

障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
チェーン用柱	OFF	○	0.6メートル先 正面の方向に幅0.1メートルの突起があります 1.5メートル先 左20度前方に幅0.2メートルの突起があります

2箇所の障害物を同時に検知



障害物の種類	陥没検知状態	障害物検知	ガイダンス内容
街灯の柱	OFF	○	0.5メートル先 正面の方向に幅0.2メートルの突起があります

図 II.3-15 実証コースでの障害物検知結果 6

#### D. 考察

1. PDR についてはおおむね良好な結果を得ることができたが、PDR のハードウェアについては、さらなる小型軽量化、低コスト化が求められる。また、手法については、PDR センサモジュール内蔵の各センサのキャリブレーションやユーザごとの歩行パラメータのキャリブレーションの簡易化等が課題である。

PDR の視覚障害者対応に関しては、視覚障害者が置かれている状況を適宜取得する仕組み（たとえば機械学習による状況把握や利用者によるインタラクションなど）を導入することによって、視覚障害者にとってより広範囲な状況下で利用可能な自立歩行支援システムが構築できると期待される。

2. LRF による障害物検知についても主観評価を含め比較的よい結果が得られたが、各センサの非同期処理を考慮して PDR による重力方向追跡等に基づく LRF 情報の安定化性能を向上させ、LRF 情報履歴を用いた地形判定能力を高めることが課題の1つである。

また、LRF を小型軽量のものにしたため、レーザー光の出力が十分ではなく、日射のある屋外の黒いアスファルト等の路面では S/N 比が極端に悪くなるため、路面が欠落しているのか反射していないのかの判別がつかない。ハードウェア開発以外でのこの課題の解決方法としては、例えば、レーザー光の照射範囲を制限する代わりに1箇所辺りの S/N 比を上げるようなレーザー制御法の導入が考えられる。

#### E. 結論

PDR については、まず、簡易防水小型 PDR センサモジュールを試作し、実証コースにおいて、おおむね良好な結果を得た。従来は腰部に装着していたセンサを他の装置と共に胸部に装着した場合の検証、さらに、視覚障害者の歩行パターンが PDR アルゴリズムに適用可能かを石川代表を被験者として検証し、歩行動作推定パラメータの変更で対応できることがわかった。

LRF による障害物検知に関しては、PDR による重力方向追跡等に基づく LRF 情報の安定化機能を開発した。2~3m 前方の路面の障害物検知を行い、ユーザ位置の路面とおおむね同じ

高さの路面があるか、凹凸している可能性があるかを検出することができるかの性能評価を行い、83% (29箇所中 24 箇所) で障害物を検出し、端末に提示し、ユーザが認知) の精度が得られた。

## F. 研究発表

### 1. 学会発表

・ M. Kourogi, T. Ishikawa, Y., J. Ishikawa, K. Aoki, and T. Kurata, Pedestrian Dead Reckoning and its applications, In Proc. ISMAR2009 Workshop: Let's Go Out: Research in Outdoor Mixed and Augmented Reality,  
[http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor\\_ar](http://www.icg.tugraz.at/News/outdoor_ar)  
(2009).

# 障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

## 分担研究報告書

### 4. センサ統合と携帯端末ユーザインタフェースに関する研究

研究分担者 静岡県立大学 石川准、湯瀬裕昭

#### 研究要旨

画像認識、歩行者デッドレコニング、GPS、プレースエンジン、マップマッチング等を統合する「センサ統合技術」を開発した。また音声点字携帯端末上での歩行ナビゲーション情報と障害物検知情報の効果的提示方法を開発した。統合システム実証実験、統合システムモニタ実験を実施し定量的および定性的な性能評価、操作性評価を行った。

#### A. 研究開発目的

高マルチパス環境及び地下街で高精度の視覚障害者歩行支援を実現するために、画像認識、歩行者デッドレコニング、GPS、プレースエンジン、マップマッチング等を統合する「センサ統合技術」を開発する。

また音声点字携帯端末上での歩行ナビゲーション情報と障害物検知情報の効果的提示方法を開発する。

#### B. 研究開発方法

##### ■ 対象センサ

以下の各センサを統合の対象とした。

- ・GPS センサ
- ・プレースエンジンセンサ
- ・デッドレコニングセンサ
- ・シーンベース画像センサ
- ・ランドマークベース画像センサ
- ・RFID センサ
- ・画像障害物検知センサ
- ・LRF 障害物検知センサ
- ・仮想センサ

##### ■ 各センサの特性

各センサの特性は以下の通りである。

##### ◆ GPS センサ

人工衛星を用いる位置情報の測位が可能。地下街や屋内などの人工衛星の電波が届かない場所では利用できない。測位可能な情報は次の通り。

り。

- ・経度・緯度情報
- ・高度情報
- ・移動速度情報
- ・方位情報
- ・PDOP, HDOP 等の誤差情報
- ・衛星数, 各衛星電波の SN 比, 各衛星の仰角
- ・時刻情報
- ・測定できたかどうかの有無

##### ◆ プレースエンジンセンサ

無線 LAN(WiFi)の電波を受信し位置推定を行う。測位可能な情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・測定できたかどうかの有無

##### ◆ デッドレコニングセンサ

PDR には磁気センサ、加速度センサ、ジャイロセンサ、気圧センサが内蔵されており、PDR からの情報を取得する。

緯度・経度の位置情報の取得には、外部からの現在位置情報の付与(キャリブレーション)が必須である。測位可能な情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・方位情報
- ・気圧情報
- ・誤差情報
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ シーンベース画像センサ

シーン画像データベースと撮影画像とマッチングし、撮影位置情報を取得する。測位可能な情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・方位情報
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ ランドマーク画像センサ

ランドマークとして登録されている画像情報と撮影画像をマッチングし、撮影位置情報を取得する。測位可能な情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・方位情報
- ・ランドマークまでの距離,角度
- ・ランドマークの名称
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ RFID センサ

PDR に内蔵されているアクティブタグセンサの情報を取得する。PDR からは次の情報が取得できる。

- ・タグ ID
- ・タグまでの推定距離
- ・タグの信号強度
- ・測定できたかどうかの有無

タグ ID 情報を元に統合センサの内部に持つタグデータベースを検索し、検出されたタグの地点情報(経度・緯度)を取得する。

#### ◆ 画像障害物検知センサ

2 枚の連続する撮影画像を元に障害物検知を行う。画像障害物検知センサより取得できる情報は次の通り。

- ・障害物までの距離
- ・障害物の方向、角度
- ・障害物の横方向、縦方向の大きさ
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ LRF 障害物検知センサ

レーザーを用いて、下方向の障害物を検知する。障害物は地面からの突起および地面の消失の 2 種類の検知を行う。LRF 障害物検知センサより取得できる情報は次の通り。

- ・障害物までの距離
- ・障害物の角度
- ・障害物の形式(突起, 窪み)
- ・測定できたかどうかの有無

#### ◆ 仮想センサ

手動による位置情報の付与機能を仮想センサという形で実現している。仮想センサより取得できる情報は次の通り。

- ・経度・緯度情報
- ・方位情報
- ・移動速度
- ・各誤差情報
- ・測定できたかどうかの有無

#### ■ センサ統合処理のロジック

センサ統合処理は以下のように組み立てた。

センサ統合処理は複数のセンサ情報を集約し、最も正確と考えられる位置情報を取得する処理である。

センサ統合処理は 1 秒おきにくりかえし実行され、利用者の現在位置の提示に用いられる。センサ統合処理は大きく次の 3 つの処理を行う。

- ・センサ情報の集計
- ・マップマッチング
- ・デッドレコニングセンサに対する位置補正

また、画像センサに対する参照位置の提示もセンサ統合処理の 1 つとして行っている。

#### ◆ センサ情報の集計

位置情報を扱う各センサからは次の情報が取得できる。

- ・経度・緯度情報
- ・高度情報
- ・方位情報

- ・移動速度情報
- ・各誤差情報
- ・各測定値が得られたかどうかの有無

なお特性上、誤差情報が得られないセンサについては固定値を与える。

センサ統合処理では、経度・緯度情報、高度情報、方位情報、移動速度情報の4つの計測要素について、その計測要素を取得できるセンサの測定結果を集計し、この中から測定結果が得られかつ最も誤差情報が少ない結果を統合センサの統合結果とする。

#### ◆ マップマッチング

統合センサの位置情報に関する統合結果は、その後マップマッチング処理を行い、現在位置を推定する。歩行中と道案内中ではマップマッチングは異なる次のようなロジックで動作する。

##### ・歩行中

歩行中は単純な道路のメッシュデータに対するマッチング処理を行う。

##### ・道案内中

道案内中は道案内の経路を優先する方法でマップマッチングを行う。道案内ルートに対する優先度は優先範囲の距離を指定する。

実験の結果 20～30メートルを道案内ルート優先とするのが最も良いマップマッチング結果が得られている。

#### ◆ デッドレコニングセンサに対する位置・方位補正

デッドレコニングセンサは、基準位置情報を与えない限り、緯度・経度の情報が得られない。センサ統合処理ではデッドレコニングセンサに対して、自動的に基準位置情報の付与を行う。

さらにデッドレコニングセンサで計測された誤差情報よりも誤差の小さい計測結果がセンサ統合処理によって得られた場合には、新たな緯度・経度、方位を統合センサ側からデッドレコニングセンサに伝え、新たなデッドレコニングセンサの基準位置として動作させる。

なお、実験の結果、デッドレコニングセンサに対する位置補正はマップマッチング前の値を使用する方が良い結果が得られることが判っている。

#### ◆ 画像センサに対する参照位置の提示

ランドマークベースおよびシーンベース画像センサは、それぞれ画像データベースから、撮影画像に最も近い画像を検索する。この際、検索範囲をあらかじめ絞り込むことで計算処理の軽減が行える。

センサ統合モジュールから、ランドマークベース画像センサおよびシーンベース画像センサを呼び出す際には、直前のセンサ統合処理で得られた位置および方位情報を画像センサに渡し、画像センサ側はこの位置情報を元にして検索範囲の絞り込みを行う。

#### ■ 開発モジュール、サーバ、クライアント

##### ◆ ナビゲーション用モジュール

Windows PC と WinCE で動作する以下のナビゲーション用モジュールを開発した。

- ・ルート検索モジュール
- ・ルート案内モジュール
- ・仮想歩行モジュール
- ・マップマッチングモジュール
- ・住所検索モジュール
- ・施設検索モジュール
- ・電話番号検索モジュール

##### ◆ 統合サーバアプリケーション

PC で動作する以下の統合サーバアプリケーションを開発した。

- ・センサ情報集計機能
- ・マップマッチング機能
- ・デッドレコニングセンサに対する位置補正機能
- ・ルート検索、ルート案内、施設検索、方位確認、仮想歩行等のユーザインタフェース
- ・音声点字携帯端末との通信機能
- ・カスタマイズ機能
- ・ログ作成機能

◆ クライアントアプリケーション

音声点字携帯端末上で動作する以下のクライアントアプリケーションを開発した。

- ・ルート検索操作と検索情報提示
- ・ルート案内操作と案内情報提示
- ・施設検索操作と検索情報提示
- ・方位確認操作と情報提示
- ・障害物検知操作と検知情報提示
- ・仮想歩行操作と情報提示

■ 音声点字端末での情報提示方法

◆ ルート検索

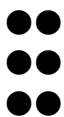
- ・出発地から目的地まで分岐点単位でリスト表示する。
- ・現在位置からルート上のスタート地点までの方位と距離を提示する。
- ・ルート上のゴール地点から指定された目的地までの方位と距離を提示する。

◆ 歩行中のルートガイダンス

- ・次分岐点の絶対方位、次分岐点までの距離、次分岐点の種類、次分岐方向、道路の傾斜の順に提示する。  
例：北東方向60メートル先、4叉路の分岐点を右折します。道は上りです。
- ・分岐点は、4叉路、T字路、Y字路、左3叉路、右3叉路のように区別する。
- ・ルート登場、分岐点接近、分岐点通過、目的地到着、ルートからの離脱、ルート逆送を示す効果オンを提示する。
- ・アルファベット1文字のホットキーにより付近の施設、方向、目的地の方向と距離、次分岐点の方向と距離、住所、補足衛星数、測位の信頼度等提示する。

◆ 障害物情報の点字ディスプレイ上の表示方法

点字は計6個の点を使って1文字を表現する。



障害物情報は点字ディスプレイ上に次のように提示する。

・ LRF 突起物



・ LRF 陥没



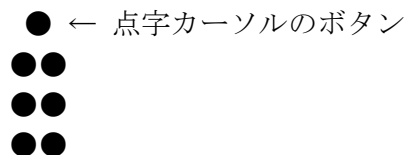
・ 画像障害物



点字 PDA (ブレイルセンスプラス) は 32 マス分の点字セルがある。これを、前方 60 度の範囲角の検出結果に対応させる。たとえば、正面 -10 度 ~ +10 度の範囲に障害物が検知されるとすると、20 度の範囲なので、点字セルの中央の 10 セル分に、障害物を示す点字が表示される。

障害物が見つかったと、効果音の後に「障害物が見つかりました」という音声とともに点字による障害物情報が表示される。

各点字セルの真上には、押しボタンが用意されており、これを点字カーソルと呼ぶ。



障害物が検知された際に、各障害物(複数の障害物が見つかることもある)を示している点字の真上の点字カーソルのボタンを押すと、その障害物に関する詳しい情報が音声でレポートされる。

突起物検知の例

1.3 メートル先 左 5 度前方に幅 0.9 メートルの突起があります

障害物情報は、音声点字端末のスペースキーを押すことで、通常のガイダンス内容の情報提



示に切り替わる。

#### ◆ 音声合成の情報提示方法

研究に利用した音声点字端末にはスピーカが内蔵されている。しかしボリュームを最大にしても、今回実験に利用した場所では環境雑音にかき消され端末音声の聞き取りが不可能であった。

一方、イヤホンや骨伝導イヤホンによる利用は、利用者が他の周辺の音情報が聞き取りにくくなり安全面で問題がある。エコーロケーションを利用して歩行する視覚障害者にとっては周囲の音情報の聞こえ方が変わってしまう問題は、非常に深刻である。

そこで、肩に取り付けたスピーカを通じて、音声点字端末からの音声情報を流す工夫をおこなった。モニタ被験者からは、この方法が一番負担が少ない旨のコメントが得られた。

#### ■ 実証実験、モニタ実験

##### ◆ 実験機の試作

- 筑波大学と共同で音声点字端末、カメラ、LRF、PDR を装着するハーネスを試作した。各種機器を装着した状態のハーネスを図Ⅱ.4-1 に示す。
- 音声点字端末な計算処理能力が非力であるため画像認識等の計算負荷に耐えられないため、PC 上に統合サーバを構築し、各センサの計算処理はすべて PC で行い、音声点字端末にはユーザインタフェースのみ実装した。
- PC は背中に背負うリュックに格納する形式とした。
- PC と端末の ad hoc 通信機能等音声点字携帯端末のファームウェアの改良を行った。



図Ⅱ.4-1 ハーネス

#### ◆ 地図データの整備

各社よりライセンスされるカーナビ等で利用されている車用地図データは、情報のきめ細かさの点で歩行支援には向かない。

一方、歩行者用地図データは現在整備が進行中である。

今回、本システムのために、八重洲地下街地下1階および東京駅構内地下1階、2階、3階の歩行者用の地図データの整備を行った。

駅構内の歩行者用地図データは改札内も含み、通路、階段、エスカレーター、エレベーター、男性トイレ、女性トイレ、男女トイレ、バリアフリー対応トイレ、ロッカー、券売機、みどりの窓口、改札口、コンビニ、キオスク等の情報も整備した。また、従来の地図形式では地下の階数の区別を行うことができなかつたため、新たに地下や地上の階数を区別する地図データ形式の拡張を行い、階数の区別を経路検索に反映させる拡張も行った。

さらに、昭文社およびゼンリンの地図データのライセンス提供を受け、2つの歩行者用地図情報の違いについても実験コースを中心に調査をおこない、歩行支援システムの基礎データとしての妥当性についての評価を行った。また画像データベース入力支援システムで用いる地下街背景図も整備した。

#### ◆ 実験コース

本研究では GPS が使えない地下街や、GPS

の測位結果に大きな誤差が生じる高マルチパス環境でも利用できる視覚障害者向け歩行支援システムを開発するのが目的である。

実証実験コースについては、両方の要素を合わせ持つ歩行コースを選定し、実際に実証実験、モニタ実験で利用した。図II.4-2に実験コースの概要を示す。

実験コースは、東京駅近くの八重洲地下街の地下1階を出発地点とし約250m地下街を歩く。地下街は音響反射が混合し全体に拡散するため、視覚障害者には道路と店舗と壁の区別すら難しい最も歩きづらい場所である。

次に、中央通りの付近で地下街から地上に出て、高島屋日本橋店まで約250mのビル街を歩く。中央通りとさくら通りの交差点付近から高島屋日本橋店付近にかけては激しいマルチパスが発生し、GPSの測位結果が非常に悪い。また看板は少なく、街並はこれといった特徴の少ないオフィス街であり画像認識の難しい区間である。

最後に、高島屋日本橋店からさくら通りを通り、東京駅八重洲北口までの約300mを歩く。さくら通りは雑居ビルが多く建ち並び、店舗が密集した地域で、車道は一方通行で、歩道も歩きづらい。また、東京駅寄りにグラントウキューウノースタワーや丸の内トラストタワーのような高層ビルが立ち並ぶため、さくら通りはGPSの測位結果が大きくずれることが多い。



図II.4-2 実験コースの概要



実験コースの測位環境の劣悪さは、図Ⅱ.4-3、  
図Ⅱ.4-4、図Ⅱ.4-5の2月20日実証実験のログに  
示されている。図中の赤線はGPSの測位データ、

青線はPlaceEngineの測位データ、黄緑線はRFID  
受信データである。



図Ⅱ.4-3 測位データログ 1



図Ⅱ.4-4 測位データログ 2