

Détection d'anomalies dans les données télémétriques de vaisseaux spatiaux

Olivier Parisot, Philippe Pinheiro, Patrik Hitzelberger

Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST)
41, rue du Brill L-4422 Luxembourg
olivier.parisot@list.lu

L'augmentation constante du nombre de missions spatiales en orbite terrestre basse et dans l'espace lointain génère d'énormes quantités de données télémétriques. Opérant depuis les stations terrestres, les ingénieurs de contrôle disposent ainsi d'une mine d'informations précieuses pour contrôler le comportement des engins spatiaux. Néanmoins, le nombre de paramètres à inspecter étant de plus en plus important, il est impératif pour les ingénieurs au sol de pouvoir procéder à des vérifications automatiques des données télémétriques (Ibrahim et al., 2018).

Dans ce cadre, nous avons développé DMSS (Decision Management System for Safer Spacecrafts), une plateforme pour faciliter la détection d'anomalies dans les données de télémétrie des engins spatiaux. L'architecture du système est articulée autour de trois modules :

- Un moteur d'analyse Python *hors ligne* digère les données télémétriques brutes provenant des engins spatiaux et calcule des scores d'anomalies pour chaque paramètre en suivant une méthode présentée dans (Royer et al., 2016).
- Un serveur Java mets à disposition les données brutes et les scores d'anomalies calculés via une API REST. Pour optimiser la quantité de données à transférer, des techniques de réduction de séries temporelles sont utilisées (exemple : algorithme Ramer-Douglas-Peucker – (Douglas et Peucker, 1973)).
- L'interface utilisateur HTML5/Javascript propose un ensemble de visualisations interconnectées et interactives, en suivant une approche *Visual Analytics* (Keim et al., 2008). Une visualisation de type *Heatmap* montre les scores d'anomalies pour tous les paramètres pour un jour donné (Fig. 1, à droite). Pour poursuivre les investigations, l'ingénieur de contrôle peut alors consulter un diagramme de Poincaré (Fig. 1, à gauche), par exemple pour rechercher les changements peu fréquents dans le signal.

Les données télémétriques de deux missions de l'Agence Spatiale Européenne ont été analysées. La première est Mars Express, une mission scientifique lancée en 2003 pour explorer Mars. La seconde est GAIA, une sonde d'astrométrie exploitée depuis 2013 pour constituer un catalogue spatial 3D précis. Dans les deux cas, nous avons intégré dans DMSS les données télémétriques des missions pour l'année 2016 : 5127 paramètres pour Mars Express (soit 141 Go de données), et 28209 paramètres pour GAIA (1,46 To de données); le nombre de points par paramètre est très variable, de quelques échantillons à environ 13 millions de points. En pratique, DMSS a mis en évidence des anomalies connues des contrôleurs pour Mars Express (Figure 1). De plus, l'interface graphique a permis de trouver des corrélations entre les anomalies détectées et d'autres paramètres tels que les commandes envoyées à l'engin spatial.

Détection d'anomalies dans les données télémétriques



FIG. 1 – DMSS fournit un tableau de bord pour afficher les données de télémétrie sous différents angles : représentation des séries temporelles, diagramme de Poincaré, graphique de l'estimation par noyau de l'ensemble des valeurs (gauche). Pour un jour donné, une heatmap permet de mettre en valeur les potentielles anomalies détectées (droite).

En conclusion, DMSS permet d'explorer des grands volumes de données télémétriques provenant d'engins spatiaux pour mettre en évidence des anomalies, ce qui est critique étant donné les risques élevés pour les ingénieurs opérant depuis les stations terrestres. Les futurs travaux concerneront l'application de techniques dédiées au traitement de données en flux.

Remerciements

Nous remercions Bart Vandebussche, Pierre Royer et Joris De Ridder (KU Leuven) ainsi que David Evans et Jose Martinez-Heras (Agence Spatiale Européenne) pour leur contribution.

Références

- Douglas, D. H. et T. K. Peucker (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *Cartographica* 10(2).
- Ibrahim, S. K. et al. (2018). Machine learning methods for spacecraft telemetry mining. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*.
- Keim, D. et al. (2008). Visual analytics : Definition, process, and challenges. In *Information visualization*, pp. 154–175. Springer.
- Royer, P. et al. (2016). Data mining spacecraft telemetry : towards generic solutions to automatic health monitoring and status characterisation. In *SPIE Proceedings Vol. 9910*.