

Diagnostic et pronostic d'un système distribué : application aux systèmes aéronautiques

Nom : Pauline Ribot

Directeurs de thèse : Yannick Pencolé et Michel Combacau

1. Problématique

L'efficacité de la maintenance d'équipements aéronautiques est un enjeu économique majeur pour leur exploitation commerciale. Les principales difficultés et sources d'inefficacité résident dans le choix des actions de maintenance. Un mauvais choix peut conduire à une maintenance non satisfaisante et un surcoût. Avec la multiplication des technologies embarquées et les différentes interactions entre composants, la décision d'une action de maintenance est complexe et nécessite un diagnostic préalable. Afin de constituer un diagnostic de maintenance, deux étapes sont nécessaires. La première a lieu en vol par la mise en place d'un système automatique de surveillance en ligne du réseau de composants qui produit un rapport de diagnostic et la deuxième s'effectue au sol par l'analyse de ce rapport et le choix des actions de maintenance.

2. Objectif et cadre des travaux

Cette thèse a pour objectifs de développer une architecture de diagnostic et de pronostic pour un système distribué afin d'aider à la maintenance de systèmes complexes. L'application de ce travail de recherche aux systèmes aéronautiques s'inscrit dans le cadre du projet de recherche ARCHISTIC en collaboration avec Airbus (AIRSYS) et l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes (ENIT).

3. Contexte et positionnement

Cette thèse a pour but d'étudier et de concevoir un système de surveillance pour le diagnostic et l'aide à la maintenance d'un réseau de calculateurs embarqués. Le premier objectif est d'étudier les différents types de raisonnement de diagnostic à base de modèle de systèmes à événements discrets afin d'évaluer les techniques les plus adaptées pour le diagnostic d'un système distribué. Le second point porte sur l'évaluation des performances du système de surveillance par une étude de diagnosticabilité [2]. L'originalité de cette étude est dans son objectif qui consiste à établir des recommandations de spécifications pour les composants à surveiller qui, une fois implantées, garantiront un diagnostic compatible avec des actions de maintenance. Le troisième point de ce travail consiste à étendre le raisonnement diagnostic par un raisonnement de pronostic à base de modèle en vue de fournir également une aide à la décision pour la maintenance préventive.

4. Etat d'avancement des travaux

Diagnostic et diagnosticabilité des systèmes distribués : Les systèmes distribués sont généralement développés par différents concepteurs qui ne s'occupent que d'une partie du système. L'intégration des différents composants est donc rendue très complexe et garantir la diagnosticabilité du système entier devient très difficile. L'étude de diagnosticabilité permet d'évaluer les performances d'un système de surveillance. Elle dépend du choix de type d'architecture pour le diagnostic. Les différentes architectures pour la surveillance des systèmes à événements discrets ont été étudiées [2], [7], [8]. L'approche centralisée n'est pas appropriée pour de tels systèmes car elle nécessiterait beaucoup trop de ressources mémoire. Pour des systèmes distribués, il est plus naturel d'adopter une démarche décentralisée ou distribuée. Plusieurs méthodes permettent de tester la propriété de diagnosticabilité d'un système [8], [4], [6], [11].

Nous proposons d'établir des recommandations au niveau de conception sur les spécifications pour les composants à surveiller pour garantir ou améliorer la diagnosticabilité du système. Ces

recommandations sont fournies sous la forme d'un ensemble de modifications à réaliser sur le modèle des composants. Elles consistent à augmenter l'observabilité des composants en plaçant de nouveaux capteurs (techniques de placement de capteurs dans les systèmes à événements discrets [1], acquisition active d'information [9]) ou à ré-agencer les transitions des modèles en implémentant de nouveaux protocoles ou en générant de nouveaux capteurs. Naturellement, toutes ces modifications ont un coût. Le problème devient donc un problème d'optimisation de coût dans un cadre distribué. Le coût de l'architecture de surveillance est aussi à considérer. Il dépend du choix de type d'architecture et des protocoles de communication nécessaires pour que le système de surveillance accède aux informations du système. L'objectif est de déterminer un compromis entre ces deux coûts (coût des modifications du système, et coût de l'algorithme de surveillance). Pour cela une méthodologie fondée sur le degré de précision du diagnostic décentralisé a été développée. Elle sélectionne un système à modifier et fournit par un retour sur conception, les modifications et les coûts associés afin de rendre un système diagnosticable et son système de surveillance précis. Nous souhaitons développer plus en détails cette méthodologie en utilisant différentes approches pour vérifier la diagnostiquabilité et la précision du diagnostic. Elle sera ensuite appliquée à l'intégration et la surveillance d'équipements dans les systèmes aéronautiques dans le projet ARCHISTIC.

Pronostic : La littérature consacrée au pronostic est encore assez restreinte (surtout dans le cas des systèmes à événements discrets). Le pronostic peut être utile pour estimer la durée de vie résiduelle d'un composant (RUL : *remaining Useful Life*) d'un système, c'est à dire le temps au bout duquel le système ne pourra plus exercer sa fonction avec succès et devra être remplacé, à l'aide de prédictions sur ses composants. Différentes approches pour le pronostic peuvent être considérées [3][5][10]. Ces approches dépendent de la connaissance que l'on a de ce système (présence ou pas de modèle, de capteurs, raisonnement à partir de l'expérience) et peuvent être définies par des extrapolations. Des modèles probabilistes basés sur une analyse de fiabilité peuvent être utilisés pour prédire le RUL d'un équipement. Ces modèles d'usure sont établis à partir de données issues de bancs de test. Nous avons étudié la loi de Weibull qui permet d'obtenir la probabilité de défaillance d'un système tout au long de sa vie. Les méthodes de fiabilité sont établies hors ligne et ne permettent pas de prendre en compte les facteurs de stress du système. Un stress peut être dû à l'apparition d'une défaillance ou à une sollicitation anormale ou inattendue du système (conditions environnementales anormales : vibrations mécaniques, impacts thermiques, humidité, pression,...) et affecte la durée de vie. Des méthodes en ligne sont nécessaires pour considérer les résultats d'un diagnostic et les effets d'un stress. Le diagnostic aide le pronostic dans la mesure où il détecte l'occurrence d'une faute qui pourrait faire dévier la loi d'usure et par conséquent modifier l'évaluation du RUL : le RUL peut être rallongé ou raccourci. Les techniques de pronostic à base de modèles physiques fournissent un pronostic plus précis en identifiant les causes possibles du stress. Cela peut être utilisé pour gérer le stress agissant sur le système dans le futur.

Nous voulons définir dans un premier temps une fonction générique de pronostic qui aide à la prise de décision de maintenance en fournissant des informations sur les états futurs du système (probabilité de panne dans le futur, RUL). La fonction de pronostic doit dépendre d'un paramètre de vieillissement qui dépend lui-même d'une fonction d'usage du système. Dans un deuxième, nous voulons entièrement caractériser la fonction d'aide à la maintenance d'un système distribué en intégrant les fonctions de diagnostic et de pronostic. Finalement, nous envisageons d'étendre l'analyse de diagnostiquabilité à la fonction complète de maintenance en prenant en compte les capteurs propres à la fonction pronostic (capteur d'usures ...).

ARCHISTIC : Dans le projet Archistic, nous étudions la diagnostiquabilité des équipements avioniques afin de fournir des exigences pour le système de surveillance des composants. Un équipement avionique est composé d'un certain nombre de LRU. Un LRU (*Line Replaceable Unit*) est un composant qui peut être enlevé ou remplacé en ligne sur l'avion par un opérateur de maintenance. Le système de surveillance des avions est constitué d'agents HMon (*Health Monitoring*) qui envoient le statut fonctionnel d'un LRU en temps réel pendant le vol au CMS (*Centralized Maintenance System*). Ce système de surveillance possède des limitations. Une future architecture du système doit être envisagée tout en respectant les exigences requises par Airbus et ses sociétés de sous-traitance.

Un autre objectif du projet Archistic est de faire du pronostic de la durée de vie résiduelle d'un équipement avionique. Le pronostic aide l'opérateur à gérer ses ressources de maintenance et recommander des actions appropriées pour garantir les missions.

5. Publications

- P. Ribot, Y. Pencolé et M. Combacau, Archistic Project, WP2 deliverable, Rapport technique, Airbus.
- P. Ribot, C. Jauberthie et L. Travé-Massuyès, State estimation by interval analysis for a non-linear differential aerospace model, European Control Conference (ECC'07), Kos (Grèce), 2-5 Juillet 2007, pp. 4839-4844 .
- P. Ribot, Y. Pencolé et M. Combacau, Characterization of requirements and costs for the diagnosability of distributed discrete event systems, 5th Workshop on Advanced Control and Diagnosis (ACD'07), Grenoble, 15-16 November 2007.

6. Références

- [1] R. Debouk, S. Lafortune, and D. Teneketzis. On an optimization problem in sensor selection for failure diagnosis. In 38th Conference on Decision and Control, pages 4990-4995, Phoenix, Arizona USA, December 1999.
- [2] R. Debouk, S. Lafortune, and D. Teneketzis. Coordinated decentralized protocols for failure diagnosis of discrete event systems. *JDEDS: Theory and Application*, 10(1-2):33-86, 2002.
- [3] S. Ghelam, Z. Simeu-Abazi, J.-P. Derain, C. Feuillebois, S. Vallet, M. Glade. Integration of health monitoring in the avionics maintenance system. IN 6th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Process, pages 1519-1524, Beijing, China, 2006
- [4] S. Jiang, Z. Huang, V. Chandra, and R. Kumar. A polynomial time algorithm for diagnosability of discrete event systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 46(8):1318-1321, 2001.
- [5] L.V. Kirkland, T. Pombo, K. Nelson, and F. Berghout. Avionics health management: Searching for the prognostics grail. In *Aerospace Conference*, volume 5, pages 3448–3454, March 2004.
- [6] Y. Pencolé. Diagnosability analysis of distributed discrete event systems , *European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'04)*, Valencia, Spain, August, 2004.
- [7] Y. Pencolé and M.-O. Cordier. A formal framework for the decentralised diagnosis of large scale discrete event systems and its application to telecommunication networks. *Artificial Intelligence*, 164:121-170, May 2005.
- [8] M. Sampath, R. Sengupta, S. Lafortune, K. Sinnamohideen, and D. Teneketzis. Diagnosability of discrete event systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 40(9):1555-1575, 1995.
- [9] D. Thorsley and D. Teneketzis. Active acquisition of information for diagnosis of discrete-event systems. In *42th Annual Allerton Conference on Communication, Control and Computing*, University of Illinois, 2004.
- [10] G. Vachtsevanos, F.L. Lewis, M. Roemer, A. Hess, and B. Wu. *Intelligent Fault Diagnosis and rognosis for Engineering Systems*. Wiley, 2006.
- [11] T. Yoo and S. Lafortune. Polynomial-time verification of diagnosability of partially-observed discrete event systems. *IEEE Transactions of Automatic Control*, 47(9):1491-1495, 2002.