\delta}_\sigma^2(k) + A \quad \text{(III.26)}$$

A la lumière de l'équation **(III.26)**, nous pouvons savoir que si $|z_n(k)| > \sqrt{\bar{g}\bar{\alpha}A}$ ou $\|\tilde{\omega}_i(k)\| > \sqrt{A/\gamma_{\omega_i}}$ ou $|\tilde{\delta}_i(k)| > \sqrt{A/\gamma_{\delta_i}}$ est satisfaite, alors $\Delta L(k) < 0$. Ainsi, $z_n(k)$, $\tilde{\omega}_i(k)$ et $\tilde{\delta}_i(k)$ sont bornés sur la base du théorème d'extension de Lyapunov. Parce que $z_m(k) = z_n(k - n + m)$, $m = 1, \dots, n$, $z_m(k)$ est également délimité. D'après $\tilde{\omega}_i(k) = \hat{\omega}_i(k) - \omega_i^*$, $\tilde{\delta}_i(k) = \hat{\delta}_i(k) - \delta_i^*$, et la délimitation de ω_i^* et δ_i^* , $\hat{\omega}_i(k)$ et $\hat{\delta}_i(k)$ sont également bornés. Par conséquent, tous les signaux sont limités par des signaux de commutation arbitraires.

La preuve du théorème 1 est terminée

Remarque 3. Dans cet article, une classe de lois adaptatives commutées est conçue. C'est-à-dire différents les lois de mise à jour sont appliquées pour les périodes actives et inactives de chaque sous-système, ce qui implique que la valeur d'estimation d'un sous-système est mise à jour d'une manière lorsqu'il est actif, et d'une autre manière, lorsqu'il est inactif. Il n'est pas difficile de savoir que ce genre de lois adaptatives commutées sont plus adaptées aux systèmes que celui non commuté. Remarque 4. Les paramètres du défaut de l'actionneur dans cet article sont tous inconnus mais limités. Pour résoudre ce problème, la méthode adaptative est utilisée. Laisser $\beta_i(k)/\alpha_i(k) \leq \bar{\beta}_i/\underline{\alpha}_i \triangleq \delta_i^*$. Il est évident que δ_i^* est une constante inconnue. Ensuite, en utilisant l'adaptatif méthode, définir $\hat{\delta}_i(k)$ comme l'estimation de δ_i^* et

Concevoir la loi adaptative **(III.13)** pour réguler $\hat{\delta}_i(k)$. Ainsi, ce problème est résolu. Remarque 5. Par rapport aux résultats existants, les aspects suivants doivent être soulignés : Contrairement aux méthodes des travaux précédents [32,35] et Kang et al., [38] dans lesquels le problème FTC adaptatif pour les systèmes non commutés a été considéré, cet article se concentre sur le cas du système commuté. En raison de la complexité des systèmes commutés, il apporte un grand obstacle dans la conception du contrôleur. Bien que le problème FTC pour les systèmes commutés ait été pris en compte dans les travaux antérieurs [47,51], ils ont tous se concentrer sur les systèmes commutés en temps continu (en particulier pour les systèmes linéaires commutés en temps continu).

Le problème FTC pour la commutation à temps discret systèmes non linéaires est étudié dans cet article. Pour les systèmes commutés en continu, la commutation peut prendre place à tout moment des instants. Cependant, en temps discret systèmes commutés, la commutation doit se produire à un certain point d'échantillonnage. De plus, moins d'analyses des schémas peuvent être utilisées pour résoudre le problème FTC pour les systèmes non linéaires commutés en temps discret. Cette complique la conception des contrôleurs.

III -6 Simulation :

Afin de voir l'efficacité de la méthode, nous utilisons le système suivant

$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_2(k) \\ x_2(k+1) = f_\sigma(x(k)) + g_\sigma(x(k))u_\sigma(k) \\ y(k) = x_1(k) \end{cases}$$

Où

$$f_1(x(k)) = \frac{x_1(k)}{x_1(k) + x_2^2(k)}$$

$$f_2(x(k)) = \frac{x_1(k)x_2(k)}{x_1(k) + x_2^2(k)}$$

$$g_1(x(k)) = x_1(k)x_2(k)$$

$$g_2(x(k)) = x_1(k) + x_2(k)$$

Le signal de commutation est $\sigma = \{1,2\}$. Considérez le défaut d'actionneur suivant :

$$u_1(k) = \begin{cases} u_1^0(k); & \text{si } 0 \leq k < 80 \\ 0.7u_1^0(k) + \sin(k), & \text{si } k \geq 80 \end{cases}$$

$$u_2(k) = \begin{cases} u_2^0(k), & \text{si } 0 \leq k < 80 \\ 0.2u_2^0(k) + \cos(k), & \text{si } k \geq 80 \end{cases}$$

Sélectionnez les signaux donnés comme :

$$x_{r1}(k) = 0.32 \sin(0.2k) + 0.32 \cos(0.2k)$$

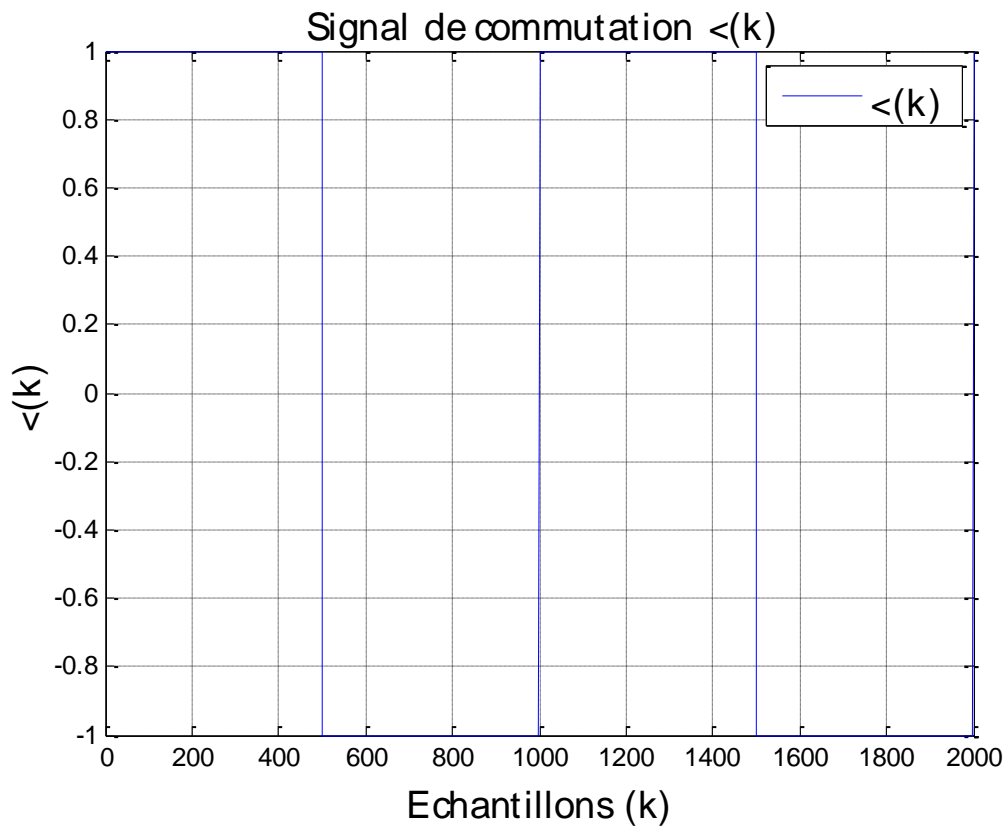


Figure III.1. Signal de commutation $\sigma(k)$.

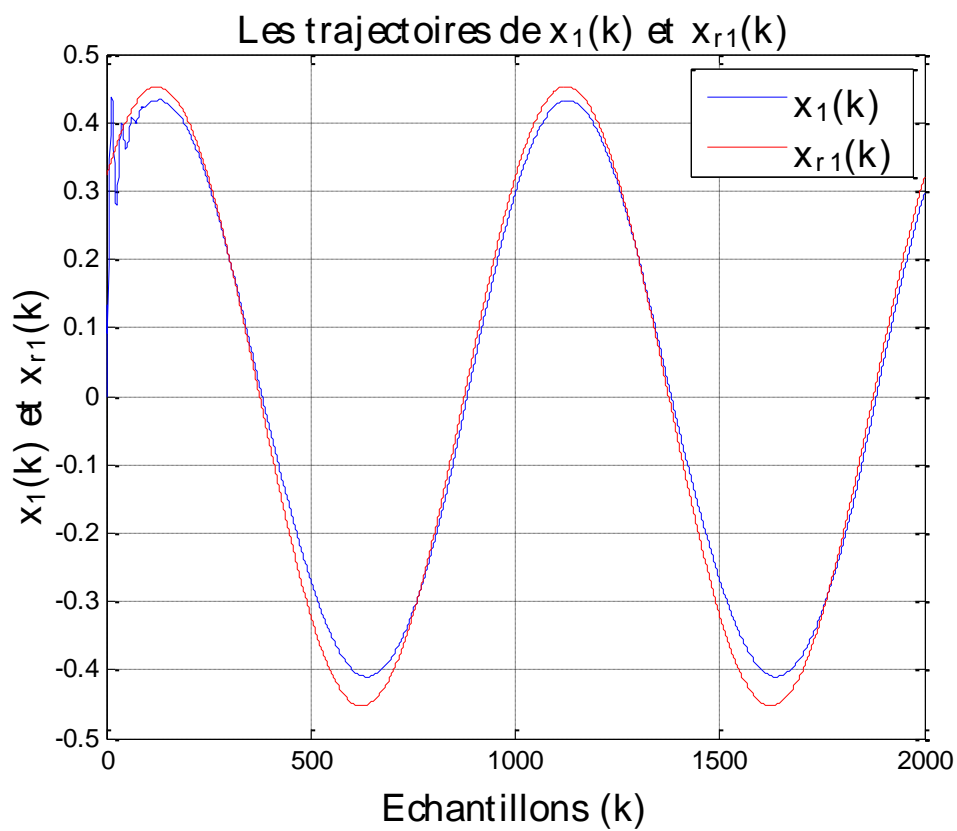


Figure III.2. Les trajectoires de x_1 et x_{r1} .

Et

$$x_{r2}(k) = 0.22 \sin(0.2k) + 0.22 \cos(0.2k)$$

Les FLS sont utilisés pour approximer $u_i^0(k)$, dans lequel les fonctions d'appartenance floues sont choisies comme :

$$\mu_{f_m^l}(x_m) = \exp\left(\frac{(x_m - 3 + 2l)^2}{2}\right), m = 1,2 \quad l = 1,2,3$$

Les valeurs initiales des états du système et les lois adaptatives sont $x_1(0) = x_2(0) = 0$,

$\omega_1(0) = 0.01, \omega_2(0) = 0.05$, et $\delta_1(0) = \delta_2(0) = 0.05$, et le connexe les paramètres de cette simulation sont sélectionnés comme $\tau_{\omega_1} = 0.65, \tau_{\omega_2} = 0.35, \gamma_{\omega_1} = 0.2, \gamma_{\omega_2} = 0.4, \tau_{\delta_1} = 0.7, \tau_{\delta_2} = 0.6, \gamma_{\delta_1} = 0.5$, et $\gamma_{\delta_2} = 0.6$

Les figures 1 à 4 montrent les résultats de la simulation. Le schéma 1 est le signal de commutation. La figure 2 affiche les trajectoires de x_1 et x_{r1} . La figure 2 présente les courbes de x_2 et x_{r2} . En observant les figures 2 et 3, nous pouvons facilement savoir qu'un de bonnes performances de suivi sont obtenues. C'est-à-dire les états du système peuvent bien suivre les signaux de référence.

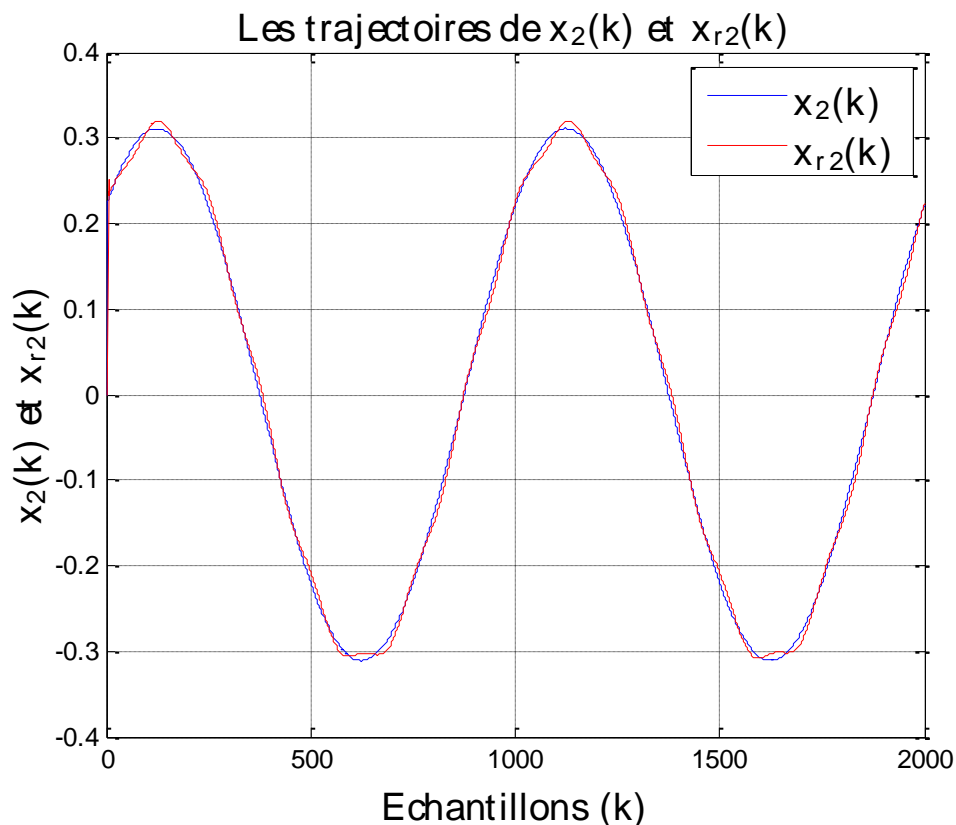


Figure III.3. Les trajectoires de x_2 et x_{r2}

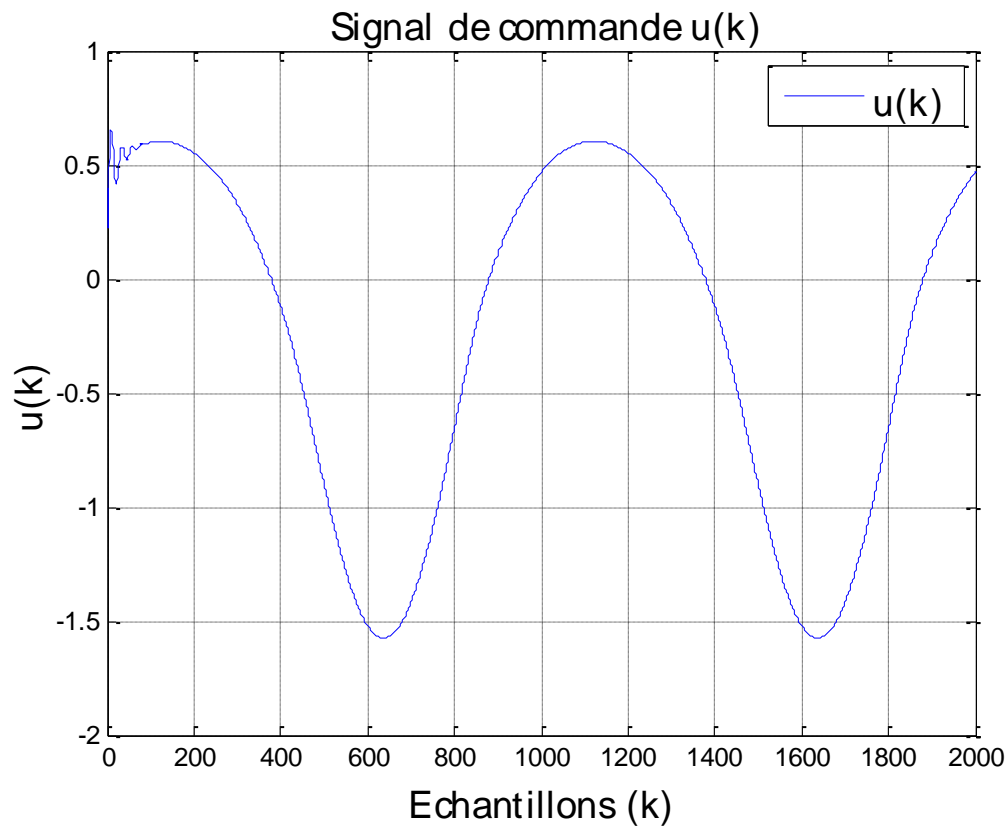


Figure III.4. Entrée de commande u .

L'entrée de commande est illustrée à la Figure 4. Avant le 80 seconde, il n'y a pas de défaut, et la courbe de la commande le signal est bornée. Cependant, après le défaut de l'actionneur se produit à la 80ème seconde, la trajectoire du contrôle le signal change, mais toujours limité, évidemment. Ainsi, Le théorème 1 est bien illustré.

III -7 conclusion :

Le problème de l'actionneur FTC pour une classe de temps discret systèmes non linéaires commutés avec des fonctions inconnues est traité dans cet article. Les FLS sont utilisés pour approximer les fonctions inconnues. L'actionneur Les défauts LOE et biais sont pris en compte, et tous les paramètres de faute sont inconnus mais bornés, ce qui est résolu par une technique adaptative. Concevoir le sous-système commandes et lois adaptatives afin de s'assurer que tous les signaux sont limités par des signaux de commutation arbitraires et les états du système peuvent suivre les signaux de référence. Enfin, l'exemple de simulation montre bien la l'efficacité de la méthode développée. À l'avenir, nous ferons de notre mieux pour discuter de la continuité de la solution plutôt que de supposer que dans un système commuté.

CONCLUSION GENERALE

Le travail réalisé concerne l'élaboration d'une stratégie commande tolérant aux collisions pour les systèmes non linéaires incertains uni variés via techniques de backstepping. Cette stratégie utilise la méthode de commande adaptatif i systèmes d'approximation floue.

Le but de la commande de la tolérance aux erreurs (FTC) est d'adapter automatiquement

Des effets des défauts tout en maintenant la stabilité et performances système mieux notées.

Il existe deux types d'inspection tolérante aux défauts : une approche passive

Et une approche de canal actif qui nécessite un module de diagnostic.

Après un bref état de l'art de l'inspection à tolérance de défaut, avec un devis divers travaux de recherche menés dans ce domaine, nous avons présenté techniques de commande utilisées : la commande adaptative et la commande par backstepping ajustés par deux techniques non linéaires (logique floue et méthode de Lyapunov).

Enfin nous avons proposé un commande FTC actif pour les systèmes non linéaires incertains mon variable, la dynamique du système testé est inconnue du fait de l'apparition de la faille approximées par des systèmes flous, les lois d'adaptation permettent d'assurer l'ajustement ligne de paramètres du contrôleur. La loi de commande globale est construite de manière récursivement utilisant la technique du backstepping basée sur la synthèse de Lyapunov, qui permet d'étudier la stabilité globale du système. L'ajout d'une date de vérification solide est nécessaire pour éliminer les incertitudes liées aux perturbations et erreurs externes gros plans. Les résultats de la simulation ont montré la grande efficacité de l'approche FTC développée en ce qui concerne les défauts des actionneurs. Cette approche est efficace système et garantit la stabilité et la continuité.

Les résultats obtenus dans ce travail nous permettent de proposer une perspective, une étude basée sur des algorithmes d'optimisation pour déterminer les différents contrôles des paramètres et des profits.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] **T. Amieur**, "Commande des Systèmes Non Linéaires par Mode Glissant Flou", Mémoire de Master , Université Mohamed Khider - Biskra,2009.
- [2] **Kh. Khettab**, "Commande Adaptative Floue Des Systèmes Non Linéaires Par La Méthode De Backstepping Utilisant Le Mode Glissant", Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas de Sétif 1,2005.
- [3] http://www8.umoncton.ca/umcm-cormier_gabriel/SystemesIntelligents/GIND5439_Chapitre5.pdf
- [4] **Benchikh, A. & Oumaya, Y. & Kara, F. & Chebbara, F.** (2018). Commande Adaptative Floue Robuste Basee Sur Un Observateur Flou Pour Systeme Non Liniarés Incertains (snli) Via Backstepping [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah - Ouergla].
- [5] **A. Bouguerra**, "Commande Tolérante aux Défauts d'un Appareil à Vol Vertical", Thèse de Doctorat, Université Mohamed Boudiaf De M'sila ,2015.
- [6] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/8301/4/CHAPITRE2.pdf>.
- [7] **Doudou Sofiane**, "Contribution à la commande moderne des systèmes non linéaires multivariables non affines", Thèse de Doctorat, Université Sétif 1, 2013.
- [8] **F. Khaber, A. Hamzaoui**, "Commande Adaptative Floue Pour Les Systemes Non Lineaires Incertains", Courrier du Savoir - N°02, pp. 35-40 , Juin 2002.
- [9] **H.Khebbache**, "Tolérance aux défauts via la méthode backstepping des systèmes non linéaires", Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas De Sétif ,2012
- [10] **N.Belkhrichi**, "Contribution à l'étude du diagnostic et de la commande tolérante aux fautes par l'approche structurelle - application aux procédés biologiques", Thèse de Doctorat,
- [11] **F. Daikh**, "Contribution des approches de l'intelligence artificielle pour la stabilisation robuste des systèmes non linéaires", Thèse de Doctorat, Université d'Oran1 A.Ben Bella, 2015.
- [12] **Bezzouh Nabil**, "Commande Robuste du Moteur Asynchrone Basée Sur la Théorie de Lyapunov", Université de Batna, 2010
- [13] **Bûche. G**, " Commande vectorielle de machine asynchrone en environnement temps réel Matlab/Simulink", Mémoire d'Ingéniorat De C.N.A.M, 2001.
- [14] **S. Graidia**, "Commande adaptative floue type-2 par mode glissant des systèmes chaotiques", Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [15] **I.AI.Rouh**, "Contribution à la commande sans capteur de la machine asynchrone ", Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy -1, Juillet 2004.
- [16] **M. Achbi**, "Commande tolérante aux défauts en utilisant les réseaux de neurones artificiels et les systèmes d'inférence floue", Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider Biskra ,2012.
- [17] **Salowa Methnani**. "Diagnostic, reconstruction et identification des défauts capteurs et actionneurs : application aux station dépurations des eaux usées".Thèse de doctorat. Université de Toulon, France, 2012.

- [18] **Mickaël Rodrigues**. “Diagnostic et commande active tolérante aux défauts appliqués aux systèmes décrits par des multi-modèles linéaires”. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré-Nancy I, France, 2005.
- [19] **Nassim Belkherchi**. “Contribution à l’étude du diagnostic et de la commande Tolérante aux fautes par l’approche structurelle : Application aux procédés biologiques”. Thèse de doctorat. Université Paul Sabatier-Toulouse III, France, 2011.
- [20] **Abdelhafid BENYOUNES**. “Commande floue tolérante aux défauts appliquée à la supervision des vibrations dans les turbines à gaz : Application sur uneturbine TITAN 130”. Thèse de doctorat. Université de Djelfa, Algérie, 2016.
- [21] **Aziz Raisemche**. “Commande tolérante aux défauts d’une chaîne de traction d’un véhicule électrique”. Thèse de doctorat. Université Paris Sud-Paris XI, France, 2014.
- [22] **Mohammed Oudghiri**. “Commande multi-modèles tolérante aux défauts : Application au contrôle de la dynamique d’un véhicule automobile.” Thèse de doctorat. Université de Picardie Jules Verne, France, 2008
- [23] **M. Blanke, M. Kinnaert, M. Lunze and M. Staroswiecki**, "Diagnosis and fault tolerant control », Springer, New York, 2003
- [24] **A. AKRAD**, "Analyse et synthèse d'un contrôleur numérique pour la commande tolérante aux défauts du capteur mécanique d'une machine synchrone à aimants permanents", Thèse de doctorat, Orsay, Université Paris-Sud XI, 2010.
- [25] **R. J. Patton**, "Fault-tolerant control: the 1997 situation", Proceedings of Safeprocess'97, (Hull - England), pp 1033-1055, IFAC 1997.
- [26] **Y. Zhang, J. Jiang**, "Bibliographical review on reconfigurable fault-tolerant control systems", Proceedings of Safeprocess'03, Washington, USA, pp 265-276, IFAC 2003
- [27] **Noura, H., F. Hamelin D. Sauter et D. Sauter** (2000). Fault tolerant control in dynamic systems: Application to a winding machine. IEEE Control system Magazine, 20(1), 33–49.
- [28] **Wu, N.E., K. Zhou et G. Salomon** (2000a). Reconfigurability in linear time-invariant systems. Automatica, 36, 1767–1771.
- [29] **Gao Z and Ding SX**. Actuator fault robust estimation and fault-tolerant control for a class of nonlinear descriptor systems. Automatica 2007; 43: 912–920.
- [30] **Simani S and Castaldi P**. Active actuator fault-tolerant control of a wind turbine benchmark model. Int.JRobNonlin 2014; 24: 1283–1303.
- [31] **Wang R and Wang J**. Passive actuator fault-tolerant control for a class of overactuated nonlinear systems and applications to electric vehicles. IEEE.T.VehTechnol 2013; 62: 972–985.
- [32] **Liu L, Wang Z and Zhang H**. Adaptive NN fault tolerant control for discrete-time systems in triangular forms with actuator fault. Neurocomputing 2015; 152: 209–221.
- [33] **Zhang H and Wang J**. Active steering actuator fault detection for an automatically-steered electric ground vehicle. IEEE.T.VehTechnol 2017; 66: 3685–3702.

- [34] **Witczak P, Witczak M, Korbicz J**, et al. A robust predictive actuator fault-tolerant control scheme for ;TakagiSugeno.fuzzy.systems.Bull.Pol.AcadSci-Tech.2015;.63:977–987.
- [35] **Li YX and Yang GH**. Robust fuzzy adaptive faulttolerant control for a class of nonlinear systems with ;mismatched.uncertainties.and.actuator.fault.NonlinearDynam2015;.81:.395–409.
- [36] **Hu Q and Xiao B**. Fault-tolerant sliding mode attitudecontrol for flexible spacecraft under loss of actuatoreffectiveness.Nonlinear.Dynam2011 ;64 ;13–23.
- [37] **Benosman M and Lum KY**. Application of absolute stability theory to robust control against loss of actuatoreffectiveness ;IET ;Control ;Theory ;A2009 ;3;:772–788.
- [38] **Kang H, Ma H and Yang G**. Adaptive fault tolerant control for actuator bias of nonlinear systems. In: Proceedings of the 2012 24th Chinese control and decisionconference, Taiyuan, China, 23–25 May 2012,pp.4227–4232 ;New ;York ;IEEE.
- [39] **Benosman M and Lum KY**. Application of passivity andcascade structure to robust control against loss of actuator effectiveness. Int J Rob Nonlin2010; 20: 673–693.
Figure 3. The trajectories of x_2 and x_{r2} .
Figure ;4 ;Control ;input ;u.Li7
- [40] **Wang YF, Wang PL, Li ZX**, et al. Fault-tolerant controlfor networked control systems with limited informationin ;case ;of ;actuator ;fault ;Math ;ProblEng2015 ;2015:785289.
- [41] **Liu L, Liu YJ and Tong SC**. Fuzzy based multi-errorconstraint control for switched nonlinear systems and itsapplications ;IEEE ;T ;Fuzzy Syst. Epub ahead of print 19November 2018. DOI: 10.1109/TFUZZ.2018.2882173.
- [42] **Zhai G, Hu B, Yasuda K**, et al. Stability analysis ofswitched systems with stable and unstable subsystems ;anaverage ;dwell ;time ;approach ;Int ;J ;SystSci2001;32:1055–1061.
- [43] **Xu X and Antsaklis PJ**. Optimal control of switched systems based on parameterization of the switching ;instants.IEEE ;T ;Automat ;Contr2004 ;49 ;2–16.
- [44] **Orlov Y**. Finite time stability and robust control synthesis of uncertain switched systems. Siam J Control ;Optim2004 ;43 ;1253–1271.
- [45] **Li TF and Wang HQ**. Asynchronous switching controlfor switched delay systems induced by sampling ;mechanism ;IEEE ;Access ;2017 ;6 ;10787–10794.
- [46]. **Kim S, Campbell SA and Liu X**. Stability of a class of linear switching systems with time delay. IEEEET ;Circuits-I2006 ;53 ;384–393.
- [47] **Xiong L, She KB, Zhong S**, et al. New stability of linearswitched systems with fault-tolerant control. Appl ;ResComput2009 ;26 ;2620–2626.
- [48] **Du D, Jiang B and Shi P**. Active fault tolerant controlfor switched systems with timedelay. Int J Adapt Control2011 ;25 ;466–480.
- [49] **Hu H, Jiang B and Yang H**. Robust fault-tolerant controlfor uncertain delta operator switched systems ;IET ;Control ;Theory ;A2014 ;8 ;120–130.
- [50] **Yang W and Tong S**. Adaptive output feedback faulttolerant control of switched fuzzy systems. InformSciences ;2016 ;329 :478–490.

- [51] **Belkhiat D, Jabri D and Kilani I.** Fault tolerant control for a class of switched linear systems using generalized switched observer scheme. *Control Eng Appl Inf* 2015 ;17:90–101.
- [52] **Zhang H, Zhang G and Wang J.** H^∞ observer design for LPV systems with uncertain measurements on scheduling variables: application to an electric ground vehicle. *IEEE ASME Trans Mech* 2016 ;21 :1659–1670.
- [53] **Zhang H and Wang J.** Adaptive sliding-mode observer design for a selective catalytic reduction system of ground-vehicle diesel engines. *IEEE-ASME Trans Mech* 2016; 21 :2027–2038.
- [54] **Tang L and Zhao J.** Adaptive tracking control for discrete-time switched nonlinear systems with dead-zone inputs. *Fuzzy Sets Syst* 2018 ;344 :51–69.
- [55] **Wang Y, Karimi HR, Lam HK, et al.** An improved result on exponential stabilization of sampled-data fuzzy systems. *IEEE T Fuzzy Syst* 2018 ;26 :3875–3883.
- [56] **Li L, Song G and Ou J.** Adaptive fuzzy sliding mode based active vibration control of a smart beam with mass uncertainty. *Struct Control Health* 2015 ;18 :40–52.
- [57] **Wu J, Chen W and Li J.** Fuzzy-approximation-based global adaptive control for uncertain strict-feedback systems with a priori known tracking accuracy. *Fuzzy Sets Syst* 2015; 273: 1–25.
- [58] **Yousef H.** Design of adaptive fuzzy-based tracking control of input time delay nonlinear systems. *Nonlinear Dynam* 2015 ;79 ;417–426.
- [59] **Zhang Y, Tao G and Chen M.** Adaptive neural network based control of noncanonical nonlinear systems. *IEEE T Neur Net Lear* ;2016 ;27 :1864–1877.
- [60] **Liu W, Lim CC, Shi P, et al.** Sampled-data fuzzy control for a class of nonlinear systems with missing data and disturbances. *Fuzzy Sets Syst* 2017 ;306 :63–86.
- [61] **He W, Chen Y and Zhao Y.** Adaptive neural network control of an uncertain robot with full-state constraints. *IEEE T Cybernetics* ;2016 ;46 :620–629.
- [62] **Liu L and Tang L.** Partial state constraints-based control for nonlinear systems with backlash-like hysteresis. *IEEE T Syst Man Cy-S* ;Epub ;ahead ;of ;print ;13 ;June ;2018. DOI: 10.1109/TSMC.2018.2841063.
- [63] **He W, David AO, Yin Z, et al.** Neural network control of a robotic manipulator with input deadzone and output constraint. *IEEE T Syst Man Cy-S* ;2015 ;46 ;759–770.
- [64] **Li S, Xiang Z and Karimi HR.** Mixed l_1/l_2 fault detection observer design for positive switched systems with time-varying delay via delta operator approach. *Int J Control Autom* 2014; 12: 709–721.
- [65] **Qin C, Xiang Z and Karimi HR.** Finite-time H^∞ control for switched systems with time-varying delay using delta operator approach. *Int J Control Autom* 2014 ;12:1150–1159.
- [66] **Cheng L, Liu W, Hou ZG, et al.** Neural-network-based nonlinear model predictive control for piezoelectric actuators. *IEEE T Ind Electron* ;2015;62 :7717–7727.
- [67] **Liu L, Liu YJ and Tong SC.** Neural networks-based adaptive finite-time fault-tolerant control for a class of strict-feedback switched nonlinear systems. *IEEE T Cybernetics* 2019; 49: 2536–2545.

Proposé et dirigé par : **Dr. BOUKHALFA Abdelouaheb**

Dr. KHETTAB Khatir

Présenté par : **TOUIR AHMED**

AOUADJ AKRAM

Thème :

Commande adaptative floue tolérante aux défauts pour une classe de systèmes non linéaires

Résumé :

Dans ce travail, nous développons une méthode de commande floue adaptative tolérante aux défauts pour une classe de systèmes non linéaires incertains, permettant une adaptation automatique aux effets d'éventuelles défaillances sur le système tout en maintenant le fonctionnement nominal. Après avoir compris l'état de l'art des systèmes FTC, nous introduisons les bases théoriques de deux techniques de commande : la commande adaptative floue et la commande par Backstepping. En combinant ces techniques, un contrôleur tolérant aux défauts stable et robuste est synthétisé, et la stabilité du système en boucle fermée et la convergence de l'erreur de poursuite sont strictement prouvées en utilisant la théorie de Lyapunov. Pour tester les performances de la méthode, un exemple de simulation est réalisé.

Mots Clés : Systèmes non linéaires, Commande tolérante aux défauts, Backstepping, Commande Adaptative Floue, Stabilité.

ملخص :

في هذا العمل ، قمنا بتطوير طريقة تحكم ضبابية كيفية تتسامح مع الأخطاء لفئة من الأنظمة غير الخطية غير المؤكدة عن طريق الاستدلال العكسي ، مما يسمح بالتكيف التلقائي مع تأثيرات الفشل المحتمل على النظام مع الحفاظ على التشغيل الاسمي. بعد فهم حالة فن أنظمة FTC ، نقدم الأسس النظرية لتقنيتين للتحكم: التحكم التكاملي الغامض والتحكم في الدفع العكسي. من خلال الجمع بين هذه التقنيات ، يتم تصنيع وحدة تحكم مستقرة وقوية تتحمل الأخطاء ، ويتم إثبات استقرار نظام الحلقة المغلقة وتقارب أخطاء التتبع بدقة باستخدام نظرية Lyapunov لاختبار أداء الطريقة ، يتم تنفيذ مثال على المحاكاة.

الكلمات المفتاحية: الأنظمة غير الخطية ، التحكم المتحمل للخلل ، الرجوع المرحلي ، التحكم المتأقلم الغامض .استقرار.