

Aides électroniques pour le déplacement des personnes non-voyantes : vue d'ensemble et perspectives

Christophe Jacquet^{1,2}

^{1,2}Supélec
Plateau de Moulon
91192 Gif-sur-Yvette CEDEX
France
Nom.Prenom@supelec.fr

*Yacine Bellik*²

²LIMSI-CNRS
BP 133
91403 Orsay CEDEX
France
Nom.Prenom@limsi.fr

*René Farcy*³

*Yolaine Bourda*¹

³LAC
Bât. 405
91405 Orsay CEDEX
France
Nom.Prenom@lac.u-psud.fr

RÉSUMÉ

Dans cet article, nous présentons un panorama des systèmes actuels d'aide au déplacement des personnes aveugles ainsi que des perspectives pour les systèmes futurs. Nous commencerons par présenter les deux problèmes principaux soulevés par l'aide au déplacement des non-voyants : comment acquérir et présenter l'information. Nous expliquerons ensuite comment ces problèmes ont été traités par les appareils existants et nous décrirons les techniques utilisées pour les résoudre : infrarouges, ultrasons ou laser pour la capture de l'information ; utilisation des modalités tactile et sonore pour sa présentation. Enfin, nous introduirons des idées et des résultats récents concernant une nouvelle génération de dispositifs sensibles au contexte et à la sémantique, qui fournissent des informations de plus haut niveau et beaucoup plus riches que les systèmes actuels.

MOTS-CLÉS : Autonomie, Cécité, Aide au déplacement, Sensibilité au contexte, Aides électroniques au déplacement

ABSTRACT

In this paper, we present an overview of current electronic locomotion aids for the blind and perspectives for future systems. We start with the two main issues raised by locomotion assistance for the blind : how to capture and present information. Then, we explain how these issues have been dealt with in existing devices, and we describe the techniques that have been used to solve them : infrared, ultrasonic and laser sensors to capture information ; tactile and audio modalities to present information. After that, we expose some current ideas and results about

a new generation of context-aware, semantics-enhanced locomotion assistance devices, that are expected to provide higher-level information than current ones do.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS : J.3 [Life and Medical Sciences]: Health; I.6.3 [Simulation and modeling]: Applications

GENERAL TERMS : Human factors

KEYWORDS : Autonomy, Blind People, Locomotion Assistance, Context-Awareness, Electronic Travel Aids

INTRODUCTION

D'après l'Organisation Mondiale de la Santé, il y a 45 millions de personnes aveugles dans le monde. Bien que ce chiffre ne corresponde qu'à environ 1% à 2% de la population des pays industrialisés, il convient de ne pas le négliger et de se pencher sur les problèmes que les non-voyants rencontrent dans leur vie quotidienne.

En particulier, ceux-ci sont confrontés à de grandes difficultés pour se déplacer en ville, où les rues, les transports publics et les centres commerciaux représentent des environnements hostiles en perpétuel changement. En conséquence, les personnes aveugles peuvent se sentir en situation de danger lorsqu'elles se déplacent seules, ce qui limite leur autonomie.

En effet, si les non-voyants connaissent bien en général le parcours pour se rendre dans quelques endroits connus, ils ne peuvent cependant pas prévoir à l'avance les obstacles inopinés qui pourraient se présenter. Au final, la peur de l'inconnu les conduit souvent à restreindre leur univers à un petit nombre d'endroits familiers. Ils n'osent pas s'aventurer ailleurs, ce qui limite fortement leur liberté de déplacement.

Les chiens-guides constituent une aide précieuse pour éviter les obstacles et trouver son chemin en environnement inconnu, mais ils sont très onéreux : le coût par binôme personne-chien est compris entre 15.000 et 30.000 euros. En dépit du soutien financier de certaines associations comme le Lions Club, rares sont les aveugles qui

peuvent disposer d'un chien-guide en pratique, alors que les demandes sont nombreuses.

On peut alors se demander pourquoi les chiens-guides sont si utiles. La principale raison est qu'ils perçoivent les obstacles à distance, et peuvent ainsi anticiper les manœuvres d'évitement. Les aveugles qui utilisent la classique canne blanche ne peuvent percevoir les obstacles silencieux qu'au bout de leur canne, donc leur capacité d'anticipation s'en trouve très limitée [7].

Le chien peut améliorer leurs performances d'anticipation, ce qui conduit directement à des trajectoires plus fluides, à des déplacements plus aisés, et à une bien plus grande confiance en soi [1].

De même, l'idée à la base des systèmes d'aide au déplacement est de fournir des informations aux utilisateurs *à l'avance*, de façon à leur donner la capacité à *anticiper* la présence d'obstacles et à adapter leur comportement en conséquence.

Il est important de préciser que la canne blanche n'est pas seulement un outil utile à la détection des obstacles ; c'est aussi un moyen qui permet aux aveugles d'être identifiés comme tels par les personnes voyantes. En conséquence, tous les dispositifs d'aide au déplacement des aveugles doivent être conçus pour être des compléments, et non des substituts, à la canne : comme ce ne sont pas des indicateurs sociaux de cécité, ils ne peuvent pas prétendre la remplacer.

TECHNIQUES EXISTANTES

Les systèmes d'aide à la navigation doivent résoudre deux problèmes différents. D'une part, ils doivent acquérir des informations sur le contexte, en général des informations de distance. En effet, comme leur objectif premier est d'avertir les utilisateurs des obstacles qui se trouvent sur leur chemin, ils doivent être capables de mesurer la distance entre l'utilisateur et les obstacles.

D'autre part, ils doivent présenter cette information aux utilisateurs. La méthode de présentation doit être adaptée à des non-voyants, et doit convenir à une utilisation continue.

Plusieurs aides électroniques au déplacement ont été proposés. Nous avons étudié les caractéristiques de quelques-uns d'entre eux que nous jugeons représentatifs des techniques disponibles. Nous présentons ci-dessous les deux problèmes soulevés et les solutions envisagées.

Capture de l'information

Tous les dispositifs actuels capturent des informations de distance. Ils utilisent pour cela diverses variétés de télémètres et de proximètres.

Capteurs infrarouges. Les capteurs infrarouges sont caractérisés par leur ouverture angulaire assez importante (20°), ce qui permet la détection d'obstacles dans la direction générale de déplacement de l'utilisateur. Cependant, leur portée est limitée à quelques mètres, ce qui réduit leurs capacités d'anticipation.

Le Tom Pouce (fig. 1), développé par le LAC¹, est un proximètre à infrarouges qui peut détecter les obstacles à une distance de 0,5, 1,5 ou 3 mètres. Les utilisateurs peuvent sélectionner la portée voulue à l'aide d'un interrupteur à trois positions. Ainsi, ils peuvent détecter des objets soit très proches, soit plus éloignés, en fonction de leur tâche courante, par exemple suivre un couloir ou essayer de trouver une porte dans un mur.



Figure 1 : Photo du Tom Pouce.

Capteurs à ultrasons. Les capteurs à ultrasons ont à peu près les mêmes caractéristiques que les capteurs à infrarouges, que ce soit en termes de portée ou d'ouverture angulaire.

Le Miniguide² et le Polaron³ sont des exemples d'aides au déplacement qui utilisent des capteurs à ultrasons pour détecter les obstacles.

Les deux appareils peuvent être configurés pour détecter des obstacles à différentes distances. La portée peut être réglée à 0,5, 1, 2 ou 4 mètres pour le Miniguide, et à 1,2, 2,4 ou 4,8 mètres pour le Polaron.

Le Miniguide possède deux capteurs qui doivent être positionnés l'un au-dessus de l'autre pour un fonctionnement correct, d'où des contraintes pour l'utilisateur. Le Polaron évite ce problème grâce à une sangle à passer autour du cou qui permet le port du système sur la poitrine, de façon à le maintenir en permanence dans une position optimale.

Télémètres à laser. Un bon exemple de télémètre à laser est le Téléact 1 [4], développé par le LAC. Il s'agit d'un pointeur laser qui s'utilise en complément de la traditionnelle canne blanche.

¹Laboratoire Aimé Cotton

²Le Miniguide est un produit de la société australienne GDP Research, voir <http://www.gdp-research.com.au>.

³Le Polaron est un produit de la société Nurion-Raycal, voir <http://www.nurion.net/polaron2.htm>

Dans le dispositif, une diode laser émet un rayon rouge (670 nm). La distance à l'obstacle rencontré par le rayon est mesurée avec une précision de l'ordre de 1% dans la plage 10 cm – 10 m (voir fig. 2). Pour des raisons de sécurité oculaire, la puissance du rayon est limitée à 1 mW (dispositif laser de classe II). Ainsi, les passants ne courent pas de risque, même si l'utilisateur aveugle dirige le rayon dans leurs yeux par erreur.

Les capacités dites de *proprioception* permettent d'interpréter les informations fournies par l'appareil. Par exemple, on est en permanence conscient de la position de ses bras, même les yeux fermés. De la position de ses membres ainsi connue intuitivement, on déduit facilement la direction de l'appareil, et donc l'endroit où se situe l'obstacle détecté.

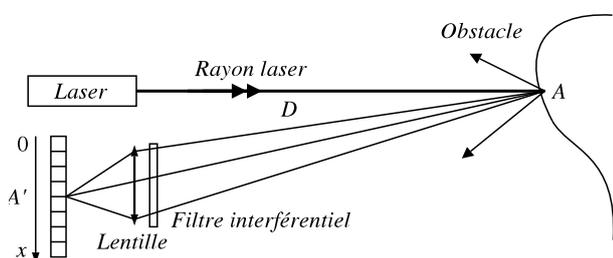


Figure 2 : Principe de base du télémètre du Télétact 1.

Le Lasercane N-2000⁴ est assez similaire au Télétact 1. Cependant, le Lasercane est intégré dans une canne blanche traditionnelle, tandis que le Télétact 1 peut se fixer ou se détacher de la canne. Dans les deux cas, on peut utiliser la canne de façon habituelle, sans activer le dispositif électronique.

L'autre différence réside dans la portée des appareils : le Télétact 1 porte à 10 m, contre seulement 3,65 m pour le Lasercane N-2000.

Discussion. Les dispositifs à infrarouges ou ultrasons sont plus faciles à utiliser que les appareils à laser car ils ont une plus grande ouverture angulaire : il suffit juste de pointer devant soi pour détecter les obstacles. À l'inverse, les systèmes à laser ont un faisceau très fin, donc les utilisateurs doivent balayer leur environnement de gauche à droite et de droite à gauche, ce qui requiert un apprentissage et de bonnes capacités de proprioception.

Les capteurs à laser souffrent d'un autre défaut : leur rayon laser à 670 nm ne peut pas en général détecter les fenêtres propres parce qu'il traverse le verre sans être réfléchi, et ce sont les objets situés *derrière* les fenêtres qui sont détectés. Les voitures noir métallisé posent le même problème. Ceci crée une gêne certaine pour les utilisateurs.

⁴Le Lasercane N-2000 est un produit de la société Nurion-Raycal, voir <http://www.nurion.net/lasercane.htm>.

Cependant, les capteurs à laser sont bien plus précis que ceux basés sur les infrarouges ou les ultrasons, ce qui leur confère un avantage certain. C'est pourquoi les concepteurs du Télétact 1, en collaboration avec le LIMSI⁵, ont mis au point une nouvelle version de leur appareil, qui utilise un proximètre à infrarouges en complément du télémètre à laser original.



Figure 3 : Photo du Télétact 2.

Le nouveau dispositif, appelé Télétact 2 (fig. 3) est équipé d'un puissant proximètre super-luminescent à infrarouges sur 950 nm [3]. Lorsqu'il y a simultanément détection proximétrique et télémétrique, le système ne transmet que l'information du télémètre. Mais lorsqu'il ne reçoit que le signal du proximètre, il envoie à l'utilisateur le signal d'"approche de fenêtre". Le proximètre fonctionne jusqu'à 3 mètres, et fournit une détection fiable des fenêtres et des surfaces noires jusqu'à 2 mètres.

Présentation de l'information

Une fois que l'information de distance a été mesurée, le dispositif doit la présenter à l'utilisateur sous une forme adaptée. Les systèmes existants utilisent des interfaces sonores ou tactiles.

Interfaces sonores. Le Lasercane N-2000 met en œuvre une interface sonore très simple : le système utilise simplement un haut-parleur qui émet un signal quand un obstacle se trouve devant l'utilisateur. Comme l'appareil possède aussi une interface tactile (voir ci-dessous), les signaux sonores peuvent être désactivés dans les endroits où le bruit est importun (par exemple : musées, théâtres, etc.)

Ainsi, le système fournit une information du type *tout ou rien* sur la présence d'obstacles. S'il y a un signal, l'utilisateur doit s'arrêter. À l'inverse, en l'absence de signal, il peut continuer à avancer.

Pour transmettre une information de distance plus précise, le Télétact 1 utilise 28 notes de musique différentes, qui correspondent à 28 intervalles de distance (plus la fréquence est élevée, plus la distance est courte). Les 28 intervalles de distance sont inégaux : ils sont plus petits à

⁵Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur

faible distance, car on a besoin de plus de précision pour les obstacles très proches.

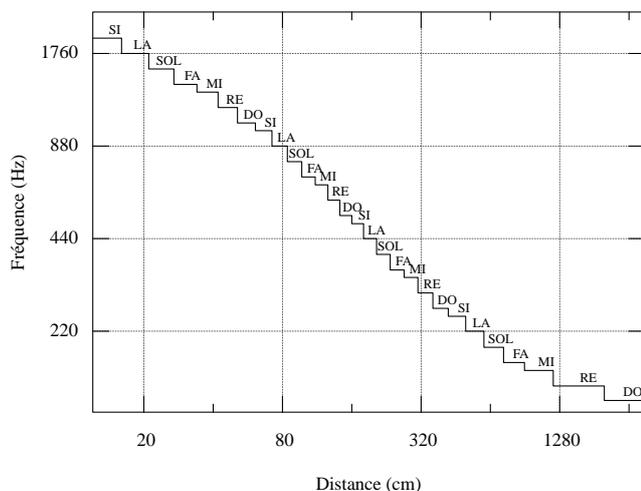


Figure 4 : Correspondance entre les notes de musique et les intervalles de distance (échelles logarithmiques).

Le télémètre a une précision d'environ 1% pour les mesures de distance. C'est donc le nombre de notes disponibles qui constitue un facteur limitant pour la précision et non le dispositif télémétrique en soi. Le Télétact utilise des sons de flûte sur quatre octaves de la gamme majeure (de 131 Hz à 2,1 kHz). De cette façon, il existe 28 notes utiles, affectées à 28 intervalles de distance de largeur inégale dans la gamme 10 cm – 13 m (voir fig. 4).

Pour obtenir le profil des obstacles en face de soi, il faut balayer l'environnement de gauche à droite et de droite à gauche. Il est plus important d'interpréter la signification de la "mélodie" générée par le profil de l'environnement que de réussir à reconnaître les notes émises.

Les utilisateurs doivent donc développer des capacités d'interprétation des mélodies avant de pouvoir reconnaître les mélodies associées à des motifs courants comme des couloirs, des escaliers, etc. Dans cet objectif, des séances de formation ont été mises en place pour former les nouveaux utilisateurs à tirer pleinement parti de leurs Télétacts.

Pour éviter une confusion entre les sons émis par le Télétact et les éventuels bruits environnants (par exemple, venant d'une rue, ou de la foule), le Télétact utilise des écouteurs dont on peut régler le volume à tout moment afin de toujours bien distinguer le signal. De plus, cette solution présente l'avantage de ne pas perturber l'environnement.

Après la formation nécessaire, cinquante personnes aveugles ont essayé le Télétact 1 avec succès, et l'utilisent

pour détecter des obstacles, éviter des trous, trouver leur chemin entre des murs parallèles, etc.

Le Miniguide a des caractéristiques similaires. La version sonore utilise un signal dans des écouteurs pour indiquer la distance de l'objet le plus proche : plus le signal est aigu, plus l'objet est proche. La résolution en distance de l'interface sonore peut être réglée à 2 cm ou 20 cm, ce qui est utile aux personnes qui préfèrent un retour d'information simple. Pour trouver les ouvertures, il est possible de réduire la sensibilité du système. Enfin, il existe des modes spéciaux dits de "vigilance" qui consomment très peu d'énergie et permettent de détecter les personnes qui approchent dans un intervalle de deux mètres.

Interfaces tactiles. L'interface sonore a des défauts divers. Réussir à différencier les notes de musique dans la rue n'est pas un problème, grâce en particulier aux écouteurs et au volume réglable. Mais lorsque le bruit ambiant fluctue constamment, il faut sans cesse modifier le volume, et il est très difficile dans ce cas de concevoir une commande automatique de volume efficace.

En outre, certaines personnes ont des difficultés à fusionner rapidement l'information sonore et l'information de proprioception (mouvement du poignet) pour en déduire les indications spatiales. Cette fusion doit devenir instinctive après apprentissage, car si elle reste consciente, l'utilisation du dispositif requiert alors trop de concentration mentale.

Pour obtenir des dispositifs silencieux et pour réduire la phase d'apprentissage, la plupart des systèmes proposent des interfaces tactiles, généralement en complément d'une interface sonore.

Pour illustrer ceci, examinons la nouvelle interface tactile proposée par le Télétact 2. Ce dispositif utilise des vibreurs situés sous les doigts de l'utilisateur. Des expériences ont été menées avec deux, quatre ou huit vibreurs.

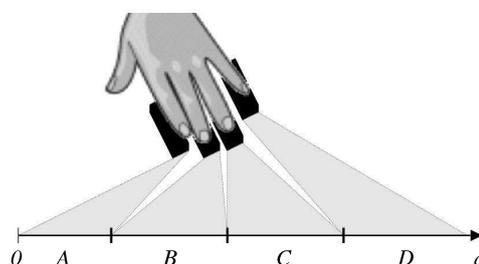


Figure 5 : Les quatre vibreurs correspondent à quatre intervalles de distance (A, B, C et D).

Le principe de cette méthode est très simple. Chaque doigt (sauf le pouce) est en contact avec un seul vibreur (fig. 5).

Appareil	Système de mesure	Modalité	Résolution	Intervalle	Ouverture angulaire	Autonomie	Temps d'apprentissage	Taille	Masse
Miniguide	ultrasons	tactile et sonore	2 cm	4 m	large	100 h	non évalué	55 mm × 35 mm × 16 mm	20 g
Polaron	ultrasons	tactile et sonore	binaire (absence ou présence d'obstacles)	1.2 m / 2.4 m / 4.8 m	large	inconnue	non évalué	27 mm × 50 mm × 162 mm	257 g
Lasercane N-2000	laser	tactile et sonore	trois niveaux	3.65 m	très étroite	inconnue	non évalué	intégré à une canne	450 g (avec canne)
Tom Pouce	infrarouges	tactile	binaire (absence ou présence d'obstacles)	0.5 m / 1.5 m / 3 m	20°	40 h	3 à 4 mois (10 à 20 séances)	55 mm × 75 mm × 17 mm	90 g
Téléact 1	laser	sonore	28 niveaux	10 m	≪ 1°	1 h 30 min	6 mois (30 heures)	200 mm × 100 mm × 50 mm	450 g
Téléact 2	laser et infrarouges	tactile and sonore	28 ou 4 niveaux †	10 m	≪ 1° ou 20° ‡	15 h	6 mois (30 heures)	170 mm × 50 mm × 20 mm	180 g

Tableau 1 : Résumé des caractéristiques des dispositifs. † 28 niveaux avec l'interface sonore, ou quatre niveaux avec l'interface tactile ; ‡ l'ouverture angulaire est ≪ 1° à longue distance (capteur à laser), ou ≈ 20° à courte distance (capteur à infrarouges).

Chaque vibreur correspond à un intervalle de distance. Si un obstacle est détecté dans l'un des quatre intervalles, alors le vibreur correspondant est activé.

Le principe du Lasercane N-2000 est similaire, mais il stimule seulement l'index.

Le Miniguide recourt à une approche différente. Dans sa version tactile, les distances sont matérialisées par la vitesse des vibrations.

Discussion. L'utilisation de l'interface tactile semble plus facile, car la perception est plus directe et plus intuitive. C'est pourquoi les débutants préfèrent généralement cette interface. Cependant, les personnes habituées à l'interface sonore estiment qu'elle est moins précise et refusent d'en changer.

En ce qui concerne le Téléact, les meilleurs résultats à ce jour ont été obtenus par des utilisateurs expérimentés avec l'interface sonore. En conséquence, les meilleurs utilisateurs ont tendance à choisir cette solution. Mais globalement, les performances des interfaces sonore et tactile ne sont pas si différentes, en dépit de la réduction du nombre d'intervalles de 32 à 4 dans le cas de l'interface tactile.

De plus, certains utilisateurs expérimentés commencent à accomplir avec l'interface tactile des tâches dont on croyait qu'elles n'étaient possibles qu'avec l'interface sonore (par exemple, suivre une personne dans la foule). Des expériences en cours vont certainement indiquer comment

ces interfaces peuvent encore être améliorées.

Cependant, il semble clair que les deux interfaces demandent une bonne représentation de l'espace chez l'utilisateur, ainsi qu'une bonne proprioception et une attitude active. Il faut en effet balayer l'environnement pour chercher les obstacles. Ceci est très difficile pour les aveugles de naissance en raison de leur manque de représentation spatiale.

Une longue période d'apprentissage est requise avant de pouvoir utiliser un dispositif d'aide au déplacement au quotidien, et les personnes âgées ont des difficultés supplémentaires (bien qu'il existe quelques exceptions).

Le principal avantage de ces dispositifs réside dans les bonnes capacités d'anticipation obtenues par les utilisateurs, ainsi que dans l'optimisation des déplacements. Les meilleurs résultats sont obtenus par des aveugles actifs âgés de 20 à 30 ans et qui ont vu auparavant.

Le tableau 1 présente un résumé des caractéristiques des dispositifs évoqués dans cette partie.

LE FUTUR

Grâce aux systèmes décrits ci-avant, les utilisateurs peuvent percevoir les obstacles à l'avance. Mais ces dispositifs ne permettent pas de répondre aux questions suivantes, pourtant fréquentes chez les non-voyants : "où suis-je ?", "quel est l'objet situé en face de moi ?", "comment me rendre à un endroit donné ?". Pour répondre à ces ques-

tions, un système d'aide au déplacement doit être capable de déterminer sa position, et de se repérer par rapport à un plan. En outre, les lieux visités, c'est à dire le contexte, doivent être modélisés de façon précise. Enfin, un tel dispositif doit être capable de déterminer le chemin à suivre pour se rendre en un lieu donné.

Dans cette section, nous passons en revue ce qu'il faut ajouter à un système de base existant, du genre du Télétact 2, pour résoudre ces problèmes. Ces derniers sont abordés dans le cadre de la conception d'un dispositif Télétact de troisième génération [6], développé en collaboration entre le LIMSI, Supélec et le LAC.

Détermination de la position de l'utilisateur

Pour répondre à la question "où suis-je ?", il faut disposer d'un plan des lieux visités, puis pouvoir se repérer par rapport à ce plan.

Description d'environnement. Les plans doivent permettre la description précise de l'environnement, c'est-à-dire des lieux visités par l'utilisateur. Dans un bâtiment, la structure regroupe les éléments architecturaux, comme les pièces, les murs, les escaliers, etc.

Dans le cadre du projet Télétact 3, nous avons commencé à concevoir un modèle pour les descriptions d'environnements, qui permet de représenter la *structure* des lieux à l'aide de relations d'inclusion et de composition (fig. 6)

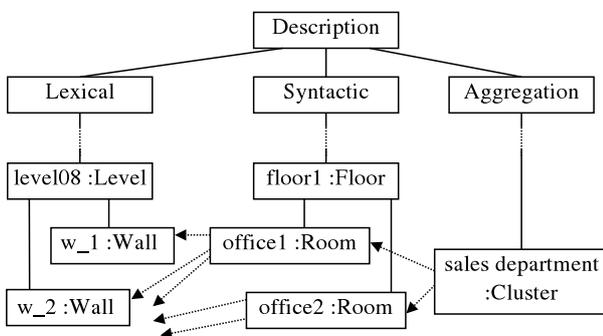


Figure 6 : Extrait d'un exemple de description de structure. Les objets appartiennent à trois couches (ici : colonnes) reliées par des *relations de composition* (traits pointillés avec des flèches). Au sein d'une couche donnée, les objets sont liés par des *relations d'inclusion* (traits pleins). Par exemple, une pièce est en même temps incluse dans un étage et composée de plusieurs murs.

Positionnement. Le GPS (Global Positioning System) constitue un moyen fiable de positionner l'utilisateur là où la réception GPS est possible, par exemple en extérieur dans des zones dégagées.

Cependant, il existe de nombreux endroits où la réception GPS n'est pas possible, par exemple à l'intérieur des bâtiments et dans des zones urbaines à forte densité [2]. Malheureusement, ce sont précisément les endroits où les

aides au déplacement seraient les plus utiles. Le système doit donc pouvoir déterminer la position des utilisateurs même lorsque les signaux GPS ne sont pas disponibles.

Lorsque la réception GPS est impossible, certains systèmes similaires, comme Cyberguide [9] se positionnent par rapport à des balises disposées dans les lieux visités. Plusieurs systèmes ont été proposés : par exemple, positionnement radiogoniométrique par rapport à des points d'accès WiFi, ou encore étiquettes numériques (RFID, identification radiofréquence).

Cependant, nous ne voulons pas ici imposer l'installation de balises dans les lieux visités. L'idée de base est alors d'utiliser une centrale inertielle, et d'estimer de façon incrémentale les positions successives de l'utilisateur : à chaque instant, le système essaie de déterminer sa nouvelle position en fonction d'une estimation de ses mouvements relatifs depuis le dernier calcul de position (pour ceci, on utilise des gyroscopes, une boussole et des accéléromètres intégrés dans la centrale inertielle). C'est ce que nous appelons le *positionnement relatif*. À l'inverse, lorsque la réception GPS est de bonne qualité, il est possible d'effectuer un *positionnement absolu* car le récepteur GPS peut calculer des positions géographiques absolues en fonction des signaux reçus.

Malheureusement, le positionnement relatif présente l'inconvénient d'être très sensible aux erreurs [5] : les positions calculées sont susceptibles de dévier lentement des positions réelles (accumulation d'erreurs). Pour surmonter cette difficulté, les méthodes de *map-matching* [11] [8] ont été proposées. Celles-ci reposent sur l'idée de restreindre les mouvements des mobiles le long de chemins bien définis sur une carte. Ainsi, il est possible de réduire les erreurs par déviation en calculant à chaque instant la position la plus probable de l'utilisateur le long d'un chemin et non dans chaque direction possible.

Bien entendu, il est impossible d'imposer de telles restrictions aux piétons aveugles, mais il est possible d'avoir recours à des capteurs afin de disposer d'informations contextuelles sur l'environnement. Par exemple, à partir des données télémétriques, on peut savoir si l'utilisateur longe un mur (et à quelle distance se situe le mur), ce qui restreint considérablement l'ensemble des lieux où il peut se trouver. Il devrait ainsi être possible d'effectuer des rapprochements par rapport au modèle, en s'inspirant des méthodes de *map-matching*.

Informations contextuelles

Lorsque l'utilisateur désigne la porte du bureau de son chef, les dispositifs actuels sont uniquement capables de signaler qu' "il existe un obstacle à trois mètres". Les utilisateurs souhaiteraient que les systèmes à venir puissent ajouter, par exemple, que "cet obstacle est une porte", et que "cette porte conduit au bureau du directeur".

Cela implique deux choses pour le système considéré :

- outre la description *structurelle* de son environnement que nous avons vue plus haut, il doit disposer d'*annotations sémantiques* sur cet environnement ;
- il doit pouvoir à tout instant extraire de la description courante une information *pertinente*.

Annotations sémantiques. Le modèle de représentation d'environnements dont nous avons déjà évoqué la facette "structurelle", permet en outre de lier à cette structure des descriptions sémantiques.

Il est ainsi possible de préciser des propriétés et des relations de plus haut niveau entre des objets physiques, des personnes, et des concepts plus abstraits.

Par exemple, à une pièce peuvent être associées des informations sur son propriétaire, son planning d'utilisation, son inventaire, ses restrictions d'accès, etc.

Niveau de détail. Un système qui utilisera de telles descriptions sera capable de déterminer où se trouve l'utilisateur, et quel objet ou quel lieu il désigne. Cependant, il lui faudra déterminer de quel *niveau de détail*, c'est-à-dire de quelle *granularité* l'utilisateur a besoin.

En effet, des informations trop générales sont inutiles, et des informations trop détaillées risquent de ne pas être compréhensibles si l'utilisateur ne dispose pas du contexte correspondant. Penchons nous sur un exemple pour illustrer cette situation.

Supposons que l'utilisateur soit situé au deuxième étage d'un laboratoire. À travers une fenêtre ouverte, il désigne un point situé dans un bureau d'un étage du bâtiment voisin. Quelle information faut-il lui fournir ? L'information correspondant à la pièce, à l'étage, au bâtiment, au campus... ?

Il est possible de représenter la scène sous forme arborescente [6]. Par un simple parcours d'arbre, on détermine alors une information correspondant à un *niveau de granularité par défaut* qui devrait convenir dans la plupart des cas. Cependant, il se peut que l'utilisateur souhaite obtenir une information située à un autre niveau. Dans ce cas, l'interface utilisateur doit proposer un moyen de choisir une information, soit plus générale, soit plus détaillée.

Acquisition des descriptions. On peut à raison se questionner sur la façon d'obtenir les descriptions d'environnements. Outre l'écriture *ex nihilo* des descriptions ou la conversion (automatique, assistée ou semi-assistée) à partir de descriptions (par exemple, plans d'architectes auxquels on ajouterait un niveau sémantique), il est envisageable de permettre le balayage des lieux avec le dispositif, de façon à construire un

modèle et étiqueter les objets à la volée.

Cette dernière méthode semble la plus prometteuse – mais également la plus difficile à mettre en œuvre. Elle permettrait aux aveugles d'utiliser leur appareil même dans les lieux qui ne disposent pas de description préétablie. Ils pourraient ainsi étiqueter l'environnement lors d'une première visite en compagnie d'une personne voyante (comme les aveugles le font souvent). À partir de ces données, le système calculerait un modèle partiel qui pourrait être réutilisé la fois suivante, ce qui conduit aux méthodes de *map learning* [5]. À chaque fois que le système reviendrait au même endroit, il affinerait son modèle en fonction des nouvelles informations acquises.

On peut même imaginer que les non-voyants qui visiteraient de nouveaux lieux pourraient partager leurs modèles partiels, de façon à ce que les autres puissent les utiliser et les améliorer à leur tour.

Aide à la navigation

Il s'agit ici d'être capable d'indiquer à l'utilisateur le chemin à suivre pour se rendre à un endroit donné. De tels systèmes ont d'ores et déjà été développés pour les personnes voyantes : ainsi, les systèmes de guidage pour automobilistes [10] se démocratisent.

Un dispositif qui connaît la description structurelle de son environnement peut aider ses utilisateurs à déterminer leur chemin vers une cible donnée. Il peut faire la liste des chemins possibles, et même déterminer ceux qui ont une certaine propriété intéressante, par exemple : le plus court, le moins susceptible d'être encombré, le plus sûr (du point de vue d'un aveugle), etc. Les critères d'évaluation des chemins sont donc à la fois structurels et sémantiques.

En général, les interfaces de navigation sont basées sur des modalités de sortie graphiques, mais pour les aveugles il est nécessaire de concevoir une interaction adaptée, car elle sera déterminante pour l'acceptation du système auprès des utilisateurs. Ainsi, on peut penser à des techniques multimodales combinant synthèse de parole, notes de musique, afficheurs Braille et vibrations tactiles qui donneraient accès à toutes les possibilités du système.

Synthèse : architecture générale

En résumé, le système (fig. 7) se positionne soit par GPS, soit grâce à une centrale inertielle. La position ainsi calculée est confrontée aux informations symboliques (descriptions d'environnements en termes structurels et sémantiques) de façon à augmenter sa précision et compenser les erreurs de positionnement.

La description de l'environnement peut être soit stockée dans le dispositif (par exemple, dans le cas de lieux récemment ou régulièrement visités par l'utilisateur), soit téléchargée sur un réseau sans fil.

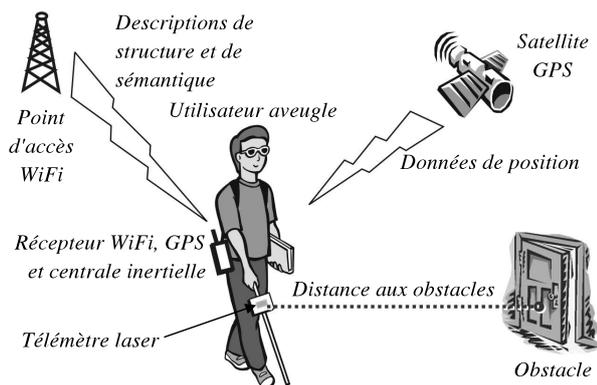


Figure 7 : Architecture du système.

Le système dispose de données contextuelles supplémentaires, par exemple grâce à des mesures télémétriques (comme celles fournies par le Télétact 2), ou à des capteur de luminosité qui donnent des informations sur les sources de lumière (lumière du jour, lumière artificielle) et qui peuvent parfois aider à lever certaines incertitudes.

Le système peut ainsi déterminer avec précision sa position et son contexte. Il est alors capable de fournir des informations pertinentes à propos du lieu courant ou d'un autre lieu désigné par l'intermédiaire d'un pointeur.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté les deux principaux problèmes soulevés par l'aide au déplacement pour les personnes aveugles : capture et présentation de l'information.

Nous avons dressé un bilan des techniques expérimentées jusqu'ici pour résoudre ces problèmes : capteurs infrarouges, ultrasons et laser pour l'acquisition de l'information ; interfaces sonores et tactiles pour sa présentation.

Plusieurs dispositifs d'aide aux aveugles sont actuellement disponibles. Dans ce contexte, le Télétact 2 constitue un bon compromis entre précision et utilisabilité : son interface tactile à quatre niveaux est plus facile d'utilisation qu'une interface sonore, tout en gardant une précision suffisante à la plupart des situations. De plus, son proximateur à infrarouges peut seconder le laser dans des conditions difficiles, de façon à maintenir une qualité de détection constante.

Les appareils similaires au Télétact 3 se démarqueront clairement des dispositifs actuels. Leur but n'est plus la simple mesure de distances, mais la localisation précise des utilisateurs dans leur environnement, et la présentation d'informations associées à ces environnements.

Ils introduiront de nouvelles fonctionnalités, permettant

aux utilisateurs de vraiment *savoir où ils se trouvent et trouver leur chemin*, et pas seulement d'éviter les obstacles comme le permettent les appareils actuels.

RÉFÉRENCES

1. Blash, B. B., and Long, R. G. Use or non-use of electronic travel aids in the united states. *Sixth International Mobility Conference*. (1991), The Spanish National Organization of the Blind, Ed.
2. Chao, J., Chen, Y., Wu Chen, X. D., Li, Z., Wong, N., and Yu, M. An Experimental Investigation into the Performance of GPS-based Vehicle Positioning in Very Dense Urban Areas. *Journal of Geospatial Engineering* 3, 1 (2001), 59–66.
3. Farcy, R., and Bellik, Y. Locomotion assistance for the blind. *Universal Access and Assistive Technology*. Springer (2002), S. Keates, P. Langdom, P. Clarkson, and P. Robinson, Eds., 277–284.
4. Farcy, R., Denise, B., and Damaschini, R. Triangulating laser profilometer as a navigational aid for the blind: optical aspects. *Applied Optics* 35, 7 (1996), 1161–1166.
5. Fusiello, A., and Caprile, B. Synthesis of Indoor Maps in Presence of Uncertainty. *Robotics and Autonomous Systems* 22, 2 (1997), 103–114.
6. Jacquet, C., Bellik, Y., Bourda, Y., and Farcy, R. A context-aware locomotion assistance device for the blind. *Computers Helping People with Special Needs*. Springer (2004, to appear), K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagler, and D. Burger, Eds.
7. Jansson, G. The functions of present and future electronic travel aids for visually impaired children and adults. *Sixth International Mobility Conference*. (1991), The Spanish National Organization of the Blind, Ed.
8. Kitazawa, K., Konishi, Y., and Shibasaki, R. A Method of Map Matching For Personal Positioning Systems. *Proceedings of the Asian Conference on Remote Sensing ACRS 2000*. (2000).
9. Long, S., Kooper, R., Abowd, G. D., and Atkeson, C. G. Rapid Prototyping of Mobile Context-Aware Applications: The Cyberguide Case Study. *Proceedings of the 2nd annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM Press (1996), 97–107.
10. Philip, O. Car navigational systems: Futuristic systems. *2nd Annual CM316 Conference on Multimedia Systems*. (Southampton University, UK, 2002).
11. White, C. E., Bernstein, D., and Kornhauser, A. L. Some map matching algorithms for personal navigation assistants. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 8, 1–6 (2000), 91–108.