

Une approche hybride de routage de canalisation basée sur la recherche A^* et la programmation linéaire

Marvin Stanczak^{1,2}, Cédric Pralet¹, Vincent Vidal¹, Vincent Baudoui²

¹ ONERA / DTIS, Université de Toulouse, F-31055 Toulouse - France

{marvin.stanczak,cedric.pralet,vincent.vidal}@onera.fr

² Airbus Defence and Space, Toulouse - France

{marvin.stanczak,vincent.baudoui}@airbus.com

Mots-clés : *Routage de canalisations, automatisation, optimisation, contraintes*

1 Introduction

Dans l'industrie aéronautique, les guides d'ondes sont des canalisations de section rectangulaire qui transportent des ondes électromagnétiques entre différents équipements. Les ingénieurs conçoivent les routes des guides d'ondes comme une succession de segments droits et de coudes rigides en cherchant à minimiser leur longueur et le nombre de coudes utilisés. L'espace de routage étant particulièrement restreint dans les systèmes spatiaux, des coudes non-orthogonaux sont utilisés pour réduire l'espace occupé par les guides.

Afin d'assister les ingénieurs lors de la conception de réseaux de canalisations, de nombreux algorithmes de routage automatique sont proposés dans la littérature [1, 2, 3]. Cependant, la majorité de ces méthodes considèrent des canalisations de section circulaire et avec seulement des coudes orthogonaux, ce qui n'est pas applicable ici. Une approche est donc proposée pour le routage automatique d'une canalisation à section rectangulaire dans un environnement avec obstacles en utilisant les coudes potentiellement non-orthogonaux d'un catalogue.

2 Description du problème

Afin de prendre en compte la présence d'obstacles, l'espace autorisé pour la fibre neutre \mathcal{F} de la canalisation (c'est-à-dire la trajectoire du barycentre de sa section) est restreint à un ensemble de cellules \mathcal{C} où chaque cellule $c \in \mathcal{C}$ est un polyèdre convexe \mathcal{P}_c et tel qu'aucune cellule n'intersecte un obstacle. Lorsque l'intersection entre deux cellules $c, c' \in \mathcal{C}$ n'est pas vide, on appelle interface i le polyèdre $\mathcal{P}_i = \mathcal{P}_c \cap \mathcal{P}_{c'}$. L'ensemble des interfaces est noté \mathcal{I} . De cette manière, l'espace de routage de la canalisation est représenté par le graphe $G(\mathcal{C}, \mathcal{I})$ supposé connexe. On appelle orientation o une base de \mathbb{R}^3 et on note \mathcal{O} l'ensemble des orientations.

On cherche à connecter une origine de position \mathcal{P}_{ori} appartenant à $c_{ori} \in \mathcal{C}$ et d'orientation $o_{ori} \in \mathcal{O}$ à une destination de position \mathcal{P}_{dest} appartenant à $c_{dest} \in \mathcal{C}$ et d'orientation $o_{dest} \in \mathcal{O}$ avec une canalisation $[\ell_1, b_1, \ell_2, \dots, \ell_{N-1}, b_{N-1}, \ell_N]$ alternant des segments droits de longueur ℓ_k et des coudes b_k appartenant à un catalogue \mathcal{B} . Le coût d'un coude $b \in \mathcal{B}$ est noté $C_b \in \mathbb{R}^+$ et le coût linéique de la canalisation est noté $\mu \in \mathbb{R}^+$. On souhaite minimiser le coût total de la canalisation défini par $\sum_{k=1}^{N-1} C_{b_k} + \sum_{k=1}^N \mu \ell_k$.

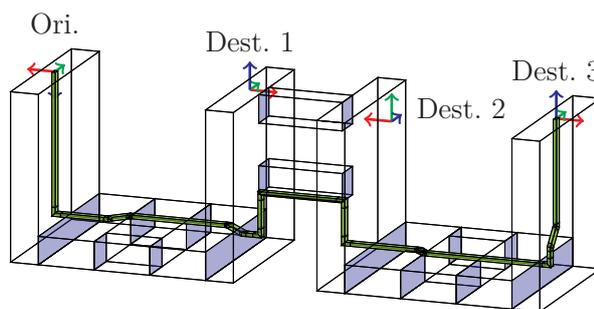


FIG. 1 – Les 3 instances de routage (les interfaces sont en bleu et la canalisation en vert).

3 Méthode de routage

On propose de router la canalisation en construisant de manière itérative sa fibre neutre \mathcal{F} à partir de l'origine. Pour cela, on définit un *plan de routage* s qui décrit une fibre neutre composée de N_s segments successifs où $b_{s,k} \in \mathcal{B}$, pour $k \in \llbracket 1, N_s - 1 \rrbracket$, est le coude appliqué à la fin du segment k et $\mathcal{I}_{s,k} \subseteq \mathcal{I}$, pour $k \in \llbracket 1, N_s \rrbracket$, est la séquence d'interfaces traversées par le segment k . De plus, lorsque la fibre neutre doit atteindre la destination, on dit que le plan de routage est *terminé*. On note \mathcal{S} l'espace des plans de routage. Un plan $s \in \mathcal{S}$ est *faisable* s'il est possible de construire une fibre neutre respectant les spécifications de s . Ce problème de faisabilité peut être formulé sous la forme d'un programme linéaire PL_s liant les positions des différents coudes via l'orientation de chaque segment.

Pour un plan de routage $s \in \mathcal{S}$, des successeurs sont définis comme les plans de routage faisables étendant le plan s par l'ajout d'un coude, la traversée d'une interface ou la terminaison du plan. Dès lors, le problème de routage se ramène à un problème de plus court chemin entre le plan vide issu de l'origine et un plan faisable et terminé, c'est-à-dire permettant de connecter l'origine et la destination. Ce problème est résolu par une recherche A* pondérée qui explore les plans de routage dans l'ordre donné par l'évaluation $f(s) = g(s) + \epsilon h(s)$ où $\epsilon \geq 1$, $g(s)$ est le coût de la solution de PL_s et $h(s)$ est une estimation du coût nécessaire pour atteindre la destination à partir de s . Trois heuristiques différentes sont proposées. La première $h_{v.o.}$ utilise la distance à vol d'oiseau entre le dernier point de \mathcal{F} (calculé via PL_s) et la position de destination. Les deux autres prennent en compte les obstacles en considérant une polyligne, appelée *piste*, connectant le dernier point de \mathcal{F} à la destination et dont les sommets sont échantillonnés sur les interfaces. Une piste permet alors d'estimer plus finement la distance au but ($h_{long.}$), mais aussi d'estimer le coût des coudes à utiliser pour atteindre celui-ci (h_{cout}).

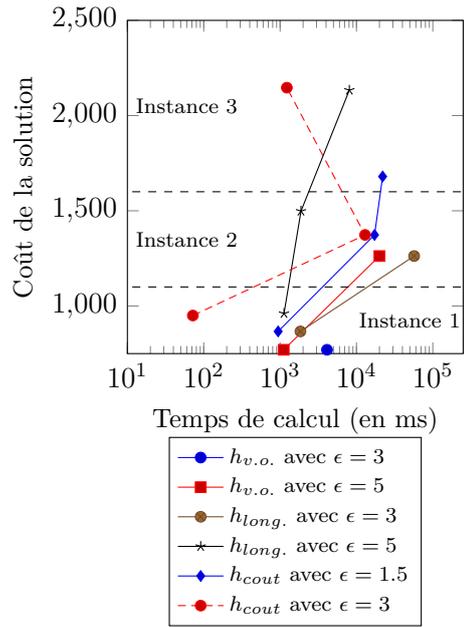


FIG. 2 – Résultats numériques sur les instances de routage.

4 Expérimentations

L'approche, testée sur des instances simples inspirées de cas industriels (voir figure 1) avec plusieurs valeurs de ϵ , permet d'obtenir des routes de guides d'ondes utilisant des coudes non-orthogonaux et respectant les contraintes d'orientation et d'espace de routage. Les heuristiques de pistes $h_{long.}$ et h_{cout} produisent ces solutions dans des temps acceptables pour une utilisation industrielle avec des valeurs respectives de $\epsilon = 5$ et $\epsilon = 1.5$ (voir figure 2). Cependant, l'heuristique h_{cout} estimant le coût des coudes donne des solutions de meilleure qualité.

Références

- [1] Chin Y. Lee *An algorithm for path connections and its applications*. IRE transactions on electronic computers, 1961.
- [2] Reginaldo Guirardello and Ross E. Swaney *Optimization of process plant layout with pipe routing*. Computers & chemical engineering, 2005.
- [3] Gleb Belov et al. *From Multi-Agent Pathfinding to 3D Pipe Routing*. Symposium on Combinatorial Search (SoCS), 2020.