Définition du harnais électrique d'un satellite dans un environnement 3D

Eliott Roynette[1,2], Cedric Pralet[1], Vincent Vidal[1], Bertrand Cabon[2]
[1] ONERA – The French Aerospace Lab, F-31055, Toulouse, France
prenom.nom@onera.fr
[2] Airbus DS Toulouse, France
prenom.nom@airbus.com

Mots-clés : *recherche opérationnelle, optimisation, A*, Arbre de Steiner, modélisation 3D.*

1 Problème à résoudre

Pour faire fonctionner un satellite, il y a besoin d'équipements. Ces équipements ont eux-même besoin d'être alimentés en courant, d'être commandés et d'être analysés. Cette mission est effectuée par le harnais électrique qui est constitué de plusieurs dizaines de milliers de câbles parcourant le satellite. On retrouve des problèmes analogues dans d'autres industries comme l'industrie aéronautique [4].

Pour la conception de ces câbles, il existe plusieurs critères guidant la conception des routes. Un premier critère est que lors de la conception du câblage, on cherche à regrouper les câbles dans des faisceaux de câbles, appelés torons, pour faciliter leur installation dans le satellite. Un deuxième critère est que la résistance et le poids d'un câble étant directement liés à sa longueur, ses performances le sont également, il faut donc optimiser la longueur de chaque liaison. Il faut prendre en compte ces deux critères pour décider des routes utilisées par le câblage.

La conception de ce réseau de routes consiste à générer un graphe qui sera utilisé pour router les câbles et qui aura une signification dans un environnement 3D. On peut diviser cette conception en deux étapes présentées dans les sections suivantes.

2 Génération d'un graphe discret pour le routage dans un environnement continu

Pour générer le graphe dans lequel nous allons pouvoir sélectionner les chemins utilisables dans le satellite, il faut déterminer l'espace dans lequel les câbles peuvent passer. Pour cela on modélise les équipements sous forme d'ensembles de polyèdres convexes, le plus souvent des pavés, quelquefois des ensembles de pavés. Dans un satellite, les équipements sont placés sur une planche appelée mur du satellite. Nous considérons aussi ce mur comme étant un ensemble de polyèdres convexes. Pour définir l'espace de routage, on part de l'ensemble des formes modélisées et on les fait "gonfler" de la largeur forfaitaire d'un toron. On récupère ensuite l'enveloppe de cette forme et on supprime les parties où les câbles ne peuvent pas passer (par exemple, l'autre coté du mur qui se trouve à l'extérieur du satellite). Une fois cette surface définie, on place des points à l'intérieur de celle-ci à l'emplacement des points de connexion des câbles sur les équipements et à d'autres emplacements de la surface, principalement sur les arêtes des différentes faces convexes qui composent l'espace de routage. Ensuite, pour chaque couple de points on détermine si le segment qui les relie appartient ou non à l'espace de routage. Si c'est le cas, on crée une arête dans le graphe entre les deux nœuds représentant les points du couple, cette arête étant pondérée par la longueur du segment.

3 Méthodes d'optimisation de la conception du réseau

La deuxième partie consiste à définir les arêtes et nœuds utiles dans la conception du harnais électrique. Pour cela il faut trouver un équilibre entre la longueur de toron (longueur totale des arêtes utilisées) et la longueur totale point à point sur l'ensemble des liaisons. On définit le coefficient $\alpha \in [0;1]$ qui sera choisi par l'utilisateur tel que si $\alpha = 0$, nous ne prenons en compte que la longueur de chaque lien point à point et si $\alpha = 1$ seulement la longueur des torons. L'originalité de l'approche présentée dans ce problème est l'existence de ce paramètre α qui selon sa valeur modifie le problème à résoudre. La figure 1 montre différentes solutions optimales en fonction de α pour un exemple de base.

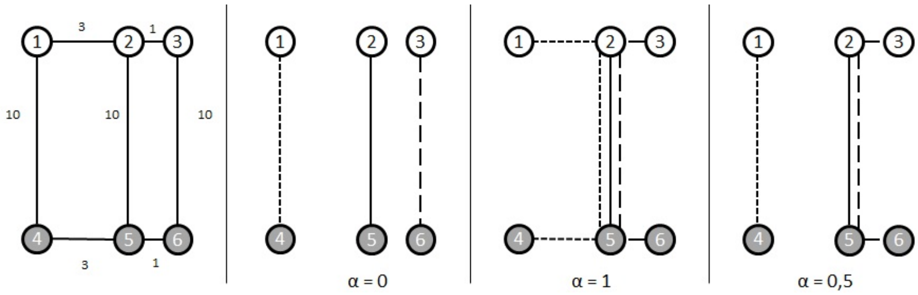

FIG. 1 – Le premier graphe représente le graphe dans lequel le routage s'effectue, les autres graphes représentent la solution au problème en fonction de α. Les liaisons à réaliser sont [1-4], [2-5] et [3,6].

Cas $\alpha = 0$: Optimisation de la longueur totale des câbles Le problème peut se ramener à un ensemble de sous-problèmes de plus court chemin pour réaliser chaque liaison. Il est similaire au plus court chemin entre paires de nœuds multiples (MPSP) étudié dans [3]. En plus du problème présenté dans [3], nous possédons une estimation des longueurs entre chaque point grâce à la distance euclidienne. Cela nous permettra d'utilisé des mécanismes de l'algorithme A* ou ses variantes [2] pour améliorer la résolution.

Cas $\alpha = 1$: Optimisation pour faciliter l'installation des câbles Le problème consiste à créer un ensemble de sous-graphes tel que pour chaque liaison, les deux nœuds appartiennent au même sous-graphe. Ce problème ressemble à un problème d'arbre de Steiner [1]. Cependant, le problème est relaxé car on cherche juste la connectivité entre les deux nœuds d'une même liaison et non une connectivité entre tous les nœuds, ce qui fait son originalité.

Cas $0 < \alpha < 1$: Optimisation mixte Le problème revient à chercher un sous-graphe tel que le coût cumulé des arcs de ce graphe soit le plus faible possible ($\alpha = 1$) et tel que le coût de chaque liaison dans ce sous graphe soit le plus faible possible ($\alpha = 0$).La pondération entre ces deux solutions permet aux ingénieurs d'obtenir rapidement et de façon automatique une estimation des longueurs des câbles. Il s'agit d'un problème NP-Complet.

Références

[1] J.E. Beasley. *An SST-Based Algorithm for the Steiner.* Networks, 1989.

[2] Delling, D. ; Sanders, P. ; Schultes, D. ; Wagner, D. Engineering route planning algorithms* *Complex Networks : Design, Analysis, and Simulation.* Springer, 2009.

[3] I-Lin Wang ; Sanders, Ellis L. Johnson, Joel S. Sokol. A Multiple Pairs Shortest Path Algorithm *INFORMS* 2005.

[4] Christian Van der Velden, Cees Bil, Xinghuo Yu and Adrian Smith A 3D knowledge-based router for wiring in aerospace vehicles *ICAS* 2006