

# FACILITER LE DÉPLACEMENT DES AVEUGLES AVEC UNE CARTE NUMÉRIQUE ET UNE INTERFACE VOCALE

Rouiller J., Perrottet D., Ladetto Q., Merminod B.

contact : [quentin.ladetto@epfl.ch](mailto:quentin.ladetto@epfl.ch)

www : <http://topo.epfl.ch>

*Le récepteur GPS permet à la personne de se localiser sous certaines conditions de visibilité des satellites et de réception de leurs signaux. Lorsque ces conditions ne sont pas remplies, il est nécessaire d'utiliser d'autres capteurs pour saisir le déplacement de la personne et son orientation. Ce mécanisme est appelé navigation à l'estime (Dead Reckoning). Si le problème est déjà pratiquement résolu pour les automobiles qui utilisent un odomètre, un gyroscope et un système de reconnaissance cartographique, la solution pour la navigation pédestre est de loin plus complexe. En effet, la navigation à l'estime s'effectue bien avec les mêmes senseurs, mais leur intégration est totalement différente. Un piéton ne reste pas forcément sur un trottoir, il effectue des mouvements brusques et se déplace facilement d'un bout à l'autre d'un quartier en passant à l'intérieur de bâtiments (galeries marchandes). Toutes ces informations peuvent être analysées et communiquées à l'utilisateur par l'intermédiaire d'un SIG disponible sur un assistant personnel digital (PDA). Pour les aveugles cependant, une telle interaction est difficile et une solution appropriée doit être développée.*

## Introduction

La plupart de nos déplacements à pied s'effectuent dans un environnement qui nous est familier. Notre capacité à développer une carte cognitive et à reconnaître les lieux tend à nous faire oublier qu'une ville ressemble vite à un dédale lorsque l'on s'écarte des chemins déjà connus. Les passants peuvent alors s'avérer une aide précieuse, mais les lieux ne leur sont pas toujours familiers. Une alternative est le recours à un plan de ville, par rapport auquel il reste à repérer sa position. Quelques bourrasques ont tôt fait de rendre sa lecture difficile. D'autre part de nombreux services d'importance ne peuvent être représentés sur une carte papier, pour d'évidentes raisons de lisibilité.

On en vient alors à rêver d'un système autonome d'aide à la navigation pédestre. En milieu urbain, les récepteurs GPS actuellement disponibles sur le marché ne peuvent garantir ce service. En effet, pour une navigation efficace, la localisation doit être assurée de manière continue, c'est-à-dire également dans les canyons urbains qui ne permettent généralement pas la réception

d'un nombre de satellites suffisants. La continuité de la localisation peut être assurée par une navigation à l'estime. Selon cette approche, la trajectoire est déterminée relativement à une position d'origine. Inévitablement, les erreurs sur la position se cumulent jusqu'à ce que des signaux extérieurs (satellites ou GSM) soient à nouveau reçus.

Heureusement, il est possible d'exploiter l'information géographique d'une carte numérique pour rectifier de temps à autre la trajectoire modélisée. Cette opération est connue sous le terme de *map matching* (Bernstein and Kornhauser, 1998; Hung and Su, 1998).

## Système utilisé

Le système de navigation actuellement développé (Ladetto, 2002) comporte un récepteur GPS, trois accéléromètres, trois senseurs magnétiques disposés orthogonalement, ainsi qu'un baromètre. Le module de localisation placé de préférence au bas du dos, permet de connaître la position de la personne tant en planimétrie qu'en altimétrie. Dans le contexte pédestre, la double intégration de l'accélération longitudinale ne permet pas directement une détermination de la distance parcourue. Les mesures des accéléromètres sont alors exploitées par un modèle physiologique afin de dimensionner les pas détectés.

## Particularités des trajectoires piétonnes

Au contraire d'une automobile, une personne n'évoque pas toujours parallèlement à l'axe d'une rue : traverser une route, emprunter une galerie marchande, s'approcher d'une vitrine, rentrer dans une allée ou rebrousser chemin comptent parmi les mouvements possibles du piéton. Par ailleurs, des déplacements verticaux ou apparentés sont possibles, comme lorsqu'un escalier ou un ascenseur est emprunté pour passer d'une rue à une autre.

## Support cartographique

Pour éviter que la trajectoire modélisée ne s'éloigne excessivement du réseau routier, nous avons recours au produit "MultiNet Shapefile" de la compagnie Tele Atlas. L'information routière peut être présentée selon

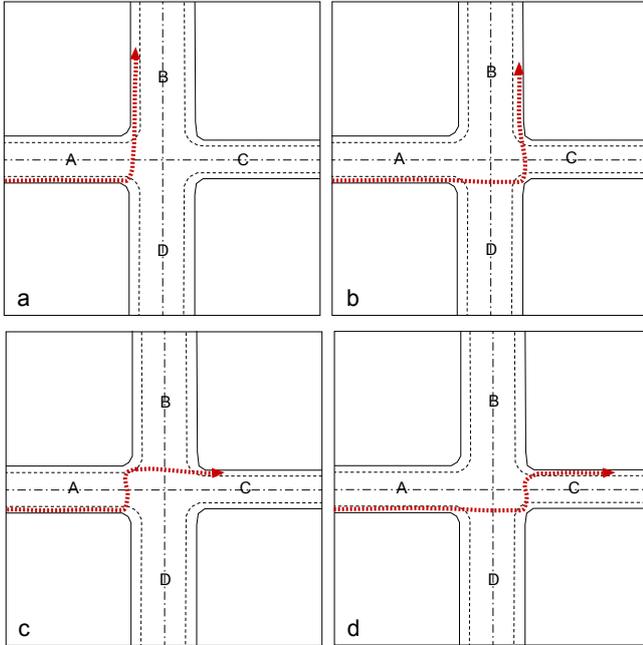


FIG. 1 – Variété de situations possibles lorsque le piéton tourne à gauche près d'une jonction.

deux niveaux, le second étant une généralisation du premier. Pour la problématique pédestre, seul le réseau détaillé du premier niveau présente un intérêt. La base de données "MultiNet", contient de nombreuses informations complémentaires au réseau de transport. Elle permet notamment le géocodage par adresses (interpolées) et renferme plusieurs points d'intérêt qui représentent des services. Pour référencer de manière plus précise les adresses, l'utilisation d'un produit complémentaire tel que Geo-Post pour la Suisse est envisageable.

## Approche de navigation

Chaque élément routier de la base de données "MultiNet" est représenté par une ligne brisée. Ses extrémités, appelées "jonctions" sont désignées par un identifiant permettant une gestion aisée de la topologie entre éléments. Afin de limiter le nombre de calculs de distances entre la position estimée et les segments routiers, la topologie est exploitée. Cette approche permet d'autre part de limiter le risque de mismatching, à savoir l'association de la position du piéton à une rue qui n'est pas la bonne. En navigation pédestre, l'exploitation de la topologie requiert toutefois certaines précautions et deux aspects majeurs doivent être considérés. Premièrement, si la précision de la localisation initiale est faible, la rue la plus proche de la position du piéton n'est pas forcément celle dans laquelle il se trouve. L'observation de la direction du déplacement sur un certain nombre de pas permet en général de lever cette incertitude. En second lieu, la direction de la marche qui peut être observée à un carrefour (c.-à-d. à une jonction) ne

reflète pas toujours celle de la rue empruntée par la suite FIGURE 1.

Ces situations ambiguës exigent la prise en compte de plusieurs cheminements possibles, chacun étant composé d'une ou de plusieurs rues suivies. Seules les informations relatives au cheminement le plus probable sont annoncées à l'utilisateur. Les autres cheminements jouent en coulisses des rôles de prétendants. Typiquement, après le premier changement de direction des figures FIGURE 1 (c) et (d), le cheminement A-B est le plus probable, jusqu'à ce que le second changement de direction fasse pencher la balance en faveur du cheminement A-C. Les cheminements jugés trop improbables sont occasionnellement éliminés afin d'éviter un gonflement des opérations nécessaires. Pour résumer, la prise en compte de plusieurs cheminements permet de profiter de la rigueur d'une approche topologique, tout en assurant la souplesse nécessaire.

## Initialisation

La phase d'initialisation est déclenchée par l'arrivée des premières coordonnées. Celles-ci peuvent être déterminées à partir d'une adresse, d'un point d'intérêt sélectionné par l'utilisateur ou plus simplement sur la base d'observations GPS. Dans un premier temps, une sélection des rues possibles est réalisée sur la base de leurs limites spatiales. Pour chaque rue retenue, les segments qui la constituent sont ensuite confrontés l'un après l'autre à la position du piéton. Il est admis que la personne peut se trouver le long d'un segment si sa position initiale tombe dans une zone tampon entourant celui-ci. La largeur de cette région est fonction de la précision de localisation et de la précision absolue de l'élément routier. Chaque segment retenu se voit associer un point de projection qui définit la position du piéton relativement à son origine.

On admet que le piéton se trouve sur un trottoir et que sa position est rectifiée en conséquence: le point de map matching associé à un segment routier est placé à la hauteur du point de projection, mais à une distance  $q$  de l'axe de la rue. La largeur  $q$ , est estimée sur la base de l'importance fonctionnelle de la rue. A ce stade, chaque point de map matching marque le début d'un cheminement possible. Une probabilité est attribuée à chaque cheminement, de manière inversement proportionnelle à la distance séparant la position initiale du point de map matching. La rue correspondant au cheminement le plus probable est alors annoncée à l'utilisateur.

## Suivi topologique

L'exploitation de la topologie nécessite un suivi de l'évolution du piéton relativement à chaque cheminement considéré.

En vue de déterminer le moment de passage d'un segment au suivant et éventuellement l'entrée dans une

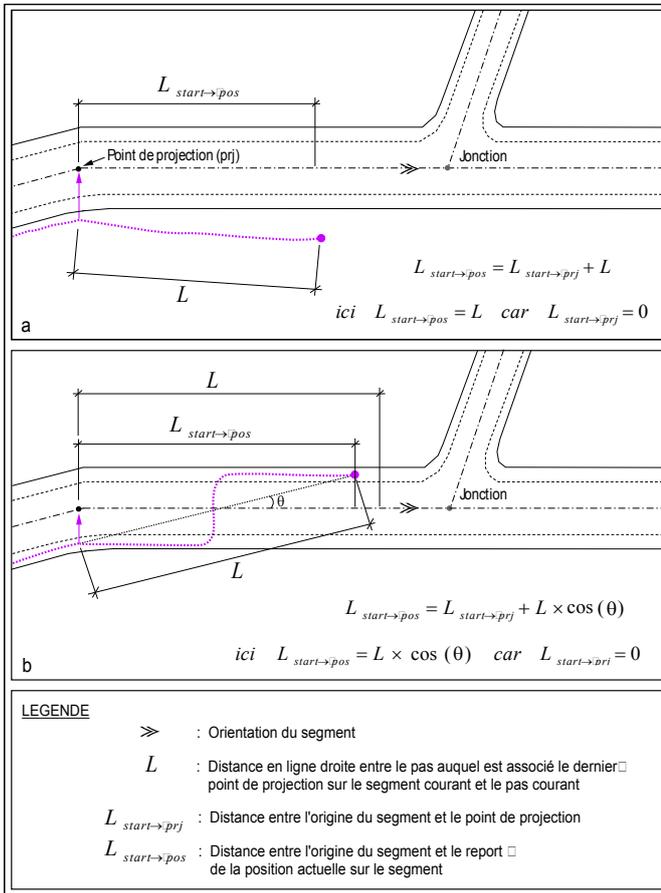


FIG. 2 – Différence entre navigation automobile et navigation pédestre dans la mesure de la distance parcourue.

nouvelle rue, il faut périodiquement reporter la distance parcourue le long du segment longé. Ce report s'effectue depuis le point de projection, qui désigne l'endroit où le segment à été abordé. Le point de projection coïncide avec l'une des extrémités du segment, sauf en début de parcours où il correspond à l'endroit du segment le plus proche de la position initiale. La distance est positive lorsqu'elle correspond à un déplacement dans le sens du segment (début  $\rightarrow$  fin) et négative dans le cas contraire.

En navigation automobile, la distance mesurée est intégralement reportée le long du segment FIGURE 2 (a). En effet, l'écart - parfois sensible - qui peut être observé entre la direction de déplacement donnée par les dernières époques et celle du segment peut généralement être attribué à la dérive d'un gyroscope bas de gamme, alors que la distance est mesurable de manière relativement précise par un odomètre.

Au contraire d'un véhicule, qui se déplace presque parallèlement à l'axe d'une route, le piéton peut effectuer des mouvements transversaux (contournement d'un panneau d'affichage ou d'un arrêt de bus, passage au trottoir opposé, etc.). Ne pas en tenir compte peut conduire à une surestimation notable de la distance parcourue le long du segment FIGURE 2 (b). Ainsi, la

distance considérée n'est pas la distance totale, mais celle en ligne droite depuis le pas auquel est associé le point de projection. De plus, celle-ci est multipliée par le cosinus de l'angle  $\theta$  entre la direction moyenne du déplacement et le segment, avant d'être reportée le long de ce dernier. La grande précision des compas employés et le caractère aléatoire des erreurs angulaires (i.e. pas de dérive) ne font que renforcer cette affirmation.

## Détection des changements de direction

Un changement de direction prononcé indique parfois qu'une jonction a été atteinte. Il peut alors permettre de corriger la trajectoire et d'ajuster les paramètres du modèle de pas. L'évitement tardif d'un obstacle - souvent observé dans la démarche des aveugles - provoque une variation très locale de la direction de déplacement. Le procédé de détection des changements de direction doit rester insensible à de telles perturbations.

La méthode retenue consiste à calculer des azimuts moyens de déplacement sur plusieurs pas. Ces azimuts, stockés dans une fenêtre mobile, permettent de calculer les différences d'azimuts qui correspondent à des pas successifs. Une seconde fenêtre mobile contient ces différences d'azimuts. Un changement de direction effectif est détecté lorsque l'élément central de cette seconde fenêtre dépasse un seuil et représente le maximum au sein de celle-ci. Le pas correspondant est alors appelé "point de pivot". Selon la FIGURE 3 illustrant cette

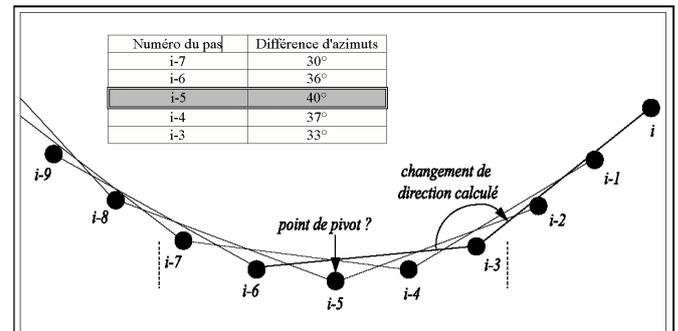


FIG. 3 – Méthode de détection des changements de direction effectifs.

approche, le pas  $i$  qui vient d'être réalisé permet de reconnaître le pas  $i-5$  comme point de pivot, la fenêtre mobile des différences d'azimuts s'étendant ici de  $i-7$  à  $i-3$ . Un changement effectif de la direction de la marche est ainsi détecté avec un retard de cinq pas.

## Types de changements de direction

En navigation automobile un changement significatif de la direction de déplacement correspond presque indubitablement à un virage de la rue empruntée ou au passage dans une rue non alignée sur celle de laquelle vient le véhicule. Lors de déplacements pédestres, des

cas plus variés peuvent se présenter : le passage au trottoir d'en face, l'entrée dans un immeuble et le rebroussement de chemin occasionnent des changements de direction qu'il convient d'ignorer. Ainsi, une variation significative de la direction de marche ne donne lieu à une correction de la trajectoire que si elle se produit à proximité d'une jonction. Cette analyse est menée relativement à chaque cheminement plausible. Un virage d'une rue provoque également un changement de direction du piéton. Il est cependant plus difficile d'y réaliser un map matching, la variation de la direction de marche s'effectuant sur un nombre de pas plus important et le virage étant d'autre part modélisé par de courts segments presque alignés lorsque pris deux à deux.

## Mise en oeuvre du Map matching!

L'arrivée à une jonction est un moment adéquat pour corriger la trajectoire. Un changement de direction à proximité d'un carrefour peut correspondre à l'entrée dans une rue transversale ou au changement de trottoir avant de poursuivre dans une rue relativement alignée FIGURE 1. Lorsqu'il est admis que le piéton est parvenu à un carrefour, autant de cheminements sont générés qu'il y a de rues nouvellement connectées à la jonction. Chacun de ces cheminements hérite des propriétés de celui qui a mené le piéton jusqu'au carrefour. Ainsi, les nouveaux cheminements reçoivent l'historique des rues du cheminement parent.

La probabilité de ce dernier leur est également transmise, pondérée toutefois en fonction de la ressemblance entre la direction actuelle de la marche et celle du segment de rue considéré. Le facteur de pondération est déterminé selon une approche de logique floue, c'est-à-dire en fonction des scénarios possibles et non de la précision des mesures angulaires.

Dans le cas où la direction de la rue considérée diffère sensiblement de celle de laquelle vient le piéton FIGURE 4 (a), les positions candidates pour le map matching sont données par les intersections du trottoir de la rue incidente avec ceux de la nouvelle rue. De ces positions, celle qui est la plus proche du point de pivot est retenue pour corriger la trajectoire. Lorsque la nouvelle rue est relativement alignée sur celle de laquelle vient le piéton, le calcul du point de map matching par intersection des trottoirs est inadéquat. Il est alors admis que le piéton traverse la rue au carrefour, empruntant un passage piéton situé peu avant ou peu après la jonction. Le point retenu pour le map matching se trouve à une distance longitudinale  $l$  de la jonction et à une distance  $q1$  ou  $q2$  du segment longé, selon que le piéton a traversé avant ou après la jonction FIGURE 4 (b). Cet écart par rapport à l'axe est estimé en fonction de la classe fonctionnelle de la rue traversée.

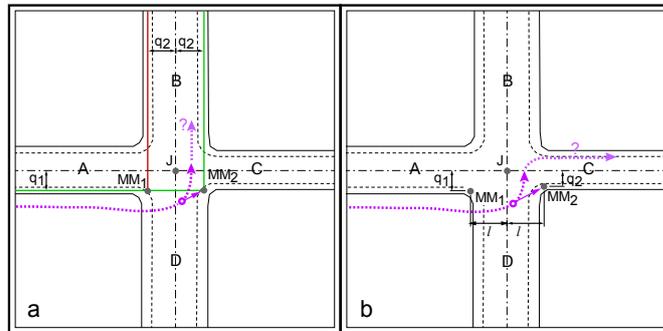


FIG. 4 – Map matching à une jonction. La méthode diffère selon l'angle que présente la nouvelle rue par rapport à celle de laquelle vient le piéton.

## Calcul des probabilités des cheminements

La probabilité d'un cheminement est à nouveau déterminée lorsque le piéton atteint l'extrémité du segment vers laquelle il se dirigeait. Sa valeur est inversement proportionnelle à l'écart angulaire entre la direction du segment suivi et le vecteur de déplacement observé depuis le dernier point de projection. L'analyse est menée pour chacun des cheminements en mémoire. Une fois celle-ci achevée, les probabilités des cheminements sont corrigées de sorte à ramener leur somme à 100 [%]. Il est alors facile d'éliminer ceux qui semblent trop improbables.

## Interface parlante

Le but recherché dans la création d'une interface pour aveugles est l'utilisation d'un PDA (Personal Digital Assistant) standard pouvant répondre aux spécificités de l'application. L'interface se compose de différents menus et boutons virtuels sur l'écran tactile. La solution retenue afin d'en faciliter l'utilisation inclut tout d'abord une aide générale (vocale) au chargement de chaque menu qui donne un aperçu des différentes rubriques et fonctions, ainsi que l'emplacement des boutons sur l'écran. Ensuite, l'utilisateur doit toujours valider son choix avec le bouton *Enter* (un message de confirmation est donné). De plus, chaque bouton sélectionné énonce sa fonction. Les boutons sont toujours disposés selon une configuration précise. Il a été choisi de limiter leur nombre à cinq par menu FIGURE 5. Sur chaque menu se trouve un bouton *Enter*, qui permet la validation de la sélection, en bas à droite de l'écran. En bas à gauche se trouve un bouton *Up* permettant le retour au menu précédent. Notons encore que les paramètres de configuration de l'interface sont sauvegardés pour la prochaine utilisation du logiciel.

Le menu *Navigation* permet d'effectuer les opérations relatives au calcul d'un trajet entre deux adresses. Ce menu utilise la reconnaissance vocale. Un bouton *Start point* permet d'entrer oralement un nom de rue



FIG. 5 – Exemple de menu comportant cinq boutons se trouvant toujours aux mêmes endroits afin de faciliter l'utilisation aux personnes aveugles.

qui sera reconnu par le système selon une certaine grammaire, s'il le possède dans sa base de données (sous forme de fichier texte) et qui constituera le point de départ du trajet. *Stop point* permet par la même méthode de sélectionner une destination. Un message vocal confirme l'adresse reconnue par le système. Si cette adresse est erronée, il est possible de recommencer l'opération. Un bouton *Listen* permet d'écouter les instructions constituant le trajet calculé à partir de ces deux points, afin de se faire une idée du parcours au préalable.

Un cache additionnel a été fabriqué et placé sur le PDA. Des découpes correspondant aux boutons sur l'écran tactile, permettent à l'utilisateur de sélectionner plus facilement l'information désirée et d'éviter toute manipulation involontaire.

## Conclusion

Bien que souvent observé en navigation pédestre, le parallélisme entre la direction du déplacement et l'axe de la rue empruntée n'est pas garanti. Pour cette raison, dans le cas où la topologie du réseau routier est exploitée, il est nécessaire de garder en mémoire les caractéristiques les plus importantes de plusieurs cheminements vraisemblables (rues empruntées, dernier tronçon parcouru, points de correction de la trajectoire, etc.). Ainsi, le cheminement effectivement suivi reste

possible, même s'il peut paraître peu probable à un moment particulier.

Un autre aspect important réside dans la capacité de distinguer les changements de direction induits par une particularité géométrique du réseau de ceux permis par la grande liberté de mouvement du piéton.

L'utilisation du map matching améliorant fiabilité et précision couplée à une interface parlante facilitant l'interaction avec l'utilisateur, tels sont les nouveaux défis de la navigation pédestre !

## Remerciements

Nous remercions Tele Atlas pour la mise à disposition des données routières.

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'une collaboration avec Leica Vectronix AG, soutenue par la Commission pour la Technique et l'Innovation (CTI) du gouvernement suisse.

## Références

- Bernstein, D. and Kornhauser, A. (1998). Map matching for personal navigation assistants. *The Transportation Research Board - 77th Annual Meeting, Washington, D.C.*.
- Hung, P. S. and Su, T. C. (1998). Map-matching algorithm of gps vehicle navigation system. Geographic Information System Research Center, Reng Chia University.
- Ladetto, Q. (2002). *Capteurs et algorithmes pour la localisation autonome en mode pédestre*. PhD thesis, Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne (EPFL). in prep.