

Navigation Pédestre à l'Intérieur des Bâtiments

La navigation pédestre est un domaine prometteur qui s'inscrit dans un contexte global de mobilité, en particulier dans les villes. C'est un grand défi de s'inspirer et d'adapter les concepts de la navigation automobile au contexte de la navigation pédestre. Ce projet s'inscrit dans la problématique de la navigation dans un environnement construit. Il propose des composantes d'un système de navigation pédestre avec un exemple d'application spécifique au campus de l'Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL). Afin d'optimiser le déplacement des visiteurs et des utilisateurs du campus, une fonction de planification d'itinéraire a été développée. Par l'entrée d'un point de départ, d'une destination et de quelques informations supplémentaires sur le chemin souhaité, un itinéraire idéal est calculé, qui tient compte des restrictions d'accès et des barrières architecturales.

Un système de navigation nécessite non seulement une fonction de planification d'itinéraire, mais également une fonction de map matching afin de combiner efficacement la localisation avec le réseau de navigation. Dans ce projet, on présente une telle fonction qui tient compte des caractéristiques spécifiques de l'environnement construit (p.ex. escalier, ascenseur, couloir) et du degré de liberté de mouvement des piétons. Un accent particulier est mis sur la conception et le développement d'une base de données qui soit adaptée à la navigation de piétons à l'intérieur de bâtiments et qui permette l'implémentation de fonctions de navigation, comme le calcul d'itinéraire et le map matching.

Die Fussgängernavigation ist ein vielversprechender Bereich der globalen Mobilität, insbesondere in den Städten. Die grosse Herausforderung ist, sich vom Konzept der Autonavigation inspirieren zu lassen und es der Fussgängernavigation anzupassen. Das Projekt behandelt die Problematik der Fussgängernavigation in Gebäuden. Es werden Komponenten eines Fussgängernavigationssystems anhand eines spezifischen Anwendungsbeispiels auf dem Campus der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) vorgestellt. Um die Fortbewegung der Besucher sowie der Benutzer des Campus zu optimieren, wurde eine Routenplanungsfunktion entwickelt. Durch Eingabe eines Start- und Zielpunktes sowie einigen zusätzlichen Informationen über die gewünschte Route, wird ein optimaler Weg berechnet, welcher Durchgangsrechte und architektonische Barrieren berücksichtigt.

Ein Navigationssystem erfordert nicht nur eine Routenplanungsfunktion, sondern auch eine Map-matching Funktion, um die Lokalisation effizient mit dem Navigationsnetz zu kombinieren. In diesem Projekt wird eine solche Funktion vorgestellt, welche die spezifischen Charakteristiken eines Gebäudes (z.B. Treppen, Aufzüge, Gänge) und die Bewegungsfreiheit eines Fussgängers berücksichtigt. Ein besonderes Gewicht wird auf die Konzeption und Entwicklung einer Datenbank gelegt, welche an die Fussgängernavigation innerhalb der Gebäude angepasst ist und die Implementierung von Navigationsfunktionen wie Routenplanung und Map-matching erlaubt.

La navigazione pedestre è un campo promettente che si iscrive nel contesto globale della mobilità, in particolare nelle città. La grande sfida consiste nell'ispirare e nell'adattare i concetti di navigazione automobilistica al contesto della navigazione pedestre. Questo progetto rientra nella problematica di navigazione in un ambiente edificato. Si propongono dei componenti di un sistema di navigazione pedestre, prendendo spunto da un esempio di applicazione specifica nel campus del Politecnico di Losanna (EPFL). Per ottimizzare lo spostamento dei visitatori e degli utenti del campus si è sviluppata una funzione di pianificazione degli itinerari. Immettendo un punto di par-

D. Büchel, P.-Y. Gillieron

Contexte

Chacun a connu une situation dans laquelle il se retrouve perdu dans un environnement inconnu, que ce soit dans une ville ou dans un grand bâtiment. Dès que l'on quitte un environnement familier, on peut facilement se tromper de chemin en campagne, choisir une mauvaise rue dans une ville ou mal s'orienter dans une grande construction.

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. C'est naturellement sur terre, sur l'eau et dans les airs que s'est développé l'art de la navigation [1].

De nos jours, la navigation est devenue une technologie, notamment grâce aux progrès des instruments et à l'avènement du GPS. Par conséquent, les systèmes de navigation sont devenus universellement applicables sur mer, dans les airs et sur terre. La navigation pour les personnes en fait partie et ouvre ainsi un champ d'activités captivantes avec de véritables défis scientifiques.

Ce projet traite de la navigation pédestre dans un environnement construit, ce qui conduit à l'intégration d'un système de localisation particulier, avec une base de données géographiques permettant l'implémentation de fonctions de navigation comme le calcul d'itinéraire et le guidage.

Architecture et caractéristiques du système développé

Ce projet s'est concentré sur la navigation pédestre à l'intérieur des bâtiments comme complément aux systèmes actuels développés pour l'extérieur.

Le cadre d'application du projet est le campus de l'EPFL, composé de nombreux bâtiments et d'espaces de circulation. La

tenza, una destinazione e alcune informazioni complementari sul percorso desiderato, viene calcolato un percorso ideale che prende in considerazione le limitazioni d'accesso e le barriere architettoniche.

Un sistema di navigazione non necessita solo di una funzione di pianificazione dell'itinerario ma anche di una funzione di map matching per combinare efficientemente la localizzazione alla rete di navigazione. In questo progetto si presenta una funzione di questo tipo che tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'ambiente edificato (per es., scala, ascensore, corridoio) e del grado di libertà di movimento dei pedoni. Un accento particolare è posto sul concetto e sullo sviluppo di una base dati, che sia adattata alla navigazione dei pedoni all'interno degli edifici e che permetta l'applicazione delle funzioni di navigazione, come il calcolo dell'itinerario e il map matching.

construction d'un réseau de navigation basé sur la théorie des graphes (modèle arête/nœud) a permis de développer les principales fonctions de navigation qui interagissent avec la base de données.

Environnement informatique

Le prototype de base de données et de fonctions de navigation a été développé dans un environnement informatique ouvert et évolutif. Ceci a permis d'explorer quelques pistes afin de compléter le service d'orientation de l'EPFL (<http://plan.epfl.ch>), avec comme perspective une amélioration de l'aide au déplacement sur le campus.

Le choix informatique s'est porté sur des produits de la communauté «Open Source»:

- PostgreSQL/PostGIS: base de données spatiales (www.postgresql.org/)
- langage de programmation Python: fonctions de navigation (www.python.org/)

PostgreSQL/PostGIS propose une architecture client/serveur qui permet une répartition des tâches, ce qui est un avantage pour des applications mobiles. Le serveur est adapté pour stocker et pour gérer de grandes quantités de données. D'autre part, des applications graphiques particulières peuvent être développées pour le client. Cette architecture permet des accès simultanés par différents utilisateurs.

Python est un langage de programmation orienté objets très répandu et qui offre un module d'interface avec PostgreSQL.

L'ensemble des fonctions de navigation

est développé dans cet environnement, ce qui implique une parfaite compatibilité et une bonne communication entre les différents modules et la base de données. Selon la combinaison des modules utilisés, on obtient des systèmes d'aide à la navigation plus ou moins sophistiqués.

Système de navigation pédestre

Les tests réalisés sur le campus de l'EPFL se sont basés sur le système de navigation pédestre (PNM – Personal Navigation Module) développé conjointement par Vectronix AG et le laboratoire de Topométrie de l'EPFL [2].

Base de données pour la navigation

La base de données existante, issue des plans de construction, contient des bâtiments, des locaux et des détails de construction (escalier, ascenseur, porte, etc.) sous la forme de polygones, de droites et d'arcs de cercles.

Cette structure de données n'est pas adaptée à la navigation, car la notion de réseau n'existe pas et la connectique entre les éléments manque. Afin d'assurer la navigation de personnes à l'intérieur du campus, il faut disposer d'un modèle topologique dont les éléments sont stockés dans une base de données spatiales. Ce transfert du modèle primaire de données vers un nouveau modèle topologique implique une généralisation de l'environnement pour aboutir à une modélisation de type réseau.

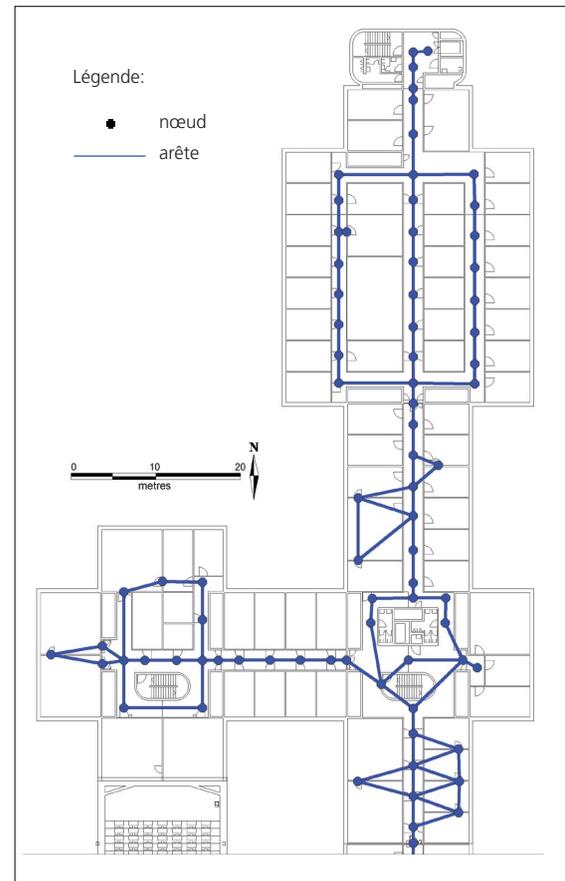


Fig. 1: Extrait du réseau de navigation (nœud/ arête) du campus de l'EPFL.

Modèle réseau

La pratique de la navigation automobile a montré qu'un modèle réseau est adapté aux applications de navigation. Malgré les différences entre le déplacement de personnes et de véhicules, le choix d'une telle modélisation semble être le plus adéquat. Le modèle réseau utilisé est constitué de nœuds et d'arêtes.

• Nœud

Un nœud est un point défini par ses coordonnées x , y et z . Chaque nœud délimite une ou plusieurs arêtes.

• Arête

Une arête définit un élément unitaire (la portion d'une route, d'un itinéraire ou d'un chemin) qui est modélisé par une ligne droite. Une arête est définie par un nœud de début et un nœud de fin.

Pour le campus de l'EPFL, les arêtes correspondent aux couloirs, aux escaliers et

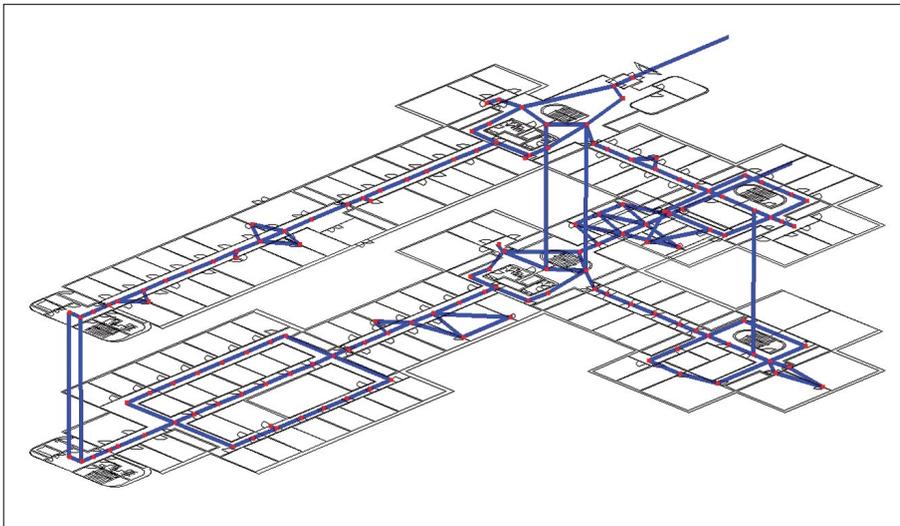


Fig. 2: Connexion des étages par des arêtes verticales (escaliers, ascenseurs).

aux ascenseurs à l'intérieur, et aux principaux axes de circulation et aux passerelles à l'extérieur.

Les nœuds représentent des portes, des jonctions, des connecteurs d'étages et des points d'intérêt. En général, les nœuds représentent des lieux de départ, des éléments du parcours et des destinations. Les locaux sont représentés par leurs portes correspondantes (fig. 1).

Caractéristiques particulières des bâtiments

Ce réseau de navigation se distingue des réseaux routiers utilisés pour la navigation des véhicules. D'une part, ce réseau est plus dense et la longueur des arêtes est en général relativement courte compte tenu des petites distances entre les différents locaux. D'autre part, c'est un réseau en 3D. L'existence de bâtiments à plusieurs étages implique l'introduction d'une troisième dimension. Un étage étant composé d'un réseau nœuds/arêtes en 2D. Les différents étages sont reliés par des arêtes verticales avec un nœud (connecteur) de début, respectivement de fin, sur des étages consécutifs (fig. 2). Ces arêtes verticales représentent la modélisation des escaliers et des ascenseurs. Une autre caractéristique est liée aux restrictions d'accès à certains locaux et bâtiments où seules les personnes autorisées peuvent entrer au moyen d'une carte à puce.

Une modélisation spécifique de ces éléments est donc nécessaire dans la perspective d'implémenter une fonction de planification d'itinéraires. Ainsi, le principe des routes à deux sens de circulation est appliqué. Une arête non orientée (pas de sens de circulation) est remplacée par deux arcs ayant chacun leurs propres direction et restriction.

Calcul d'itinéraire

Le calcul d'itinéraire est une procédure déjà bien appliquée à la navigation pour les véhicules. Cependant, une application pour des piétons se réfère à des besoins sensiblement différents. Il s'agit de tenir compte du profil de l'utilisateur, des changements d'étage, des barrières architecturales et des restrictions d'accès. Malgré ces différences, le principe du calcul reste le même. Il se base sur un algorithme classique (Dijkstra) issu de la recherche opérationnelle qui permet le calcul du chemin optimal. L'algorithme a recours à un graphe orienté avec des coûts (valeurs pondérales) attribués aux arcs. Afin de tenir compte des caractéristiques du réseau et des besoins des utilisateurs, il est nécessaire d'établir une fonction de coût spécifique:

$$\text{Coût} = f \left(\begin{matrix} \text{longueur, vitesse, droit_accès} \\ \text{type_déplacement, hiérarchie} \end{matrix} \right)$$

$$= a \cdot \frac{\text{longueur}}{\text{vitesse}} + \text{droit_accès} \cdot 10^8 \\ + b \cdot \text{type_déplacement} \cdot 10^8 \\ + (\text{hiérarchie} / 10) \cdot \text{longueur}$$

La fonction fournit le coût correspond au temps de parcours. Afin de tenir compte des caractéristiques particulières des bâtiments, on ajoute des paramètres de façon à ce qu'ils pondèrent le coût attribué à l'arête en fonction de son attractivité. Les portes fermées reçoivent un coût élevé, de même que les escaliers lorsque l'on veut éviter qu'ils soient proposés à certaines personnes (déplacement en chaise roulante, personne avec un chariot). Ceci signifie qu'une arête infranchissable reçoit un poids très grand ce qui a comme conséquence le rejet d'un tel chemin.

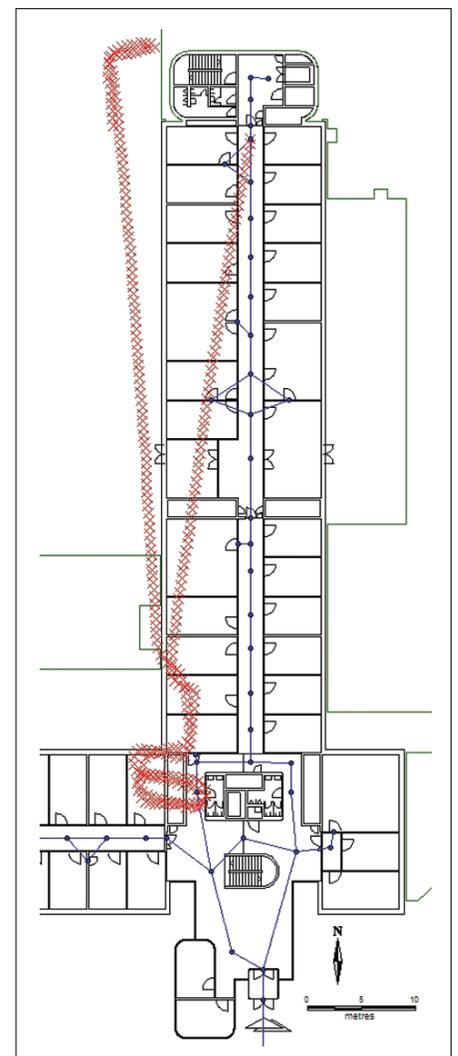


Fig. 3: Report du trajet initial (en rouge) avant les corrections d'alignement et d'échelle.

L'architecture d'un système de guidage des piétons en temps réel requiert un module de calcul d'itinéraire. Lors du guidage, il s'agit d'associer le trajet réellement parcouru avec l'itinéraire préalablement calculé.

Ces deux trajets sont comparés et en cas de disparité, des indications de guidage doivent être données à l'utilisateur pour qu'il rejoigne son chemin optimal. Ces informations dépendent fortement du mode de navigation (libre ou contraint) et de l'itinéraire proposé.

Map matching

Les positions issues du système de navigation composent la trajectoire réelle de la personne. La confrontation de ces positions avec le contenu de la base de données est réalisée par une fonction appelée «map matching». Littéralement, c'est la projection de l'estimation de parcours sur la carte.

Le défi dans le développement de cette fonction essentielle est lié à un environnement 3D et à la grande liberté de mouvement de l'utilisateur.

Dans la perspective du développement d'applications exigeantes, un algorithme de map matching, conçu pour l'environnement construit, devrait permettre d'augmenter la performance du système de navigation. Par exemple, les services de sécurité (pompiers) ont besoin d'un système de localisation indépendant de toute infrastructure.

En l'absence de signaux GPS, un système de navigation pédestre comme le PNM doit pouvoir contrôler périodiquement sa position avec une référence. En effet, les capteurs intégrés dans le système subissent une dérive temporelle qui doit être corrigée, notamment par une position fixe. Ainsi le processus de map matching associé à la base de données de navigation identifie régulièrement des positions caractéristiques (croisement de couloirs) et fiables. Ces informations sont utiles pour un auto calibrage du PNM et contribuent à une localisation robuste à l'intérieur des bâtiments.

Algorithme

L'algorithme développé utilise une combinaison d'une comparaison «point à point» et «point à arête». De plus, il s'appuie sur une pondération afin de trouver la solution la plus probable en fonction de différentes conditions [4].

Le map matching est initialisé lorsque la longueur des pas de la personne diminue: approche d'une jonction, changement d'étage, début et fin du trajet. Cette phase d'initialisation est caractérisée par un matching «point à point», qui permet à l'algorithme de chercher dans la base de données le nœud le plus proche qui représente le nœud initial de diverses arêtes qui peuvent se trouver sur le trajet de la personne.

Ensuite l'arête la plus probable est cherchée avec les conditions suivantes:

- situation sur le même étage;
- localisation optimale;
- relation de proximité suffisante;
- degré de parallélisme élevé par rapport au vecteur formé par deux positions consécutives du piéton.

Les deux premières conditions doivent être remplies dans tous les cas. Afin de trouver l'arête qui répond le mieux aux autres conditions, on introduit un système de poids. Un premier poids est appliqué à la condition de proximité, un deuxième à la similarité de l'orientation. Finalement l'arête la plus probable est celle avec le poids total le plus élevé.

Grâce au choix approprié des facteurs de pondération, on arrive à prendre en compte le comportement spécifique des piétons et les caractéristiques du réseau de navigation à l'intérieur des bâtiments.

Tests du système

Le campus de l'EPFL, choisi comme zone d'étude, permet de tester en vraie grandeur des scénarios de déplacements typiques d'un environnement construit: couloirs, escaliers, ascenseurs, sorties et entrées de bâtiments.

Une série de trajets ont été parcourus par une personne équipée d'un PNM [3]. Lorsque la personne se déplace, le PNM enregistre une position à chaque pas, ce

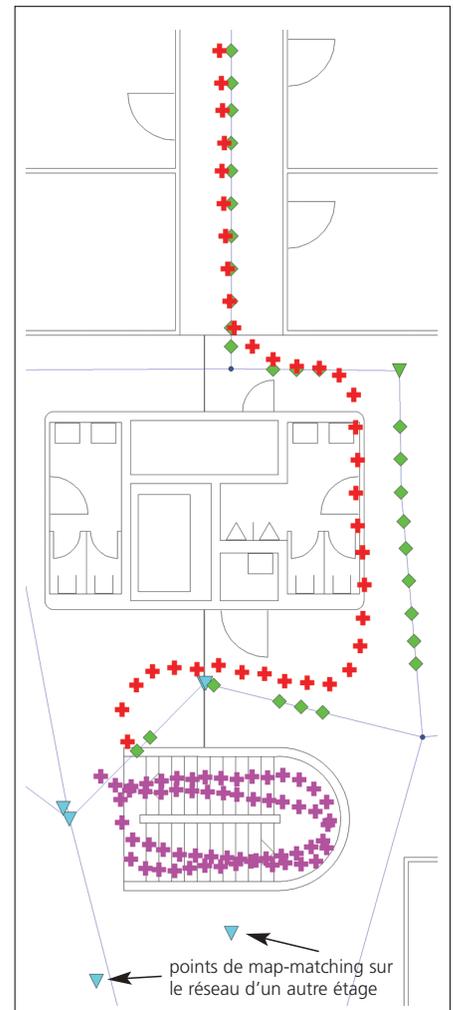


Fig. 4: Test de navigation sur le campus EPFL - Partie du trajet réel (croix) à l'intérieur d'un bâtiment (couloir, escalier) et résultat du map-matching (losanges et triangles).

qui correspond à environ une position chaque 70 cm. Lorsque l'utilisateur reste immobile (par exemple dans un ascenseur) les positions peuvent être enregistrées jusqu'à une fréquence de 4 Hz.

Le report graphique (fig. 3) des trajets bruts enregistrés à l'intérieur des bâtiments par le PNM montre le défaut d'alignement du capteur ainsi que le facteur d'échelle, lesquels ne sont pas encore compensés.

Dans ce test, le calibrage s'effectue par comparaison de la trajectoire initiale avec le contenu de la base de données de navigation.

Une fois la trajectoire calibrée globale-

ment, la procédure de map matching permet de projeter les positions issues du PNM sur les éléments de la base de données (nœuds, arêtes) du campus de l'EPFL (fig. 4).

La figure 4 montre que les résultats du map matching dans les couloirs sont tout à fait satisfaisants. Les changements de direction sont bien détectés grâce à la grande similitude entre le trajet réel et le réseau de navigation.

Par contre, quelques points du parcours ont été projetés sur le réseau d'un autre étage aux abords des escaliers (triangles sur la fig. 4). Cette petite imperfection montre que le modèle de navigation doit être affiné dans ces endroits stratégiques et que les algorithmes de map matching doivent également prendre en compte la variation d'altitude [5].

Conclusion et perspectives

Cet article a présenté les différentes parties d'une maquette d'un système de navigation pour l'environnement construit. Le modèle préconisé d'un réseau arête/nœud a permis d'implémenter des algo-

rithmes de navigation de manière efficace, en profitant des fonctionnalités de l'environnement informatique choisi. Ces algorithmes ont pu interagir avec un système de localisation afin de fournir une information de guidage fiable à l'utilisateur.

Les tests de la maquette avec des données de trajets réels d'une personne ont permis de valider le concept et certains algorithmes. Toutefois, des développements sont encore nécessaires pour améliorer la fiabilité du système selon les conditions particulières d'un environnement construit.

Avec l'objectif d'un traitement en temps réel, il reste plusieurs investigations à conduire, notamment dans le dialogue entre le PNM et la partie de map matching. Cependant, les bases d'un système de navigation pédestre pour l'environnement construit ont été établies et une grande diversité d'applications se dessine, en particulier celles touchant à la sécurité. A ce sujet, on peut mentionner quelques exemples comme les personnes handicapées physiquement, les malvoyants et les services de sécurité (pompiers, police, service de santé).

Références:

- [1] Gilliéron, P.-Y.; Ladetto Q. (2002): De l'évolution du GPS à la navigation pédestre, Flash informatique spécial 02, EPFL, pp. 3–11.
- [2] Ladetto Q. (2002): In Step with INS: Navigation for the Blind, Tracking Emergency Crews, GPSWorld, October 2002, pp. 30–38.
- [3] PNM Preliminary Technical Data, Vectronix AG, Heerbrugg, January 2004.
- [4] Gilliéron P.-Y., Spassov I., Büchel D., Merminod B. (2004): Indoor Navigation Performance Analysis, Proceedings of the ENC-GNSS 2004 conference, Rotterdam.
- [5] Büchel D (2004), Développement d'une solution de navigation robuste pour l'environnement construit, travail de diplôme EPFL.

Daniela Büchel
Pierre-Yves Gilliéron
EPFL
Laboratoire de Topométrie
Bâtiment GR
CH-1015 Lausanne
daniela.buechel@a3.epfl.ch
pierre-yves.gillieron@epfl.ch