

Filtere particulaire ensembliste par intervalles pour le suivi de cibles

Mohamed Fnadi^{1,*}, Régis Lherbier¹

¹LISIC – UR4491, Université du Littoral Côte d'Opale, France;

* mohamed.fnadi@univ-littoral.fr

Le filtre particulaire, méthode de Monte Carlo séquentielle, représente une approche fondamentale pour l'estimation d'état dans les systèmes autonomes. Son efficacité dépend principalement de deux paramètres critiques: le nombre de particules utilisées et la fonction de densité qui régit l'adaptation de leurs poids à chaque itération. Nous proposons une extension ensembliste du filtre particulaire classique, fondée sur une formalisation par intervalles à erreurs bornées.

Contrairement aux approches classiques utilisant des particules ponctuelles, notre méthode repose sur une représentation ensembliste par intervalles. L'algorithme s'articule autour de quatre phases clés. La phase de prédiction propage chaque particule, modélisée sous forme de boîtes d'intervalles, à travers les fonctions d'inclusion du modèle dynamique, intégrant ainsi les incertitudes du système et de la commande. En phase de correction, les intervalles sont affinés par intersection avec les mesures des capteurs ajustées dans des intervalles, en prenant en compte leurs bruits. Les poids des particules sont ajustés dynamiquement selon le recouvrement de chaque boîte avec le modèle de mesure. Une contraction dynamique resserre les bornes des intervalles pour éviter la surestimation des incertitudes, en exploitant la technique de propagation des contraintes. Enfin, un rééchantillonnage adaptatif sélectionne les particules les plus probables en fonction de leurs poids et vérifie leur diversité via un seuil de variance effective. L'état estimé est obtenu par une moyenne pondérée des centres des particules.

Notre méthode a été appliquée au suivi de cibles en environnements marins incertains, notamment pour des véhicules autonomes de surface (ASV), en utilisant la bibliothèque INTLAB¹ pour le calcul par intervalles. Le système intègre un LiDAR fixe (dans le référentiel global) fournissant à chaque instant deux mesures télémétriques intervalaires bruitées : la distance et l'orientation de l'ASV par rapport au repère LiDAR. L'analyse comparative (Figure 2) entre notre approche ensembliste (IPF avec $N = 200$ particules) et un filtre à particules classique (PF avec $N = 1000$ particules) met en évidence deux atouts majeurs: (i) une réduction de 70 % du nombre de particules nécessaires, tout en garantissant une estimation certifiée et précise à partir des observations LiDAR ; (ii) un temps de calcul considérablement réduit, tout en maintenant (voire améliorant) la précision des estimations. Dans le cadre de nos travaux futurs, nous approfondirons nos simulations sur des scénarios plus complexes, tels que l'utilisation d'un LiDAR mobile embarqué sur une plateforme pour le suivi d'objets marins, avec une validation expérimentale sur des données réelles.

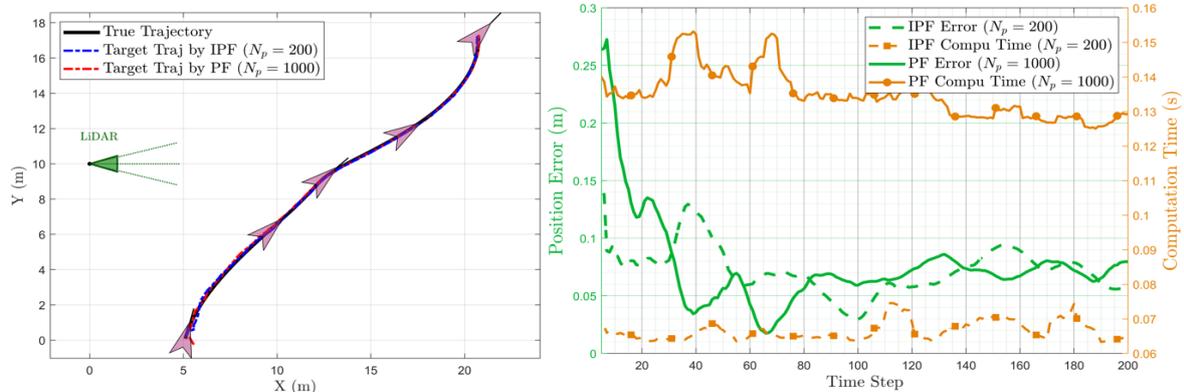


Figure 1: Comparaison des performances de suivi d'ASV entre filtre particulaire classique (PF, $N_p=1000$), ensembliste (IPF, $N_p=200$) [Gauche] Trajectoires estimées [Droite] Erreurs de position et Temps de calcul

Références:

- [1] L. Jaulin, M. Kieffer, O. Didrit, and E. Walter. Interval analysis. In: Applied interval analysis, pp. 11-43. Springer, London, 2001.
- [2] F. Abdallah, A. Gning, and P. Bonnifait. Box particle filtering for nonlinear state estimation using interval analysis. Automatica, 44(3), pp. 807-815, 2008.
- [3] A. Gning, L. Mihaylova, F. Abdallah, and B. Ristic. Particle Filtering Combined with Interval Methods for Tracking Applications. In-Integrated Tracking, Classification, and Sensor Management, pp. 43-74, 2013.
- [4] N. Merlinge, K. Dahia, H.J. Piet-Lahanier, Brusey, and N. Horri. A box regularized particle filter for state estimation with severely ambiguous and non-linear measurements. Automatica, 104, pp.102-110, 2019.

¹ <https://www.tuhh.de/ti3/rump/intlab/>