

De la navigation à la mensuration pédestre... et inversement!

Encore à ses débuts dans le monde de la géomatique, la navigation pédestre a pour but de fournir à une personne sa position 3D, de manière précise et fiable, en tout temps et en tout lieu. Ce défi a demandé la création d'un système de navigation ergonomique, léger et performant. Les déplacements en temps réel se calculant sous forme de polygones, ceux-ci peuvent dans un second temps être améliorés grâce à une répartition séquentielle des écarts de fermeture. La précision garantie n'est certes pas centimétrique mais de quelques mètres, ce qui est suffisant pour bon nombre d'applications liées aux SIG. La localisation des utilisateurs de manière continue avec et sans signaux GPS ouvre ainsi la porte à de nouvelles applications tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments.

In der Welt der Geomatik steckt die Fussgängernavigation noch in den Kinderschuhen. Diese soll einem Fussgänger jederzeit und überall eine präzise und zuverlässige 3D-Position liefern. Diese Anforderungen verlangte die Entwicklung eines ergonomischen, leichten und leistungsfähigen Navigationssystems. Die Bewegungen werden in Echtzeit in Form von Polygonallinien berechnet, welche in einem zweiten Schritt durch sequentielle Ausgleichung der Winkelabschlussfehler verbessert werden können. Die Präzision beträgt einige Meter, was für viele GIS-Anwendungen ausreicht. Die kontinuierliche Positionsbestimmung eines Benutzers mit oder ohne GPS-Empfang ermöglicht neue Anwendungen, sowohl im Freien als auch im Innern von Gebäuden.

Nel mondo della geomatica, la navigazione pedestre è ancora ai primordi e mira a indicare, sempre e in qualsiasi momento, a una persona la sua posizione tridimensionale precisa e affidabile. Questa sfida ha imposto la creazione di un sistema di navigazione che sia ergonomico, leggero e prestante. Gli spostamenti in tempo reale si calcolano sotto forma di poligoni che, in un secondo tempo, possono essere migliorate, grazie a una ripartizione sequenziale degli scarti di chiusura. La precisione garantita non è al centimetro ma di qualche metro – livello sufficiente per tante applicazioni SIG. La localizzazione continua degli utenti – con o senza segnali GPS – apre la porta a nuove applicazioni, sia all'esterno che all'interno degli edifici.

Q. Ladetto

Eine Messung ist eine Messung!

Et si une mesure redevenait à nouveau une mesure? Et si pour l'espace d'une application ou d'une méthodologie, l'adage géomatique «eine Messung ist keine Messung» cessait soudain d'exister. To be or not to be, voici la pedestrian-mensuration!

Imaginez un instant que vous vous trouvez par un beau jour de printemps à devoir rechercher et lever par GPS toutes les bornes marquant la limite entre le canton de St-Gall et celui d'Appenzell (Rhode-extérieur). Le début se passe relativement bien de part la vue dégagée que vous avez sur la vallée du Rhin, mais soudain, les choses se compliquent. La limite plonge dans le fond d'une vallée étroite recouverte d'une forêt dense ou le soleil traverse à peine. Aucune réception satellitaire. Que faire si ce n'est recourir aux ins-

truments classiques et mesurer une polygonale lancée? Qui parle de redondance de mesures? Pour l'instant vous êtes toujours bredouille, en quête désespérée de latitude et de longitude. Cette situation quelque-peu romanesque se présente bien plus souvent qu'à son tour si l'on remplace la vallée par une ruelle étroite, les arbres par des toits ou des balcons, etc. Cela vous semble du vécu, tant mieux!

Ce qu'il y a de commun avec le métier de géomètre et le reste de la population, c'est la façon qu'ont les êtres humains de se déplacer. En effet, depuis la nuit des temps nous n'avons cessé de nous déplacer en polygones. Oui, oui Monsieur Jourdain, c'est bien vrai, en p-o-l-y-g-o-n-a-l-e-s ! Si, le jour de notre naissance, on nous assignait une coordonnée de départ, il serait théoriquement possible de reconstituer notre parcours géographique à condition que l'on connaisse l'azimut et la distance de chacun de nos déplacements effectués à 4, et 2 pattes (voir 2, 3 et 4 successivement!) et en véhicule. Bel exemple de navigation. Si une telle solution serait agréable pour le géomètre en question, une certaine atteinte à la sphère privée serait néanmoins à craindre pour le commun des mortels.

L'information se révèle cependant utile à diverses occasions, que ce soit en temps réel pour le guidage de personnes aveugles, ou en post-traitement pour des études de trajectographie et de géomarketing. Mais quel lien avec la mensuration ou la collecte de données pour un Système d'Information Géographique (SIG)?

Vers un système de navigation pédestre autonome

Le défi majeur de la navigation pédestre est la détermination en temps réel d'une position fiable, précise, de manière continue, indépendamment de l'utilisateur et de l'environnement dans lequel la personne évolue.

A l'instar des empreintes digitales, chaque personne a un profil de marche qui lui est

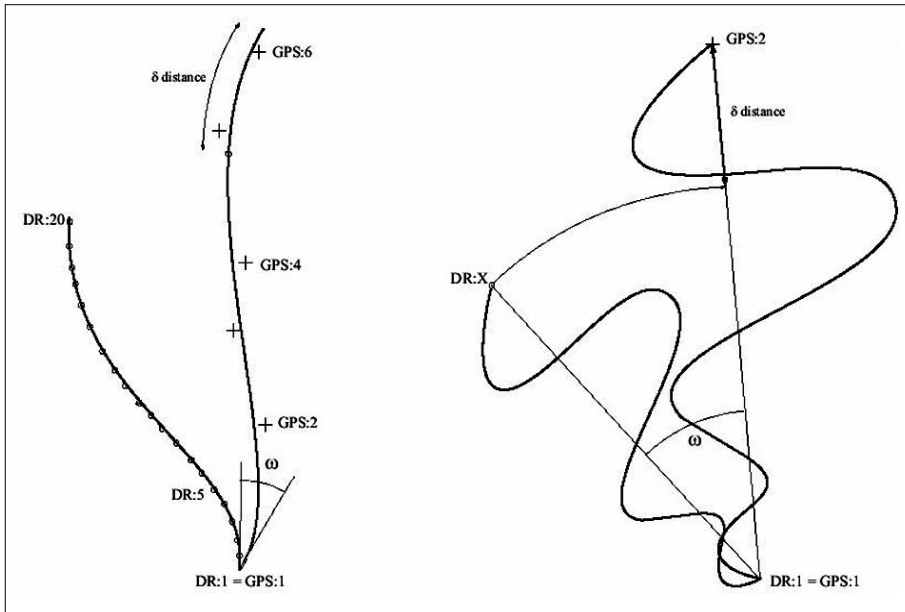


Fig. 1: L'intégration des mesures satellitaires GPS pour le calibrage du système de navigation est différente selon la disponibilité de celles-ci. Dans le cas continu, les différents paramètres sont mis à jour dès que le nombre de données disponibles est suffisant (gauche). Si le GPS n'est disponible qu'occasionnellement, le maximum d'informations sera déduit de deux positions successives (droite). On remarquera que la trajectoire durant le calibrage est absolument libre et ne nécessite pas le déplacement en ligne droite.

propre. Ainsi, si le contenu fréquentiel varie autant, l'établissement de tout modèle général nécessitera 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.

En considérant une enjambée comme la distance reliant deux points intermé-

diaires, il ne reste plus qu'à obtenir l'azimut de déplacement pour retomber sur la polygonale (ou cheminement) topométrique!

Nord-Sud-Est-Ouest: garder le Nord en toutes circonstances

Le senseur le mieux conçu pour fournir un azimut de navigation est le compas magnétique (ou boussole). Malgré sa stabilité dans le temps, sa sensibilité aux perturbations magnétiques, induites par l'acier, le courant électrique, ..., le rendent en fait peu fiable, principalement dans les zones urbaines (trams, voitures, ...) ou à l'intérieur des bâtiments. L'utilisation d'un gyroscope, basé sur un autre principe physique, permet d'obtenir un azimut fiable en milieu magnétiquement perturbé. Malheureusement, sa précision décroît dans le temps et il est nécessaire de le caler périodiquement. Unissant le meilleur des deux technologies, le calage s'effectuera sur le... compas, à condition toutefois de se trouver en zone favorable! Différentes possibilités complémentaires par l'intermédiaire de cartes numériques sont également à l'étude. Celles-ci dépendent cependant de l'existence des données géographiques, sachant qu'elle ne sont pas encore disponibles sur l'ensemble du territoire, principalement à l'intérieur des bâtiments.

Mais quelle est la relation avec la mensuration?

Supposons que notre géomètre St-Gallois, une fois le signal GPS perdu, continue tranquillement sa randonnée. Arrivé à la borne recherchée, il stationnera le plus près possible de celle-ci (idéalement dessus) et l'enregistrera dans sa base de données à l'aide d'un ordinateur de terrain. Les coordonnées du point seront obtenues par une navigation «à l'estime» (en anglais: Dead Reckoning). Si, de plus, le géomaticien avait suivi un sentier balisé et que son système ait enregistré les positions du parcours, celui-ci serait entièrement géo-référencé sans grand effort supplémentaire!

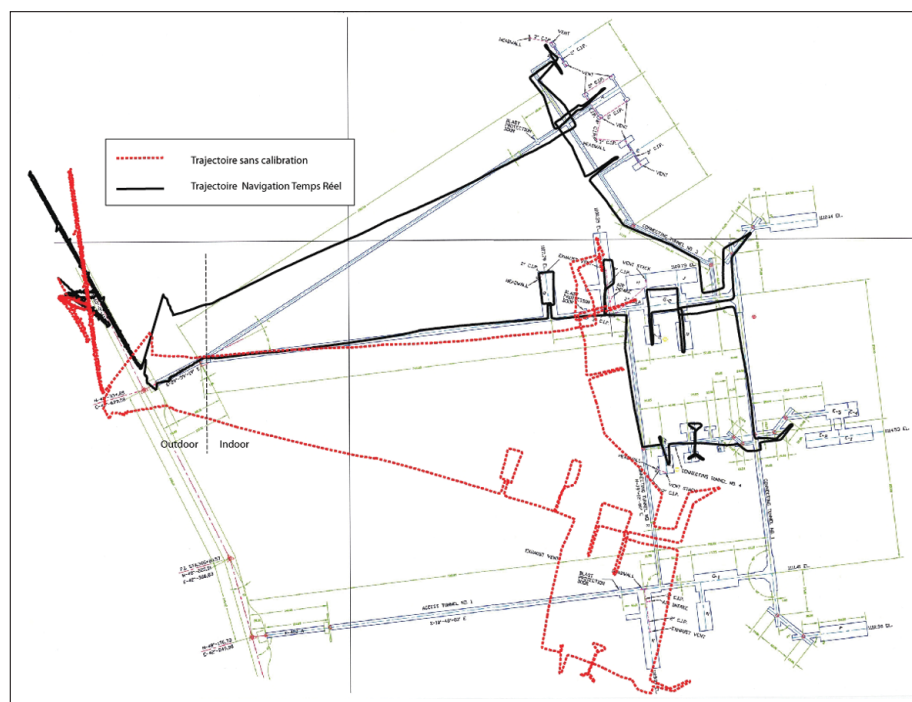


Fig. 2: Importance du calibrage initial pour la navigation en temps réel. Cette trajectoire montre que même avec l'utilisation d'un récepteur GPS (L1 code uniquement), il est possible de calibrer dynamiquement les différents modèles physiologiques ainsi que le défaut d'alignement du PNM avec une précision inférieure à 1°. Cet exemple présente un défaut d'alignement de -21.23° principalement dû à la déclinaison magnétique importante du lieu.

La précision garantie n'est certes pas le millimètre mais de quelques mètres, ce qui est suffisant pour bon nombre d'applications liées aux SIG. Une précision inférieure à 5% de la distance parcourue depuis la dernière mise à jour GPS (1% – 2% dans des cas favorables et pour une marche avant régulière) peut être garantie en toute autonomie.

Et qu'en est-il si, quelques mètres après avoir enregistré la borne, le signal GPS est à nouveau disponible?

Du temps réel au post-traitement

Le système développé par Vectronix AG, fruit d'une étroite collaboration avec le laboratoire de Topométrie de l'EPFL, conjugue un ensemble de capteurs permettant une localisation 3D permanente. Légèrement plus volumineux qu'un télé-

phone 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 des logiciels de GIS et de navigation permet de bénéficier de toutes les fonctionnalités de ces derniers.

Optimisé pour obtenir les positions en temps réel, le PNM (Personal Navigation Module) procède de manière autonome à l'intégration de la solution à l'estime avec le GPS par l'intermédiaire d'un filtre de Kalman. L'initialisation et le pré-traitement des données font cependant intervenir des opérations purement géodésiques telles que transformation affine, conversion de coordonnées, détermination de la déclinaison magnétique pour ne citer que les principales !

Pour exemple, le calibrage du défaut

d'alignement du module par rapport à la direction de marche nécessite la mise en relation de la trajectoire locale à l'estime (coordonnées Est-Nord) avec les positions GPS correspondantes (latitude-longitude). L'intégration se déroulant en temps réelle et dynamiquement, une composante temporelle est à ajouter aux données planimétriques (fig. 1).

De plus, la dispersion des mesures GPS résultant dans la plupart des cas d'un calcul code uniquement rend une compensation indispensable pour le maintien de la précision angulaire absolue de 0.5°. Il est important de mentionner que le module de navigation à l'estime CNM (Core Navigation Module) est indépendant du type de récepteur GPS utilisé. Si l'utilisateur possède un système GPS différentiel code et/ou phase (DGPS – RTK), la précision résultant sera celle du système aussi longtemps que le signal GPS est disponible. Cette approche permet une grande flexibilité d'utilisation du CNM aussi bien au niveau utilisateur qu'au niveau industriel pour les fabricants de chips GPS (fig. 2).

En enregistrant toutes les positions estimées, il est possible de calculer une polygonale a posteriori entre deux positions GPS. Celle-ci corrige ainsi les erreurs accumulées en cours de cheminement, ce qui est impossible en temps réel.

De part l'algorithme développé, un simple calcul de polygonale classique avec distribution des erreurs et des angles peut cependant être dangereux. En effet, les erreurs angulaires sont loin d'être constantes entre deux positions de rattachement GPS.

Le gyroscope décidant automatiquement de la mise à jour de son biais ou de son azimut sur le compas magnétique, il apparaît souvent que la trajectoire à l'estime, après avoir divergé de la trajectoire réelle, se retrouve parallèle à celle-ci écartée d'une distance constante jusqu'à la prochaine mise à jour (GPS ou manuelle). Une polygonale inverse séquentielle est donc appliquée de manière à prendre en compte cette particularité (fig. 3).

Cependant, malgré tous les traitements et lissages possibles, ces coordonnées ont

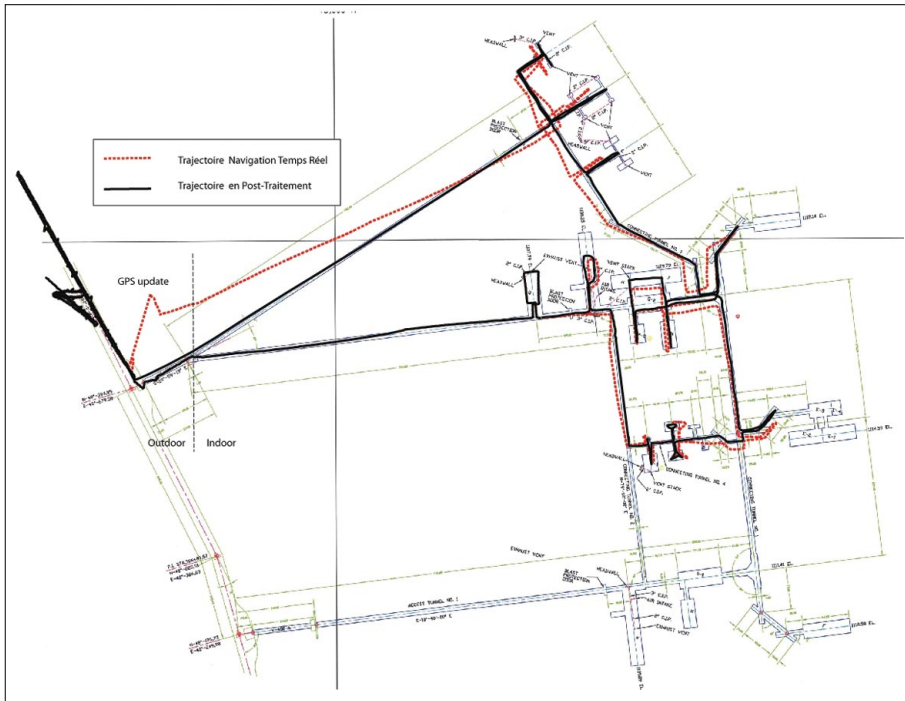


Fig. 3: Une fois toutes les données brutes collectées, il est possible d'améliorer la solution de navigation par le calcul de polygones séquentiels a posteriori. Dans cet exemple, comme la trajectoire est principalement à l'intérieur de galeries, les coordonnées de référence sont obtenues à partir de la carte numérique. Comme une position par pas est calculée, la résolution de la trajectoire est de l'ordre de 70 cm de même que la précision maximale pour un point. Une telle précision peut être intéressante pour certains repérages, cartographie rapide d'une zone et collecte de données pour différentes applications SIG.

été obtenues, au sens géodésique, sans aucune redondance!

Cela signifie-t-il qu'il n'y a aucune notion de fiabilité dans les trajectoires fournies par le PNM? Redondance et contrôle sont bel et bien présents dans les algorithmes.

1. L'azimut magnétique et gyroscopique sont comparés en continu de façon à éviter tout défaut d'utilisation de l'un ou l'autre.

2. Les positions GPS sont contrôlées par les positions estimées ce qui permet la détection et le filtrage de multi-trajets.

3. Un baromètre contrôle la stabilité de l'altitude GPS et permet une précision relative sub-métrique.

4. Les modèles physiologiques sont bornés et reflètent toujours une solution statistiquement possible et probable.

Est-ce que ceci est suffisant pour garantir la fiabilité des positions obtenues? Si l'on parle de fiabilité et que l'on désire des indicateurs numériques tels qu'ils sont intégrés dans un logiciel classique (LTOP), cela ne sera pas possible. Par contre, la détection de mesures aberrantes par une succession de tests logiques abouti au résultat désiré: la prise en compte dans les algorithmes de mesures contrôlées uniquement.

Même si cette rigueur dérivant directement de l'intégration (ou hybridation) de capteurs peut paraître nouvelle en mensuration, fort est de constater que la précision obtenue en temps réel et a fortiori en post-traitement n'est de loin pas à sous-estimer dans le monde des SIG. Cela l'est d'autant plus que l'alternative n'est pas une position dégradée, mais l'absence de position, comme nous le fait remarquer notre arpenteur St-Gallois.

Serait-on au début d'un nouveau mode de saisie de données géographiques?

Il y a certes encore passablement de concepts et d'outils à adapter et/ou à développer mais, pas après pas, la révolution est en marche!

Dr. Quentin Ladetto
Vectronix AG
CH-9435 Heerbrugg
quentin.ladetto@vectronix.ch