

**UNIVERSITÉ GALATASARAY
FACULTÉ D'INGÉNIERIE ET DE TECHNOLOGIE**

**Positionnement Sans GPS en Utilisant les Données d'Accéléromètre
et de Gyroscope : Calcul de Position Sans GPS**

RAPPORT DE REVUE DE LA LITTÉRATURE

Kerim Ayberk ÇITAK

Ingénierie Informatique
Dr. Lecturer Özgün PINARER

Décembre 2024

Introduction

Le système de positionnement global (GPS) est considéré depuis sa création comme un outil révolutionnaire pour la navigation. Cependant, on sait que les signaux GPS sont très perturbateurs dans certains environnements, comme le sous-sol ou dans les zones sujettes au brouillage des signaux. Ce projet vise à résoudre ces problèmes en développant un système de positionnement sans GPS qui combine les données d'accéléromètre et de gyroscope pour fournir un suivi continu et fiable de la position d'un objet.

L'infrastructure technique du projet est la suivante : Les données brutes des capteurs provenant des accéléromètres et des gyroscopes sont utilisées pour calculer la vitesse et l'orientation. Au fil du temps, l'intégration répétée des données d'accéléromètre est appliquée pour produire des estimations de déplacement, tandis que les données gyroscopiques sont utilisées pour capturer la vitesse angulaire et suivre les changements d'orientation. Cependant, les capteurs inertiels sont sujets au bruit et à la dérive, ce qui peut entraîner des erreurs de données cumulatives. Des techniques de filtrage avancées sont utilisées pour améliorer les données combinées (méthodes de filtrage de Kalman ou similaires). Cette stratégie est mise en œuvre pour obtenir des estimations de mouvement plus stables et augmenter la fiabilité du système.

Un aspect clé de ce projet est la démonstration des performances en temps réel sur une plate-forme informatique robuste. Une unité de traitement puissante sera utilisée pour collecter, traiter et combiner les données des capteurs dans une boucle continue. Cette approche basée sur les périphériques est conçue pour réduire la latence, ce qui la rend adaptée aux applications allant de la navigation intérieure à la robotique, à la réalité augmentée et même à l'exploration spatiale. Par exemple, le positionnement basé sur l'IMU est utilisé dans l'atterrissage de précision de fusées réutilisables où le GPS n'est pas assez précis, où il complète les données GPS pour obtenir un positionnement très précis lors de la rentrée et de l'atterrissage. Un fonctionnement fiable dans des environnements sans GPS s'est également avéré être une solution pour les scénarios militaires et d'intervention d'urgence où l'accès aux données de positionnement est crucial.

Étude de la littérature

GPS-Free Roll and Pitch Estimation

Cet article décrit un algorithme sans GPS pour l'estimation du roulis et du tangage dans les avions en utilisant une combinaison de gyroscopes à taux, d'altitude pression et de systèmes de données aériennes. Il utilise des filtres de Kalman non parfumés et de nouvelles techniques de modélisation du bruit pour une détermination précise de l'attitude. Testé sur un jet T-38 de la marine américaine, l'algorithme a démontré une précision comparable aux méthodes dépendantes du GPS, s'avérant efficace dans des environnements sans GPS tels que des scénarios de brouillage ou de spoofing. Cette approche réduit la dépendance aux systèmes traditionnels basés sur des accéléromètres, offrant des alternatives peu coûteuses et robustes pour la navigation aérienne.

Indoor Localization on Smartphones

Cet article présente une technique hybride de localisation en intérieur combinant la navigation à l'estime et l'identification de la force du signal WiFi sur les smartphones commerciaux. À l'aide de filtres à particules, le système intègre des données d'étalonnage automatisées provenant d'un robot équipé de télémètres laser, ce qui permet d'obtenir une précision de localisation de 5 mètres. L'approche s'adapte efficacement aux plateformes de smartphones, montrant un potentiel pour les applications de navigation et de services contextuels dans les environnements sans GPS.

Cooperative Localization in Urban Canyons

L'article décrit le développement d'une solution de localisation collaborative pour les réseaux de véhicules dans des environnements urbains limités par le GPS. Il intègre des systèmes de capteurs inertiels réduits (RISS) et une plage de temps de trajet aller-retour étendu (RTT) avec des filtres de Kalman pour une précision améliorée. Testé dans des scénarios urbains simulés, le système démontre des améliorations significatives de la précision de positionnement, en particulier lors de disponibilités irrégulières du GPS, prenant en charge une navigation robuste dans des paysages urbains complexes.

GPS-Free Navigation Using Fusion and Mapping

Ce travail présente un système de navigation sans GPS pour véhicules terrestres en combinant des données inertielles et odométriques avec des algorithmes de mise en correspondance de cartes. Le système utilise la mise à jour à vitesse nulle (ZUPT) pour minimiser la croissance des erreurs dans les capteurs inertiels et la mise en correspondance de cartes pour améliorer l'estimation de la trajectoire. Il répond efficacement aux limitations du signal GPS dans les environnements urbains, en fournissant un positionnement bidimensionnel fiable pour les applications automobiles.

Consumer Tracking Estimator for GPS-Free Vehicles

Ce travail présente un estimateur de suivi utilisant des capteurs IMU et OBD-II à faible coût pour la navigation de véhicules sans GPS. En utilisant des filtres de Kalman étendus et linéaires, il estime la trajectoire et la vitesse du véhicule avec une précision supérieure à celle des méthodes conventionnelles. L'expérimentation met en évidence son efficacité dans des conditions sans GPS, offrant une alternative rentable pour le suivi d'objets mobiles à grande vitesse.

Indoor Localization by Combining UWB and PDR

L'article propose une méthode de localisation basée sur un filtre de Kalman intégrant les techniques d'ultra-large bande (UWB) et de navigation à l'estime pour piétons (PDR). Une nouvelle approche d'apprentissage profond améliore l'estimation de la vitesse pour la PDR, tandis que les données UWB améliorent la précision de la trajectoire. Les expériences confirment que l'algorithme hybride surpasse considérablement les systèmes UWB ou PDR autonomes pour obtenir un positionnement intérieur précis.

GPS-Free Vehicle Localization via INS and RSU

Cette étude présente un cadre de localisation sans GPS utilisant des systèmes de navigation inertielle (INS) combinés à une seule unité routière (RSU). En intégrant des mesures de temps d'arrivée bidirectionnelles et des filtres de Kalman, il permet d'obtenir des erreurs de localisation aussi faibles que 1,8 mètre. Cette approche offre une solution peu coûteuse et très précise pour les applications intelligentes de sécurité routière et d'évitement des collisions.

Cooperative Positioning for GPS NLOS Using VANETs

Cette recherche propose un système de localisation intégré exploitant le Dead Reckoning (DR) et le positionnement coopératif (CP) dans les réseaux ad hoc véhiculaires (VANET). En intégrant des capteurs et des communications véhiculaires, la solution résout les problèmes d'indisponibilité du GPS dans les tunnels et les zones urbaines, permettant des réductions d'erreur allant jusqu'à 98

Rocket Guidance and Navigation for Landing

Un système de contrôle simplifié basé sur Modelica pour l'atterrissage du premier étage d'une fusée est proposé. En utilisant les données IMU et GPS, le système utilise des contrôleurs proportionnels-dérivés pour un atterrissage rétrograde précis. Testé par télémétrie réelle, le modèle s'avère prometteur en tant qu'outil de simulation à faible coût pour le développement de fusées réutilisables, améliorant la précision tout en minimisant la consommation de carburant.

Object Tracking Using GPS and IMU Sensors

Cet article présente un système de suivi d'objets combinant des capteurs GPS et IMU pour des véhicules sans pilote à distance. En intégrant les données de l'accéléromètre, du gyroscope et du magnétomètre via un filtrage complémentaire, il permet un suivi en temps réel avec une erreur GPS moyenne de 2,67 mètres et une erreur d'attitude de 0,96°. Le système offre des performances fiables pour les objets statiques et dynamiques dans divers environnements.

Ref.	La méthode	Avantages	Inconvénients
1	Gyroscopes & filtrage Kalman avancé.	Précis sans GPS.	Pas d'accéléromètre.
2	Fusion IMU & WiFi.	Précis en intérieur.	Dépend du WiFi.
3	Capteurs IMU & coopératif.	Améliore précision partielle.	Partiellement dépendant GPS.
4	Fusion IMU & odométrie.	Précis sans GPS.	Nécessite données cartographiques.
5	IMU & OBD-II, Kalman.	Fonctionne sans GPS.	Limité aux véhicules.
6	UWB & PDR avec Kalman.	Compense dérive IMU.	Dépend de l'UWB.
7	INS & RSU avec Kalman.	Supprime dépendance GPS.	Nécessite RSU.
8	Navigation & coopérative.	Efficace sans GPS.	Infrastructure VANET requise.
9	IMU & GPS pour fusées.	Haute précision d'atterrissage.	Dépend de GPS.
10	IMU & GPS avec filtrage.	Bon suivi d'objets.	Dépend fortement du GPS.

Bibliographie

1. Rhudy, M. B., Fravolini, M. L., & Napolitano, M. R. (2024). *GPS-free roll and pitch estimation through pressure altitude-aided inertial navigation system for a jet aircraft*. *Aerospace Science and Technology*, 146, 108975.
2. Kothari, N., Kannan, B., Glasgow, E. D., & Dias, M. B. (2012). *Robust indoor localization on a commercial smartphone*. *Procedia Computer Science*, 10, 1114–1120.
3. Elazab, M., Noureldin, A., & Hassanein, H. S. (2017). *Integrated cooperative localization for vehicular networks with partial GPS access in urban canyons*. *Vehicular Communications*, 9, 242–253.
4. Prusaczyk, P., Panasiuk, J., & Baranowski, L. (2018). *GPS-free navigation based on using inertial and odometry, data fusion, and map-matching algorithm*. *AIP Conference Proceedings*, 2029(1), 020062.
5. Choi, E., & Chang, S. (2017). *A consumer tracking estimator for vehicles in GPS-free environments*. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 63(4), 450–459.
6. Lee, G. T., Seo, S. B., & Jeon, W. S. (2021). *Indoor localization by Kalman filter-based combining of UWB-positioning and PDR*. *IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 1–6.
7. Khattab, A., Fahmy, Y. A., & Wahab, A. A. (2015). *High accuracy GPS-free vehicle localization framework via an INS-assisted single RSU*. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015, Article ID 795036.
8. Nascimento, P. P. L. L., Kimura, B. Y. L., Guidoni, D. L., & Villas, L. A. (2018). *An integrated dead reckoning with cooperative positioning solution to assist GPS NLOS using vehicular communications*. *Sensors*, 18(9), 2895.
9. Canham, C., Podlaski, M., & Vanfretti, L. (2021). *Guidance, navigation, and control enabling retrograde landing of a first stage rocket*. *Proceedings of the 14th International Modelica Conference*, 171–182.
10. Wahyudi, W., Ngatelan, N., Listiyana, M. S., & Sudjadi, S. (2024). *Tracking object based on GPS and IMU sensor*. *IEEE International Conference on Tracking Systems*, 214–222.