

Navigation absolue, visuelle et inertielle

Conditions d'évaluation

Ce bureau d'étude comprend des questions qui doivent être traitées par l'ensemble de la classe. Les groupes seront évalués sur la base du document et du code envoyés à la fois à farges@cert.fr, zohra.kader@laplace.univ-tlse.fr et yoko.watanabe@onera.fr.

Introduction

La navigation absolue cherche à connaître la position d'un mobile par rapport à une carte. De nos jours, grâce au *Global Positioning System* (GPS), il est aisé pour un avion ou une automobile de connaître sa position sur la terre. Cependant, pour l'exploration d'autres planètes ou d'astéroïdes, il est nécessaire d'utiliser d'autres moyens. Ce bureau d'étude s'intéresse à l'utilisation d'une centrale à inertie et d'une caméra pour effectuer une tâche de navigation absolue pour un engin atterrissant sur une planète.

Une carte de la région d'intérêt a été construite, par exemple lors de missions précédentes où la planète a été observée par des engins en orbite. Cette carte comprend les coordonnées de points caractéristiques, détectés par traitement d'image et appelés amers.

La centrale à inertie fournit une mesure des composantes du vecteur de vitesse angulaire de l'engin ainsi qu'une mesure des trois composantes de l'accélération non gravitationnelle de l'engin.

Le traitement de l'image de la camera permet de retrouver les amers qui sont dans le champ de vision, de calculer leurs coordonnées dans le plan image et d'associer chaque point du plan image à l'amer correspondant.

Le but du filtrage dans ce schéma de navigation absolu est de fournir en permanence la position de l'engin à partir des mesures de la centrale à inertie et des coordonnées réelles et dans le plan image des points présents dans le champ de vision.

Questions

Les questions se situent toutes dans le cadre d'un problème simplifié où l'on suppose que :

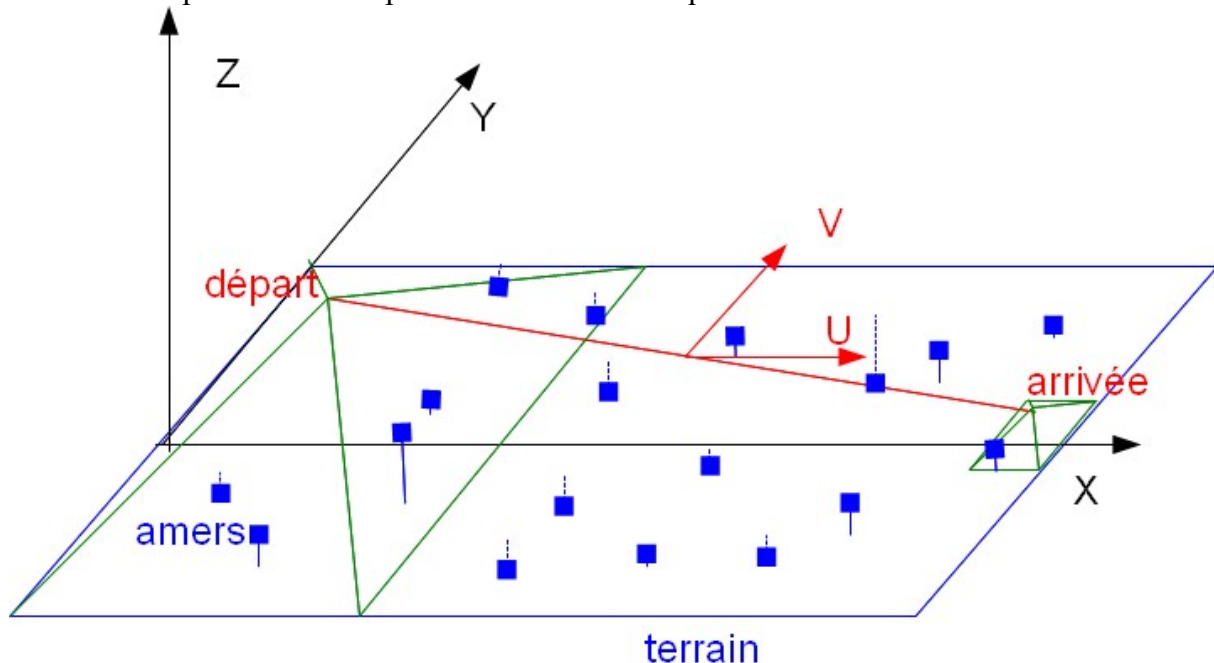
- L'attitude de l'engin est parfaitement connue et contrôlée : les axes liés à l'engin restent toujours parallèles aux axes liés au terrain.
- Le centre de l'engin, le foyer de la camera et le centre de la centrale à inertie sont confondus. La camera est orientée nadir, c'est à dire pointée vers le bas.
- Le temps de traitement de l'image est négligeable : les positions et numéros d'amers sont immédiatement disponibles.
- Il n'y a pas d'erreur d'appariement entre les amers répertoriés et les amers présents dans l'image.

Le répertoire associé à ce bureau d'étude comprend les fichiers suivants :

- `carte.dat` : on y trouve une représentation du terrain avec les coordonnées X_A , Y_A et Z_A des différents amers. Le numéro de colonne correspond au numéro d'amer A . Il y a 500 amers dans la carte.
- `imagexxx` où `xxx` varie de 000 à 100 et représente le temps en secondes auquel l'image a été capturée: on y trouve les numéros des amers vus ainsi que leurs coordonnées

dans l'image A, U_A et V_A . La taille de ces images est de 1024 x 1024 pixels et l'extraction des amers a été réalisée à trois pixels près.

- `mesure_accelero` : on y trouve à chaque ligne l'instant de mesure en secondes et les accélérations de l'engin mesurées suivant les axes X, Y et Z. Ces accélérations ont été échantillonnées avec un pas de 0.01 s et diffèrent des accélérations réelles d'une part par des biais de valeurs inconnues et d'autre part par un bruit de moyenne nulle et de puissance $2 \cdot 10^{-5} \text{ (m/s}^2\text{)}^2$.
- `script.m` un canevas permettant de lire les fichiers de données et de placer les logiciels correspondants aux réponses aux différentes questions.



1 - Modèle de mesure

En supposant un angle d'ouverture de 90° , donner la relation entre d'une part les coordonnées d'un amer et les coordonnées de l'engin et d'autre part la position de l'image de l'amer dans le plan image de la caméra.

2 – Initialisation du filtre

Montrer que, en supposant qu'il n'y a pas de bruit sur la position de l'amer dans le plan image, il est possible, en considérant deux amers A et B, de déduire une estimée de la position de l'engin. En considérant tous les couples d'amers possibles construire une estimée de la moyenne et de la matrice de covariance de la position de l'engin.

En considérant que la vitesse initiale est d'approximativement 100 m/s suivant l'axe X avec un écart-type de 2 m/s sur chaque axe, construire une estimée de la moyenne et de la matrice de covariance de la vitesse.

En considérant que l'écart-type des biais est de 0.2 m/s², construire une estimée de la moyenne et de la matrice de covariance des biais.

Initialiser le filtre en utilisant les résultats précédents.

3 - Intégration de dynamique

Caractériser l'évolution de la moyenne et la matrice de covariance de l'état entre deux mesures. Tracer l'évolution de 0 seconde à 1 seconde : moyenne de l'état estimé et éléments importants de la matrice de covariance.

On notera que l'accélération gravitationnelle de la Lune est de 1.622 m/s^2 .

4 - Recalage statique

Pour une image donnée effectuer un recalage de l'estimée de la moyenne et de la covariance d'un état constitué de la position, la vitesse et des biais d'accélération. Monter un exemple de recalage : moyenne de position avant recalage, moyenne de position après recalage, erreur de position des amers dans l'image avant recalage et erreur de position des amers dans l'image après recalage.

5 - Théorie

A partir du cours sur le filtre de Kalman à temps discret, donner un modèle de filtre de Kalman pour lequel la dynamique est intégrée avec une période d'échantillonnage plus faible que l'acquisition des mesures. On fera l'hypothèse que la période d'acquisition des mesures est un nombre entier de fois la période d'intégration. Indiquez également la manière de traiter les équations de mesure non linéaires.

6- Filtre

A partir des résultats de la théorie, de l'intégration dynamique et du recalage statique, mettez en œuvre un filtre de Kalman traitant le problème de navigation.

7 - Evaluation

Exécuter le filtre sur les données de 0 à 100 secondes. Tracez l'évolution de l'estimation des moyennes de la position, de la vitesse et des biais. Tracez quelques éléments importants de la matrice de covariance.