

Préparation de la compétition internationale de localisation intérieure IPIN : cartographie de parcours piétons

■ Valérie RENAUDIN - Nicolas MOREAU - Antoine BILLEY - Alexandre LAMBLIN - Jasper VOS - Johan PERUL - Miguel ORTIZ

Depuis quelques années des compétitions internationales destinées à comparer les technologies de localisation à l'intérieur des bâtiments sont organisées. Face à la diversification de ces technologies, elles permettent de fixer une cadre unique d'évaluation des performances de localisation en temps réel ou différé. Un levé topographique d'envergure qui combine mesures au théodolite, par GNSS différentiel et scanner 3D a permis de cartographier à 10 cm près les 180 cibles réparties dans le centre commercial Atlantis à Nantes. Ces cibles définissent les parcours sur lesquels les compétiteurs du congrès international IPIN s'affronteront le 22 septembre. Ce projet a été réalisé par quatre étudiants de l'ESGT sous la direction du laboratoire GEOLoc de l'IFSTTAR et avec le soutien de la société Viametris.

MOTS-CLÉS

Localisation intramuros, SLAM, LiDAR, GNSS, Inertiel, smartphone, précision, scanner 3D, navigation pédestre

de données sont fournis aux compétiteurs. Le premier jeu de données est enregistré sur un parcours géolocalisé où les coordonnées géographiques des empreintes des mesures sont fournies. Pour le second jeu de données, seules les empreintes de mesures sont fournies et leurs coordonnées doivent être estimées.

La 2^{de} partie, dite "on-site" est une compétition sur site. Les équipes déploient leur propre technologie (selon les critères fixés par les organisateurs) et calculent en temps réel les coordonnées des cibles sur lesquelles elles vont marcher selon les parcours pré-cartographiés par les organisateurs.

Le score final est basé sur la précision de détection de l'étage et sur l'erreur de positionnement horizontal. Cette erreur est calculée en mètres au troisième quartile, soit extraite de la fonction de distribution cumulative des erreurs au 3^e quartile. Cette information correspond à l'erreur la plus faible incluant 75 % des estimations. La détection d'étage sert de pondération au score final. Plusieurs recommandations de la norme ISO/CEI 18305:2016 ont été prises en compte pour définir la compétition IPIN 2018. Cette norme destinée aux systèmes de localisation en temps réel émet des recommandations pour conduire des essais et évaluer les systèmes de localisation et de "tracking".

Définition des parcours à pied

Le premier travail a consisté à définir les parcours qui serviront aux défis proposés cette année. C'est la première fois que la compétition se déroule dans un environnement réel de vie publique,

Introduction

Chaque année le congrès international "Indoor Positioning Indoor Navigation" (IPIN)¹ réunit 400 experts du monde industriel et académique pour échanger sur les usages de la géolocalisation indoor, découvrir les meilleures technologies de positionnement et navigation intramuros et partager les dernières innovations. La 9^e édition du congrès se déroulera à Nantes du 24 au 27 septembre 2018 où plus de 40 nationalités sont attendues. Une compétition qui permet à des équipes de s'affronter sur des parcours à pied à lieu en parallèle de l'IPIN. Cette année elle se déroulera le 22 septembre au centre commercial Atlantis à Nantes.

Cette compétition nécessite de préparer et cartographier des parcours piétons dans le centre commercial. Ces parcours sont matérialisés par des cibles au sol dont les coordonnées doivent être connues avec une précision de l'ordre de 10 cm. Ces coordonnées seront utilisées comme référence pour estimer les performances des technologies déployées par les compétiteurs et les

classer. Imaginer les parcours, concevoir un système de marquage qui puisse être remis en place le jour J et cartographier les cibles sont autant d'étapes à franchir pour préparer cette compétition. Cet article présente ces travaux qui ont été réalisés dans le cadre d'un projet, réalisé en partenariat avec l'ESGT sous la conduite du laboratoire GEOLoc de l'institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR).

L'objectif du travail était d'établir des points de référence et paramètres d'évaluation pour comparer plusieurs solutions de localisation dans les bâtiments. La compétition IPIN existe depuis 2015. C'est une suite des compétitions initiées dans le cadre du projet européen FP7 "universAAL". La compétition comporte deux parties.

La première partie, dite "off-site", permet aux compétiteurs de calculer des traces à partir de données qui leur sont fournies avant la compétition. Il s'agit d'un travail de bureau basé sur des méthodes d'apprentissage. Les données à télécharger sont de natures diverses : wifi, champ magnétique, signaux inertiels, puissance Bluetooth, etc. Deux jeux

¹ <http://ipin2018.ifsttar.fr/>

ce qui complique le challenge mais le rend plus réaliste. Le centre commercial Atlantis comprend 151 enseignes, 31 restaurants sur une superficie de 14'000 m² répartie sur 3 niveaux.

Les parcours doivent comporter des phases de marche, de montée d'escalier, de passages en ascenseur ou sur tapis roulant, de pause sur des bancs, etc. Ils se veulent le plus réaliste possible d'un déplacement à pied. Les parcours ont été étudiés sur la carte puis décrits par de nombreux points de passages. Plus de 180 points de passages ont été positionnés et cartographiés. Ce grand nombre permet une analyse statistique des écarts avec les points calculés par les compétiteurs.

■ Traces "off-site" : un défi smartphone

La 1^{re} trace "off-site" teste les technologies de localisation, avec les mesures d'un smartphone, d'une personne qui parcourt le centre commercial. Pour déterminer les parties du centre commercial exploitables pour les traces "off-site" smartphone, des tests ont été réalisés avec l'application "GetSensorData 2.0" qui enregistre toutes les données acquises avec les différents capteurs du smartphone utilisé (luminosité, wifi, Bluetooth, *Bluetooth low energy*...). Le centre commercial a été découpé en cinq parties. Une boucle a été faite dans chaque partie pour recueillir des données dans tous les endroits du centre commercial. Ces données ont été analysées pour identifier les zones du centre commercial ne pouvant pas être utilisées pour la compétition (absence de couverture WiFi, BLE, etc. : les zones blanches). L'analyse a montré que toutes les parties étaient suffisamment couvertes, sauf quelques parties des parkings où le signal wifi notamment était trop faible. Suite à la préétude, deux traces "off-site" ont été créées. Les données fournies aux compétiteurs sur ce défi sont enregistrées avec l'application "GetSensorData 2.0" en trois étapes : une phase d'apprentissage, une phase de validation et une phase d'acquisition des parcours à calculer.

La phase d'apprentissage sert aux candidats pour créer une carte par apprentissage qui est localisée grâce aux points connus en coordonnées.

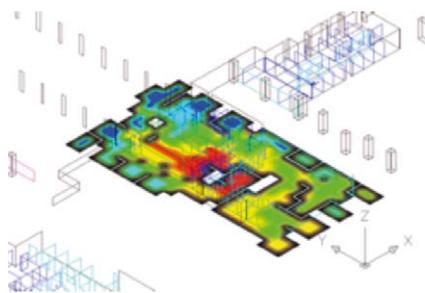


Figure 1. Exemple de cartographie en fonction de la puissance du champ magnétique

La trace a été décomposée en sept tronçons, sur lesquels a été effectué un aller-retour avec l'application. Ces tronçons sont réalisés dans un ordre aléatoire. Ces acquisitions sont fournies avec les coordonnées de certains points de passage. Ce sont 39 points de passages en tout dont les coordonnées sont envoyées. Le ratio de points disponibles doit être important, car s'il n'y a pas assez de points, les compétiteurs seront incapables de créer leurs cartes. Mais disposer de trop de points signifierait une trop grande facilité à retrouver la trace. Le principe de la réalisation d'une carte par apprentissage (Figure 1) réside sur le fait d'enregistrer dans une base de données l'ensemble des signaux reçus par le smartphone afin de créer une empreinte, appelée technique de "fingerprinting" (Zhao et al. 2018), où l'ensemble des signaux qui caractérisent une position sont uniques. La phase de validation est réalisée sur le même principe, mais avec des tronçons différents, elle permet aux candidats de valider leur cartographie. Dans la phase d'acquisition, le tracé est parcouru totalement avec l'application et les données sont envoyées aux compétiteurs qui doivent déterminer les coordonnées de chaque point de passage.

L'opération de localisation consiste à rechercher à travers la base de données d'apprentissage, le n-uplet dont l'intensité est la plus proche du n-uplet des intensités mesurées par l'application. Une fois ce n-uplet de la base de données identifié, la position du mobile correspond à celle de la mesure référencée dans la base de données. La difficulté de cette technique est qu'outre le fait qu'elle ne puisse être utilisée qu'en présence de structures particulières, les

signaux sont impactés par la nature des murs, par les nombreux multitrajets des ondes spécifiques aux environnements *indoor* ou encore par les interférences et la présence de foule car le corps humain absorbe les ondes. Les algorithmes utilisés doivent donc considérer tous les bruits et perturbations relatifs à la propagation des signaux en intérieur.

■ Les traces "off-site" : défi centrale inertielle et GNSS au pied

La seconde trace est parcourue cette fois-ci avec la centrale d'acquisition PERSY élaborée par l'IFSTTAR, portée sur le pied (Figure 2). Il s'agit d'une centrale inertielle de précision, intégrant des capteurs inertiels, magnétiques et GNSS (Chable & Renaudin 2016 ; Scornec et al. 2017). Deux jeux de données sont préparés. Le premier sert à la calibration et le second au calcul de trace. Le jeu de données de calibration du magnétomètre se réalise dans un environnement sans perturbation magnétique susceptible de modifier le champ magnétique terrestre. En effectuant des rotations selon les différents axes du capteur, on définit un nuage de points d'allure ellipsoïdale. Il est alors possible de déterminer la transformation nécessaire afin de venir faire correspondre le nuage de points avec la sphère de rayon, la norme du champ magnétique terrestre local (Renaudin et al. 2010). Il est complété par des données enregistrées sur plusieurs heures en phase statique afin de déterminer les bruits et biais de mesure des capteurs inertiels par variance d'Allan. Les participants vont ainsi calibrer eux-mêmes l'appareil avec leurs algorithmes. Enfin, le jeu de données sur le parcours à pied va permettre aux participants de calculer les coordonnées des points de passage. Le but de ces traces est de comparer des algorithmes de navigation pédestre par mesures iner-



Figure 2. Centrale d'acquisition PERSY attachée au pied



tielles, GNSS et magnétiques sur des données similaires.

■ Les traces "on-site"

Les traces "on-site" sont directement parcourues par les compétiteurs qui vont utiliser leur propre technologie. Ils sont libres d'utiliser le matériel qu'ils souhaitent. Ils devront calculer les points de passages en temps réel et fournir les coordonnées calculées dès la fin des parcours aux organisateurs. Deux défis constituent ce challenge qui autorise uniquement des équipements portés sur le haut du corps et interdisent les solutions Lidar. En effet, les solutions Lidar de "mobile mapping" sont des solutions précises de cartographie de l'intérieur, plutôt des solutions de référence. Une telle solution a servi au calcul des coordonnées de points de références des parcours à pied.

Le 1^{er} défi autorise l'utilisation d'enregistrements vidéo permettant de la localisation basée vision. Il n'y a pas de passage en extérieur pour cette trace qui inclut des arrêts et passages sur un "travelator" et dans des parkings. Le 2nd défi n'autorise pas la prise de vidéo. Pour cette trace, un passage en extérieur a lieu, ainsi qu'à travers un escalator, "travelator" et un escalier. L'objectif de ces traces est de comparer l'avancement des technologies temps réel.

■ Matérialisation des parcours

Les différents parcours ont été dessinés sous Autocad après avoir épuré les plans d'architecte. Après avoir contacté plusieurs sociétés spécialisées dans les outils dans le domaine de la construction, une solution de matérialisation des cibles à l'aide de petites pastilles autocollantes discrètes a été adoptée (Figure 3). Le moyen de matérialisation se devait d'être facilement et rapidement mis en place (à cause de leur grand nombre), peu visible (pour ne pas gêner le personnel et attirer l'attention des clients) et devait pouvoir tenir plusieurs jours. Nous avons placé quelque 180 étiquettes



Figure 3. Matérialisation des cibles

sur l'ensemble de la galerie, à l'aide des plans Autocad précédemment réalisés. Pour chacune d'elles, une fiche d'identification avec matricule, croquis, photos et notes explicatives a été établie. Ces fiches serviront la veille de la compétition afin de repositionner toutes les cibles.

Cartographie des parcours

Le concours étant international, les coordonnées géographiques sont estimées par les compétiteurs dans le système WGS84. Les différentes coordonnées des cibles sont donc fournies en coordonnées géographiques WGS84 pour permettre une comparaison. D'autres systèmes de coordonnées projetés ont été utilisés, pour le post-traitement des mesures deux scanners dynamiques ainsi que les calculs sous AutoCad et Covadis. La projection CC-47 a été choisie et les déformations dues à l'altération linéaire sont prises en compte dans les calculs de coordonnées.

Aucun point n'étant connu sur les différents plans fournis par la SARL LAMEYNARDIE (Architecte à Nantes), des points durs, déterminés en coordonnées RGF 93, ont été créés grâce à un levé GNSS en méthode de statique rapide (Figure 4). Deux récepteurs GNSS Leica System 500 ont été utilisés pour la méthode pivot libre. Six points ont été ainsi matérialisés et calculés en coordonnées le long de la façade. Plusieurs points GNSS levés préalablement sur

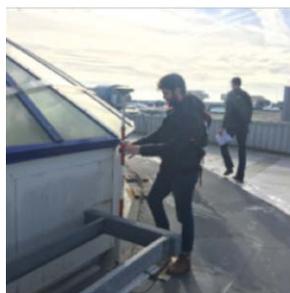


Figure 4. Levé du réseau de points topographiques au GNSS et théodolite

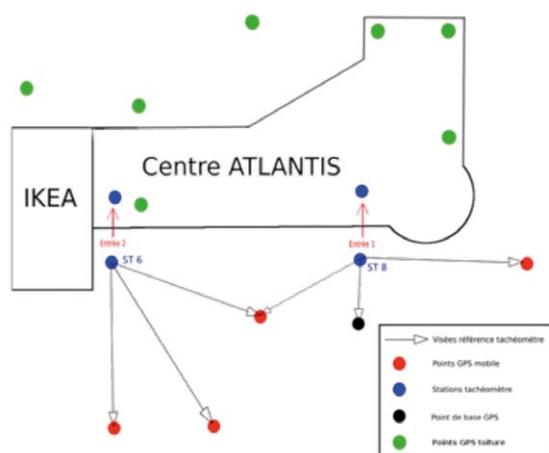
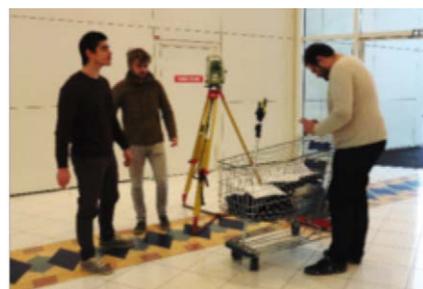


Figure 5. Réseau de points de la cartographie du centre commercial

le toit ont été utilisés afin d'avoir une bonne répartition à travers le centre. Le réseau de points est illustré sur la Figure 5.

Grâce à ces points de référence, il a été possible de calculer des stations devant les portes des deux entrées de la galerie marchande par station libre. Les stations intérieures ont été déterminées par cheminement polygonal. Ces stations intérieures ont permis de créer les triplets de points nécessaires au levé intérieur par scanner 3D. Une fois l'ensemble de points obtenu à l'intérieur de la galerie, il a fallu les transformer dans le système WGS84. Les points ont été calculés dans un premier temps dans le système RGF93 avant d'être transformés vers le système WGS84. La transformation s'est faite avec l'outil de transformation de coordonnées du site de l'EUREF Permanent Network en considérant que le RGF93 correspond



Figure 6. iMS3D et bMS3D

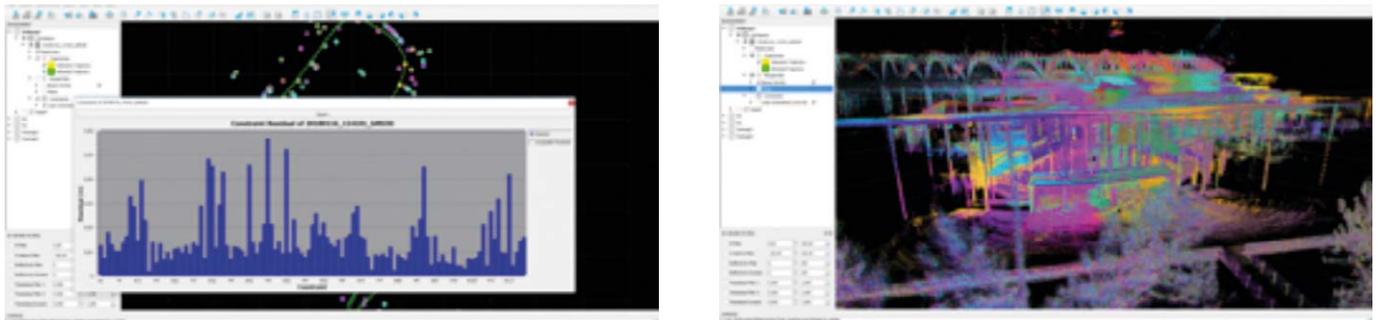


Figure 7. Interface de PIMMS avec le nuage de point brut et histogramme des écarts



à l'ETRF2000 et que l'ITRF2014 époque 2017.91 est homogène au WGS84 à 10 centimètres près. Au moment de la compétition IPIN, le plan sera conservé tel quel et les mesures de la navigation seront ramenées à l'époque du plan.

■ Levé dynamique

La prochaine étape a été de cartographier l'ensemble de la galerie du centre commercial avec un levé par scanner mobile. Deux scanners 3D ont été déployés par la société Viamétris (Figure 6). Le bMS3D-360 est un système de scan dynamique porté en sac à dos. L'iMS3D est un scanner robot mobile. Ce dernier a été utilisé dans les galeries au rez-de-chaussée et le bMS3D pour les passages aux différents étages, escaliers et parkings où il n'est possible que de passer à pied. Ces scanners permettent une acquisition rapide pour des grandes surfaces en environnement complexe. Le scan a duré 2 heures sans données GNSS. Le bMS3D prend des points jusqu'à une distance maximale de 30 mètres avec un bruit minimisé mais peut théoriquement viser plus loin. L'iMS3D prend des points jusqu'à 30 mètres, mais est programmé pour 10-15 mètres pour les mêmes raisons. L'iMS3D comprend trois lasers profilers et une caméra panoramique pour coloriser le nuage de points. Contrairement au scanner laser fixe qui mesure tout autour de lui grâce à une rotation de son laser, le laser profileur ne se propage que selon des plans latéraux et horizontaux. C'est le déplacement de l'opérateur qui permet l'acquisition d'un nuage de points complet. Ses caractéristiques sont une précision de 2-3 cm pour une résolution de 80 000 points/s. Il possède une dérive en planimétrie de 1 pour 1 000 soit environ 10 cm pour 100 mètres. Le calcul des coordonnées se fait par technologie

SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*) (Fragher et al. 2012).

Le bMS3D est composé de 4 caméras et de deux scanners. Les caméras prennent des photos toutes les secondes pour coloriser le nuage. Une centrale inertielle calcule les angles de roulis et tangage et fournit la référence de planéité. Les autres données de positionnement et nord magnétique sont trop peu fiables pour être exploitées en intérieur. Ses caractéristiques sont une dérive sur les trois dimensions de 5 pour 1000 soit 50 cm sur 100 mètres et de 1 pour 1000 sur les composantes X et Y. La mesure se fait sur le principe du temps de vol pour une distance minimale d'au moins un mètre. On observe des déformations de 50 cm à un mètre et aucune donnée sous 50 cm. Sa précision centimétrique est semblable à celle de l'iMS3D, mais sa résolution est bien plus importante : 300 000 points/s. Le levé à l'iMS3D nécessitait quelques coins de murs connus en X, Y aux extrémités de la galerie. Ils ont été relevés au tachéomètre. Ces coordonnées permettent un géo-référencement absolu de l'acquisition puisque la technologie SLAM fournit un positionnement relatif. Le levé au sac à dos nécessitait un point connu au sol en X, Y

et Z, basé sur les cibles : point de départ du levé. Ce point permet le raccord avec le nuage de l'iMS3D.

Le post-traitement des trajectoires des scans dynamiques a été réalisé avec le logiciel PIMMS de Viamétris. Le déplacement est précis, mais comporte une erreur due notamment aux déplacements aléatoires des personnes, aux miroirs placés le long de la galerie, et aux vitrines des boutiques. C'est pourquoi on observe une dérive de 5 pour 1 000. Un recouvrement entre le début et la fin de l'acquisition est nécessaire pour limiter les dérives. Sans cohérence globale, la dérive augmente. Autrement dit, il est préférable de mesurer la même zone en début et fin de levé afin d'obtenir une fermeture. C'est une contrainte usuelle des technologies SLAM. L'utilisation de points de calage connus en coordonnées permet d'ajuster le levé et d'avoir une plus grande précision de superposition des nuages de points. Une fois les écarts éliminés, un nouvel ajustement est fait. La figure 7 montre la trajectoire estimée et un histogramme des résidus de superposition des points de calage choisis aléatoirement sur les parcours. Un écart-type entre 2 à 10 cm est obtenu.

L'étape de colorisation du nuage à

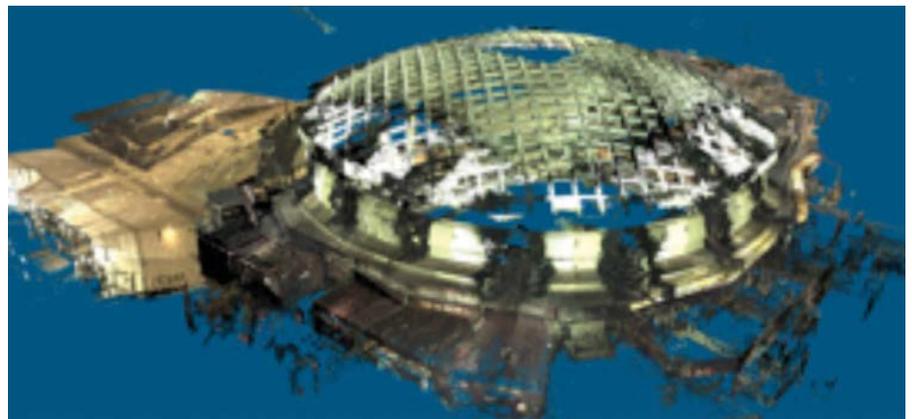


Figure 8. Colorisation du nuage 3D



l'aide des photographies permet un rendu plus réaliste (*figure 8*). Nous avons constaté qu'il est même possible d'observer les joints de carrelages et les écritures sur les affiches dans le nuage de point final. Même avec une grande rapidité d'acquisition, ces scanners 3D permettent d'obtenir un rendu précis et lisible. Bien évidemment, un levé au scanner fixe serait plus précis, mais la rapidité d'acquisition des scanners dynamiques a été préférée pour la cartographie du centre commercial. Les coordonnées des cibles ont ensuite été extraites à la main à partir des nuages de points géoréférencés et une analyse des images.

Conclusion

Un projet conjoint entre quatre étudiants de l'ESGT et les membres du laboratoire GEOLOC de l'ISFTTAR a permis de définir et marquer plusieurs parcours à pied dans le centre commercial Atlantis. Ces parcours serviront à la compétition internationale de géolocalisation en intérieur. 180 cibles ont été réparties sur les 3 niveaux de la galerie commerciale pour matérialiser les parcours. Les coordonnées WGS84 des cibles ont été estimées à 10 cm près en combinant de nombreuses techniques de levé terrestre : tachéomètre, scanner dynamique 3D, GNSS différentiel. La complémentarité des technologies a permis de conclure avec succès le travail préparatoire nécessaire au bon déroulement de la compétition de géolocalisation intramuros qui se tiendra à Nantes le 22 septembre 2018 dans le cadre de la conférence internationale "Indoor Positioning and Indoor Navigation." A cette occasion, les cibles seront repositionnées au sol et les compétiteurs venus du monde entier viendront comparer les performances de leur technologie sur les mêmes tracés et dans les mêmes conditions. La géolocalisation intramuros restant un challenge pour l'essor des technologies de l'internet des objets, de plus en plus de compétitions de cette nature naissent. La compétition IPIN 2018 se déroulera pour la 1^{re} fois dans un environnement réel de vie publique où les personnes feront leur achat en parallèle de la compétition. ●

Contact

Valérie RENAUDIN
valerie.renaudin@ifsttar.fr

Bibliographie

Chable, S. & Renaudin, V., 2016. *Couplage de mesures GPS et inertielles pour de la navigation pedestre dans les bâtiments*. XYZ, 146, pp.27-32.

Faragher, R.M., Sarno, C. & Newman, M., 2012. *Opportunistic Radio SLAM for Indoor Navigation using Smartphone Sensors*. In IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium. Myrtle Beach, CA, pp. 120-128.

Renaudin, V., Afzal, M.H. & Lachapelle, G., 2010. *Complete triaxis magnetometer calibration in the magnetic domain*. Journal of Sensors, 2010.

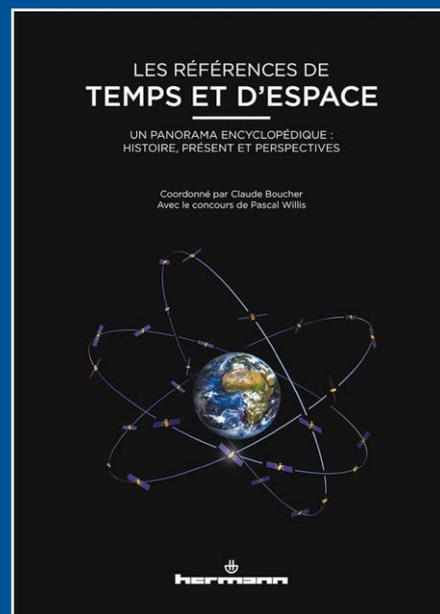
Scornec, J. Le, Ortiz, M. & Renaudin, V., 2017. *Foot-mounted pedestrian navigation reference with tightly coupled GNSS carrier phases, inertial and magnetic data*. In 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Sapporo, Japan, pp. 18-21.

Zhao, W. et al., 2018. *Crowdsourcing and multisource fusion-based fingerprint sensing in smartphone localization*. IEEE Sensors Journal, 18(8), pp.3236-3247.

ABSTRACT

Key words: Indoor positioning, indoor navigation, SLAM, LiDAR, GNSS, inertial, smartphone, 3D scanner, pedestrian navigation.

Recently, international competitions have been organized to compare indoor localization technologies. In a context of a growing diversity of technologies, they set a single framework for assessing localization performance both in real time and post-processing modes. A large-scale topographic survey, which combines theodolite, differential GNSS and 3D scanner measurements, was conducted to survey 180 targets distributed in the Atlantis shopping center in Nantes within 10 cm accuracy. These targets define the foot-tracks that will be followed by the competitors of the IPIN International Congress on September 22 in Nantes. This project was carried out by four ESGT students under the direction of IFSTTAR's GEOLOC laboratory and with the support of Viametris.



COMMANDEZ "LES RÉFÉRENCES DE TEMPS ET D'ESPACE" AU PRIX DE 35,00 €
17 x 24 cm, 484 pages
frais de port inclus (France)

M/Mme Nom : _____

Prénom : _____

Société ou organisme : _____

Adresse : _____

Code postal :

Ville : _____

Tél. :

Fax :

Courriel : _____

Date : _____

Signature _____

Bulletin de commande à retourner accompagné d'un chèque à l'Association française de topographie
73, avenue de Paris - 94165 SAINT-MANDÉ
Cedex - Tél. : +33 (0) 1 43 98 84 80

Achat également sur Internet : www.aftopo.org