

Synthèse thèse

En 1975, Francis et Wonham [1] introduit le principe du modèle interne que c'était une percée dans l'étude des systèmes LTI compte tenu des perturbations (servo-systèmes), ce qui donne des conditions nécessaires et suffisantes sur le contrôleur pour assurer la stabilité asymptotique lorsque les signaux de référence et les perturbations sont générées par un de dimension finie exosystème. Le principe du modèle interne de systèmes LTI suggère qu'une copie de la exosystème doit être inclus dans le contrôleur. Par exemple, pour éliminer l'erreur en régime permanent pour les signaux de référence ou de perturbation étape, nous avons besoin d'intégrateurs dans la boucle. Cependant, dans le contexte de ports hamiltoniens (pH) des systèmes où sont considérées les perturbations appariés (matched), qui peuvent être considérés comme des effets du bruit de mesure, entrée inconnue et d'autres phénomènes "oubliés" par les hypothèses du modèle est limitée.

Dans [26] est exploitée action intégrale(IA) sur la sortie passive à résoudre ce problème ainsi que sa robuste régulation. La méthodologie donne comme résultat une boucle fermée étendu, préservant la form pH , de sorte que la robuste régulation et le rejet de perturbations appariés est satisfaite. La faiblesse cruciale (talon d'Achille) de cette méthode apparaît lorsque le signal de régulariser n'est pas la sortie passive et les perturbations ne sont pas appariés (unmatched) à l'entrée. Des exemples simples sont des systèmes mécaniques et de moteurs électriques, où les vitesses sont sorties passives et des courants, respectivement, mais la sortie de l'intérêt est souvent de position. Ce à dire que IA de [26] est insuffisante pour résoudre ce problème.

Dans [2] a été proposé une première discussion sur l'action intégrale et une redéfinition de la structure de pH afin d'offrir robustesse en présence de l'incertitude des paramètres. Toutefois, la première bosser où le pH se prolonge par IA sur la non-sortie passive viennent de [3]. Dans leur procédé, une transformation canonique généralisée est utilisé qui permet l'extension de l'état avec les intégrales des sorties d'intérêt et, en même temps, l'obtention d'un hamiltonien défini positif. Cette approche nécessite de résoudre un ensemble d'équations aux dérivées partielles (PDEs).

Plus récemment, dans [24] une technique ingénieuse sur la régulation des non-passifs sorties via action intégrale a été donnée, cette méthode nous permet en préservant la structure du pH et, par conséquent, la stabilité de boucle fermée. En outre, cette approche est doter de propriété de robustesse au présences des perturbations pas appariés.

Le grand apport de [24], c'est que le pH boucle fermée et la fonction d'énergie est conçu par changement de coordonnées, telles que la comparaison avec [3], la nécessité

de résoudre les PDEs est évitée. La formulation est illustrée par des simulations sur une PMSP (Permanent Magnet Synchronous Motors), où se considèrent les couples inconnus charge constante.

Basé sur [24], une formulation au rejet de la déviation constant état stable à des systèmes mécaniques est présenté dans [31]. Cependant, le problème se limite au cas linéaire. Clairement, nous pouvons voir que s'il existe initialement une linéarisation par retour d'états, alors le problème est descendu aux systèmes LTI. Si la question à traiter est le rejet de perturbations appariés alors un commande PI classique fera l'affaire.

Motivé par l'approche dans [24] et les nouveaux développements au sujet du changement de coordonnées [30], [35], dans le présent travail, nous proposons une conception constructive de commande intégrale robustes per à la régulation sur sorties non passives aux une large classe de systèmes physiques, aussi le rejet des perturbations non appariés est maintenu. De plus les conditions nécessaires et suffisantes pour la solvabilité du problème, en termes de certaines propriétés rang et la contrôlabilité du système linéarisé, sont fournis.

Lorsque le cas à considérer est non-linéaire des systèmes mécaniques, nous montrent deux méthodes de rejet de perturbations constantes (appariées) et pour variant dans le temps perturbations, des propriétés fortes sur l'IISS et ISS sont fournis.

Sur l'autre main, pendant une longue période une recherche incessante a été réalisé sur les commandes de suivi dans les systèmes mécaniques avec seulement position connue. Tout vient du fait que les systèmes mécaniques sont généralement équipés de capteurs de mesure de position seulement, ce qui a impliqué une recherche constante pour trouver de commandes robustes indépendantes de la vitesse.

Beaucoup semi-globales résultats au problème de retour de position suivi global ont dominé le scénario. Régimes intrinsèquement semi-globale s'appuyer sur haute - injection de gain à élargir le domaine d'attraction ou de la connaissance du modèle exact est exigé comme dans [22] et [23].

Parlant d'une solution globalement asymptotiquement stable, nous pouvons voir [33] et [34], où d'abord un, la solution est limitée a un degré de liberté, et une seconde, souffre malheureusement d'inconvénients graves, le plus important correspondait au fait que le requiert un changement de coordonnées en utilisant les fonctions de saturation où son inversibilité ne peut pas être garanti globalement [27].

De la discussion ci-dessus, dans ce travail, nous proposons un commande globalement exponentiellement suivi sans mesure de vitesse. Ceci est possible combinant un immersion et invariance (*I&I*) observateur exponentiellement stable récemment publié et une conception appropriée de un retour d'état passivité commande avec l'aide de emph changement de coordonnées.

Préliminaires

Nous commençons par quelques définitions basiques sur la stabilité des systèmes non linéaires d'entrée, où l'objet est d'exprimer les états d'information restent bornées pour l'entrée bornée. Port hamiltonien représentation des systèmes physiques est décrit,

changement de coordonnées pour les systèmes mécaniques sont également résumés. Ceci est important car elle se trouve sur sur la plupart des résultats présentés.

Finalement une brève introduction sur l'immersion et l'invariance (*I&I*) est illustré comme clé de la stabilisation et de la conception d'observateur dans les systèmes de systèmes non linéaires.

Notions de stabilité avec entrée externe

Dans la conception des commandes, l'un des principaux problèmes est d'étudier la sensibilité en boucle fermée à des perturbations, comme des erreurs de mesure, et qui sont délimitées, finalement petite ou convergentes. Dans cette section présente quelques définitions et théorèmes dans l'étude de cette question. Nous renvoyons le lecteur à des informations détaillées à [25],[28],[29].

Nous commençons la discussion aussi simple que possible, de sorte que nous considérons au cours de cette section que nous avons affaire à des systèmes avec des entrées de la forme:

$$\dot{x} = f(x, d) \quad (1)$$

avec l'état $x \in \mathbb{R}^n$, entrée étant inconnu et essentiellement délimitée. Le map $f : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ est supposée être localement lipschitzienne avec $f(0, 0) = 0$. Les fonctions de comparaison à une définition formelle de la stabilité des systèmes présentant des perturbations sont utiles [29], tels que:

Definition 1. Une classe \mathcal{K}_∞ est une fonction $\alpha : \mathbb{R}_{\geq 0} \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$ est continue, strictement croissante, non borné et vérifie $\alpha(0) = 0$.

Definition 2. Une classe \mathcal{KL} est une fonction beta $\beta : \mathbb{R}_{\geq 0} \times \mathbb{R}_{\geq 0} \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$ tel que $\beta(\cdot, t) \in \mathcal{K}_\infty$ pour chaque t et $\beta(r, t)$ strictement décroissante que $t \rightarrow \infty$.

Stabilité entrée-état (*ISS*)

Le système (1) est dit *ISS* si et seulement si il existe un fonction $\beta(\mathcal{KL})$ et un fonction $\gamma(\mathcal{K}_\infty)$, de sorte que

$$|x(t)| \leq \beta(|x_0|, t) + \gamma(\|d\|_\infty)$$

est satisfaite pour tout $t \geq 0$

La définition de *ISS* exige que, pour grand t , l'état doit être délimitée par une fonction $\gamma(\|u\|_\infty)$ l'correspondent à des entrées (parce que $\beta(|x_0|, t) \rightarrow 0$ ainsi $t \rightarrow 0$). En outre, le terme $\beta(|x_0|, 0)$ peuvent finir par prédominer pour t petit, ce qui permet de quantifier l'ampleur du comportement transitoire (dépassement) comme une fonction de la taille de l'état initial x_0 . (voir pour plus de détails [29] section 2.9)

Une fonction du Lyapunov *ISS* pour (1) est par définition une fonction stockage lisse définie positive $V : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ qui est, $V(0) = 0$ et $V(x) > 0$ pour $x \neq 0$, et appropriée, qui est, $V(x) \rightarrow \infty$ comme $|x| \rightarrow \infty$. Pour V il existe des fonctions γ , $\alpha \in \mathcal{K}_\infty$ de sorte que:

$$\dot{V} \leq -\alpha(|x|) + \gamma(|d|) \quad \forall x, d \quad (2)$$

Finalement, nous pouvons conclure que un système est ISS si il ya toujours un bon ISS fonction du Lyapunov satisfaisant l'estimation (2) [29].

Intégrale Stabilité entrée-état (ISS)

Le système (1) est dit être *IISS* prévus qu'il existe deux fonctions α et γ qui sont \mathcal{K}_∞ et une fonction β à savoir \mathcal{KL} de telle sorte que l'estimation

$$\alpha(|x(t)|) \leq \beta(|x_0|, t) + \int_0^t \gamma(|d(s)|)$$

est satisfaite le long de toutes les solutions.

De plus un système est *IISS* si et seulement si il existe une fonction $\beta \in \mathcal{KL}$ et $\gamma_1, \gamma_2 \in \mathcal{K}_\infty$ telle que

$$|x(t)| \leq \beta(|x_0|, t) + \gamma_1 \left(\int_0^t \gamma(|d(s)|) \right)$$

pour tout $t \geq 0$, $x_0 \in \mathbb{R}$ et d Aussi, nous pouvons noter que si le système (1) est *IISS*, il est alors 0-GAS, qui est le système avec zero d'entrée.

$$\dot{x} = f(x, 0)$$

est Globalement Asymptotiquement Stable (*GAS*)

Dans le théorème 1 de papier élémentaire [28], il a été établi que l'existence d'un fonction de Lyapunov IISS lisse est nécessaire ainsi que suffisant pour le système (1) être IISS. Ceci est valable si:

- (1) Il ya une certaine sortie qui rend le système dissipatif lisse et faiblement détectable zéro.
- (2) Le système est 0-GAS et sortie-zéro dissipatif lisse.

Il est à noter que nous avons résumé le théorème, pour plus de détails et des preuves voir la proposition II.5 et la section III des exemples.

Le cadre port - hamiltonien

Fondamentalement, la représentation hamiltonien se pose de la mécanique analytique et commence à partir du principe de moindre action, et procède, en passant par les équations d'Euler-Lagrange et Legendre, la transformation vers les équations hamiltoniennes du mouvement [4]. Nous savons que, normalement, l'analyse des systèmes physiques a été réalisée dans le cadre Lagrangien et hamiltonien, le point de vue du réseau est en vigueur dans la modélisation et la simulation de (complexe) des systèmes d'ingénierie physiques.

Cependant, le cadre de porto-hamiltoniens (pH) des systèmes combinant les deux formulations, en associant à la structure d'interconnexion du modèle de réseau d'une

structure géométrique donnée par une structure de Dirac (en général). Avec cette brève description, on peut dire que la dynamique hamiltonienne est définie par rapport à cette structure de Dirac et l'hamiltonien donné par l'énergie totale emmagasinée.

D'ailleurs les systèmes port-hamiltoniens sont des systèmes dynamiques ouverts, qui agissent l'un sur l'autre avec leur environnement par des ports tels qu'une grande classe des systèmes (non linéaires) comprenant les systèmes mécaniques passifs, les systèmes électriques, les systèmes électromécaniques, systèmes mécaniques avec les contraintes nonholonomic et des systèmes thermiques peuvent être décrits par le cadre hamiltonien.

Pour plus de détails au sujet de l'histoire du pH nous avons invité à lire [4], [5].

Comme mentionné la forme Port-hamiltonienne est déterminée par l'intermédiaire d'Euler-Lagrange, tel que des équations du mouvement d'Euler-Lagrange bien connues

$$\frac{d}{dt}\nabla_{\dot{q}}L(q, \dot{q}) - \nabla_q L(q, \dot{q}) = u \quad (3)$$

alors si le lagrangien $L=K-V$ est

emph qui régulier c'est-à-dire l'hessien est différent de zéro, en définissant les nouvelles variables

$$\mathbf{p} = \nabla_{\dot{q}}L \quad (4)$$

qui s'appellent les *impulsions généralisés*, il est possible d'employer un changement des coordonnées¹ de (q, \dot{q}) à (q, \mathbf{p}) . Ensuite, une fonction scalaire est définie, dite l'Hamiltonien,

$$H(q, \mathbf{p}) = \mathbf{p}^\top \dot{q} - L(q, \dot{q}) \quad (5)$$

qui représente l'énergie totale du système. Cette procédure est appelée habituellement la *transformation de Legendre*. Par conséquent, les équations du mouvement d'*Euler-Lagrange* deviennent maintenant les équations d'Hamilton :

$$\begin{aligned} \dot{q} &= \nabla_{\mathbf{p}}H \\ \dot{\mathbf{p}} &= -\nabla_q H + G(q)u \end{aligned} \quad (6)$$

Nous observons que l'application de la transformation de Legendre remplace le système de n équations du second ordre par un ensemble de $2n$ équations de premier ordre avec une structure simple et symétrique. Dans les systèmes mécaniques standards ou simples, l'énergie potentielle est habituellement une fonction des positions généralisées $V(q)$ tandis que l'énergie cinétique est une fonction quadratique des vitesses (impulsions), décrit comme $K = \frac{1}{2}\mathbf{p}^\top M(q)\mathbf{p}$, tels que le plein rendement hamiltonien de fonction rendements à être $H = V + K$.

Avec $G(q)$ comme la matrice de force d'entrée et $G(q)u$ décrivant les *forces généralisées* résultants de la commande $u \in \mathbb{R}^m$. Dans le cas où $m = n$ nous parlons de systèmes mécaniques *complètement actionnés* et dans le cas où $m \leq n$ des système mécaniques

¹La dynamique d'Euler-Lagrange possède la propriété remarquable d'invariance par rapport à des changements quelconques de coordonnées [6]

sous-actionné. La représentation dans l'espace d'état (6) avec états (q, \mathbf{p}) est habituellement appelé l'*espace de phase*. Une généralisation additionnelle de (6) aux systèmes hamiltoniens avec entrées et sorties, est donnée par

$$\begin{aligned}\dot{x} &= [\mathbb{F}(x) - \mathcal{R}(x)]\nabla_x H(x) + \mathbb{G}(x)u \\ y &= \mathbb{G}^\top \nabla_x H(x)\end{aligned}\quad (7)$$

avec la sortie $y \in \mathbb{R}^m$, $\mathbb{J} = -\mathbb{J}^\top$ et $\mathcal{R} = \mathcal{R}^\top \geq 0$. Le système (7) est appelé système *hamiltonien commandé par ports* (PCH) avec une matrice de structure \mathbb{J} , matrice de dissipation \mathcal{R} et l'hamiltonien H .

Immersion et Invariance

Récemment surgi une nouvelle méthodologie pour concevoir les commandes adaptatifs pour les systèmes non linéaires (incertains), appelés Immersion et l'invariance (*I&I*). La méthode repose sur les notions systèmes des Immersion et invariante variété, qui sont des outils classiques de la théorie du régulateur non linéaire et géométrique du contrôle non linéaire [32].

Plus précisément, l'approche de *I&I* consiste donc à trouver une variété qui peut être rendue invariante et attractive, avec la dynamique interne une copie de la dynamique en boucle-fermée désirée, et à concevoir une loi de commande qui oriente l'état du système suffisamment proche de cette variété.

Une illustration graphique de l'approche de *I&I* est montrée dans la figure 1. Nous avons cela $\pi(\cdot)$ maps une trajectoire sur le space ξ à une trajectoire sur l'espace x , qui est limité à le variété \mathcal{M} qui contenant l'origine. D'ailleurs, toutes les trajectoires commençant extérieur du \mathcal{M} convergent à l'origine.

Stabilisation

Le résultat central par la stabilisation de *I&I*, à savoir un ensemble de conditions suffisantes pour la construction de commande return d'états globalement asymptotiquement stabilisants, commande affine, et sont données dans le théorème suivant.

Theorem 1. *Considérer le système*

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad u \in \mathbb{R}^m \quad (8)$$

avec un point d'équilibre $x^* \in \mathbb{R}^n$ à stabiliser. Supposez que là existent les lisses mappage $\alpha : \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}^p$, $\pi : \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}^n$, $\phi : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^{n-p}$, $c : \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}^m$ et $v : \mathbb{R}^{n \times (n-p)} \rightarrow \mathbb{R}^m$, avec $p < n$, de telle sorte que la suivante est vérifiée.

- (A1) le système cible

$$\dot{\xi} = \alpha(\xi), \quad \xi \in \mathbb{R}^p \quad (9)$$

- (A2) Pour tous ξ

$$f(\pi(\xi)) + g(\pi(\xi))c(\pi(\xi)) = \nabla_\xi(\pi(\xi))\alpha(\xi) \quad (10)$$

- (A3) L'ensemble identité

$$\{x \in \mathbb{R}^n | \phi(x) = 0\} = \{x \in \mathbb{R}^n | x = \pi(\xi), \xi \in \mathbb{R}^p\} \quad (11)$$

- (A4) Toutes les trajectoires du système

$$\dot{z} = \nabla_x \phi(f(x) + g(x)v(x, z)), \quad (12)$$

$$\dot{x} = f(x) + g(x)v(x, z) \quad (13)$$

sont bornées et (12) a un équilibre globalement asymptotiquement uniformément stable à $z = 0$.

Alors x^* est un équilibre globalement asymptotiquement stable du système en boucle fermée

$$\dot{x} = f(x) + g(x)v(x, \phi(x)) \quad (14)$$

La preuve de ce théorème apparaît dans la section 2,1 de [32]

Contrairement à la commande optimale où l'objectif est d'optimiser un coût scalaire de performance, l'approche I&I ne requiert aucune opération de minimisation. En outre, en raison de son approche en deux temps (immersion et invariance), celle-ci est conceptuellement différente des méthodologies qui reposent sur l'utilisation de fonctions de Lyapunov. Des similitudes existent avec la commande par modes glissants à ceci près que la convergence ne se fait pas en temps fini mais est asymptotique, de plus les lois de commande obtenues ne reposent a priori sur aucun phénomène discontinu, caractéristique de la commande par modes glissants.

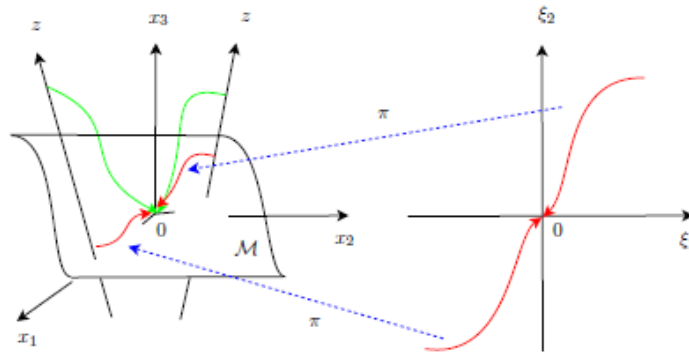


Figure 1: Représentation graphique de l'approche par immersion et invariance.

Les méthodes de commande basées sur des fonctions Lyapunov sont duales de celles présentées ci-dessus. En effet, il s'agit de déterminer une fonction V définie

positive telle que $\dot{V} = \alpha(V)$ le long des trajectoires du système, ait un point d'équilibre (globalement) asymptotiquement stable à zéro. A noter que la fonction $V : \mathbb{R}^n \rightarrow I$, où I est un intervalle de l'axe réel, peut être considérée comme une submersion et la dynamique cible, puisque la dynamique de la fonction de Lyapunov est de dimension un, voir Figure 2. Une procédure similaire à l'I&I a été proposée dans [7], avec la différence fondamentale que l'application correspondante s'agit d'une transformation de coordonnées et pas une immersion.

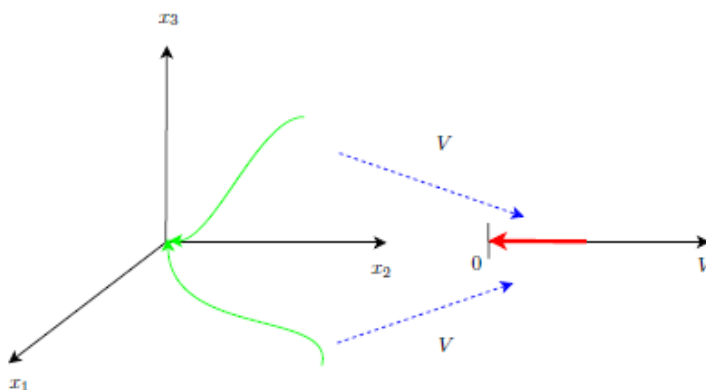


Figure 2: Interprétation par submersion des techniques basées sur l'approche de Lyapunov.

Conception d'observateurs

Le problème de la reconstruction des vitesses des systèmes mécaniques, d'un grand intérêt pratique, a été intensivement étudié dans la littérature. Depuis la publication du premier résultat fondateur [8] dans 1990, de nombreuses solutions ont été proposées. Une approche efficace mais restrictive consiste à rendre linéaire la dynamique du système par rapport aux vitesses non mesurées via des changements de coordonnées partiels. Le problème de la construction d'observateurs et de lois de commande devient alors aisé [20, 9, 10, 11, 12].

Un observateur, qui exploite la structure Riemannienne du système, est présenté dans [13], [14], [15] tandis qu'une solution pour une classe de systèmes ayant deux degrés de liberté est exposée dans [16]. Pour une liste détaillée de références, le lecteur pourra se reporter aux ouvrages suivants [32, 17, 27].

La première utilisation des variétés invariantes et attractives pour la construction d'observateurs est initialement remontée aux travaux de Luenberger sur les systèmes linéaires, puis elle fut étendue récemment aux systèmes non linéaires [7], [18], [19]. Dans [7], un observateur est défini comme un système linéaire asymptotiquement stable,

qui reçoit en entrée les mesures disponibles dont on définit une sortie à l'aide d'une application non linéaire. L'estimé de l'état est ensuite obtenu par inversion de cette application. Sous des conditions de non résonance, il peut être prouvé, à l'aide du théorème auxiliaire de Lyapunov, que le système étendu composé du système et de l'observateur possède une variété invariante et attractive (localement), qui garantit une erreur d'estimation nulle sur celle-ci. Une version globale de ces résultats est proposée dans [18].

Dans tous les travaux mentionnés ci-dessus l'observateur possède une dynamique linéaire. L'existence (locale ou globale) et l'invariance de la variété sont assurées sous des conditions de non résonance ou des hypothèses de complétude. L'attractivité est assurée par la stabilité de la dynamique de l'observateur.

Le problème de la conception d'observateurs via la perspective I&I, en opposition aux travaux précédents, considère que la variété est paramétrisée. La dynamique de l'observateur est choisie de telle sorte que cette variété soit invariante. Ainsi, par rapport au problème de stabilisation, la dynamique cible n'est pas donnée a priori mais est induite par l'observateur à construire. Le point clé revient à résoudre un ensemble d'équations différentielles partielles (EDPs) qui assurent l'attractivité de la variété. Dans l'article récent [20], un observateur d'ordre plein pour une classe des systèmes non linéaires qui obvie aux restrictions dérivant de la solubilité des EDPs en employant une extension dynamique se composant d'un filtre de sortie et d'un paramètre dynamique de graduation.

Nous rappelons la définition d'un observateur d'après [7]. Soit le système non linéaire décrit par les équations différentielles ordinaires suivantes :

$$\begin{aligned}\dot{y} &= f_1(\eta, y) \\ \dot{\eta} &= f_2(\eta, y),\end{aligned}\tag{15}$$

où $\eta \in \mathbb{R}^n$ est la partie de l'état nonmesurée et $y \in \mathbb{R}^k$ est la partie mesurée.

Définition 1. *Le système dynamique :*

$$\dot{\xi} = \alpha(\xi, y),\tag{16}$$

avec $\xi \in \mathbb{R}^s$, $s \geq n$, est appelé observateur I&I du système (15), s'il existe des applications $\beta : \mathbb{R}^s \times \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}^s$ et $\phi : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}^s$ inversibles (à gauche par rapport à leur premier argument) et telles que la variété :

$$\mathcal{M} = \{(\eta, y, \xi) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^k \times \mathbb{R}^s : \beta(\xi, y) = \phi(\eta, y)\}\tag{17}$$

vérifie les propriétés suivantes :

- (i) toute trajectoire du système étendu (15,16) initialisée sur la variété \mathcal{M} reste sur celle-ci pour tout temps futur, i.e., \mathcal{M} est positivement invariante par rapport au système étendu.
- (ii) toute trajectoire du système étendu (15,16) initialisée dans un voisinage de \mathcal{M} converge asymptotiquement vers \mathcal{M} , i.e., \mathcal{M} est attractive par rapport au système étendu.

Cette définition implique qu'un estimé asymptotique de l'état η est donné par :

$$\hat{\eta} = \phi^L(\beta(\xi, y), y), \quad (18)$$

où ϕ^L est l'inverse à gauche de ϕ . Ainsi, l'erreur d'estimation $\hat{\eta} - \eta$ est nulle sur \mathcal{M} .

Sommaire

Ce travail de thèse est composé de quatre chapitres:

Le **Chapitre 1** présente certains matériaux milieux, des concepts et des résultats. Nous commençons avec les notions de stabilité quand on considère les signaux d'entrée. Cadre de modélisation à port-Hamiltonien du système est présentée, montrant l'équivalence intrinsèque entre les équations d'Euler-Lagrange et du cadre hamiltonien. Après une brève introduction où les idées principales de l'immersion et de l'invariance sont illustrés, le principe de conception d'observateurs pour les systèmes non linéaires générales par I & I est donnée.

Dans les trois premières sections du **Chapitre 2**, nous rappelons quelques résultats sur la robustesse aux perturbations appariées et de la régulation sur la sortie passive. Les dernières sections décrit les conditions assorties à des perturbations via commande intégrale, aussi la preuve au assure la régulation de la non-sortie passive est donnée.

Sous certaines hypothèses techniques sur les systèmes mécaniques, nous montrons le rejet de perturbations appariées et non appariées pour matrices d'inertie constante dans le **Chapitre 3**.

En outre, plus forte propriété d'entrée à l'état de stabilité, cette fois par rapport aux perturbations appariées et non appariées, est assurée. Finalement, il est démontré que le commande peut être simplifiée, y compris un changement partiel de coordonnées sur les *momenta* si on considère les perturbations appariées uniquement.

Pour totalement actionnés systèmes mécaniques, il est montré dans le **Chapitre 4** que le suivi des références continues sans une information de vitesse peut être obtenue en combinant à observateur exponentiellement stable et une conception appropriée de une commande retour d'état à base de passivité, qui assigne à la boucle fermée à structure port-hamiltonien via changement de coordonnées tel qu'il est utilisé dans le chapitre 3.

Contributions

Pour une classe de systèmes :

- Régulation de la sortie non passive et les rejets de perturbations pas appariés êtes satisfait ajoutant simplement l'action intégrale.
- La méthodologie formulée par changement de coordonnées d'éviter résoudre équations aux dérivées partielles.

Pour le cas des systèmes mécaniques:

- Le rejet de perturbations constantes (appariés) est satisfaite.
- Pour perturbations variant dans le temps (appariés et non appariés), le système est doté avec les propriétés IISS et de l'ISS.
- Performances exponentiel a été validé avec une plate-forme expérimentale d'un manipulateur de 2 degré de liberté.
- Suivi exponentielle de la référence dans position et la vitesse pour toutes les trajectoires désirées sans information de vitesse est prouvée.

Bibliography

- [1] B.A. Francis and W.M. Wonham. The internal model principle for linear multi-variable regulators. *Applied Mathematics and Optimization*, 2:170-194, 1975.
- [2] C. Batlle, A. Doria-Cerezo, and E. Fossas. Robust Hamiltonian passive control for higher relative degree outputs, Technical Report IOC-DTP-2006-25, Institut d'Organització i Control de Sistemes Industrials, E-Prints UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, 2006.
- [3] K.Fujimoto , K.Sakurama, and T.Sugie. Trajectory tracking control of portcontrolled Hamiltonian systems via generalized canonical transformations. *Automatica*, 39(12), 2003.
- [4] A. van der Schaft, Port-Hamiltonian systems: an introductory survey ,Proceedings of the International Congress of Mathematicians, Madrid, Spain, 2006
- [5] A. van der Schaft, **L_2 -Gain and Passivity Techniques in Nonlinear Control**, Springer, Berlin; 1999.
- [6] C. Lanczos, **The Variational Principles of Mechanics**. 4th edition, Dover Publications, 1986.
- [7] N. Kazantzis and C. Kravaris. Nonlinear observer design using Lyapunov's auxiliary theorem. *Systems and Control Letters*, 34(5):241-247, 1998.
- [8] S. Nicosia and P. Tomei. Robot control by using only joint position measurements. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. 35, No. 9, pp. 1058-1061, Sep 1990.
- [9] N. S. Bedrossian. Linearizing coordinate transformation and Riemannian curvature. *Proc. IEEE Conf. Dec. & Contr.*, Tuscon, Arizona, USA, pp. 80-85, Dec 1992.
- [10] G. Besançon. Global output feedback tracking control for a class of Lagrangian systems. *Automatica*, Vol. 36, No. 12, pp. 1915-1921, April 2000.
- [11] M. W. Spong. Remarks on robot dynamics: canonical transformations and Riemannian geometry. *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. & Autom.*, Nice, France, pp. 554-559, May 1992.

- [12] A. Venkatraman and A. J. van der Schaft. Full order observer design for a class of port–Hamiltonian systems. *Eighteenth International symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems*, Blacksburg, Virginia, USA, July 28 - Aug 1, 2008.
- [13] N. Aghannan and P. Rouchon. An intrinsic observer for a class of Lagrangian systems. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. 48, No. 6, pp. 936–945, 2003.
- [14] D.A. Anisi and J. Hamberg. Riemannian observers for Euler-Lagrange systems. *16th IFAC World Congress*, Prague, Czech Republic, 2005.
- [15] S. Bonnabel, P. Martin and P. Rouchon. Symmetry-Preserving Observers. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. 53, No. 11, pp. 2514–2526, 2008.
- [16] D. Carnevale, D. Karagiannis and A. Astolfi. Invariant manifold based reduced-order observer design for nonlinear systems. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, Vol. 53, No. 11, pp. 2602-2614, Dec 2008.
- [17] G. Besançon (Ed.). **Nonlinear Observers and Applications**. Lecture Notes in Control and Information Science, Vol. 363, Springer-Verlag, 2007.
- [18] V. Andrieu and L. Praly. On the existence of a Kazantzis-Kravaris Luenberger observer. *SIAM J. Control and Optimization*, 47(4), pp. 1814–1850.
- [19] V. Andrieu, L. Praly and A. Astolfi. Homogeneous approximation, recursive observer design and output feedback. *SIAM J. Control and Optimization*, Vol. 47, pp. 1814-1850
- [20] D. Karagiannis and A. Astolfi. Observer design for a class of nonlinear systems using dynamic scaling with application to adaptive control. *Proc. IEEE Conf. Dec. & Contr.*, Cancun, Mexico, Dec 9-11, 2008.
- [21] A. Astolfi, R. Ortega and A. Venkatraman. A globally exponentially convergent immersion and invariance speed observer for mechanical systems with non-holonomic constraints. *Automatica*, 46(1), 2010, pp. 182–189.
- [22] H. Berghuis and H. Nijmeijer, A passivity approach to controller-observer design for robots, *IEEE Trans. Robotics Automat.*, vol. 9, pp. 740-754, Dec. 1993.
- [23] S. Nicosia and P. Tomei, Robot control by using only position measurements, *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 35, no. 9, pp. 1058-1061, Sept. 1990.
- [24] A. Donaire and S. Junco, On the addition of integral action to port-controlled Hamiltonian systems, *Automatica*, 45, (8), (2009), pp. 1910–1916.
- [25] H. K. Khalil, **Nonlinear Systems**, Third ed., Prentice Hall, 2002.
- [26] R. Ortega and E. Garcia-Canseco, Interconnection and damping assignment passivity-based control: A survey, *European Journal of Control*, 10, (5), (2004), pp. 432-450.

- [27] R. Ortega, A. Loria, P. J. Nicklasson and H. Sira-Ramirez, **Passivity-Based Control of Euler-Lagrange Systems**, Communications and Control Engineering, Springer-Verlag, Berlin, 1998.
- [28] D. Angeli, E. D. Sontag, and Y. Wang, A characterization of integral input-to-state stability, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 45, 2000, pp. 1910–1916.
- [29] E. Sontag, Input-to-state stability: Basic concepts and results, *Nonlinear and Optimal Control Theory*, Eds. P. Nistri and G. Stefani, Springer-Verlag, Berlin; 2007, pp. 163–220.
- [30] A. Venkatraman, R. Ortega, I. Sarras and A. van der Schaft, Speed observation and position feedback stabilization of partially linearizable mechanical systems, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 55, No. 5, pp. 1059–1074, 2010.
- [31] D.A. Dirksz and J.M.A. Scherpen, Port-Hamiltonian and power-based integral type control of a manipulator system, *18th IFAC World Congress Milano*, pp. 13450–13455.
- [32] A. Astolfi, D. Karagiannis and R.Ortega, **Nonlinear and adaptive control design with applications**, Springer-Verlag, London 2007.
- [33] A. Loria, Global tracking control of one degree of freedom Euler-Lagrange systems without velocity measurements, *European J. Control*, Vol. 2, pp. 144–151, 1996
- [34] F. Zhang, D. M. Dawson, M. S. de Queiroz, and W. E. Dixon, Global adaptive output feedback tracking control of robot manipulators, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 45, No. 6, pp 1203–1208, 2000
- [35] G.Viola, R.Ortega, R.Banavar, J.A. Acosta and A.AStolfi, Total energy shaping control of mechanical systems: Simplifying the matching equations via coordinate changes, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 52, No. 6, 2007.

