



Centres de Compétence Technique
**CCT SCA – Systèmes de Commande
et Automatique**



Séminaire co-organisé avec l'IMS
(Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système)

Diagnostic et reconfiguration GNC: Méthodes et applications

Jeudi 22 mai (9h15 – 17h30)

Institut Aéronautique et Spatial (IAS)
23 Avenue Edouard Belin, 31028 Toulouse, cedex 4

Les besoins en autonomie des engins spatiaux varient en fonction du scénario de la mission et des bénéfices attendus. Les satellites sont depuis longtemps autonomes pour les fonctions qui ne peuvent pas être assurées par des opérations "sol" parce qu'elles nécessitent un délai de réaction court que ne permet pas une communication avec le sol. Ce délai est généralement lié à une fonction régie par un asservissement (contrôle d'attitude...) ou à l'impératif de sécuriser le fonctionnement du satellite en l'empêchant d'entrer dans des situations pouvant entraîner sa perte ou l'échec de sa mission. C'est notamment le cas pour les sondes lointaines, dans des phases critiques comme une insertion sur orbite, ou bien pour les satellites défilants pour lesquels les communications avec les "stations sol" ne peuvent être qu'intermittentes. Le partage bord-sol est traditionnellement dimensionné d'une part par la limitation des capacités de calcul embarquées et d'autre part par des considérations de coût de développement et de maintenance qui conduisent à réserver le logiciel bord aux seules fonctions que le sol ne peut pas assurer. Mais d'autres facteurs conduisent à revoir cette logique:

- *l'évolution de la puissance de calcul des processeurs spatiaux,*
- *la volonté de réduire le coût d'exploitation des satellites,*
- *l'apparition d'équipements autonomes et "intelligents",*
- *l'évolution des instruments et des missions qui génèrent de plus en plus de données et font apparaître le débit des moyens de transmission bord-sol comme un goulot d'étranglement,*
- *de nouveaux besoins visant à améliorer les performances des missions (localisation et datation précises, agilité, réactivité...).*

L'autonomie décisionnelle embarquée peut permettre d'améliorer la réaction à des événements inattendus tels que les défaillances, en permettant de s'affranchir des délais habituels d'une boucle de programmation passant par le sol, souvent incompatibles avec les temps de réaction demandés.

Pour assister à ce séminaire, inscrivez-vous sur le site :
<http://cnes.cborg.net/cct/bipublic.html>

Inscriptions : <http://cnes.cborg.net/cct/bipublic.html>

Informations complémentaires : franck.cazaurang@laps.ims-bordeaux.fr ou Christelle.Pittet@cnes.fr



Centres de Compétence Technique

**CCT SCA – Systèmes de Commande
et Automatique**



Programme

09h15-09h30

Accueil

09h30-10h10

FDIR @ Thales Alenia Space

Xavier OLIVE (Thales Alenia Space)

L'évolution des satellites et l'ouverture vers des missions plus autonomes impliquent une évolution des architectures satellites et de la prise en compte de la FDIR dans celle-ci. Les contraintes sur les techniques de FDIR restent cependant invariables : robustesse, détection, isolation / identification rapide de fautes, faciliter de validation. La présentation décrit d'abord le contexte actuel pour la FDIR en décrivant l'approche implémentée globalement sur les satellites de télécommunication et plus particulièrement sur le sous-système SCAO. Des nouvelles tendances comme une stratégie centralisée et distribuée de la FDIR dans une architecture pour satellite autonome, le diagnostic actif et le diagnostic hybride sont présentées comme futures pistes de recherche. Les approches à base de modèles, bien que non présentées, sont considérées comme une bonne perspective à moyen terme.

10h10-10h50

**Diagnostic de thrusters par approche Hinf/H- et analyse de covariance:
Compromis complexité/performances**

David HENRY (IMS – Université Bordeaux 1)

Les travaux présentés traitent du développement de filtres de diagnostic robustes avec performances garanties en détection. Le cadre méthodologique proposé permet l'intégration simultanée des contraintes de robustesse vis-à-vis d'une classe générale d'incertitudes dans un contexte Hinf et des spécifications de sensibilité (dans un contexte H-) vis-à-vis des défauts que l'on souhaite détecter. La méthodologie développée permet également la prise en compte de performances multi-objectifs de type H2, H2g et placement de pôles robuste. La méthode présentée est appliquée au problème de détection et localisation de défauts thrusters de satellites (défauts multiples et simultanés). Les résultats montrent qu'il est possible de garantir un bon degré de robustesse vis-à-vis de nombres de perturbations spatiales (e.g. J2, pression photonique, impact des vents de haute atmosphère ...) et simultanément de garantir un haut degré de sensibilité des signaux indicateurs vis-à-vis des défauts. Les résultats montrent également que le prix à payer se chiffre en terme de complexité calculatoire. Pour s'affranchir de ce problème, une approche basée sur l'utilisation conjointe du filtrage Hinf/H- et une analyse de covariance, est présentée.

10h50-11h00

Pause

11h00-11h40

**FDIR Requirements , Rational and ESA Activities Overview for the GNC
and Software**

Inscriptions : <http://cnes.cborg.net/cct/bipublic.html>

Informations complémentaires : Christelle.Pittet@cnes.fr (+organisateur ou responsable autre CCT)

Eric BORNSCHLEGL (ESA)

FDIR is contributing to space mission objective, for the overall dependability, i.e. reliability, availability and safety, with mission dependent requirements and specific operational constraints.

The FDIR itself is influencing the reliability and the robustness. The pertinence and efficiency of the FDIR is a crucial aspect for the system-GNC cost and for the operational risks

Despite the advantage of simplicity of most of the current solutions, for particular mission requirements it appears necessary to conjointly improve the FDIR practice, from one side onto system/GNC – FDIR functional design & validation, from the other side onto its (hardware-software) real implementation & validation for operational flight acceptance.

For the first aspect, this necessitates a Rational for the FDIR, with requirements put onto system GNC – FDIR functional design & validation, as following:

- *Systematic faults Analysis, Metrics and Benchmarks*
- *Standard industrial process and supporting tools*
- *Reliability and reproducibility of the fault diagnosis-isolation and reliability of the recovery within the real time operational constraints.*
- *FDIR simplification, system-GNC-FDI structuring and smart utilisation of complementary techniques as locally appropriate*

A (system-GNC) unified (progressive) FDIR framework, with well (analytically) proven techniques in (analytically) well defined fault coverage become desirable.

- *Strong coupling between system-GNC-FDIR and the approach to control and operations of the vehicle or of the satellite*
- *The FDIR shall not put prohibitive constraints on future system designs and operations*
- *Reduction of the system-GNC FDIR validation and customization cost*
- *Tune-able and maintainable system-GNC FDIR*

*For system-GNC and software, ESA is today focusing the R&D efforts on the fault diagnosis and isolation with the objective **a)** to comply with the here-above requirements, **b)** to build a unified GNC FDIR Framework, **c)** to support efficiently and “formally” the integration and the verification of (discrete) models and of the software implementation.*

For the (System – GNC) related FDIR

*The ESA TRP activities and a PHD (IMS Bordeaux) are **focusing on the diagnosis and isolation**, with MatLab based simulators, for a re-entry vehicle and for satellite:*

- *Robust estimation for failure detection (e.g. thrusters failure for Mars Express satellite)*
- *Health Monitoring System (HMS) for the Hooper re-entry vehicle, with FDI design at system / GNC (on-board) / propulsion(on-board) and TPS-structure level (on-ground post-processing).*
- *A starting TRP activity, called “modern control techniques applied to satellite FDIR”*
- *PHD “on-board model-based fault diagnosis systems for re-entry vehicles”*

Other R&D phases are iteratively necessary for 1) a consolidation and formal validation with more in-depth validated representative simulator 2) a mapping and validation with a validated real time software implementation and with real hardware equipments and operational constraints 3) the Fault Recovery, i.e. for a real time validated Fault Tolerant Control (FTC) System.

For the Software related FDIR

ESA is performing the following TRP activities, for discrete event-based or discrete state modelling, for the integration and verification of FDIR entities and for FDIR development

process.

On-Board Model Checking

For an autonomous spacecraft, the main goal is continued operation in presence of anomalies and system faults. This can be achieved through employment of model-based automation covering in a unified approach on-board planning with fault management, and dealing with the partial system observability and diagnosability aspects.

System-Software Co-Engineering: Performance and Verification

(Discrete) Model-based Software Development relies on structural and behavioural models (discrete states). It allows to qualitatively assess their correctness. However, the nominal software operation does not take into account Hardware faults. System Safety and RAMS analyses focus on the system-level entities (Hardware), fault modes and quantitative characteristics. Integrated modelling and analysis approach enables evaluation of the software correctness in the context of the stochastic hardware faults. Inclusion of the FDIR operational models enables evaluation of the FDIR effectiveness. It allows for derivation and analysis of dynamic timed fault trees, analysis of probability and timeliness of fault detection and recovery.

Taxonomy of System FDIR principles and development processes

Identification of a set of generic principles to build a FDIR function, through (i) analysis of various system architectures from safety-oriented system, availability-oriented systems, reliability-oriented system, (ii) definition of generic principles for system FDIR, (iii) definition of a development process, (iv) modelling, using formal description techniques, of a generic architecture for FDIR-related activities in phase B of the projects.

11h40-12h20

Diagnostic robuste par filtrage Hinf/H- et identification des défauts par estimation d'entrées inconnues: Application au diagnostic des actionneurs d'un RLV

Alexandre FALCOZ (IMS – Université Bordeaux 1)

Le problème de diagnostic que l'on se pose consiste à détecter et à localiser des défauts actionneurs d'un RLV, i.e. gouvernes latérales gauche et droit. Les phases de vol considérées sont les phases d'approche et d'atterrissage. Durant ces phases, l'engin est soumis à des rafales de vent et autres perturbations atmosphériques. La boucle d'attitude et la boucle de tracking, réagissent à ces perturbations de façon à maintenir l'engin sur sa trajectoire. En d'autres termes, le GNC rafraîchit en temps réel la trajectoire de vol.

L'objectif est de détecter tout défaut sur les gouvernes latérales gauche et droit tel que des blocages, des départs en butée, des pannes oscillatoires et des pertes d'efficacité, et ce malgré la présence des bruits résiduels de la NAV, des perturbations atmosphériques et rafales de vent et des ordres "changeant" du guidage liés à la boucle de tracking.

Pour résoudre ce problème, la solution retenue consiste en la synthèse de deux filtres de diagnostic Hinf/H-. Plus précisément, on cherche deux couples « Matrice de structuration/Filtre dynamique » tel que le niveau de sensibilité du premier filtre de diagnostic vis-à-vis des défauts de la gouverne de gauche soit maximisé, tout en minimisant l'influence des bruits de NAV, des perturbations atmosphérique et des consignes de guidage. De façon similaire, le second filtre de diagnostic est calculé de telle sorte que l'effet des défauts de la gouverne de droite sur le résidu soit maximisé.



Centres de Compétence Technique

CCT SCA – Systèmes de Commande
et Automatique



Chacun de ces filtres est rendu robuste vis-à-vis des variations de masse, d'inertie, du centre de gravité et des coefficients aérodynamiques. Les performances robustes sont prouvées a posteriori à l'aide d'une procédure mettant en oeuvre l'outil μ g.

Les fonctions de diagnostic ayant été réalisées, on estime alors en temps réel la position de la gouverne incriminée. L'objectif final annoncé est de fournir cette information à un superviseur de haut niveau dont la charge sera, e.g. de générer une nouvelle trajectoire de vol (ordre envoyé au « path planner »), de décider d'un atterrissage d'urgence...etc... La méthodologie employée est basée sur le filtrage de Kalman étendu non linéaire à gain variable. Les résultats obtenus montrent que les positions réelles des gouvernes sont reconstruites avec une erreur de précision inférieure au degré.

12h20-14h00

Repas

14h00-14h40

ATV FDIR : from the specification to the Jules Verne Flight

Madeleine PLASSARD (Astrium ST Les Mureaux)

The Automated Transfer Vehicle (ATV), developed by EADS-Space Transportation on behalf of European Space Agency (ESA) is an unmanned expendable space transport vehicle designed for logistic servicing of the International Space Station (ISS).

ATV safety with respect to the ISS and its crew has been a fundamental driver to the vehicle design, qualification and operations.

So, a fault management process has been developed to apply the FDIR concept to this automated vehicle with respect the partner's requirements, ATV design and program schedule.

After the description of the FDIR process, the FDIR design overview is presented through the different aspects: equipment, software and system failures, on-board and ground monitoring, mission management...

The qualification of this complex function is the last step to validate the design and the requirements fulfilling.

Up to now, the 1st ATV flight "Jules Verne" demonstrates that the ATV FDIR concept is relevant, and the FDIR behaviour is coherent with the expected one.

14h40-15h20

Titre

Bernard POLLE (Astrium Space Transportation)

résumé

15h20-15h30

Pause

15h30-16h10

Schéma coopératif FDI/FTC: Application à l'accommodation de défauts

Inscriptions : <http://cnes.cborg.net/cct/bipublic.html>

Informations complémentaires : Christelle.Pittet@cnes.fr (+organisateur ou responsable autre CCT)



Centres de Compétence Technique

**CCT SCA – Systèmes de Commande
et Automatique**



THS d'un B747

Jérôme CIESLAK (IMS – Université Bordeaux 1)

La majorité des approches actives de la commande FTC (Fault Tolerant Control) conduisent à la modification de la structure et/ou des paramètres de la loi de commande en place. Cet aspect peut réduire considérablement le champ d'application de ces techniques. En effet, la modification complète ou partielle de la loi de commande nominale (validée et certifiée) est difficilement envisageable dans beaucoup d'applications (notamment dans le domaine aéronautique et spatial). Par ailleurs, l'analyse des méthodes référencées dans la littérature montre que très souvent l'interaction diagnostic/commande apparaît rarement et de manière explicite comme un moyen de synthèse. Cependant, il est clair que les performances du module de diagnostic influence fortement le niveau de performance atteignable en situation défailante.

Pour répondre à ces problématiques, nous proposons une méthodologie fondée sur le développement d'un schéma qui fédère le module de diagnostic et le mécanisme de tolérance, tout en conservant la loi de commande déjà en place (i.e. la commande nominale). L'un des intérêts de l'approche proposée réside dans le fait que les performances nominales en fonctionnement normal sont entièrement préservées. La méthodologie est posée dans un contexte Hinf dit de « sensibilité mixte » et utilise la valeur singulière μ et sa généralisation μ_g pour extraire le meilleur couple FDI/FTC pour une application et un cahier des charges donnés.

La méthodologie proposée est appliquée au benchmark GARTEUR AG16. L'objectif est de compenser l'embarquée du THS d'un B747, tout en maintenant les performances de l'avion (maintient de la trajectoire et des performances de vol).

16h10-16h50

Titre

Eric BENSANA (ONERA)

résumé

16h50-17h30

Table ronde

Inscriptions : <http://cnes.cborg.net/cct/bipublic.html>

Informations complémentaires : Christelle.Pittet@cnes.fr (+organisateur ou responsable autre CCT)