

Use case AeroSpline : Coverage Path Planning sur Mesh 3D

Génération de trajectoires optimales pour des opérations robotiques de traitement de surface en milieu industriel

Lieu de réalisation : BORDEAUX

Contact : Guillaume BEA guillaume.bea@aerospline.eu

1. Présentation

AeroSpline est une PME innovante et précurseur de la robotique collaborative en France. Fondée à Bordeaux en 2011, elle compte plus de quarante de salariés en fin 2025, et enregistre une croissance de plus de 30 % par an.

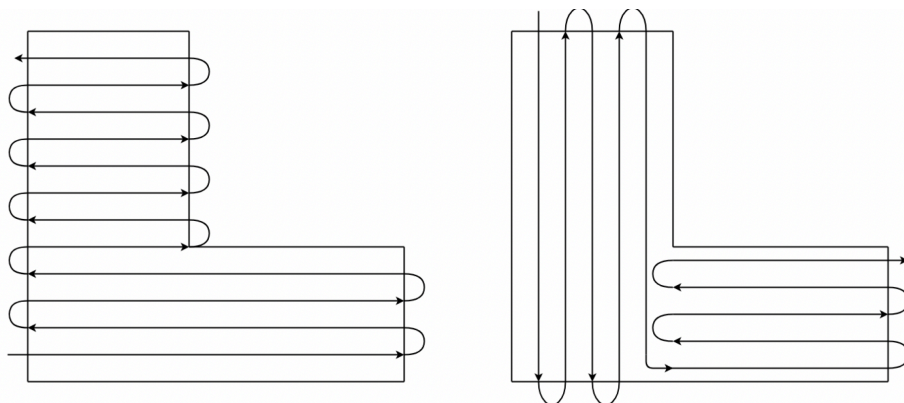
Nos cobots oeuvrent dans les secteurs de pointe comme l'aérospatial, la construction navale, les grands vins de Bordeaux.
Nous mettons nos savoir-faire numériques et mécatroniques au service du monde manufacturier.

En 2021 AeroSpline a reçu le prix de l'innovation Groupe SAFRAN pour son cobot et son logiciel d'intelligence artificielle.

AeroSpline conduit chaque année des programmes de recherche internationaux : CleanSky avec la Suède et la Belgique ou EIT-Manufacturing avec la Suisse (Université de Lugano).

2. Contexte

Dans le cadre de nos opérations de **traitement de surface** (peinture, sablage, ponçage, etc), nos robots collaboratifs doivent effectuer des tâches sur des pièces aux géométries complexes. Actuellement, la programmation des trajectoires est en partie manuelle et nécessite une expertise importante pour garantir un résultat homogène et efficace.



1. Coverage Path Planning sur une surface 2D

Le défi principal réside dans la génération automatique de trajectoires qui :

- Couvrent l'intégralité de la surface à traiter
- **Minimisent les croisements** et recouvrements inutiles (pour éviter les redondances de traitement).
- **Priorisent les inclinaisons similaires** (pour limiter les changements d'orientation de l'outil).
- Produisent un chemin **cohérent et intuitif** pour un opérateur humain (facilité de validation et de correction).

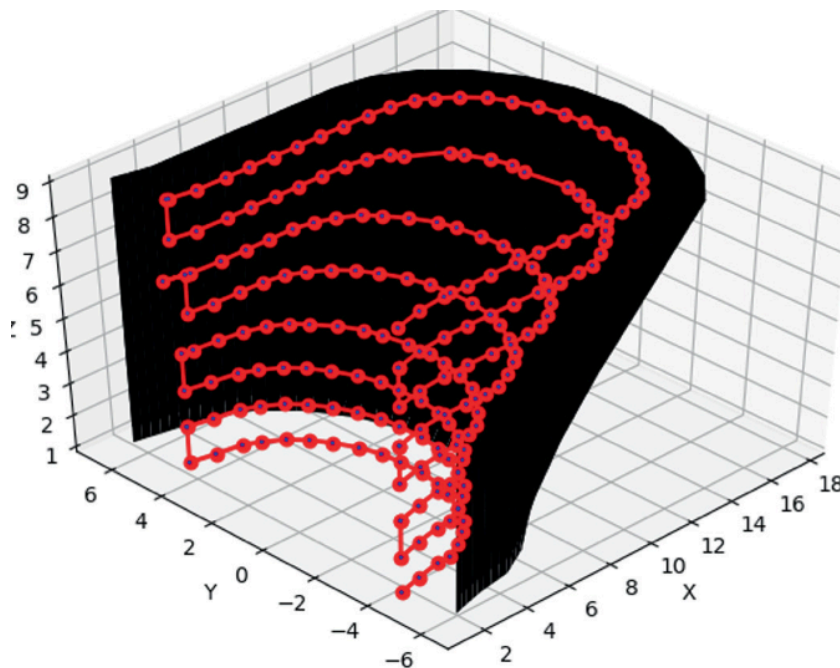
Cette problématique est d'autant plus critique que nos pièces présentent des faces avec des inclinaisons radicalement différentes, nécessitant une approche intelligente de segmentation et de planification.

3. Objectifs

Ce projet offre aux étudiants l'opportunité de travailler sur un problème concret de robotique industrielle, à l'intersection de l'algorithmie traditionnelle, et de l'intelligence artificielle.

OBJECTIF PRINCIPAL

Développer un algorithme de **Coverage Path Planning** capable de générer des trajectoires optimales sur un mesh 3D pour des opérations de traitement de surface robotisé.



2. Coverage Path Planning d'une surface 3D

ÉTAPE 1 : ANALYSE ET SEGMENTATION DU MESH

- Charger un mesh 3D (formats standards : STL, OBJ, etc)
- Analyser les normales des faces pour identifier les zones aux orientations similaires
- Segmenter le mesh en régions cohérentes selon un critère d'angle limite paramétrable (par exemple : regrouper les faces dont l'angle entre normales $< 30^\circ$)

ÉTAPE 2 : GÉNÉRATION DE TRAJECTOIRES

Deux approches sont proposées aux étudiants.

Approche A : Algorithmique

Adapter les algorithmes classiques de Coverage Path Planning 2D (boustrophédon, spirale, zigzag) au contexte 3D :

- Projeter localement chaque région sur un plan tangent optimal
- Générer un pattern de remplissage régulier
- Reprojecter la trajectoire sur la surface 3D en respectant la géométrie
- Gérer les transitions entre régions
- Minimiser le nombre de levées d'outil (sous-chemins)

Approche B : Apprentissage par renforcement

Entraîner un agent à générer des trajectoires optimales :

- Définir un espace d'états représentant la position courante et l'état de couverture
- Définir des actions possibles (déplacement dans différentes directions sur le mesh)
- Créer une fonction de récompense prenant en compte :
 - Les zones non couvertes
 - Les croisements et recouvrements
 - Les changements d'orientation trop brusques
 - La longueur totale du trajet
- Entraîner sur un dataset varié de meshes simples puis complexes (le dataset peut-être généré procéduralement)

ÉTAPE 3 (OPTIONNEL) : OPTIMISATION ET VALIDATION

Implémenter des **métriques d'évaluation** prenant en compte :

- Taux de couverture (%)
- Longueur totale du chemin
- Nombre de croisements
- Nombre de sous-chemins (levées d'outil)
- Régularité de l'espacement entre passes

4. Attendus

- Une **démonstration** fonctionnelle, allant du chargement d'un mesh, jusqu'à la génération des trajectoires
- Un **code source complet** et commenté, avec un document expliquant la démarche adoptée.
- Des **visualisations** comparant différents résultats, ainsi que les cas limites.

5. Données

Les étudiants disposeront de :

- Meshs 3D de formes simples, ainsi que des pièces industrielles avec différentes complexités géométriques et variations d'inclinaison de surface.
- Des spécifications ou exemples de ce qui constituerait une trajectoire "humaine" ou "industriellement pertinente" pour aider à la conception et à l'évaluation des algorithmes.

Les étudiants sont également libres d'utiliser ou générer leurs propres meshes de test.