

## **M2 SETI : C4 Fusion**

Enseignants : S. Le Hégarat, E. Aldea, R. Reynaud.

### **TP : fusion de données par filtrage de Kalman.**

Cette séance de TP a pour objectif la mise en œuvre de méthodes de fusion de données basée par un filtrage de Kalman.

Pour chaque TP, vous aurez une semaine pour rendre un rapport écrit, où vous justifierez votre implémentation des algorithmes, analyserez l'influence de leurs paramètres, et commenterez les résultats obtenus. Ces commentaires porteront notamment sur la qualité des solutions implémentées et leur comparaison.

## **1 Environnement**

Les codes seront développés en Matlab à partir du squelette fourni, qui contient des “trous” qui sont les parties à compléter.

## **2 Filtre de Kalman appliqué au positionnement GPS**

### **2.1 Objectif**

Le but du TP consiste à appliquer le filtre de Kalman au positionnement GPS. en partie 1, on utilise les données de position fournie par le GPS comme données d'observation pour filtrer la trajectoire du récepteur, puis en partie 2, les données brutes (position des satellites et pseudo-distances) seront employées dans le processus d'estimation afin d'améliorer la localisation.

### **2.2 Généralités sur le GPS**

Le GPS (Global Positioning System) est un système de géolocalisation et de navigation qui permet de fournir instantanément une position dans n'importe quel endroit sur le globe. Il se compose actuellement d'une flotte de 31 satellites qui assure une bonne redondance pour les utilisateurs.

Les satellites émettent des ondes de fréquences en continue ( $L1 = 1575,42$  MHz) qui sont captés par les récepteur GPS. Le récepteur détermine le TOA (time of arrival), puis le temps de parcours du signal satellite/récepteur. Celui-ci est estimé grâce à la synchronisation du récepteur avec le code pseudo-aléatoire du signal, dont le moment d'émission par le satellite est connu car il est codé dans le message. On obtient, après multiplication par la vitesse de la lumière, une pseudo-distance (et non une distance, car entachée d'une erreur de synchronisation d'horloge) utilisée pour estimer notre position.

### **2.3 Résolution et calcul de la position**

Un minimum de quatre mesures GPS (donc 4 équations) est nécessaire pour résoudre un système d'équations à 4 inconnues, qui sont la position du récepteur local GPS ( $X, Y, Z$ ) et

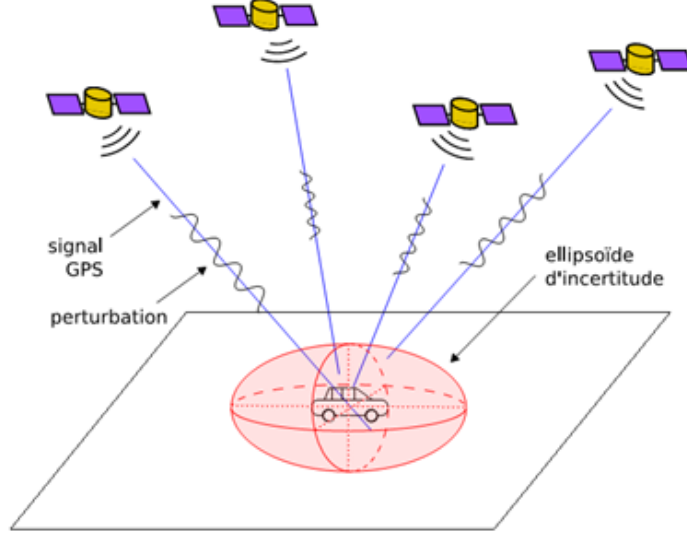


FIGURE 1 – Principe de fonctionnement d'un système de localisation GPS

le biais temporel du récepteur local.  $m$  est le nombre total de mesures satellites. Le système est sur déterminé quand ( $m > 4$ ). Le système d'équation se présente comme suit :

$$\begin{aligned}\rho_1(t) &= \sqrt{(X(t_r) - X_1^S(t))^2 + (Y(t_r) - Y_1^S(t))^2 + (Z(t_r) - Z_1^S(t))^2} + c \cdot dt \\ \rho_2(t) &= \sqrt{(X(t_r) - X_2^S(t))^2 + (Y(t_r) - Y_2^S(t))^2 + (Z(t_r) - Z_2^S(t))^2} + c \cdot dt \\ &\vdots \\ \rho_m(t) &= \sqrt{(X(t_r) - X_m^S(t))^2 + (Y(t_r) - Y_m^S(t))^2 + (Z(t_r) - Z_m^S(t))^2} + c \cdot dt\end{aligned}$$

où

1.  $\rho_i(t)$  : pseudo-distance avec le satellite  $i$  à l'émission du signal (connu).
2.  $X(t_r), Y(t_r), Z(t_r)$  : position du récepteur a la réception du signal (inconnu).
3.  $X_i^S(t), Y_i^S(t), Z_i^S(t)$  : position du satellite  $i$  à l'émission du signal (connu).
4.  $dt$  : correction du biais d'horloge récepteur (inconnu).

Une méthode de résolution de système d'équations non-linéaires est employée pour obtenir la localisation GPS. Dans ce TP, ce calcul est fait dans le capteur GPS.

## 2.4 Filtre de Kalman appliqué au données GPS

La première partie utilise les positions calculées par le récepteur (qui implante la méthode de résolution) comme observation pour corriger le vecteur d'état. Le système de coordonnées ENU (East, North, Up) est utilisé. On assume que l'altitude est constante durant

l'expérimentation et qu'il n'est pas nécessaire de l'estimer. Le vecteur d'état est composé de  $(X, Vx, Y, Vy)^T$  avec  $(Vx, Vy)$  la vitesse suivant l'axe East et North respectivement, et le vecteur d'observation des mesures sera  $(x, y)^T$ .

**Important** : les données utilisées (la vérité terrain ainsi que les mesures) sont des données *réelles* avec des bruits complexes qui ne respectent pas entièrement le cadre méthodologique imposé par le filtre de Kalman. Pour cette raison, vous devrez dans une première étape simuler des mesures à partir des données vérité terrain, en les perturbant avec un bruit connu, et en observant les performances du filtre. En dernier, vous pourrez confronter votre algorithme aux observations réelles.

## 2.5 Les étapes

1. **Lancer le programme Matlab.** Regardez la structure des données fournies et tracez les données représentant la position fournie par le récepteur et la vérité terrain.
2. **Initialisation du filtre de Kalman.** Initialiser l'état, la matrice de covariance du vecteur d'état, la matrice de covariance du bruit de mesure (pour des données simulées, cet initialisation sera très fidèle aux données)
3. **Tant qu'il y a des données faire :**
  - (a) **Modèle de prédiction** : définir les matrices de covariance du processus d'innovation de transition d'état. Programmer l'étape de prédiction de l'état (moyenne et covariance).
  - (b) **Modèle d'observation** : Définir la matrice d'observation. Programmer l'étape de prédiction de l'observation (moyenne et covariance).
  - (c) **Estimation de l'état** : Calculer le gain de Kalman, l'écart à la prédiction. Programmer l'étape d'estimation de l'état (moyenne et covariance associée).
  - (d) **Préparer l'itération suivante** : Réaliser divers tracés déroulants.
4. **Validation** : Enregistrer les positions estimées et leur écarts-types correspondants, et les comparer aux données GPS et à la vérité de terrain. Évaluer votre résultat.

Dans la discussion, mettez l'accent sur les choix de modélisation, et sur l'impact des paramètres estimés/supposés sur la performance du filtre.