

Achieving Successful Robust Integrated Control System Designs for 21st Century Military Applications – Part II

(RTO-EN-SCI-166)

Executive Summary

The general theme of both Lecture Series, PART I was presented in 2003, was the complexity of the 21st century control systems which involves highly innovative configurations and system technologies that impact in increasing cost and the time involved in achieving a successful design.

During these past number of years due the complexity of the 21st century control systems guidance and control system design engineers in the U.S.A. and in Europe have indicated a growing need to “Bridge the Gap” between theory and the real world (engineering) considerations, in developing viable cost-effective control system designs for a broad range of anticipated future military applications. For example, future Unmanned Air Vehicle (UAV) concepts in concert with autonomous guidance and control operational scenarios significantly increase the regional functionality, while opening the design trade (performance specifications) space compared to existing military systems. The complexity of future control systems require that control system design engineers must, at the onset of the design process, be aware of the essential aspects involved in achieving a successful and a practical control system design.

The need to “Bridge the Gap” is best described by the following anonymous quote:

“In THEORY (scientist) there is no difference between theory and practice. In PRACTICE (engineer) there is a difference between practice and theory.”

The topics of the four lecturers are in line with the general theme of this lecture series.

The first lecturer presents a summary of the main concepts and references of the Quantitative Feedback Theory (QFT). It is a frequency domain engineering method of design robust compensators/controllers. It explicitly emphasizes the use of feedback to simultaneously reduce the effects of model plant uncertainty and to satisfy performance specifications.

The second lecturer states that the design and/or tuning of restricted-structure controllers in order to provide the performance comparable with full-order solutions is still a very contentious issue. Added to this is the need to achieve robust properties and performance specifications required by military applications. Very few methods for designing restricted-structure controllers exist that allow the performance and robustness objectives to be combined into one relatively simple optimization problem. This lecture presents an LQG/H2-based method that tackles the above mentioned issues.

The third lecturer’s topic involves the control of uncertain systems under constraints. He states that in order to provide computationally affordable predictive control algorithms, predictive switching logic schemes are considered whereby a feedback-gain is switched-on at any time from a family of candidate feedback gains so as to control a discrete-time input-saturated LTI system possibly subject to persistent bounded disturbances of unknown arbitrary magnitude.

The fourth lecturer states that the aerospace applications require precise control despite uncertain operating conditions and unanticipated circumstances such as battle damage. These systems must be designed to perform robustly despite uncertain design models and difficult to analyze nonlinear effects. They must be capable of learning and adapting when accumulating data indicates that previous models must be abandoned and that existing control strategies must be changed. Data-driven design methods, collectively known as un-falsified control theory, facilitate the creation of robust control systems that learn, discover and evolve in real time in order to rapidly switch controller gains to compensate for the effects of battle, equipment failures, and other changing circumstances.

Réussir à concevoir des systèmes de contrôle intégrés robustes et efficaces pour les applications militaires du 21ème siècle – Partie II

(RTO-EN-SCI-166)

Synthèse

Le thème général des deux séries de conférences (la PARTIE I a été présentée en 2003) était la complexité des systèmes de contrôle du 21ème siècle, qui implique des configurations et des technologies de système hautement novatrices, sources d'une augmentation des coûts et du temps nécessaire pour réaliser une conception réussie.

Au cours de ces dernières années, du fait de la complexité des systèmes de contrôle du 21ème siècle, des ingénieurs concepteurs de systèmes de contrôle et de guidage aux U.S.A. et en Europe ont manifesté un besoin grandissant de « combler le fossé » entre la théorie et les considérations (d'ingénierie) du monde réel, afin de concevoir des systèmes de contrôle rentables et viables pour une vaste palette de futures applications militaires prévues. Par exemple, les concepts du futur Aéronef Sans Pilote (ASP) associés à des scénarios opérationnels de contrôle et de guidage autonomes, augmentent de manière significative la fonctionnalité régionale, tout en ouvrant l'horizon de la fonction de conception (spécifications techniques) en comparaison des systèmes militaires existants. La complexité des futurs systèmes de contrôle nécessite que les ingénieurs concepteurs de systèmes de contrôle soient conscients, au début du processus de conception, des aspects essentiels qu'implique la réalisation d'un modèle de système de contrôle réussi et pratique.

La citation anonyme suivante exprime très clairement ce besoin de « combler le fossé » :

« En THEORIE (scientifique), il n'y a aucune différence entre la théorie et la pratique. En PRATIQUE (ingénieur), il y a une différence entre la pratique et la théorie. »

Les sujets abordés par les quatre conférenciers sont conformes au thème général de cette série de conférences.

Le premier conférencier présente un résumé des principaux concepts et références de la Théorie de Rétroaction Quantitative (TRQ). Il s'agit d'une méthode d'ingénierie du domaine fréquentiel pour concevoir des appareils de contrôle/compensateurs robustes. Elle souligne de manière explicite l'importance de l'utilisation de la rétroaction pour réduire les effets de l'incertitude de l'usine modèle, tout en satisfaisant aux spécifications techniques.

Le deuxième conférencier rappelle que les appareils de contrôle à structure restrictive conçus et/ou paramétrés pour fournir les mêmes performances que les solutions de plein ordre, sont toujours très contestés. S'ajoute à cela la nécessité de se conformer aux propriétés de robustesse et aux spécifications techniques exigées par les applications militaires. Il existe très peu de méthodes pour concevoir des appareils de contrôle à structure restrictive qui permettent aux objectifs de performances et de robustesse d'être réunis en un seul et même problème relativement simple d'optimisation. Cette conférence présente une méthode basée sur LQG/H2, qui aborde les problèmes mentionnés ci-dessus.

Le thème du troisième conférencier porte sur le contrôle des systèmes incertains sous contraintes. Il établit que pour fournir des algorithmes de contrôle prédictif disponibles informatiquement, les combinaisons logiques de commutation prédictive sont prises en considération, permettant la sélection à tout moment d'un gain de rétroaction dans une famille de gains de rétroaction possibles, de manière à contrôler un système LTI à temps distinct, saturé par les entrées, et pouvant faire l'objet de perturbations liées persistantes de magnitude arbitraire inconnue.

Le quatrième conférencier explique que les applications aérospatiales nécessitent un contrôle précis malgré les conditions d'utilisation incertaines et les circonstances imprévues, tels que les dommages causés lors du combat. Ces systèmes doivent être conçus pour fonctionner avec robustesse, en dépit de modèles de conception incertains et d'effets non linéaires difficiles à analyser. Ils doivent être capables d'apprendre et de s'adapter lorsque les données accumulées indiquent que les modèles précédents doivent être abandonnés, et que les stratégies de contrôle existantes doivent être changées. Les méthodes de conception basées sur les données, connues collectivement sous le nom de théorie de contrôle infalsifiable, facilitent la création de systèmes de contrôle robustes qui apprennent, découvrent, et évoluent en temps réel, afin de changer rapidement les gains des appareils de contrôle pour compenser les effets du combat, des pannes de matériel, et des autres circonstances évolutives.