

Phoenix Mars Lander: Recherche de trajectoires dans un espace a deux dimensions

Le 25 mai 2008, Phoenix une sonde spatiale de la NASA se pose sur la planète Mars. Le choix d'une trajectoire d'atterrissage est un problème d'optimisation difficile fortement combinatoire. Etant personnellement intéressé par les missions spatiales, ce sujet m'a séduit. D'autre part, il m'a permis d'approfondir ma connaissance des métaheuristiques.

Les missions spatiales nécessitent de minimiser la charge transportée lors du trajet. Or, le carburant représente une partie significative de la masse totale. On s'intéresse au choix de trajectoires qui en minimise la dépense. Je propose de déterminer informatiquement une trajectoire optimale permettant d'atterrir sur une zone préalablement décidée.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Algorithme évolutionniste</i>	<i>Evolutionary algorithm</i>
<i>Algorithme génétique continu</i>	<i>Continuous GA</i>
<i>Métaheuristique</i>	<i>Metaheuristic</i>
<i>Planification de trajectoire</i>	<i>Motion planning</i>
<i>Modèle physique</i>	<i>Physical model</i>

Bibliographie commentée

La conquête spatiale est un enjeu sociétal majeur. La difficulté principale réside dans le fait de devoir commander un véhicule à distance. C'est pourquoi l'étude de la phase d'atterrissage des sondes est au coeur de la planification des missions spatiales.

Notre étude a lieu pendant la phase finale de l'atterrissage : dans la troposphère martienne. Le guidage se fait uniquement en agissant sur la poussée produite par les rétro-fusées et l'angle de rotation de la sonde. On établira dans un premier temps un modèle physique simple du problème (chute libre) permettant de le résoudre au regard des contraintes exposées dans [4]. Il s'agira de modéliser le sol martien ainsi que les contraintes techniques de la sonde et sa consommation en carburant. Par ailleurs, pour tester les performances des algorithmes étudiés, on s'intéressera à différentes topographies présentant des difficultés variables.

Le choix du modèle et des paramètres influant sur la trajectoire [4] exclut directement la recherche par force brute (essayer toutes les solutions possibles) pour résoudre le problème.

Une deuxième approche consiste à chercher la meilleure trajectoire (si elle existe) via des métaheuristiques, c'est à dire des algorithmes donnant des solutions qui ne sont pas nécessairement

optimales mais couvrant rapidement l'espace de recherche, tel que les algorithmes génétiques. Les difficultés rencontrées sur ce problème avec des méthodes d'optimisation classique m'ont rapidement conduit vers cette famille d'algorithmes capable de gérer des problèmes combinatoires de grande taille à variable mixte (continues et discrètes) et dont l'expression de la fonction de coût ne nécessite pas d'expression analytique. Ces algorithmes s'inspirent de la théorie de la sélection naturelle de Darwin [2] et proposent une modélisation informatique de ce phénomène. L'utilisation d'algorithmes génétiques pourrait s'avérer très efficace à condition d'utiliser des opérateurs de sélection, croisement et mutation adaptés au problème [1][2]. La difficulté principale est de trouver des méthodes qui permettent aux trajectoires de conserver une réalité physique au cours de leurs évolutions. Les algorithmes génétiques dit continus présentés dans [1] permettent de réduire le temps de calcul de manière significative et d'obtenir des résultats satisfaisants. On cherchera aussi à coupler cet algorithme à de la programmation par contraintes [3]. Ainsi, si on arrive à restreindre l'espace de recherche, on peut espérer réduire le temps de convergence de l'algorithme. Cette méthode semble prometteuse d'après les résultats théoriques établis par Goldberg (Annexe [1]).

Problématique retenue

Comment, sous réserve d'existence, trouver une trajectoire optimale permettant l'atterrissage d'une sonde sur Mars?

Objectifs du TIPE

Je me propose :

- de modéliser succinctement l'atterrissage d'une sonde sur Mars (chute libre) dans un espace à deux dimensions comportant systématiquement une zone d'atterrissage plane.
- d'étudier l'existence de trajectoires et leurs temps de recherche par l'utilisation d'algorithmes génétiques selon différents opérateurs (méthode sous-jacente à l'algorithme).
- de confronter les résultats obtenus selon les opérateurs choisis et d'identifier des pistes d'améliorations.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] NICOLAS DURAND : Algorithmes Génétiques et autres méthodes d'optimisation appliqués à la gestion de trafic aérien. : *Optimisation et contrôle [math.OC]*. INPT, 2004. *fftel-01293722f (Partie I et Annexe)*
- [2] RADET-SOUQUET : Algorithmes Génétiques : *Soutenance 2003-2004. Université côte d'azur.*
- [3] NICOLAS BARNIER, PASCAL BRISSET : Optimisation par algorithme génétique sous contraintes : *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série TSI : Technique et Science Informatiques, Lavoisier, 1999, 18 (1), pp 1-29. ffhal-00934534*
- [4] NASA : Phoenix Landing, Mission to the Martian Polar North, Mars 2008 : https://www.nasa.gov/pdf/226508main_phoenix-landing1.pdf

DOT

- [1] *Mars 2020 - Recherche d'un problème ouvert sur des sites d'informatique (kaggle, project Euler, ...) puis tentative de résolution naïve.*
- [2] *Mai 2020 - Impossibilité de coder à « l'aveugle » d'où familiarisation avec le module python tkinter et modélisation du problème. Obtention d'une simulation et d'une interface graphique.*
- [3] *Juillet/Aout 2020 - Découverte du champ de recherche « planification de trajectoire ». Tentative de résolution du problème avec la juxtaposition de splines polynomiales ainsi que la méthode des champs de potentiels.*
- [4] *Octobre 2020 - Nouvelle approche consistant à générer aléatoirement des trajectoires. Identification de la méthode comme étant proche des algorithmes génétiques.*
- [5] *Décembre 2020 - Documentation sur les métaheuristiques. Etude des résultats théoriques.*
- [6] *Janvier 2021 - Essai de différents paramètres et méthodes. Découverte des algorithmes génétiques continus. Convergence dans des cas simples mais lente.*
- [7] *Avril 2021 - Résolution du problème et amélioration de l'algorithme. Optimisation du code. Familiarisation avec Latex.*