

Sujet de stage M2

Français

Titre : Redondance d'entrée des systèmes à commutations

Encadrants : Marc JUNGERS - marc.jungers@univ-lorraine.fr, Jérémie KREISS - jeremie.kreiss@univ-lorraine.fr

Discipline : Automatique, productique

Mots-clés : Redondance d'entrée, systèmes hybrides, théorie de la commande géométrique

Description : Généralement motivé par la génération d'efforts trop importants pour un seul actionneur, la tolérance aux pannes ou l'amélioration des performances, il est fréquent de dimensionner un système avec plus d'actionneurs que nécessaire pour le commander. Un tel système est qualifié de *système sur-actionné* ou *système redondant en entrée* et présente la particularité suivante : l'objectif de commande ne définit pas de manière unique la valeur de l'entrée. Cette propriété traduit le fait que le système n'est pas inversible à gauche [1]. Par rapport à cet objectif, le système contient alors des degrés de liberté. D'une part, ces degrés de liberté peuvent être utilisés pour améliorer les performances du système, en répondant à un objectif secondaire. D'autre part, ils induisent des difficultés liées à la stabilisation. L'objet des méthodes d'*allocation de commande* est de les utiliser pour améliorer la performance tout en assurant la stabilité du système commandé et le respect de l'objectif de commande (voir [2] pour un état de l'art des méthodes d'allocation).

Récemment, pour combler un manque dans la littérature, la notion de redondance d'entrée a été entièrement redéfinie et caractérisée pour des systèmes linéaires temps invariants (LTI) (article accepté avec révisions mineures à *Systems and Control Letters* [3]), sur la base des approches géométriques [1], bien appropriées aux systèmes LTI. Parmi les définitions, une taxonomie en trois types a été proposée afin d'identifier les différentes origines de la redondance d'entrée.

Par ailleurs, de nombreuses applications complexes actuelles (convertisseurs de puissance [4], transmission sur les réseaux, systèmes mécaniques) présentent à la fois des phénomènes continus et discrets. Ils se modélisent via le formalisme rigoureux des systèmes hybrides [5, 6], voire commutés. Il est évident que l'hétérogénéité continu/discret est compatible avec la redondance en entrée.

Le sujet du stage de Master 2 concerne l'étude de la redondance en entrée pour des systèmes à commutations. L'objectif est de donner des éléments de caractérisation de cette notion pour ensuite proposer des méthodes d'allocation de commande adéquates (par exemple transfert sans chocs [7], réduction énergétique [8]). La question de la redondance d'entrée dans ce cadre est loin d'être intuitive, tout comme la notion de stabilité ou de stabilisation [9, 10] pour les systèmes hybrides. Elle n'a pour l'instant été abordée uniquement dans le cas particulier de la caractérisation de l'inversibilité à gauche des systèmes à commutations [11]. Les travaux de recherche pourront débiter sur des systèmes où le signal de commutation est fixé.

Références

- [1] W. Murray Wonham. *Linear multivariable control : a geometric approach*. Springer-Verlag New York, 2012.
- [2] Tor A. Johansen et Thor I. Fossen. “Control allocation-a survey”. In : *Automatica* (2013), p. 1087-1103.
- [3] Jérémie Kreiss et Jean-François Tréguët. “Input Redundancy : Definitions, Taxonomy and Characterizations.” In : *soumis à IEEE Systems and Control Letters* (2021).
- [4] Jérémie Kreiss, Marc Bodson, Romain Delpoux, Jean-Yves Gauthier, Jean-François Tréguët et Xuefang Lin-Shi. “Optimal control allocation for the parallel interconnection of buck converters”. In : *Control Engineering Practice* (2021), p. 104727.
- [5] Daniel Liberzon. *Switching in systems and control*. Springer Science & Business Media, 2003.
- [6] Rafal Goebel, Ricardo G Sanfelice et Andrew R Teel. *Hybrid dynamical systems*. Princeton University Press, 2012.
- [7] Luca Zaccarian et Andrew R Teel. “The L2 (l2) bumpless transfer problem for linear plants : Its definition and solution”. In : *Automatica* (2005), p. 1273-1280.
- [8] J. Kreiss, J. Tréguët, D. Eberard, R. Delpoux, J. Gauthier et X. Lin-Shi. “Hamiltonian Point of View on Parallel Interconnection of Buck Converters”. In : *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (2020), p. 1-10.
- [9] Mirko Fiacchini et Marc Jungers. “Necessary and sufficient condition for stabilizability of discrete-time linear switched systems : A set-theory approach”. In : *Automatica* (2014), p. 75-83.
- [10] Mirko Fiacchini, Antoine Girard et Marc Jungers. “On the stabilizability of discrete-time switched linear systems : Novel conditions and comparisons”. In : *IEEE Transactions on Automatic Control* (2015), p. 1181-1193.
- [11] Mustafa Devrim Kaba et MK Camlibel. “On the left-invertibility of switched linear systems”. In : *IFAC Proceedings Volumes* (2010), p. 350-355.

Durée : 6 mois

Employeur : Université de Lorraine

Lieu : CRAN, Nancy, France

Rémunération : 577 euros mensuels

Profil attendu : Nous sommes à la recherche d’un(e) candidat(e) fortement motivé(e) en dernière année de Master ou d’école d’ingénieur ayant de bonnes connaissances en automatique et mathématique. Le(la) candidat(e) doit posséder une affinité pour la recherche méthodologique. Possibilité de poursuivre avec une thèse de doctorat à la rentrée universitaire 2022.

English

Title: Input redundancy for switched systems

Supervisors: Marc JUNGERS - marc.jungers@univ-lorraine.fr, Jérémie KREISS - jeremie.kreiss@univ-lorraine.fr

Discipline: Control theory

Mots-clés: Input redundancy, hybrid systems, geometric control theory

Description: When a single actuator is not capable to deliver a sufficiently large effort, when fault tolerant comes into play or to provide better performances, a system is frequently designed with a larger number of actuators than strictly necessary to be controlled. Such a system is known as an over-actuated system or an input redundant system and owns the following property : its control objective does not determine solely the input. In fact, the system is not left-invertible [1]. With respect to the control objective, the system gets additional degrees of freedom. On the one hand, these degrees of freedom can be used for secondary objectives in order to enhance the system performances. On the other hand, they induce additional difficulties related to the stabilization. The aim of the control allocation techniques is to use the degrees of freedom both for the performance improvement and for stability guarantees (see [2] for a state of art about control allocation methods).

Lately, the input redundancy has been redefined and entirely characterized in the context of linear time invariant (LTI) system (paper provisionally accepted at Systems and Control Letters [3]). The characterization are based on the geometric control theory [1], which is well suited to the LTI context. Among the definitions, a three kind taxonomy has been proposed in order to distinguish the distinct origins of the input redundancy.

Furthermore, many existing applications (such as power converters [4], communications over networks, mechanical systems) present at the same time continuous and discrete phenomena. They can be modelised by the powerful formalism of the hybrid theory, or as switched systems. Obviously, the continuous/discrete heterogeneity does not prevent the system from input redundancy.

This MASTER thesis is focused on the study of input redundancy for switched systems. The goal is to provide characterizations propoerties for this notion in order to be able to design tailored control allocation methods (for instance bumpless transfer [7], or energy minimization [8]). The notion of input redundancy in this context is rather involved, as well as stability or stabilisation considerations [9, 10] for hybrid systems. To the best of our knowledge, there exists merely characterization of left invertibility for the switched systems [11]. The research work will start from the switched systems where the switched law is already set.

References

- [1] W. Murray Wonham. *Linear multivariable control: a geometric approach*. Springer-Verlag New York, 2012.
- [2] Tor A. Johansen and Thor I. Fossen. “Control allocation-a survey”. In: *Automatica* (2013), pp. 1087–1103.
- [3] Jérémie Kreiss and Jean-François Tréguët. “Input Redundancy: Definitions, Taxonomy and Characterizations.” In: *soumis à IEEE Systems and Control Letters* (2021).
- [4] Jérémie Kreiss, Marc Bodson, Romain Delpoux, Jean-Yves Gauthier, Jean-François Tréguët and Xuefang Lin-Shi. “Optimal control allocation for the parallel interconnection of buck converters”. In: *Control Engineering Practice* (2021), p. 104727.

- [5] Daniel Liberzon. *Switching in systems and control*. Springer Science & Business Media, 2003.
- [6] Rafal Goebel, Ricardo G Sanfelice and Andrew R Teel. *Hybrid dynamical systems*. Princeton University Press, 2012.
- [7] Luca Zaccarian and Andrew R Teel. “The L2 (l2) bumpless transfer problem for linear plants: Its definition and solution”. In: *Automatica* (2005), pp. 1273–1280.
- [8] J. Kreiss, J. Trégouët, D. Eberard, R. Delpoux, J. Gauthier and X. Lin-Shi. “Hamiltonian Point of View on Parallel Interconnection of Buck Converters”. In: *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (2020), pp. 1–10.
- [9] Mirko Fiacchini and Marc Jungers. “Necessary and sufficient condition for stabilizability of discrete-time linear switched systems: A set-theory approach”. In: *Automatica* (2014), pp. 75–83.
- [10] Mirko Fiacchini, Antoine Girard and Marc Jungers. “On the stabilizability of discrete-time switched linear systems: Novel conditions and comparisons”. In: *IEEE Transactions on Automatic Control* (2015), pp. 1181–1193.
- [11] Mustafa Devrim Kaba and MK Camlibel. “On the left-invertibility of switched linear systems”. In: *IFAC Proceedings Volumes* (2010), pp. 350–355.

Duration: 6 months

Employer: Université de Lorraine

Place: CRAN, Nancy, France

Rémunération: 577 euros per months

Profil attendu: We are looking for strongly motivated candidate in Master 2 with a good knowledge of control theory and mathematics. The candidate must be interested in methodological research and have the possibility to pursue with a PhD thesis.