
Projet CONGE

Contrôle géométrique des systèmes non linéaires

Localisation : Metz

Mots-clés : équation différentielle, automatique non linéaire, stabilisation de système non linéaire, observateur, capteur logiciel, identification de paramètres, filtrage non linéaire, environnement, équation différentielle stochastique, commande de processus, feedback non linéaire, modélisation en biologie, robustesse au bruit.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Gauthier Sallet, Professeur université de Metz

Responsable permanent

Jean-Claude Vivalda, CR Inria

Secrétaire

Mireille Bulsei

Personnel Inria

Abderrahman Iggidr, CR Inria

Cheng Zhong Xu, CR Inria

Personnel Université

Philippe Adda, Maître de conférences, Université de Nancy II

Rachid Chabour, Maître de conférences, Université de Metz

Abdelhak Ferfera, ATER, Université de Metz

Mohamed Oumoun, ATER, Université de Metz

Rachid Outbib, ATER, Université de Metz

Edouard Richard, Maître de conférences, CRAN Longwy

Chercheurs doctorants

Wohida Aggoune, Mohamed Bensoubaya, Boursier du gvt marocain

Boumediene Chentouf, Martine Clavier, Professeur Agrégée

Hamid Jghima, Boursier du gvt marocain

Hassan Laousy, Boursier du gvt marocain

Marco Pengov, Boursier Inria

Hanine Zenati

Collaborateur extérieurs

Mohamed Hammami, Assistant, Université de Sfax – Tunisie
 Hamadi Jerbi, Assistant, Université de Sfax – Tunisie
 Daniel Thomasset, Professeur Insa de Lyon
 Mohamed Darrouach, Professeur IUT de Longwy – ACS-Cran
 Michel Zasadzinski, CR CNRS – ACS-Cran (Longwy)

2 Présentation du projet

Le projet Conge est un projet commun à l'Ura 399 de l'Université de Metz et à l'Inria. Tous ses chercheurs sont rattachés à la section 07 du CNRS.

L'activité du projet est centrée sur l'étude des systèmes non linéaires, il participe aux recherches théoriques entamées depuis une vingtaine d'années qui ont pour but la maîtrise de ce type de système. Notre objectif consiste en l'application des résultats obtenus en Automatique non linéaire à la résolution de problèmes issus de l'industrie. Dans ce cadre, notre démarche se décompose en plusieurs étapes : il s'agit tout d'abord de modéliser de façon réaliste puis, éventuellement, d'identifier certains paramètres, de concevoir un observateur et enfin d'appliquer une commande rétroactive qui réalisera un but désiré.

Si seuls quelques uns des points évoqués ci-dessus sont centraux dans le projet, la considération de certains problèmes conduira à l'utilisation de techniques de l'automatique qui ne ressortiront pas forcément de ces thèmes.

3 Action de recherche

3.1 Observateurs – Capteurs logiciels

Mots-clés : observateur, filtrage non linéaire, identification de paramètres, capteur logiciel, réacteur chimique et biologique.

Le projet CONGE s'est récemment orienté vers l'élaboration de capteurs logiciels (ou observateurs) pour les systèmes industriels. Supposons qu'un système (S) soit modélisé par l'équation $\frac{dx}{dt} = f(x, u)$ décrivant l'évolution des variables caractéristiques du système au cours du temps et soit y le vecteur des variables observées. Un observateur est un système dynamique auxiliaire $\frac{d\hat{x}}{dt} = g(\hat{x}, u, y)$ tel que le vecteur \hat{x} fournisse une estimation de l'état x ; si on implémente ce système dynamique sur un ordinateur pour intégration numérique, on obtient un capteur logiciel.

La conception de ces capteurs utilise la théorie des observateurs non linéaires développée par J.-P. Gauthier, H. Hammouri et G. Sallet.

Les capteurs logiciels peuvent être considéré uniquement pour l'estimation qu'ils donnent des états non mesurés ou bien dans le but de détecter des pannes dans un système de production industriel ou encore ils peuvent être utilisés pour faire de la commande par retour d'état estimé. Le projet CONGE utilise alors son expertise [pour construire et utiliser des feedbacks stabilisants.

3.1.1 Capteurs logiciels pour des systèmes biologiques

Participants : A. Iggidr, M. Pengov, E. Richard, G. Sallet, J.-C. Vivalda.

Les réacteurs biologiques sont des systèmes pour lesquels il est très difficile d'avoir accès à l'ensemble des états. Nous nous intéressons au problème de la croissance de la *Saccharomyces Cerevisiae* (levure de boulanger) en réacteur semi-continu en vue de maîtriser et d'optimiser les processus de fermentation. Pour ce type de réacteur, il est facile de mesurer les concentrations en éthanol et en glucose tout au long

de l'évolution du procédé mais la mesure directe de la biomasse ne peut se faire qu'avec une très mauvaise précision. Nous avons obtenu un capteur logiciel fournissant une estimation de cette dernière quantité en continu.

Sur ce sujet, une autre voie de recherche est l'identification des coefficients du système. Le modèle sur lequel nous avons travaillé jusqu'à présent représente bien la réalité mais certains de ses paramètres ne sont pas identifiables. C'est pourquoi, nous cherchons à élaborer un autre modèle, réaliste, et dont les paramètres seraient identifiables.

Outre ce travail sur la levure, nous nous sommes intéressés à la croissance d'algues en chémostat, là encore nous avons pu élaborer un capteur logiciel donnant une estimation de la biomasse (voir [23]).

3.1.2 Capteurs logiciels et systèmes discrets

Participants : A. Iggidr, J.-C. Vivalda, M. Bensoubaya

Souvent dans les applications, on ne dispose que de données discrètes. Une stratégie consiste à lisser ces données par divers moyens (approximation, spline, ...), une autre est de considérer un système discret c'est à dire un système du type :

$$\begin{cases} x(k+1) &= f(x(k), u) \\ y(k) &= h(x(k)) \end{cases}$$

Nous étudions le problème de l'élaboration de capteurs logiciels pour de tels systèmes.

Avant de concevoir un capteur logiciel, il est important de savoir si le système étudié est observable, c'est à dire si la connaissance partielle de l'état du système permet de reconstruire l'état tout entier. Relativement à ce problème, il est important d'établir des résultats de généralité ; nous avons obtenu un résultat partiel dans le cas où f est un difféomorphisme.

Les systèmes discret se rencontrent souvent dans la gestion des ressources renouvelables. Dans le domaine de la pêche, par exemple, un problème crucial est l'estimation du stock de poissons d'une espèce donnée ; dans le cadre d'un modèle de répartition par classes d'âges, nous travaillons à la conception d'un capteur logiciel donnant une estimation de la quantité de poissons.

3.1.3 Fluidetronique

Participants : E. Richard, G. Sallet, R. Outbib, J.-C. Vivalda, A. Iggidr.

Le terme « fluidetronique » (ou « Fluid Power ») désigne l'ensemble des activités (conception, modélisation, simulation, commande, ...) relative aux systèmes utilisant un fluide (hydraulique, pneumatique) sous pression à titre énergétique que ce soit au niveau composant ou système. De nombreuses industries sont concernées par ce domaine, notamment dans les applications nécessitant un contrôle précis de grandeurs mécaniques (position, vitesse, force) et/ou mettant en jeu des efforts importants.

Avec l'équipe ACS du Cran et le LAI de l'Insa Lyon, nous avons formé le PRC « Modélisation et Commande des Systèmes à Fluide sous Pression » dans le cadre du PRC-GDR Automatique.

Au sein du projet, nous nous intéressons à l'aspect commande tout en y intégrant l'aspect modélisation. L'élaboration d'une loi de commande repose sur la connaissance de l'état, ce qui nécessite l'utilisation de capteurs (position, vitesse, accélération, pression) ; ces capteurs peuvent entraîner un surcoût prohibitif pour certaines installations. Pour cette raison, un objectif important est la réalisation de capteurs logiciels permettant de faire entrer l'estimation d'un état non mesuré dans une boucle de commande.

3.1.4 Systèmes hybrides. Systèmes de dimension infinie.

Participants : C.-Z. Xu, H. Laousy, G. Sallet, M. Chentouf.

Une des difficultés rencontrées dans la commande des systèmes à paramètres distribués est que l'on ne dispose que d'un nombre limité de capteurs alors que le vecteur d'état est de dimension infinie. Une

approche pour la commande de ce type de systèmes est l'utilisation d'estimations de variables d'état obtenues par capteurs logiciels.

Une étude des capteurs logiciels en dimension infinie a été commencée en collaboration avec J.-P. Gauthier. L'observateur de Luenberger en dimension finie a été généralisé dans un certain sens à des systèmes bilinéaires dissipatifs. D'autre part, on a montré que certains systèmes symétriques hyperboliques et dissipatifs, à deux variables indépendantes avec observations frontières sont observables. À partir de ce résultat, nous allons essayer de construire des observateurs pour ces systèmes.

3.2 Stabilisation

Participants : W. Aggoune, M. Bensoubaya, B. Chentouf, A. Iggidr, R. Outbib, C.-Z. Xu, H. Zenati

Nous continuons à travailler sur ce thème (stabilisation des systèmes déterministes et stochastiques) et, de plus, nous avons abordé cette année l'étude de la stabilisation des systèmes avec retard.

Dans le domaine des systèmes à paramètres répartis, nous nous sommes intéressés aux systèmes hyperboliques symétriques à deux variables indépendantes pour lesquels nous avons démontré des résultats de stabilisation exponentielle moyennant certaines hypothèses. Nous avons élaboré également des feedbacks non linéaires permettant de stabiliser l'équation de la corde vibrante (à deux variables indépendantes) ainsi que l'équation de la plaque.

4 Actions industrielles

Des contacts ont été pris avec des sociétés travaillant dans le domaine de l'agro-alimentaire et de l'avionique. Nous avons obtenu un accord de principe pour une collaboration, un contrat devrait être signé prochainement..

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

Le projet participe aux travaux du PRC-GDR automatique. Il est membre fondateur du PRC « Modélisation et Commande des Systèmes à Fluide sous Pression ».

Le projet Conge est membre fondateur du GDR « Modèles de l'automatique pour les écosystèmes et la dynamique des ressources renouvelables » dirigé par C. Lobry. Des collaboration avec l'Ifremer se font à travers ce GDR.

Le projet Conge collabore de façon systématique avec le projet Miaou (Sophia-Antipolis) ; une collaboration est à l'étude avec le projet SOSSO.

Conge collabore avec le Lagep Lyon et le LSGC Nancy sur les problèmes d'automatique non linéaire dans les réacteurs chimiques ou biologiques. Une thèse codirigée (Conge-LSGC) sur des réacteurs biologiques a commencé, le chercheur venant du Lagep.

Enfin, des échanges et des collaborations ont lieu avec l'Université de de Grenoble (Observateurs), l'Université de Lyon (Lagep et Insa) et l'Insa-Rouen (Observateurs).

Le projet a participé au colloque « Dynamique des populations structurées » organisé par le GDR automatique au Cirm à Luminy en avril 1996.

5.2 Actions internationales

Collaboration scientifique :

Université Rutgers (H.J. Sussmann, E. Sontag), Banach Center (L. Jacubczyk), Université de Toronto (V. Jurdjevic), Georgia Tech (E. Verriest), Université de Minsk (B. Kalitine).

Le projet CONGE participe à l'ERCIM (Group Control and Systems Theory).

6 Diffusion des résultats

6.1 Actions d'enseignement

G. Sallet enseigne le cours de contrôle des systèmes non linéaires du DEA de mathématiques appliquées de Université de Metz.

6.2 Participation à des colloques

Des membres de l'équipe ont participé à des conférences et *workshops* ; on se reportera à la bibliographie pour en avoir la liste.

7 Publications

Thèses

- [21] H. JGHIMA, *Contribution à la stabilité et à la stabilisabilité des systèmes non linéaires*, thèse de doctorat, Université de Metz, mai 1996.

Articles et chapitres de livre

- [22] A. BENSUBAYA, M. FERFERA, A. IGGIDR, «Stabilisation globale des systèmes non linéaires stochastiques», *CRAS I*, 323, 1996, p. 427–432.
- [23] O. BERNARD, G. SALLET, A. SCIANDRA, «Nonlinear observers for a class of biological systems. Applications to validation of a phytoplanktonic growth model», *IEEE Trans. on Autom. Cont.*, à paraître.
- [24] O. CHABOUR, R. CHABOUR, M. OUMOUN, «Global stability of partially linear stochastic systems», *Journ. of stochastic analysis and applications*, à paraître.
- [25] J. COUCHOURON, P. LIGARIUS, «Asymptotic observers for a class of evolution equations : a nonlinear approach», *CRAS*, à paraître.
- [26] A. FERFERA, A. IGGIDR, «Remarks on the stabilization of partially linear composite systems», *IEEE Trans. on Autom. Cont.*, 1997, à paraître.
- [27] A. IGGIDR, R. KALITINE, R. OUTBIB, «Semi-definite Lyapunov Functions, Stability and Stabilization», *MCSS*, 1997, à paraître.
- [28] H. JGHIMA, R. OUTBIB, «A remark on the stabilization of homogeneous polynomial systems», *Applied Maths Letter* 9, 9, 1996, p. 47–49.
- [29] H. JGHIMA, R. OUTBIB, «Stabilité au sens de Lagrange d'une classe de systèmes quadratiques dans \mathbb{R}^3 », *CRAS I*, 1996, p. 935–938.
- [30] M. OUMOUN, R. CHABOUR, «A Jurdjevic-Quinn theorem for stochastic nonlinear systems», *Journ. of stochastic analysis and applications*, à paraître.
- [31] M. OUMOUN, R. CHABOUR, «An universal formula for the stabilization of control stochastic nonlinear systems», *Journ. of stochastic analysis and applications*, à paraître.

- [32] M. OUMOUN, J. VIVALDA, «On the global stabilization of a class of bilinear systems in 3-space», *European Journal of Control* 2, 193, 1996, p. 193–200.
- [33] R. OUTBIB, H. JGHIMA, «Comments on the stabilization of nonlinear systems by adding an integrator», *IEEE Trans. on Automatic Control*, 1996, à paraître.
- [34] C. XU, A. LAOUSY, G. SALLET, «Boundary feedback stabilization of a rotating body-beam system», *IEEE Trans. on Auto. Cont.* 41, 2, 1996, p. 241–245.
- [35] C. XU, P. LIGARIUS, J. GAUTHIER, «An observer for infinite dimensional dissipative bilinear systems», *Computers & Mathematics with Applications* 29, 7, 1996, p. 13–21.
- [36] C. XU, G. SALLET, «On spectrum and Riesz basis assignmeent of infinite dimensional linear systems by bounded linear feedbacks», *SIAM Journ. of Cont. and Opt.* 34, 2, 1996, p. 521–541.
- [37] C. XU, «Exact observability and exponential stability of infinite dimensional bilinear systems», *MCSS*, 9, 1996, p. 73–93.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [38] W. AGGOUNE, I. VERRIEST, «Stability of nonlinear differential delay systems», *in: Symposium on modelling, analysis and simulation*, CESA, p. 790–795, Lille, 1996.
- [39] W. AGGOUNE, I. VERRIEST, «Extension of robust stability for time-varying delay systems with nonlinear perturbations», *in: Conference on control of industrial systems*, IFAC, Belfort, 1997.
- [40] M. BENSOUBAYA, A. FERFERA, A. IGGIDR, «Global Stabilization of nonaffine control systems», *in: Int. Conf. Modelling, Identification and Control*, IASTED, Innsbruck, février 1997.
- [41] J. COUCHOURON, P. LIGARIUS, «Asymptotic observers for weighted evolution equations in Banach spaces : a nonlinear approach», *in: Conference on control of industrial systems*, ECC, Belfort, 1997.
- [42] M. HAMMAMI, J. VIVALDA, M. OUMOUN, «Observers for homogeneous systems», *in: Conference on control of industrial systems*, IFAC, 1997.
- [43] R. OUTBIB, E. RICHARD, «A result of stabilization of an electropneumatic system», *in: Symposium on modelling, analysis and simulation*, CESA, p. 1270–1273, Lille, 1996.

Rapports de recherche et publications internes

- [44] M. BENSOUBAYA, A. FERFERA, A. IGGIDR, «Stabilizability of discrete-time nonlinear control systems», *rapport de recherche n°10/96*, Université de Metz – Dept de Maths, 1996.
- [45] A. IGGIDR, M. BENSOUBAYA, «Stability of discrete-time systems : new criteria and applications to control problems», *rapport de recherche n°3003*, INRIA, 1996.

8 Abstract

The Conge project is devoted to research in the field of nonlinear control system. Among the different topics of nonlinear control system theory the project focusses especially on stabilization by state feedback, state observers and filters (software sensors), stabilization in an observer design (ie stabilization by an estimated state feedback, the estimation given by an observer), robustness to noise measurement, and hybrid system, ie systems governed by nonlinear systems with some distributed parameters. The systems considered are issued by industrial problems such that bio-reactors, chemical tank reactors, mechanical systems, ecological systems.