

Navigation pédestre dans un environnement construit

■ Pierre-Yves GILLIÉRON et Dr. Quentin LADETTO

Cet article présente le développement et l'implémentation d'algorithmes permettant l'accès à une base de données à partir d'un système de navigation pédestre.

La première étape décrit un modèle topologique 3D spécialement développé pour la localisation. Les éléments constitutifs d'un bâtiment, comme les corridors, les escaliers et les pièces, sont modélisés afin d'assurer une cohérence pour les besoins de la navigation. La construction du réseau s'appuie sur la théorie des graphes qui préconise l'usage de figures élémentaires : les arcs et les nœuds. Ce type de modèle a le grand avantage d'être adapté aux algorithmes de navigation qui demandent une prise de décision à chaque nœud.

La deuxième étape décrit les principes des algorithmes de map matching. Un système de navigation pédestre fournit la position de l'utilisateur qui doit être combinée avec le modèle arc/nœud de la base de données. Cette recherche sur la navigation à l'intérieur des bâtiments a permis l'évaluation d'algorithmes de navigation en post traitement. Plusieurs trajectoires ont été mesurées à l'intérieur des bâtiments, permettant l'analyse de performance du système.

Historique

Dès que l'homme a cherché à se déplacer dans la nature et à découvrir le monde, il a eu recours à des astuces pour se repérer et se localiser. Ce sont les premières formes de navigation où l'on cherche à décrire un lieu ou une route par rapport à des éléments marquants du paysage tels les rivières, les montagnes ou d'autres objets clairement identifiables. Lors de ses déplacements, l'homme a été préoccupé par l'estimation de son trajet et du temps de parcours, constamment améliorée au cours du temps selon l'évolution des instruments de mesure.

L'observation des astres s'est imposée lorsque les navigateurs ne disposaient plus de repères terrestres ou côtiers. C'est la navigation maritime qui a apporté les grandes innovations comme l'utilisation du compas magnétique pour mesurer l'azimut de la route et du sextant pour déterminer la hauteur d'un astre sur l'horizon.

C'est au début du 18^e siècle que l'utilisation d'un chronomètre combiné aux autres instruments a permis une navigation plus précise. Le navigateur a eu la possibilité de "faire le point" en obtenant une position de latitude et de longitude.

L'avènement de l'aviation a été une étape marquante pour les innovations techniques des instruments de navigation. En effet les conditions de la navigation aérienne ne permettaient pas une simple transposition des instruments utilisés en mer. Ainsi il a fallu adapter le mécanisme du compas, créer un horizon artificiel pour le sextant, développer un baromètre pour la mesure de l'altitude et trouver une technique pour mesurer la vitesse de l'avion.

La prochaine grande étape est liée aux propriétés de la propagation des ondes radio qui sont utilisées comme moyen de localisation. Grâce aux stations émettrices au sol, le navigateur dans son avion peut mesurer des azimuts vers ces stations à l'aide de son récepteur radio. A partir de la 2^e guerre mondiale, les progrès des instruments de navigation ont été fulgurants, on peut citer notamment le compas gyroscopique, le radar, et les systèmes de radionavigation tels le Decca et le Loran.

Dès les années cinquante, on assiste aux grands développements de l'industrie spatiale, dont la navigation va bénéficier par la mise en orbite des satellites des programmes TRANSIT puis GPS. Ces nouveaux instruments de navigation vont accroître la précision de la position absolue spatio-temporelle.

En résumé, on peut retenir de ce petit historique que les techniques de navigation s'appuient sur une grande quantité d'expériences et d'exigences, que se soit pour le domaine maritime ou aérien. Dès le début, on a cherché à combiner les méthodes et les instruments de façon à améliorer la précision et la sécurité, ce qui reste toujours une des préoccupations majeures de la navigation actuelle. Ainsi l'avènement de la navigation par satellite, malgré son attrait et sa couverture mondiale, ne va pas remplacer l'ensemble des techniques car les navigateurs auront toujours le souci d'assurer leur autonomie et leur sécurité.

C'est dans cet esprit que le Laboratoire de Topométrie de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne a entrepris depuis quelques années des recherches dans la navigation pédestre. Une collaboration avec la société Vectronix AG à Herrbrugg en

■ ■ ■ Suisse a permis le développement d'un système de navigation multi-capteurs pour les piétons. Cet article a pour but de présenter le concept et le développement d'un système de navigation autonome pour les piétons. La première partie de l'article décrit l'architecture multi-capteurs du système de navigation pédestre et la seconde partie présente l'interaction du système avec une base de données pour l'intérieur des bâtiments.

Enjeux de la navigation pédestre

Vouloir connaître l'endroit où une personne se trouve peut relever de plusieurs critères allant de la simple curiosité à une nécessité vitale. Selon les exigences des utilisateurs, la qualité de la localisation jouera un rôle déterminant. De plus, le degré de dépendance d'une infrastructure et de moyens de communication est souvent un enjeu essentiel dans les applications exigeantes. Ainsi, la précision et la fiabilité de la position recherchée, les types de technologies et les coûts de l'information sont des variables indissociables d'un service de navigation [Gilliéron et Ladetto, 2002].

Ces aspects de qualité et de performance sont au cœur des défis de la navigation pédestre. Les enjeux liés à la miniaturisation des systèmes, à la qualité de la localisation ainsi qu'à la consommation électrique présentent en effet des problématiques différenciées selon les applications de la géomatique et de la navigation.

Prenant en considération les différents aspects cités, on comprendra que se déplacer à pied dans une ville peut paraître une opération banale lorsque l'on connaît bien les lieux et que l'on a développé ses propres repères. Lorsque le terrain est inconnu, l'opération se complique et il est nécessaire de recourir à des moyens auxiliaires et performants. Face à ces enjeux, la combinaison entre système de localisation et base de données est un élément clé dans le développement de services de qualité.

Système de navigation pédestre autonome

■ Système multi-capteurs

Fruit de deux travaux de recherche [Ladetto, 2002; Gabaglio, 2002] et d'une étroite collaboration entre Vectronix AG et l'EPFL, le Pedestrian Navigation Module (PNM), dans sa version standard, conjugue un récepteur GPS, un compas magnétique, un gyroscope ainsi qu'un baromètre pour un poids actuel inférieur à 400 grammes (Fig. 2).



Figure 2 : Vue du système de navigation pédestre PNM 2004

Le "Pedestrian Navigation Module" dans sa version 2004. Un condensé de capteurs dans un minimum de place pour un module permettant d'intensifs tests dans toutes sortes d'environnements. Cette version n'est que transitoire et son optimisation jointe à sa miniaturisation sont en cours.

Légèrement plus volumineux qu'un téléphone mobile, il se place à la ceinture et fournit à l'utilisateur, pas après pas, ses coordonnées avec ou sans réception de signaux GPS. Délivrant l'information géographique dans un format standard (NMEA - National Marine Electronics Association) ou propriétaire, son interfaçage avec une grande majorité de logiciels de navigation commerciaux permet de bénéficier de toutes les fonctionnalités de ce dernier. Le principal avantage du PNM est son autonomie quasi totale par rapport aux signaux satellitaires.

■ Principes de fonctionnement

A l'instar des empreintes digitales, chaque personne a un profil de marche qui lui est propre. Ainsi, si le contenu fréquentiel varie autant, l'établissement de tout modèle général néces-

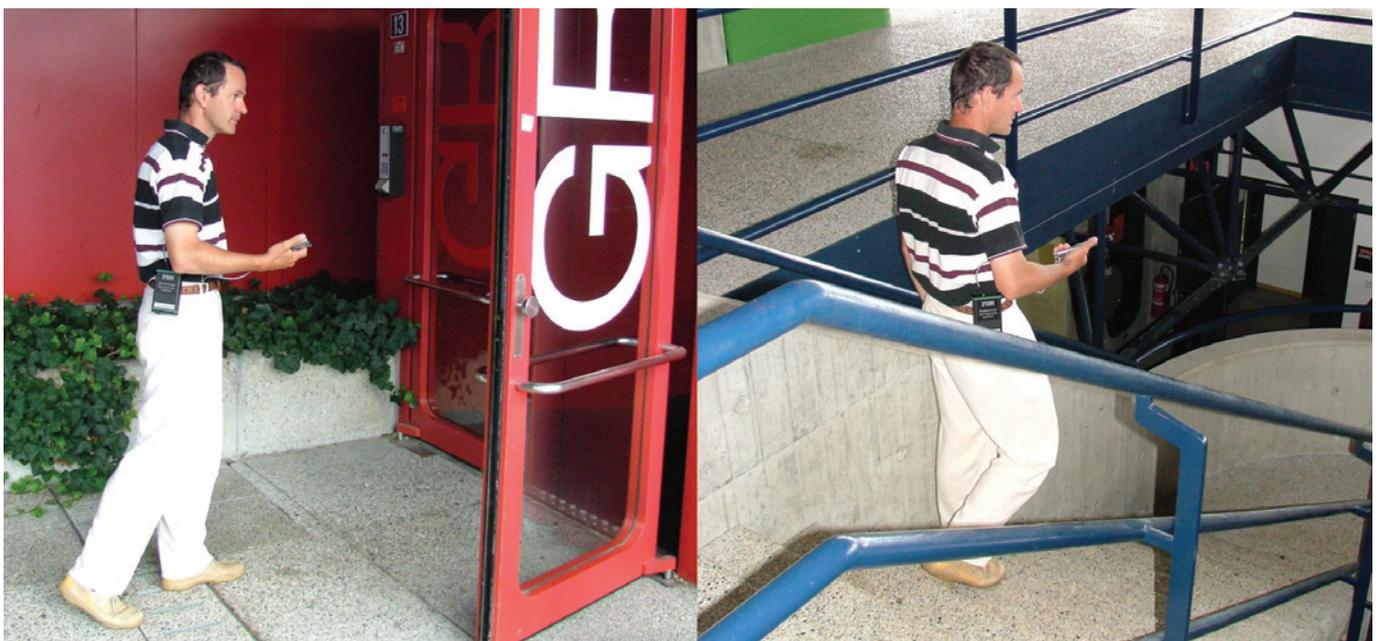


Figure 1 : Situations typiques de la navigation dans les bâtiments (portes, escaliers, structures métalliques)

sitera obligatoirement un processus de normalisation. Normalisation, parce que la fréquence de pas, lors de déplacement sans contraintes, est à peu près semblable pour tous les individus. Les paramètres seront ensuite automatiquement adaptés afin de décrire au mieux le style de marche de la personne. Les différences de vitesse pour une même fréquence sont donc une conséquence directe de la taille des pas. L'hypothèse que la taille des pas est proportionnelle à la taille de la personne ou, plus justement, à celle de ses jambes, est raisonnable.

En normalisant la vitesse de déplacement en fonction de ces paramètres, il est donc théoriquement possible de passer de modèles individuels à un modèle plus universel. Cependant, une personne marchant à une fréquence donnée n'effectue pas toutes ses enjambées de la même longueur. La variabilité des foulées en référence à une constante, chez une même personne et à une fréquence donnée, est de fait impossible à prédire. Le but ne sera donc pas de modéliser un événement "pas" de manière précise, mais de reproduire une distance parcourue, composée d'un ensemble de pas, le plus fidèlement possible.

Cette approche se base sur un principe pouvant s'énoncer de la manière suivante: *"Pour une fréquence de pas donnée, la taille des pas chez une même personne peut être considérée comme constante. La variation naturelle de ceux-ci suit une loi normale centrée à l'origine et dont la variance est inversement proportionnelle à la fréquence de marche"*. Cela signifie qu'à un pas plus long correspondra un pas plus court, ramenant ainsi la distance parcourue en un nombre déterminé de pas, pour une fréquence donnée, à une valeur considérée comme constante. Les écarts de longueurs entre deux pas successifs seront d'autant plus importants que la vitesse et la fréquence des pas seront lentes.

Le déplacement d'une personne peut être perçu comme similaire à une polygonale (ou cheminement) en topométrie. La distance entre deux points correspond à une enjambée, alors que l'angle permettant d'aller d'un point à l'autre est tout simplement l'azimut de déplacement.

Les perturbations magnétiques influençant grandement la qualité de l'azimut calculé avec le compas, une détection de celles-ci est nécessaire. On les identifie par l'utilisation d'un gyroscope. Ce dernier, basé sur un principe physique différent du compas, fournit un azimut fiable même en présence de perturbations magnétiques. Selon l'information et les données disponibles, divers traitements sont effectués. Les deux points de rattachement aux extrémités de la polygonale sont des positions géographiques connues ou obtenues par mesures GPS.

L'intégration de données GPS permet non seulement une localisation absolue de la personne mais également le calibrage des modèles physiologiques, ainsi que le défaut d'alignement du PNM avec l'axe de marche. Par contre, il n'est pas nécessaire de recourir aux signaux GPS pendant le parcours. En effet, une précision inférieure à 5 % de la distance parcourue (1 % - 2 % dans des cas favorables et pour une marche avant régulière) peut être obtenue en toute autonomie.

Modèle de navigation

L'évolution des cartes digitales pour s'orienter dans une ville offre des produits qui répondent à une partie de la demande des utilisateurs. Le calcul d'un itinéraire, afin d'atteindre une adresse précise, est une prestation courante. L'avènement de l'informatique portable et communicante permet à l'utilisateur de consulter ce type de service durant son déplacement. Ces technologies ont permis aux opérateurs de téléphonie de développer des services géodépendants (Location Based Services) en combinant le profil de l'utilisateur avec l'offre se trouvant à proximité de sa position.

La multiplicité de ces services d'aide à la localisation va certainement profiter aux utilisateurs sans toutefois répondre complètement à certaines attentes comme la sécurité et la santé. La recherche d'un parcours évitant des carrefours dangereux ou certaines barrières architecturales est une préoccupation d'un nombre croissant de personnes. Néanmoins, plus la position de la personne est connue de manière précise et fiable, plus l'information transmise, continuellement mise à jour, devra s'approcher de la situation réelle.

■ Principes de navigation

La navigation est une technique qui s'est développée avant tout sur mer et dans les airs. En l'absence de routes visibles, il était primordial de déterminer correctement sa position, de la reporter sur une carte et de la comparer à un trajet désiré. Les navigateurs ont toujours eu un grand souci d'assurer leur autonomie grâce à leurs propres instruments et cartes. Ainsi, même si le développement de la radionavigation les rend dépendants d'une infrastructure, la nécessité de contrôler l'information avec d'autres moyens persiste pour des raisons de sécurité [Gilliéron et Merminod, 2003].

La navigation en environnement construit s'inscrit dans cette perspective de mise en application d'un concept de navigation pour les piétons où l'accent est mis sur une information de qualité et sur la sécurité de l'utilisateur. L'intégration d'un système de navigation pour piétons avec une base de données spécifiques est un objectif majeur de ce projet dont un des points forts est l'aide au déplacement de personnes handicapées.

Se déplacer dans un milieu urbain commence par la planification d'un trajet. Ce calcul d'itinéraire s'appuie sur le contenu de la base de données géographiques et sur les choix de l'utilisateur. Durant le trajet, le système de navigation fournit des positions qui sont comparées au contenu de la base de données et au parcours proposé. Le système peut alors régulièrement fournir des informations de guidage à l'utilisateur, plus particulièrement aux points de changement de direction (Fig. 3). La performance du système se mesure par sa capacité à fournir une information fiable et précise à l'utilisateur.

■ Modèle de donnée

La plupart des bases de données pour la maintenance des bâtiments s'appuie sur une représentation graphique en 2 dimensions provenant des plans de construction. Ces dessins sont composés des éléments géométriques comme le corps des bâtiments, les différentes pièces, les corridors, les escaliers et

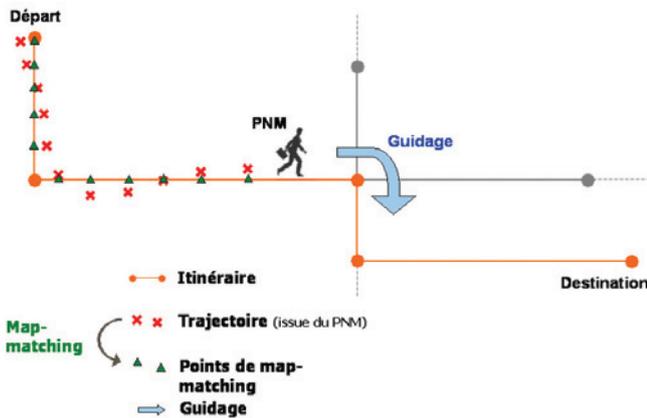


Figure 3 : Principe de la navigation et du guidage

■ ■ ■ toute l'infrastructure technique. Tous ces objets sont représentés par des primitives géométriques comme la ligne, l'arc de cercle ou le spline.

Cette vision de l'environnement construit n'est pas adaptée aux besoins de la navigation. Les relations géométriques et topologiques entre les différentes parties d'un bâtiment doivent être connues. Ainsi une vue basée sur des éléments de type arcs et nœuds est indispensable pour le développement d'un réseau de navigation. La théorie des graphes définit un graphe $G = [X, U, f]$ comme la combinaison de deux figures élémentaires, l'ensemble X des nœuds x et l'ensemble U des arcs u , ainsi qu'une fonction f définie sur U . Dans la représentation d'un graphe, on représente les nœuds comme des points et les arcs comme des arcs de courbes qui joignent les nœuds correspondants données par f . La navigation automobile a développé des modèles de données basés sur ce principe pour l'implémentation de fonction d'aide à la navigation et de guidage.

Le campus de l'EPFL offre un univers de constructions propice à la mise en œuvre d'un système de navigation pédestre associé à une base de données géographique. Cet ensemble de bâtiment a permis la réalisation d'un modèle basé sur la théorie des graphes. Chaque couloir est décrit par un ensemble d'arcs et les points principaux, comme les entrées et les portes, sont décrits par des nœuds (Fig. 4). Les connections entre les étages sont établies par des arcs verticaux modélisant les escaliers et les ascenseurs. Dans le but d'obtenir une représentation réaliste du campus, l'altitude des nœuds a été ajoutée aux coordonnées planimétriques.

La constitution de cette base de données repose sur la topologie du réseau de navigation, la localisation des nœuds dans un système de coordonnées nationales ainsi que la descrip-

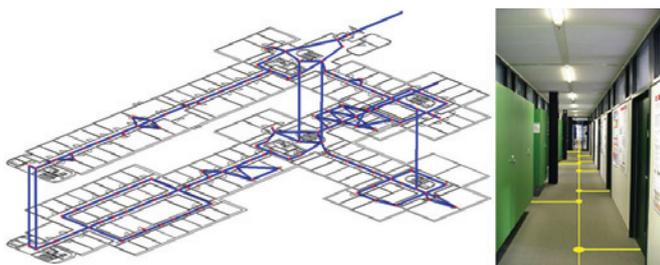


Figure 4 : Graphe arc/nœud pour le campus de l'EPFL et vue d'un couloir

tion d'un certain nombre d'attributs spécifique au campus (droits d'accès, types de portes, types de locaux,...). Ce laboratoire géant a permis de construire une application de navigation mettant en jeu la plupart des scénarios que l'on peut rencontrer dans un environnement construit.

■ Map Matching

Un système de navigation doit fournir des positions à chaque instant et quel que soit l'environnement. Le principe de la navigation à l'estime permet d'assurer une localisation continue, mais qui doit être remise à jour périodiquement à cause de l'imprécision des capteurs. Le système PNM utilisé à l'extérieur s'appuie sur quelques points GPS pour cette opération de mise à jour. Par contre en l'absence de signaux GPS, il faut envisager une alternative basée sur l'information contenue dans la base de données de navigation. L'association de la position fournie par le système de navigation au contenu de la carte de navigation est appelé map matching. Ce procédé consiste à projeter le point estimé sur un arc du graphe de navigation. C'est un atout indispensable à la réalisation d'un concept de navigation qui doit fournir à l'utilisateur une information fiable et sûre.

Principes de base

On suppose que le système de navigation fournisse une position 2D (P_t) avec une certaine précision. La méthode la plus simple consiste à projeter le point (P_t) sur le nœud du réseau le plus proche. Pour cela, on considère la distance euclidienne entre deux points $x = (x_1, \dots, x_n)$ et $y = (y_1, \dots, y_n)$ avec la formule :

$$\sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Dans ce map matching point à point, on calcule la distance entre P_t et les nœuds candidats du réseau. On détermine ainsi le nœud le plus proche.

Une autre approche consiste à identifier l'arc le plus proche de P_t en cherchant la distance minimum entre le point considéré et les candidats arcs. L'équation suivante donne la distance d'un point à une ligne :

$$c = \sqrt{\frac{((y_1 - y_2)^2 x_p + (x_2 - x_1)^2 y_p + (x_1 y_2 - x_2 y_1))^2}{(y_1 - y_2)^2 + (x_2 - x_1)^2}}$$

avec : c distance de $P_t (x_p, y_p)$ à une ligne déterminée par deux nœuds (1 et 2) - P_t et les deux nœuds sont représentés avec leurs coordonnées.

Avec une séquence de positions fournies par le système de navigation, le processus de map matching peut les associer au réseau de navigation et identifier ainsi les arcs suivis par la personne. Afin d'estimer correctement la position sur le graphe, le processus de map matching tient compte d'un modèle stochastique basé sur le degré de proximité et sur la similarité de l'orientation de la trajectoire et de la portion de graphe. Ce procédé permet ainsi d'assurer la précision et la fiabilité de la position à l'intérieur des bâtiments.

Mouvements verticaux

Le système de navigation fournit également une information altimétrique. Une partie de l'algorithme de map matching

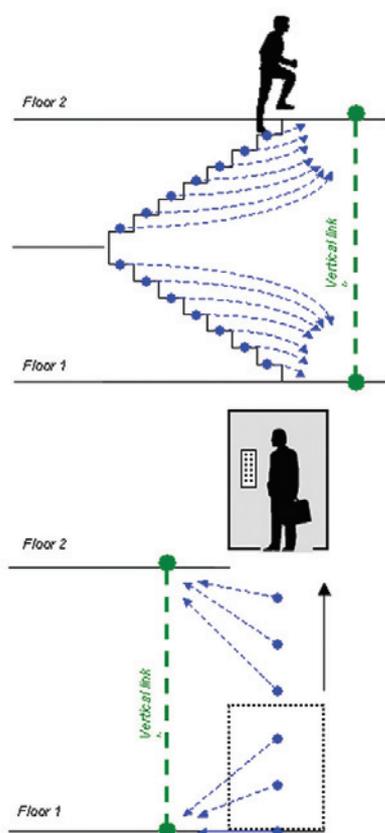


Figure 5 : Map matching lors de trajets verticaux.

de trajets ont été parcourus par une personne équipée du système de navigation de Vectronix, le PNM. La personne s'est déplacée dans des couloirs, a pris des escaliers, l'ascenseur, est sortie et rentrée dans les bâtiments. La fréquence des mesures correspond à celle de la marche, soit une position fournie à chaque pas. L'ensemble du trajet parcouru à l'intérieur des bâtiments est couvert par le réseau de navigation décrit précédemment [Büchel, 2004].

Le principal objectif de ce test est l'évaluation des algorithmes de map matching basée sur des trajectoires réelles issues du système PNM en temps réel. Cette expérience était constituée des étapes suivantes :

- pratique de la navigation pédestre à l'intérieur des bâtiments
- récolte de données originales issues du système PNM
- analyse des trajectoires réelles et comparaison avec le contenu de la base de données
- détermination des paramètres de calibrage
- calcul des trajectoires avec les algorithmes de map matching
- évaluation de la performance du système de navigation dans des situations typiques

■ Mesures et calibrage

Durant les tests, le système PNM a enregistré les coordonnées de chaque pas fournissant une trajectoire comme une séquence de points 3D. Par contre, lorsque l'utilisateur s'arrête, la fréquence d'enregistrement est fixée à deux position par seconde. Cette information est utile lorsque la personne se trouve dans un ascenseur.

consiste à détecter les mouvements verticaux et à les associer aux arcs de connexion entre les étages d'un bâtiment. Dans ce cas, une analyse sur les position relatives fournies par le système de navigation fournit une information utile afin de détecter l'usage d'escaliers ou d'un ascenseur. La distance entre deux pas et la différence d'altitude sont des information typiques et faciles à détecter. Dans ces trajectoires verticales, le procédé de map matching consiste à projeter un ensemble de positions sur l'un des nœuds de l'arc vertical (Fig. 5).

Tests sur le campus de l'EPFL

L'application développée sur le campus de l'EPFL a permis de réaliser des tests en grandeur nature avec des données réelles. Une série

En l'absence de signaux GPS, le début d'une trajectoire à l'intérieur d'un bâtiment correspond à un nœud de la base de données. Sur cette base le système PNM fournit une trajectoire qui doit encore préalablement être calibrée. En effet, il subsiste un défaut d'alignement des capteurs par rapport à la position du système sur la personne ainsi qu'un facteur d'échelle propre à la marche de l'utilisateur. A l'extérieur, ces paramètres sont automatiquement calibrés par les mesures GPS et à l'intérieur cette procédure s'appuiera sur la map matching.

Dans ce test, le calibrage s'effectue par comparaison de la trajectoire d'origine avec le contenu de la base de données de navigation. On peut aisément identifier des points caractéristiques du réseau afin d'isoler une portion de trajectoire à calibrer (Fig. 6).

■ Analyse de performance

Une fois la trajectoire calibrée, les algorithmes de map matching sont exécutés en post traitement. A chaque position mesurée correspond une analyse de la distance parcourue, de la variation de l'orientation de la trajectoire et du changement d'altitude. Ces informations permettent une recherche efficace du lieu de projection sur le réseau de navigation. Lorsque la probabilité d'occurrence est suffisante, un point de map matching est associé à l'arc correspondant [Gilliéron et al., 2004].

Les figures suivantes illustrent le principe d'application du map matching dans des situations typiques de l'environnement construit. Sur la figure 7, les points rouges correspondent aux positions mesurées avec le PNM après calibrage. On constate que la précision est déjà suffisante pour une bonne localisation dans un bâtiment. Sur la figure 8 sont représentés les éléments du réseau de navigation (carré bleus) et les points de map matching issus du calcul (points bleus).

La figure 9 illustre le cas d'un changement d'étage par des escaliers. On constate que la trajectoire originale correspond bien à la position de l'escalier en plan et dans l'espace, montrant ainsi toutes l'importance d'un système de localisation 3D.

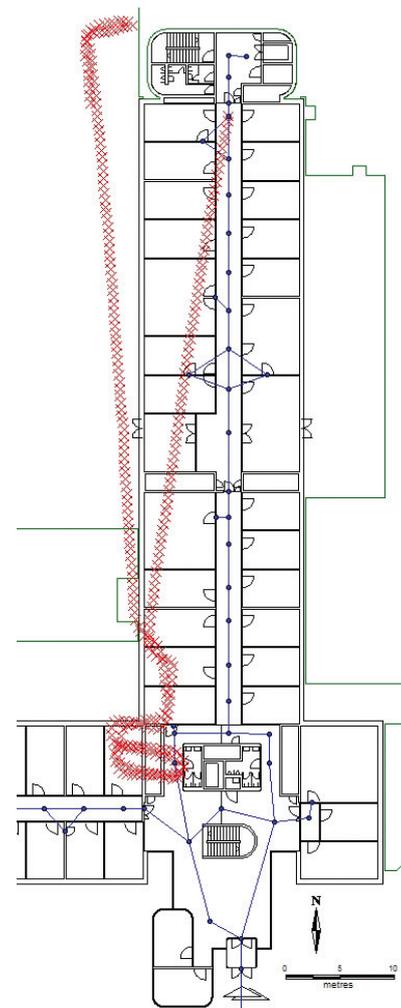


Figure 6 : Trajectoire comportant un défaut d'alignement ainsi qu'un facteur d'échelle non compensés.

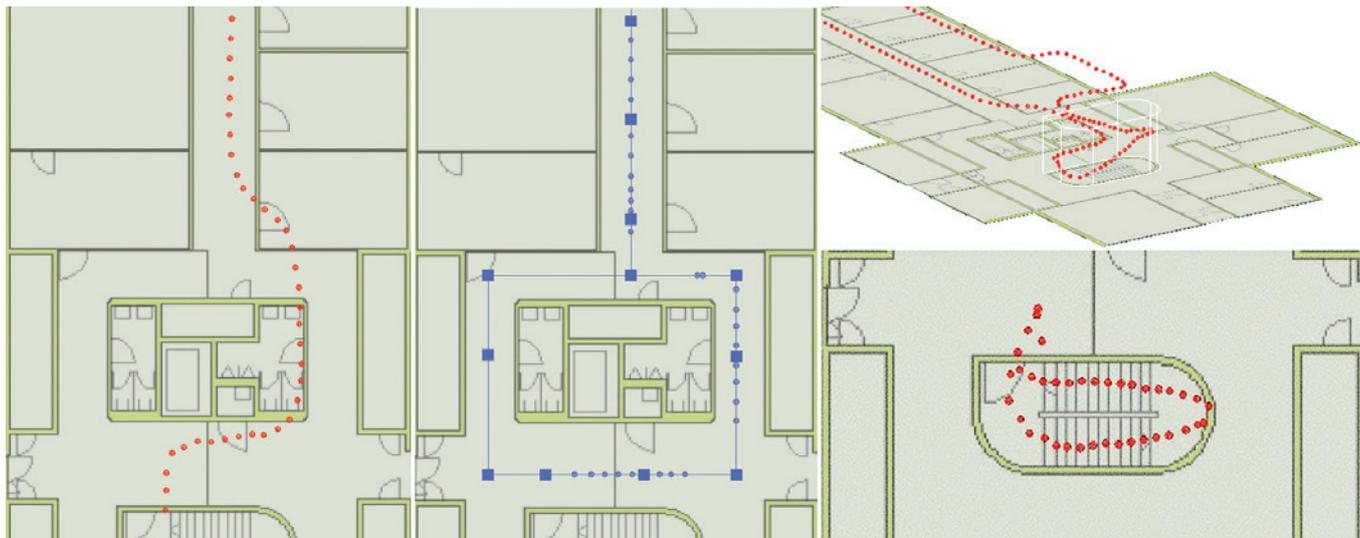


Figure 7 : Extrait d'une trajectoire mesurée par le PNM

Figure 8 : Points de map matching sur le réseau de navigation

Figure 9 : Trajet original sur un escalier (vue perspective et vue en plan)

Conclusions

Cet article a présenté les défis de la navigation pédestre en ville et dans un environnement construit en mettant l'accent sur l'interaction d'un système multi capteurs avec une base de données pour la navigation. C'est dans ce dialogue entre base de données et système que réside la fiabilité de l'information fournie à l'utilisateur exigeant.

Les tests réalisés sur le campus de l'EPFL ont démontré que le modèle de données basé sur la théorie des graphes et les algorithmes de map matching sont des composants indispensables pour augmenter la fiabilité du système PNM à l'intérieur des bâtiments. Les résultats des essais sont très encourageants: la précision et la continuité sont assurées tout au long du trajet. La perspective de disposer d'un système de navigation performant couplé à une base de données spécifique ouvre un champ d'applications captivantes, traçant une vue futuriste du déplacement sécurisé et efficace des personnes dans une ville et à l'intérieur des bâtiments. ●

BIBLIOGRAPHIE

- Büchel D. (2003)**, *Méthodes de guidage applicables au plan d'orientation de l'EPFL*, séminaire EPFL, Lausanne.
- Büchel D. (2004)**, *Développement d'une solution de navigation robuste pour l'environnement construit*, travail de diplôme EPFL, Lausanne.
- Gabaglio V. (2002)**, *INS/GPS Integration for Pedestrian Navigation*, travail de thèse, EPFL, Lausanne.
- Gilliéron P.-Y., Büchel D., Spassov I., Merminod B. (2004)**, *Indoor Navigation Performance Analysis*, ENC-GNSS 2004, Rotterdam
- Gilliéron P.-Y., Ladetto Q. (2002)**, *De l'évolution du GPS à la navigation pédestre*, Flash Informatique EPFL, Lausanne.
- Gilliéron P.-Y., Merminod B. (2003)**, *Personal Navigation System for Indoor Applications*, IAIN World Congress, Berlin 2003.

Ladetto Q., Merminod B. (2002), *In Step with INS - Navigation for the Blind*, Tracking Emergency Crews, GPS World

Ladetto Q. (2002), *Capteurs et algorithmes pour la localisation autonome en mode pédestre*, travail de thèse, EPFL, Lausanne.

Contact

Pierre-Yves GILLIÉRON

Ivan Spassov
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne - Laboratoire de Topométrie
1015 Lausanne, Suisse - <http://topo.epfl.ch>

Dr. Quentin LADETTO

Vectronix AG
9435 Heerbrugg, Suisse - <http://www.vectronix.ch/>

ABSTRACT

In this paper, we present the development and the implementation of algorithms to access map databases by a user equipped with a pedestrian navigation system. The first step consists in building a 3D topological model specifically designed for the localisation process. Rooms, corridors, stairs and halls must be assembled in order to provide a model for route guidance. The link/node view of a network has a significant advantage in supporting navigation, since a path through a network is readily expressed as a series of decisions at nodes. The second step consists in the development of map matching routines. The pedestrian navigation system provides the user's position, which is combined with the link/node model. A dedicated map-matching algorithm processes the combination of the position data with the map database. The present development of an indoor navigation system allows the evaluation of navigation algorithms in a post-processing mode. Several indoor trajectories were performed to analyse the system.