

Génération de trajectoires automobiles sur circuit

Passionné de sport automobile, j'ai voulu développer un outil capable d'aider un pilote à perfectionner son pilotage. En effet pour progresser et mieux comprendre les capacités physiques du véhicule piloté, il est nécessaire de suivre une "bonne" trajectoire. Mais celle-ci n'est pas toujours intuitive.

Ce sujet est en lien avec le thème "Jeux, Sports" de l'année car il est rattaché au sport automobile.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*
- *PHYSIQUE (Mécanique)*
- *MATHEMATIQUES (Géométrie)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

<i>Trajectoire</i>	<i>Trajectory</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimisation</i>
<i>Algorithme génétique</i>	<i>Genetic algorithms</i>
<i>Dynamique des véhicules</i>	<i>Vehicle dynamics</i>
<i>Courbure</i>	<i>Curvature</i>

Bibliographie commentée

La génération de trajectoires optimales est un problème vaste qui apparaît dans une multitude de domaines variés. Mais la définition d'optimum et les contraintes du problème y sont souvent radicalement différentes. Par exemple, pour déplacer des marchandises sur un port ou dans un entrepôt, on souhaite avant tout empêcher les collisions entre véhicules et respecter des exigences logistiques. Dans le cadre du sport automobile et plus particulièrement des tours de qualifications, l'objectif est clair : réaliser un temps au tour le plus faible possible en restant dans les limites de la piste. On remarque qu'en situation de course, il faut prendre en compte

d'autres contraintes qui s'ajoutent au problème comme l'usure des pneus, la gestion de l'essence et la présence d'autres voitures sur la piste. C'est ce qu'on appelle plus globalement la stratégie de course, à laquelle on ne va pas s'intéresser ici.

Lors des séances de qualifications, il existe différents critères d'évaluation pour juger de la pertinence d'une trajectoire. En effet, déterminer le temps exact de parcours d'une trajectoire est souvent complexe. Cela nécessite une compréhension fine de la dynamique du véhicule étudié et des conditions météo qui ont une forte influence sur le temps au tour [5]. C'est pourquoi différentes études [1][2][6] préfèrent tout d'abord comparer des trajectoires sur d'autres critères que le temps, comme la distance totale ou la courbure. Ils supposent alors que la trajectoire optimale en temps est une combinaison entre la trajectoire la plus courte en distance et la trajectoire la moins courbée.

Cependant ces hypothèses semblent trop simplificatrices. Certains comportements avancés de pilotage n'apparaissent pas lorsque on génère des trajectoires en minimisant seulement ces deux critères. Par exemple, dans un enchaînement de deux virages proches, un pilote expérimenté va souvent "sacrifier" le premier virage si nécessaire [5]. Il préférera prendre une trajectoire qui est "mauvaise" en soi pour le premier virage, mais qui permet une meilleure approche du deuxième et une plus grande vitesse en sortie de l'enchaînement global. Cette vitesse permettra de gagner du temps dans la ligne droite qui suit. Pour voir apparaître ces optimisations fines du temps au tour, il faut modéliser physiquement le véhicule et ses contraintes. Pour une trajectoire donnée, on pourra alors déterminer en tout point la vitesse maximale pour laquelle le véhicule ne perd pas l'adhérence à la piste. Ce profil de vitesse doit ensuite être modifié pour prendre en compte les capacités de freinage et d'accélération du véhicule [1]. On obtient ainsi le profil de vitesse maximale de la trajectoire et donc son temps minimal.

Pour générer une trajectoire sur une piste, plusieurs publications proposent de découper le circuit en différentes portions de tailles variées [1][3][4][6]. Cette technique permet d'isoler les différents virages et de tracer une trajectoire dans ces secteurs en s'assurant que la trajectoire sera bien toujours dans les limites de la piste. Pour la génération de la trajectoire, Ying Xiong [2] expose les avantages et inconvénients de 4 méthodes possibles : clothoïdes, optimisation non-linéaire, intelligence artificielle et une méthode adaptative. D'autres travaux de recherches [3] et [6] emploient une méthode de statistique bayésienne qui produit également des résultats intéressants. Les trajectoires générées semblent réalistes mais il serait nécessaire de les comparer à des enregistrements réels.

Problématique retenue

Comment générer des trajectoires optimales dans le cadre spécifique des séances de qualifications à l'aide d'un algorithme génétique ?

Objectifs du TIPE du candidat

- Tracer numériquement différents circuits réels en s'appuyant sur des images satellites.
- Développer un outil de visualisation de trajectoires sur ces circuits.
- Écrire un algorithme génétique capable de modifier un ensemble de trajectoires dans le but de minimiser une fonction d'évaluation.
- Établir les équations qui régissent le mouvement d'un véhicule en faisant les hypothèses et simplifications nécessaires.
- Comparer les trajectoires générées numériquement à des trajectoires réelles, suivies par des pilotes en qualifications.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] F. BRAGHIN, F. CHELI, S. MELZI, E. SABBIONI : Race driver model : *Computers and Structures* 86 (2008) 1503–1516
- [2] YING XIONG : Racing Line Optimization : <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/64669/706825301-MIT.pdf>
- [3] ACHIN JAIN AND MANFRED MORARI : Computing the racing line using Bayesian optimization : <https://arxiv.org/pdf/2002.04794.pdf>
- [4] WOLFGANG KUHN : Methodology for the numerical calculation of racing lines and the virtual assessment of driving behavior for training circuits for the automobile industry : *Transportation Research Procedia* Volume 25, 2017, Pages 1416-1429
- [5] NIGEL GREENSALL : Advanced Circuit Driving Techniques : https://www.racelogic.co.uk/_downloads/Misc/Racelogic-ebook-advanced-circuit-driving.pdf
- [6] SALMAN BARI, AHMAD SHOHA HAIDARI AND DIRK WOLLHERR : A Fast Approach to Minimum Curvature Raceline Planning via Probabilistic Inference : <https://arxiv.org/abs/2203.03224v1>

DOT

- [1] : Mai 2023 - Pointage du circuit Villeneuve (Canada)
- [2] : Juillet 2023 - Premiers résultats d'optimisation en courbure
- [3] : Novembre 2023 - Mise en place d'un outil automatisant les expériences et faisant varier les paramètres de l'algorithme génétique
- [4] : Février 2024 - Calcul des équations différentielles permettant de déterminer le temps de parcours d'une trajectoire
- [5] : Mars 2024 - Résultats avec la nouvelle fonction d'évaluation du temps de parcours