



DOSSIER



LOCALISATION PAR SATELLITE POUR LES TRAINS, TRAMWAYS, ET AUTRES MOYENS DE TRANSPORTS TERRESTRES

Chaque signal envoyé par un satellite de la constellation GPS, et bientôt GALILEO, peut subir des dégradations liées à son environnement proche. Les chercheurs du LEOST mettent au point des procédés permettant de corriger les trajets multiples issus du signal originel.

Permettre au conducteur d'un véhicule de savoir à tout moment où il se trouve, diffuser cette information aux voyageurs ou au gestionnaire d'un réseau. Ceci est rendu possible grâce aux systèmes de localisation par satellite, de plus en plus utilisés pour la surveillance, la gestion des flottes de véhicules, ou l'information des usagers. Lorsque le besoin de localisation est très exigeant, et afin de garantir une localisation encore plus fiable et précise, ces informations peuvent être produites par des systèmes installés sur des infrastructures, à l'extérieur des véhicules. Cependant, il faudrait pouvoir disposer de performances aussi bonnes avec les systèmes embarqués. En Europe, l'arrivée dans quelques

années du système de localisation GALILEO, en complément du système américain actuel GPS (Global Positioning System), rend cet objectif parfaitement réaliste. Les deux systèmes GALILEO et GPS seront en effet interoperables et l'accroissement du nombre des satellites permettra d'augmenter les performances des systèmes de localisation.

Disponibilité, précision, intégrité du signal

Selon les applications, les performances attendues sont très variables. Elles se caractérisent par la disponibilité du service, la précision de la localisation et l'intégrité de l'information. C'est sur ces trois axes que travaillent des chercheurs du LEOST (Laboratoire Électronique, Ondes et Signaux pour les Transports), et plus →→→

L'ESSENTIEL

LE CONTEXTE

La géolocalisation par constellation de satellite est très intéressante pour informer les usagers, gérer des flottes de véhicules, réseaux ou infrastructures, mais elle manque encore de précision.

LES ENJEUX

Le signal émis par un satellite peut subir des perturbations en raison d'obstacles physiques qui font suivre au signal des trajets multiples. Les recherches visent à améliorer la fiabilité des informations exploitables par les récepteurs.

LES PERSPECTIVES

Une généralisation de la géolocalisation quand la sécurité est en jeu.

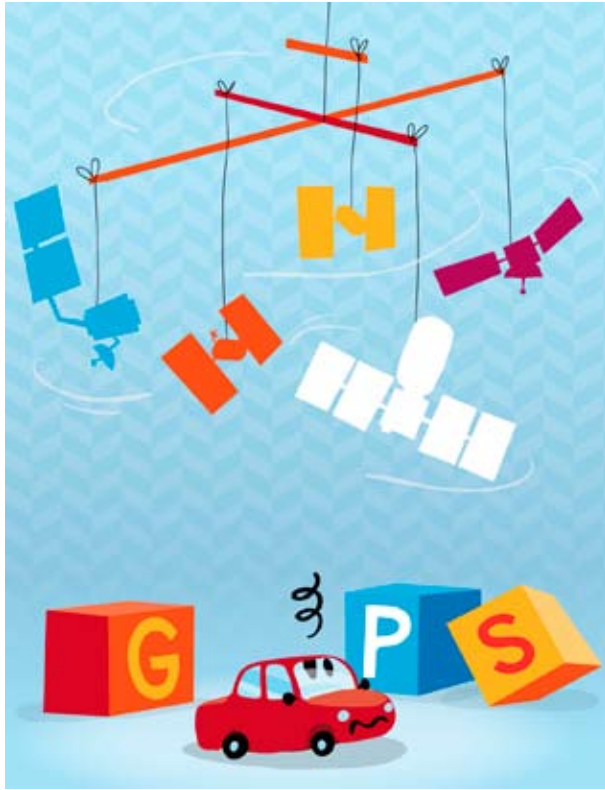


Illustration : Colanopra

→→→ particulièrement Juliette Marais, Chargée de Recherche. Les travaux du LEOST dans ce domaine remontent à plus d'une dizaine d'années, dans le cadre d'un projet franco-allemand dont la finalité était d'explorer les possibilités du GPS à localiser des trains SNCF. Les résultats ont confirmé les difficultés liées à la fiabilité et à la précision de la localisation par satellite. L'outil PREDIS-SAT* a permis d'étudier ces performances à

rités. Or, le signal envoyé par chacun des satellites d'un système GPS est loin de parvenir au sol sans dommages. En effet, la plupart des applications transport intégrant les systèmes de navigation par satellite GNSS (Global Navigation Satellite System) sont utilisées dans des zones urbaines, denses en obstacles et donc contraignantes pour la réception des signaux satellitaires (masquages, retards de propagation). Le signal se

l'aide de l'analyse de l'environnement par traitement d'images caméras. Les attentes sont bien supérieures à celles demandées pour l'orientation d'un conducteur automobile afin de garantir la sécurité des procédures basées sur les informations du GPS.

« Dans un réseau de transport, la localisation d'un véhicule peut, par exemple, être utilisée pour le déclenchement de manœuvres comme l'ouverture ou la fermeture de passages à niveau », explique Juliette MARAIS. Précision et fiabilité sont alors des prio-

heure à des reliefs naturels, à des bâtiments, à des masses végétales. Il est parfois totalement occulté ou réfléchi, au prix d'une perte de qualité.

Des trajets multiples pénalisants

Le principe de la localisation par satellites repose sur la mesure du temps de propagation de chacun des signaux satellitaires. Lorsque le signal est reçu en plusieurs échos, on parle de multi-trajets. Associé au masquage du signal et à un mauvais positionnement des satellites, ces paramètres sont extrêmement pénalisants pour la fiabilité des informations. L'objectif de la recherche est de limiter l'impact de ces dégradations afin de garantir une précision de localisation optimale, sans abaisser la disponibilité du service. Pour se localiser,

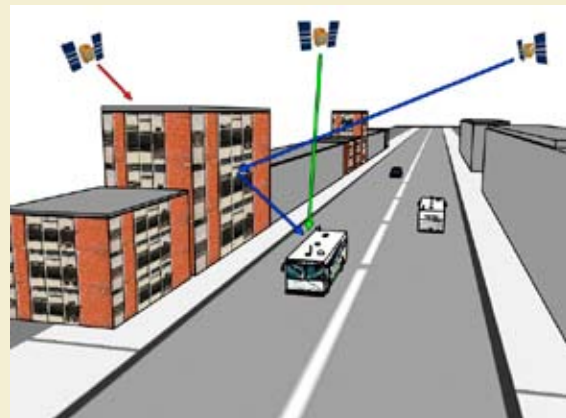
un récepteur GNSS utilise les signaux issus simultanément d'au moins quatre satellites. Il extrait de chacun des signaux reçus, le temps

de propagation depuis son émission, et en déduit une pseudo-distance (distance satellite-récepteur). Le calcul permet de trouver le positionnement précis du récepteur par triangulation de 4 pseudo-distances.

Dans un premier temps, les chercheurs du LEOST ont étudié les erreurs de pseudo-distances causées par l'environnement, afin de les modéliser. Quelles que soient les conditions de réception locales, ces signaux sont per-

Des bus suivis par satellite à Rouen

La ligne TEOR du réseau de transport de la ville de Rouen (Veolia Transport), est équipée d'un système de guidage optique aux abords des stations. Il permet aux conducteurs d'optimiser le positionnement des véhicules par rapport aux quais, afin de faciliter les descentes et montées de voyageurs. Le projet ANGO vise à fournir au conducteur de bus une consigne de vitesse, afin de réduire la consommation de carburant. Le LEOST a testé les performances GPS sur la ligne, et a construit une base de données des précisions obtenues. A Rouen, les écarts de signal ont ainsi pu être mesurés grâce à l'utilisation d'une référence cartographique. Les travaux ont permis de déterminer l'impact de l'environnement urbain sur la précision de la localisation.



Transport ferroviaire : la géolocalisation à petits pas

L'intérêt majeur du satellitaire par rapport aux autres techniques de localisation vient du fait que l'opérateur de transport n'a pas d'infrastructure à entretenir, que le coût des récepteurs est relativement faible, et que le système fonctionne sans limites géographiques. Intégrer les informations de géolocalisation directement dans un système de sécurité, est une étape qu'il faut franchir avec prudence. L'objectif fait partie de la stratégie de développement du système européen GALILEO et le service « Safety of Life (SoL) » est étudié à cet effet. LOCOPROL (Low Cost satellite based train location system for signalling and train PROtection for Low density railway lines) a démontré la faisabilité d'une approche sur la ligne ferroviaire Nice-Digne. Une ligne régionale à faible trafic expérimente actuellement l'utilisation du GPS en Autriche. La sécurité est cependant toujours assurée par un opérateur. Pour consolider le système, les recherches en cours visent principalement la précision et l'intégrité, ainsi que les possibilités de certification.

turbés par un certain nombre d'événements (propagation dans l'atmosphère, désynchronisation des horloges satellites et récepteur, erreurs d'éphémérides,...). La plupart de ces éléments sont connus et corrigés par mesure ou par l'utilisation des modèles. Le bruit restant est modélisé par un bruit blanc Gaussien centré**.

Associer un modèle d'erreur à chaque satellite et à chaque instant

Face aux multi-trajets, l'enjeu du traitement du signal sera d'extraire de cette somme de rayons, le rayon direct. Dans leur étude, les chercheurs du LEOST ont supposé cette étape bien maîtrisée, et considéré comme pire cas, des échos atteignant le récepteur en l'absence du rayon direct. On parle alors de « trajet réfléchi ». Dans ce cas, le rayon est

reçu en retard et atténué. Si l'on opte pour une exclusion de ce satellite en raison de son atténuation, le risque d'indisponibilité de service augmente. L'équipe du LEOST a donc cherché à modéliser le bruit de ces signaux, c'est-à-dire à modéliser la distribution des erreurs de pseudo-distances de ces trajets réfléchis, à partir de données de simulation et de données expérimentales. La modélisation permet ensuite d'associer à chaque satellite, à l'aide d'un modèle à saut de Markov***, le modèle d'erreur le plus approprié. Le principe du modèle est de prédire, à partir de l'historique récent des dernières mesures, le comportement des signaux à l'instant d'après. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre des thèses de F.Nahimana (soutenue) et N.Viandier, co-encadrées avec le LAGIS (Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal). Des simulations et validations à partir de données expérimentales recueillies le long d'une ligne de bus à Rouen, ont montré que la méthode permet d'améliorer à la fois la disponibilité et la précision de la localisation. L'équipe du LEOST est parvenue à améliorer considérablement la précision de la localisation. Sur le trajet de Rouen, la méthode a permis d'augmenter la précision moyenne de 5,3m à 2,5 mètres.

Les perspectives pour les trois années à venir s'inscrivent dans le projet CAPLOC (« Combinaison de l'Analyse d'images et la connaissance de la Propagation des signaux pour la LOCALisation ») lancé en partenariat avec le laboratoire Systèmes et Transports de l'UTBM (Université de Technologie de Belfort-Montbéliard), dans le cadre du PREDIT GO2 consacré à la gestion du trafic et des mobilités. L'objectif de CAPLOC est de montrer la faisabilité de l'apport d'un modèle 3D de l'environnement du véhicule dans l'amélioration de la précision d'une location GNSS. CAPLOC vise par ailleurs à mettre en œuvre un brevet déposé en 2006. ■

* Outil de prédiction de la Visibilité radioélectrique d'une constellation de satellites dans un environnement transport.

** Signal dont les valeurs mesurées à des instants différents sont des variables aléatoires indépendantes les unes des autres, de moyenne nulle et de variance constante.

*** Il permet de commuter entre plusieurs modèles suivant la valeur d'une variable latente particulière, ici l'état de réception du satellite.

COMMENT ÇA MARCHE ?

LE PRINCIPE DE REPÉRAGE UTILISÉ PAR LE GPS

ESA / P. Carril



Vue d'artiste du satellite GIOVE-A (satellite de test GALILEO)

La localisation GPS s'appuie sur le principe de triangulation. Un récepteur, installé sur un véhicule, mesure le temps de propagation du signal du satellite jusqu'à lui. Il en déduit la distance « d » le séparant du satellite. Connaissant la position X,Y,Z du satellite au moment de l'émission dans un espace à 3 dimensions, l'ensemble des points possibles où pourrait se situer le récepteur GPS est la sphère de centre, le satellite et de rayon, la distance « d ». En procédant de même avec un deuxième satellite, on calcule l'intersection des deux sphères. Celle-ci forme un cercle qui représente l'ensemble des positions que peut prendre le récepteur GPS. Un troisième satellite réduit les positions possibles à deux points. Si l'utilisateur se situe à la surface de la Terre, seul un des 2 points est cohérent. Le récepteur connaît ainsi sa position en éliminant le point incohérent. Un quatrième satellite corrige les décalages liés à la synchronisation des horloges (satellites et récepteur). Une erreur d'un millième de seconde produit un décalage de 300km ! Il faut aussi prendre en compte les variations de vitesse du signal liées à la propagation dans l'atmosphère.