

コンシューマ・システム論文

UHF帯RFIDを用いた視覚障がい者向け 歩行者ナビゲーションシステムの開発と展示会への適用

山下 晃弘^{1,a)} 佐藤 佳² 佐藤 俊太² 川口 正太郎³ 松林 勝志¹

受付日 2016年6月30日, 採録日 2016年10月31日

概要: 視覚障がい者にとって、訪問経験のない場所での移動はきわめて困難である。一般的には、スマートフォンやタブレット端末の普及によって、ナビゲーションアプリの利用が普及しているものの、それらは目が見えることが前提で設計されているため、視覚障がい者が利用するのは難しい。そこで著者らは、UHF帯RFID技術を利用した、視覚障がい者向けナビゲーションシステムの開発に取り組んできており、これまでに駅前ロータリの点字ブロック下に埋め込んだRFIDタグを利用したナビゲーションなどについて実証実験を重ねてきた。本研究では、これまで開発してきたナビゲーションシステムを、屋内展示会会場の特定のエリアに適用し、展示会会場での視覚障がい者の案内や、展示ブースの紹介に応用を試みた。本稿では、開発したシステムについて述べるとともに、実際に屋内展示会に適用した結果について報告する。

キーワード: 視覚障がい者, 歩行者ナビゲーション, RFID, 位置推定

Development of a Pedestrian Navigation System with UHF-band RFID for the Visually Impaired People and Its Application to an Exhibition

AKIHIRO YAMASHITA^{1,a)} KEI SATO² SYUNTA SATO² SHOTARO KAWAGUCHI³
KATSUSHI MATSUBAYASHI¹

Received: June 30, 2016, Accepted: October 31, 2016

Abstract: It is extremely hard for the visually impaired people to walk strange places because it is very difficult to know where they are and the direction to move toward the destination. The current navigation system is not easy to use for them because it is developed for sighted people. Against such a background, we have developed a pedestrian navigation system for the visually impaired which is based on the high precision positioning by UHF band RFID and QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) called Michibiki. In addition, we had tried to perform several substantive experiments with RFID embedded in braille blocks in front of a station for example. In this paper, the system architecture and its fundamental performance evaluations are introduced, and the experimental results of substantive experiments of the system at an indoor exhibition event are also reported.

Keywords: visually impaired people, pedestrian navigation system, RFID, position estimation

¹ 独立行政法人国立高等専門学校機構東京工業高等専門学校情報工学科

Department of Computer Science, National Institute of Technology, Tokyo College, Hachioji, Tokyo 193-0997, Japan

² 独立行政法人国立高等専門学校機構東京工業高等専門学校専攻科機械情報システム工学専攻

Advance Department of Information and Mechanical Systems Engineering, National Institute of Technology, Tokyo College, Hachioji, Tokyo 193-0997, Japan

³ 電気通信大学大学院情報理工学研究科

Education Graduate School of Informatics and Engineering,

1. はじめに

平成27年度の厚生労働白書によれば、現在、日本の視覚障がい者の数は全国で約31万人であり、障がい者全体の約8%である[1]。視覚障がい者の人口そのものは、ここ10年ほどは変わっていないが、高齢化とともに、進行性の視

The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

^{a)} yamashita@tokyo-ct.ac.jp

覚障がい者が増加すると予想されている。先天性の視覚障がい者に比べ、一定年齢を超えてから視覚障がいになった場合、日常生活を送るハードルがいっそう高くなるのが現状である。そうした中でも特に重要な問題としてあげられるのが、外出時の問題である。視覚障がい者は、外出する際に白杖の携帯、または盲導犬の同伴が法律で義務付けられており、自ら安全を確保しながら歩行する。しかし、訪れたことのない場所へ1人で出かけることは、現在の環境では困難であるといわざるをえない。その原因の1つは、白杖や盲導犬はナビゲーション機能を持たないため、道案内を受けられないことである。

スマートフォンやタブレット端末の普及で、健常者向けの歩行者ナビゲーションシステムは急速に普及した。視覚が利用できる健常者は、一定の誤差を含むナビゲーションであっても状況を確認しながら目的地へ到達可能である。しかし、視覚障がい者をナビゲーションする場合はより高精度な位置測位が必要である。著者らが実際に3名の視覚障がい者に対して、「どの程度の位置測位精度が必要であると考えているか」というヒアリング調査をした結果、障害物を白杖などで回避しながら歩行するため、少なくとも白杖が届く程度の範囲での位置推定精度が望ましく、また、通路の左右どちら側を歩行しているかという情報も重要である、という回答を得た。先行研究である、YRP ユビキタス・ネットワークング研究所および日本電気株式会社による総務省委託研究開発の成果 [2] によれば、屋内商業施設における視覚障がい者ナビゲーションの実証実験の結果、1~2m 程度の位置測位精度が必要と結論付けている。また、清水建設と IBM 東京基礎研究所による視覚障がい者向けナビゲーションシステムの実証実験 [3], [4] においても、1.5m 程度の位置測位精度を達成し、システムとして実装している。これらの背景や研究成果に鑑みて、筆者らは約 1m の推定精度が達成できれば、様々な環境下における視覚障がい者のナビゲーションに対して十分であると仮定した。一方で、入力や案内のインタフェースも視覚に頼る部分が多く、現在提供されているナビゲーションアプリを視覚障がい者が利用することはきわめて困難である。2016年4月1日には障がい者差別解消法が施行され、公共施設内やオフィス環境など、今後はますます障がい者に配慮した環境づくりが求められる。外出時の移動は、生活の根幹にかかわる重要な問題であり、そこをサポートする意義は大きい。

そこで本研究では、視覚障がい者が土地勘のない場所でも1人で安全に外出できるシステムの開発を目的とする。本稿では、特に屋内環境において視覚障がい者が目的地に到達できるナビゲーションシステムを開発する。システムを開発するに先立って、著者らは実際に視覚障がい者に対してヒアリングを実施した。ヒアリングは、東京都立八王子盲学校において実施した。その結果、視覚障がい者をナ

ビゲーションするためには、たとえば入り口の目の前まで案内するなど、およそ半径 1m の精度でのピンポイントな案内が必要であること、スマートフォンは視覚障がい者にも普及しつつあること、人によって白杖の加工は嫌われること、などが明らかになった。それらのニーズをふまえ、本研究では、位置測位に準天頂衛星による GPS と UHF 帯の RFID タグを利用した手法を採用し、ナビゲーションシステムを開発した。UHF 帯 RFID 技術は RFID 技術の中でも特に長距離の通信に向けた通信規格である。タグ側に電源を持たないパッシブ型タグであっても最長で 10m 程度の通信距離が確保できる。UHF 帯 RFID は物流や小売りの分野で徐々に普及してきており、現在タグ1つの値段は 10 円~数百円程度であるが、今後より安価になることが期待できる。

本稿では、まず UHF 帯 RFID タグの長距離読み取りに関する基本性能調査と、位置測位アルゴリズムの検討を行った結果について報告する。また、開発したシステムについて、屋内展示会イベントに適用し、実際に来場者に対して実証実験を行った結果について報告する。

2. 関連研究

従来より RFID 技術を用いた視覚障がい者向けのナビゲーションシステムが研究されている [6], [7]。しかし、専用の白杖が必要であるなど、まだ普及には至っていない。一方、専用の機器やインフラを使用せずに、視覚障がい者の単独歩行を支援する仕組みとして音声地図とテレビ電話を利用したシステム [8] や眼鏡型ウェアラブル端末を用いたシステム [9] が提案されている。このような支援システムは実用的ではあるが、当然ながら他者の支援が不可欠である。

また、BLE ビーコンを用いた位置測位に基づく視覚障がい者ナビゲーションシステムの研究開発も行われている [3], [4], [5]。BLE による測位手法は市販されているスマートフォンの Bluetooth 通信機能のみで位置測位が可能であり、他にデバイスを必要としない点が大きな利点である。しかし、環境に配置するビーコンは電源が必要であり、定期的な電池交換などのメンテナンスが求められる。また、一般的に、ビーコン自体は RFID タグと比較して高価である。一方で、パッシブ型の RFID タグは電源が不要であり、一度環境に設置すれば半永久的に利用できる。また、RFID タグ1枚あたりのコストも比較的安価であり、大量の RFID を長期間環境に設置することが可能である。しかし、利用者は RFID タグを読み取る専用端末の携帯が必要である。屋内空間における別な位置測位手法として、LED 照明などの可視光を用いた手法も研究開発が進んでおり、近年では、LED 照明による可視光通信を用いた視覚障がい者向けナビゲーションシステムについても提案されている [10]。既存の照明設備が利用可能な利点はあるが、電源設備やメンテ

ナンスが必要な点は BLE を利用する場合と同様であり，設置には LED 電球などの照明器具の入れ替えが必要であるため比較的成本がかかってしまう．また，GPS や加速度センサ，ジャイロセンサなどによる歩行者デッドレコニング (PDR) を用いることで，環境側のセンサに頼らないナビゲーション手法も研究されている．蔵田らの研究 [11] では，測位および障害物検知に向けて，GPS，WiFi，PDR，アクティブ RFID，画像認識の各手法を用いてその有用性に関する比較評価を実施している．最終的には環境に応じて最適な手法を組み合わせることで有用性を高めることが重要であり，このような組合せに関する検証結果は有益である．なお，文献 [11] においてはアクティブ型 RFID によって検証を実施しているが，電源が不要なパッシブ型タグの有用性が示されれば社会実装性は大幅に高まる．

本研究では，環境側に設置する装置のメンテナンス性と通信距離などを考慮し，UHF 帯 RFID を用いることとした．RFID を用いたナビシステムの研究として，白杖の先端にアンテナを取り付けるなど，短距離通信をベースとした先行研究は存在するが，長距離通信が可能な UHF 帯 RFID タグによる測位をベースとした視覚障がい者向けナビシステムの実用化に向けての研究はまだ少ない．そこで本研究ではより広範囲に通信が可能な，UHF 帯の RFID 技術を応用したシステム開発を検討した．

3. システム構成

本システムの全体構成を図 1 に示す．本システムは，中央制御基板，RFID リーダ，スマートフォン，操作ボタン，マイク・スピーカ，バッテリーから構成されている．中央制御基板，RFID リーダ，バッテリーは鞆に収納し，スマートフォン，マイク・スピーカは鞆の肩紐に固定され，ユーザからの入出力をスムーズに行うことが可能になっている．また，視覚障がい者がスマートフォンの画面を操作することは困難であるため，腕に装着した凹凸のある 2 つの操作ボタンのみで，システム全体を操作する．実際に視覚障がい者が本システムを装着している様子を図 2 に示す．

4. RFID タグ読み取りに関する予備実験

4.1 RFID タグの読み取り可能距離の測定

システム開発の予備実験として，様々な種類の RFID タグの読み取り可能距離に関する測定実験を行った．屋内空間では，RFID タグを壁面や床面に設置することを想定する．また，一般的に視覚障がい者は点字ブロックが存在すればその上を歩行することが多いため，点字ブロック内部にも RFID タグを埋め込むことを想定する．環境に埋められた RFID タグはあらかじめその位置がシステムに登録されており，その情報とユーザが所有するリーダーが読み取ったタグの情報を照らし合わせることで，ユーザの位置を推定する．そこで本研究では，RFID タグを直接床面に配置

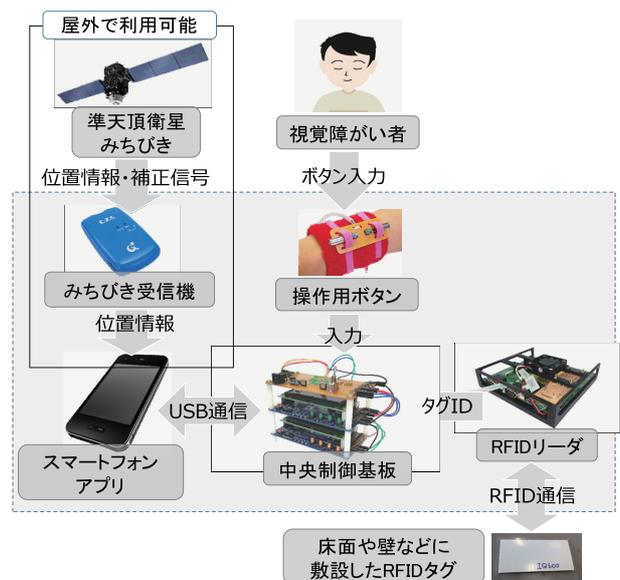


図 1 開発したシステムの全体構成図
Fig. 1 A component diagram of the system.



図 2 開発したシステムを装着した様子
Fig. 2 An image of the system worn by the user.

した場合と，コンクリート製点字ブロック内部に埋め込んだ場合の両方について読み取り可能距離の測定実験を実施した．また，カバンの中に RFID リーダを所持する場合，路面から 80 cm 以上の距離で読み取りが可能でなければならない．実際に読み取り可能な条件を検証するため，先行研究 [12] を参考に表 1 の RFID タグに関して次の測定を実施した，また，測定した RFID タグの外形を図 3 に示す．

読み取り距離は 0 cm から 20 cm 刻みで読み取り不可能になるまで距離を離して測定した．また金属対応の一部のタグについては，裏に金属板を取り付けることで読み取り可能距離の変化を検証した．結果を図 4，図 5 に示す．紙面の都合上，計測したタグのうち，H1，H1 (iron) (H1 タグの下面に薄いステンレス板を設置)，H1 (aluminum) (H1 タグの下面に薄いアルミ板を設置)，S1，H2-2，M4QT，

表 1 適した UHF 帯 RFID タグを選定するためのタグ候補
Table 1 UHF-band RFID tag candidates for the system.

タグ ID	メーカ	商品名	タグの性質	通信距離
H1	CONFIDEX	SURVIVOR	金属対応	長
H2-1	CONFIDEX	HALO	金属対応	長
H2-2	CONFIDEX	CARRIER TOUGH	金属対応	長
H2-3	CONFIDEX	CARRIER PRO	金属対応	長
H2-4	CONFIDEX	IRONSIDE SLIM	金属対応	長
H3	CONFIDEX	IRONSIDE	金属対応	中
H4	CONFIDEX	不明	金属対応	中
H5	CONFIDEX	IRONSIDE MICRO	金属対応	短
S1	Omni-ID	Exo750	金属対応	中
M4QT	SMARTRAC	M4QT	カード型	中
IQ600	Omni-ID	IQ600	カード型	中
IQ400	Omni-ID	IQ400	カード型	短
X1	UPM	Belt	金属非対応	短
X2	不明	不明 (リーダー付属)	金属非対応	短



図 3 タグ候補の外形

Fig. 3 An image of the RFID tag candidates.

IQ600, IQ600 (iron) (IQ600 タグの下面に薄いステンレス板を設置) の測定結果を掲載する。この結果から H1 のタグが最も読み取り可能距離が長いことが分かり、金属板による読み取り可能距離の大きな差は見られなかった。以上より、点字ブロック下へ埋設する場合は H1 のタグを採用し、コンクリート床に直接設置する場合には、タグの薄さを考慮してカードタイプの IQ600 を採用することが良いと分かった。

4.2 歩行中を想定した移動状態での RFID タグの読み取り測定

歩行中に RFID タグを読み取ることが可能かを検証するため、5m 間隔で設置した 3 つの点字ブロックの下に H1 タグを埋め、2 km/h, 5 km/h, 10 km/h の各速度で歩行し、通過するまでの各タグの読み取り回数を測定した。図 6 は、各歩行速度で 10 回ずつ測定したときの読取回数の平

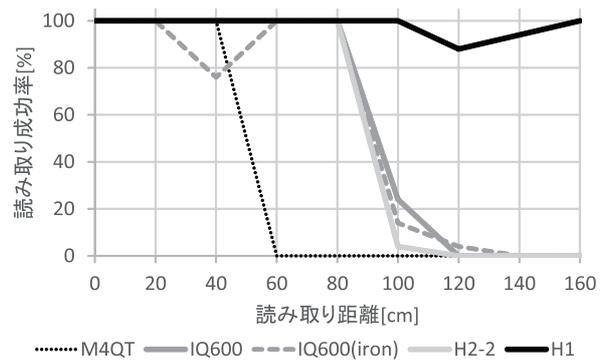


図 4 コンクリート上に直接置いて RFID タグの読み取り可能距離を測定した結果

Fig. 4 Relationship between communication distance and the success rate when a RFID tag is on concrete ground.

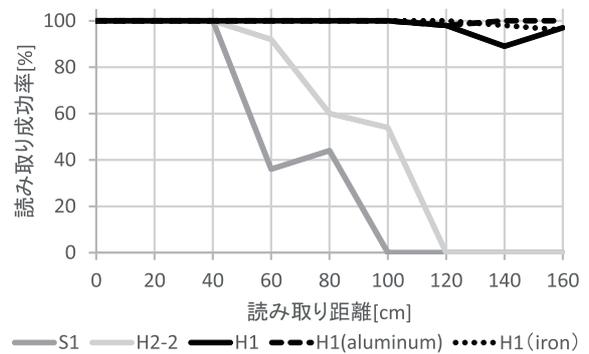


図 5 コンクリート製の点字ブロック下に RFID タグを埋め込んで読み取り可能距離を測定した結果

Fig. 5 Relationship between communication distance and the success rate when a RFID tag is embedded under a braille block.

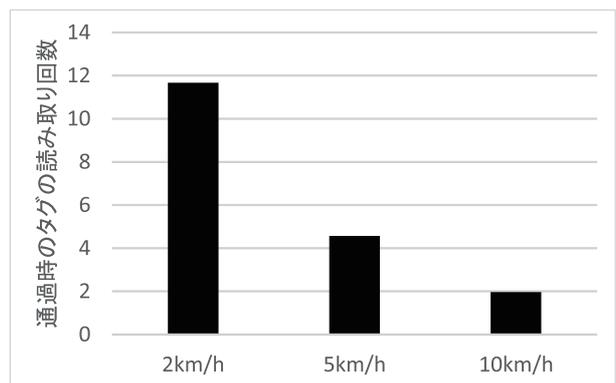


図 6 2 km/h, 5 km/h, 10 km/h のそれぞれの速度で移動した際の RFID タグの読み取り回数の測定結果

Fig. 6 Reading number of RFID as a function of walking speed of the user at 2 km/h, 5 km/h and 10 km/h.

均値である。

2 km/h と 5 km/h では各タグを必ず 2 回以上読み取ることになった一方で、10 km/h では読み取り回数の平均値が 2 回を下回り、10 回の測定のうち、一度だけ 1 つのタグを読み飛ばしてしまう場合が存在した。しかし、10 km/h

はジョギングほどの速さであり、視覚障がい者が通常歩行する速度よりはるかに速い速度であるため、実用上の問題はない。

5. RFID タグを使用した位置推定

5.1 位置推定法の検討

環境に設置された RFID タグの位置があらかじめ正確に把握できている場合、読み取れたタグの情報をを用いて位置推定を行うことが可能である。白石らの研究 [13] によれば、50 cm 間隔でタグを天井に貼り付けたとき、読み取ったタグの位置の重心を推定値とする単純重心法を用いることで、RFID リーダの位置を誤差 16 cm から 80 cm の精度で推定できることが報告されている。また、室内の隅では重心法を用いると精度が悪化することも報告されている。

また、鶴らの研究 [14] によれば、タグとリーダの距離が離れると電波受信強度（以後 RSSI 値）が弱くなることを利用して RSSI 値と三辺推量法を使い読み取ったタグの RSSI 値からリーダの位置を求める手法について報告されている。本研究では、前述の単純重心法と、読み取った RFID タグの位置を RSSI 値で重みづけしてタグの重心を求める RSSI 重み付き重心法を用いて RFID リーダの位置推定実験を行った。また、位置推定によく利用される粒子フィルタ [16] を取り入れた場合の精度についても検討を行った。

5.1.1 単純重心法による位置推定

単純重心法は読み取ることができたすべてのタグの位置の重心を推定値とする手法である。今、時刻 t におけるリーダの真の位置を $P_{reader}(t)$ 、タグ $i = \{1, 2, \dots, N\}$ の位置を P_i 、時刻 t における読み取り可否の結果を $a_{i,t}$ としたとき、リーダの位置の推定値 $P'_{reader}(t)$ は、環境に配置された N 枚のすべてのタグの位置の重心によって次の式で求められる。

$$P'_{reader}(t) = \frac{1}{\sum_i a_{i,t}} \sum_i a_{i,t} * P_i$$

$$\text{where } a_{i,t} = \begin{cases} 1 & (\text{is readed}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

5.1.2 RSSI 重み付き重心法による位置推定

RSSI 値は一般的に、通信距離が長くなるほど小さくなる。実際に予備実験を行ったところ、いずれのタグでも距離に応じて RSSI 値の減衰を確認できた。単純重心法では、読み取れたすべてのタグの位置の平均値を推定値としていたが、RSSI 値が一般的に距離に応じて減衰することを利用し、RSSI 値による重み付き重心法による位置推定を定義する。時刻 t におけるタグ i の RSSI 値を $RSSI_{i,t}$ としたとき、RSSI 重み付き重心法によるリーダの位置の推定値 $P'_{reader}(t)$ は次の式で求められる。

$$P'_{reader}(t) = \frac{1}{\sum_i a_{i,t} * RSSI_{i,t}} \sum_i a_{i,t} * RSSI_{i,t} * P_i$$

5.1.3 粒子フィルタの適用

屋内環境で何らかの通信する際、電波の反射（マルチパス）の影響を受ける。UHF 帯 RFID は比較的長距離の通信が可能であり、屋内で使用すると近くのタグが読み取れなくなることや、遠くのタグが読み取れてしまう現象が生じてしまう [15]。マルチパスの影響を予測することは困難であるが屋内空間での位置推定を試みた場合、マルチパスの影響が無視できない。そこで、粒子フィルタを適用して精度を向上させることを考える。粒子フィルタはモンテカルロシミュレーションに基づくランダム過程推定技術であり、状態推定を多数の粒子を用いて近似的に表す方法である [16]。ここでの状態推定は状態空間モデルが既知の場合に観測値に応じて事後分布を求めたものである。 N 個の粒子を使って粒子フィルタを適用する場合、 $P_p(n)$ を粒子 n の位置、 $P_w(n)$ を粒子 n の重みとする。その場合の粒子フィルタのアルゴリズムは以下のようになる。

(1) 初期値の設定 粒子の初期の位置を設定する。ここではすべての範囲のから乱数で初期の位置を設定する。粒子の重みは初期値を 1 とする。

(2) 尤度関数の計算 前章までの位置推定法を使い推定した数値（以降計測値とする）から尤度関数を計算する。本モデルでは計測値 x の誤差範囲を σ とし、計測値を中心とした標準正規分布（式 (1)）を尤度関数とする。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

(3) 尤度関数に基づく重みの更新 (2) で求めた尤度関数に基づいて粒子の重みを更新する。粒子の重みは尤度関数と現在の重みの積をとる（式 (2)）。

$$P_w(n) = f(x) * P_w(n) \quad (2)$$

(4) 推定値の計算 すべての粒子の重みから重心を求めた結果を粒子フィルタで求めた推定値とする。時刻 t における推定値 M は式 (3) のように求める。

$$M(t) = \frac{1}{\sum_n P_w(n)} \sum_n P_w(n) * P_p(n) \quad (3)$$

(5) 子孫の生成 次の状態推定のため粒子の重みを基に新しく重みが 1 の粒子を生成する。重みが大きい粒子から多くの粒子を生成する。このとき粒子の個体数 N は変えない。親の粒子から子の粒子を生成する個数 T は $P_w(n)$ に基づいたルーレット選択によって求める。

(6) 次の状態の予測 人の移動を想定したときに等速で移動することを想定し、次の状態は前のステップからの平均速度に基づいて求める。 t' ステップ前からの平均速度を求め、それぞれの粒子を移動させる。各粒子の移動後の位置は式 (4) によって求め、再び (2) に戻り繰り返す。

$$P_p(n) = P_p(n) + \frac{M(t) - M(t-t')}{t'} \quad (4)$$

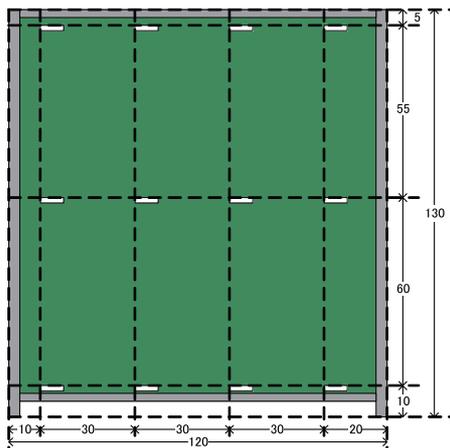


図 7 RFID タグを張り付けた実験用のボード
 Fig. 7 An experimental board with RFID tags.

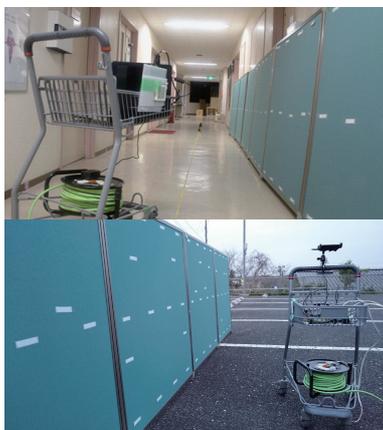


図 8 位置測定実験の様子 (上: 屋内, 下: 屋外)
 Fig. 8 Environment of measurement experiment (top: indoor, bottom: outdoor).

5.2 位置推定精度の検証実験

5.2.1 実験環境

位置推定精度を検証するため、試験的に RFID タグを設置した屋内環境を準備する。図 7 のように横 30 cm 間隔、縦 60 cm 間隔で RFID タグを貼り付けたボードを全部で 8 枚用意し、横に並べて全長 960 cm となる実験環境を構築した。等間隔で貼り付けたタグの横を、RFID リーダを搭載したカートを一定速度で移動させ、その位置測定の精度を検証した。RFID リーダは、アンテナがボードと平行になるようにカートに設置した。ボードとカートの距離は実際の屋内イベント会場などでの利用を想定して 70 cm とした。測定は 0 m 地点から 10 m 地点まで 11 観測地点で行い、RFID タグの読み取りを行った結果に基づいて位置推定の精度を検証した。図 8 は実際に測定を行ったときの写真である。

屋内、屋外それぞれでの読取結果の一例を図 9 に示す。図 9 は左が屋内、右が屋外での測定結果を示している。図の上部の番号は RFID タグを張り付けたボード番号を表しており、図の左の番号は測定位置を表している。この図か

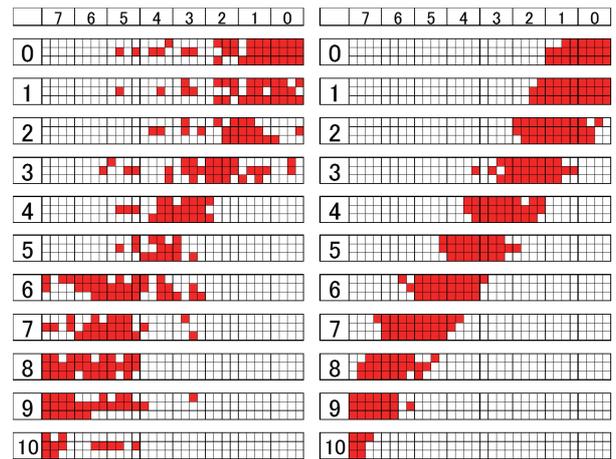


図 9 実験環境における RFID タグの読み取り結果 (左: 屋内, 右: 屋外). 図上部の番号は RFID タグを張り付けたボード番号を表し、図左部の番号は測定位置を表す

Fig. 9 Reading results of RFID tags at the real environment (left: indoor, right: outdoor). Numbers at the top indicate the board ID, and numbers at the left indicate the measurement position.

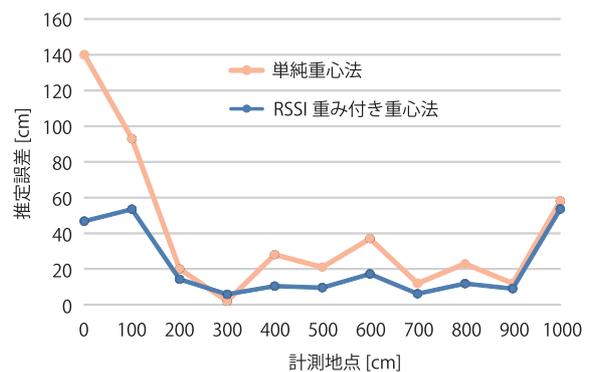


図 10 屋内環境において単純重心法と RSSI 重み付き重心法で位置推定を行った際の推定誤差

Fig. 10 Position estimation error on both barycenter method and RSSI weighted barycenter method at an indoor environment.

らも読み取れるとおり、屋外では、測定位置に対して近傍の RFID タグが比較的正確に読み取れているのに対し、屋内ではマルチパスの影響で、近傍のタグが読めなかったり、遠方のタグが読めたりしていることが分かる。つまり、屋外の測定結果であれば、単純重心法でも比較的高い精度の位置測定が可能であることが予測されるが、屋内の実験結果では大きな誤差が生じると予想される。次節以降では、屋内の測定結果に対して位置推定のアルゴリズムを適用した結果について述べる。

5.2.2 単純重心法と RSSI 重み付き重心法に基づく位置推定の結果

前項で示した屋内環境での測定結果に対して、単純重心法と RSSI 重み付き重心法を利用して RFID リーダの位置推定を行ったときの誤差を図 10 に示す。図 10 は横軸が

計測位置で縦軸がその計測位置における位置推定結果との誤差である。全測定位置の誤差の平均値は、単純重心法を適用した場合 41 cm, RSSI 重み付き重心法を適用した場合 22 cm であった。RSSI 重み付き重心法を利用することで、誤差を軽減できていることが確認できる。また図 10 を見ると、0 cm, 100 cm, 1,000 cm 地点など、実験環境の端の方で誤差が拡大している。これは実験環境の端のため、その先にタグが存在せず、重心を求めるために必要なタグが不足していたことが原因である。

5.2.3 粒子フィルタを適用した推定法の結果

RSSI 重み付き重心法で求めた推定値に粒子フィルタを適用した結果を図 11 に示す。RSSI 重み付き重心法による誤差の平均値は 22 cm だったのに対し、粒子フィルタを適用した結果の誤差の平均値は 20 cm であり、今回の実験では誤差に大きな差が表れなかった。図 11 を見ると、スタート地点の 0 cm および 100 cm 付近では、粒子フィルタを適用しない場合も適用した場合も誤差が約 50 cm と大きくなっている。一方で、ゴール地点の 1,000 cm では、粒子フィルタを適用した結果の方が、大幅に誤差が軽減できている。つまり、ゴール付近で RFID タグが存在しなくなっても、粒子フィルタの効果である程度正確な予測ができることが明らかとなった。一方で、600 cm 地点や 700 cm 地点での測定結果は逆に粒子フィルタを適用した結果の方が悪化している。これは、いくつかの原因が考えられるが、1つは屋内の実験環境においてこの付近でマルチパスが特に多く発生していた可能性である。実際に今回実験に使用した環境は金属製の扉なども多数存在するためマルチパスの影響は場所によって大きくなっていった可能性がある。もう1つは、実験環境が 10m 程度と限られていたため、粒子フィルタの効果が安定していなかった可能性が考えられる。もう少し規模を大きくした環境であれば、より粒子フィルタの効果が得られる可能性が高い。

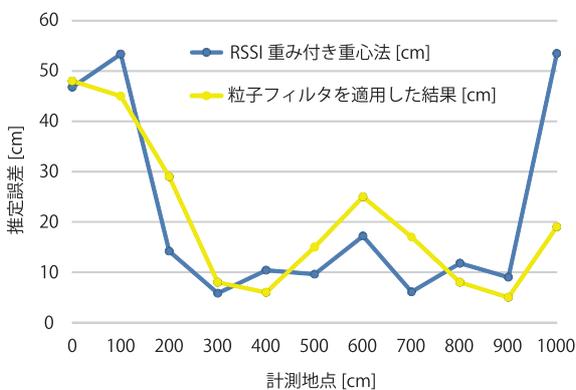


図 11 RSSI 重み付き重心法による推定誤差と粒子フィルタを適用した際の推定誤差の比較

Fig. 11 Comparison of the position estimation error on both RSSI weighted barycenter method and particle filter.

6. RFID タグを用いた通路の設定とルート探索

実際に利用者をナビゲーションするためには、通行可能な通路を設定する必要がある。屋外であれば、道路や歩道が通路ととなり、地図情報を用いて経路探索を行うことが可能である。しかしながら、屋内空間では地図情報が提供されていない可能性が高く、何らかの方法で、通行可能な通路を設定する必要がある。また、視覚障がい者が移動する際に目安となるのが点字ブロックであるが、屋内空間は点字ブロックが網羅的には敷設されていない可能性が高い。これは、キャストを使った荷台などの利用が困難になってしまうほか、バリアフリーの観点から、車いすの利用者や高齢者など、点字ブロックが逆に障害になってしまう場合があるためである。

そこで本研究では、敷設した RFID タグに基づいて、仮想的な通路を設定する。仮想的な通路は、RFID タグをノードとするグラフ構造で定義する。ある RFID タグから別な RFID タグの間が実際に通行可能であれば、そこにリンクを張る。RFID タグ間の距離をリンクのコストとし、できあがったグラフ上で、ダイクストラ法による最短経路探索を実施し、利用者をナビゲーションする。

グラフによる通路の定義は、あくまでネットワーク構造としてのトポロジの定義であり、地図とは異なり位置や方向の情報が表現できない。しかしながら、仮に位置や方向を含む地図情報が表現できたとしても、それを視覚障がい者に対して提示することは困難であり、実際に視覚障がい者をナビゲーションすることを考えれば、今その場でどちらの方向に進むべきかを提示できれば十分である。

そこで本システムでは、案内が必要なポイントに絞って、音声による案内を実施できる仕組みについて検討し実装を行った。具体的には、案内が必要なポイントのノード (RFID タグ) について、その直前のノードから直後のノードに向かう方向をテーブルとして保持しておく (図 12)。経路探索の結果得られるルートは、RFID タグを読み取る順序に相当するため、その順序列に対して、この方向テーブルの各行で検索し、マッチした行の案内を実行する。こうする

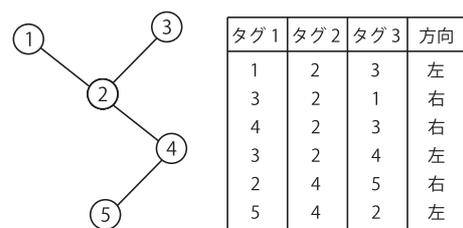


図 12 RFID タグを用いたグラフ構造の定義の例 (左) と案内のための方向テーブル (右)

Fig. 12 A route modeling example using graph structure (left), and a direction table for the guidance (right).

ことで、ある方向へ向かう場合とその逆に向かう場合でそれぞれ適切なナビゲーションが可能になる。なお、事前に視覚障がい者の方にヒアリングした結果、前後左右だけではなく、左斜め前など八方向で案内するほうが好ましいという意見をいただいたため、方向は8方向で設定可能とした。

また、方向テーブルとは別に、周囲の段差やトイレの案内など、あるタグを読み取った段階であらかじめ決められたアナウンスをする仕組みも用意した。この機能は、ルート案内とは独立してそのタグを読み取った瞬間のアナウンスとして機能する。たとえば、何かの展示物の前に立った際に、その展示物についての説明をするなどの利用が可能である。

7. 屋内展示会イベントへの適用

本システムの有効性を評価するため、2016年4月21日から4月23日まで大阪府のインテックス大阪で開催された「バリアフリー2016」の「目の見えない方・見えにくい方のための展示コーナー」に、RFIDタグを設置して実証実験を行った。実際に来場者に本システムを身に付けていただき、コーナー内のナビゲーションを体験していただいた。実験を行った会場のレイアウトと、RFIDタグを設置した場所および、経路探索のためのグラフ構造を構築する際の仮想的な通路の定義を図13に示す。RFIDタグは、各ブースの前と、通路が角になっている部分に配置した。

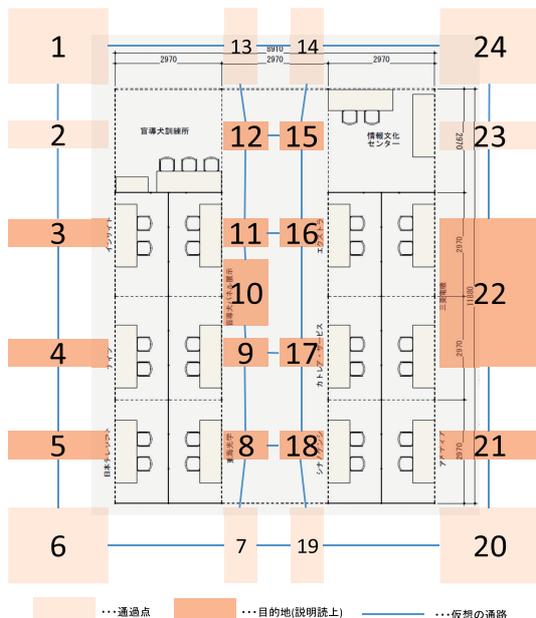


図13 バリアフリー2016「目が見えない方・見えにくい方のための展示コーナー」の配置図およびRFIDタグの設置場所と仮想通路の定義。数値はそこに設置したタグのタグID

Fig. 13 Layout of the exhibition venue with the installation positions of RFID tags and the passageway. Numbers denote the RFID tag IDs.

ただし、今回は会場の制約から、RFIDタグは床面に配置した。なお、今回の実験に使用したタグは、前述の事前実験より読み取り可能距離が比較的長く、薄型で床面に設置可能なIQ600を使用した。

本コーナーは、12のブースから構成されている。今回の実証実験では、スタート地点からゴール地点までの経路案内とともに、ゴール地点ではそのブースに関する説明を音声でアナウンスする実装とした。タグIDは1から24までであり、その配置は図13のとおりである。なお、今回の実験では、タグを読み飛ばしてしまう危険性を最小限に抑えるために、同じタグIDのRFIDタグをそれぞれ4枚用意し、約30cm四方の四角形の頂点となるように設置した。

利用者はまず、音声で目的地を入力する。音声認識や音声案内はすべてスマートフォンの機能を利用して実装した。スマートフォン本体にもマイクやスピーカは備わっているが、展示会場などでは環境音が雑音として入りやすいため、指向性の強いピンマイクを口元付近に設置し、スピーカも耳元近くに設置した。その結果、音声入力も比較的スムーズに実現でき案内も聞き取りやすい形で実現できた。図14は、実証実験を実施した会場の様子であり、図15は、実験中、本システムを実際に来場者に着用していただいていた実際に案内のデモを行っている様子である。

また、図16は、1回の案内中に読み取ったタグIDを時間軸上にプロットしたグラフである。この案内の例では、



図14 実証実験を行った会場の様子
Fig. 14 Venue of the demonstration experiments.



図15 実際に本システムを着用して利用している様子
Fig. 15 A participant wearing the system.



山下 晃弘 (正会員)

1983年生。2008年北海道大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2010年同博士課程修了。博士(情報科学)。2011年株式会社調和技研代表取締役。2013年東京工業高等専門学校情報工学科助教。機械学習, 組み込みシステム,

ウェブマイニングに関する研究に従事。人工知能学会, 日本工学教育協会各会員。



松林 勝志 (正会員)

1965年生。1989年山梨大学大学院修士課程修了。2005年同博士課程修了。博士(工学)。1991年東京高専助手。1999年Scotland Dundee University在外研究員。2007年東京高専教授。組み込みシステムに関する研究に従事。

2013年関東工学教育協会業績賞。2013年日本工学協会工学教育賞・文部科学大臣賞。日本工学教育協会会員, 日本工学教育協会特別教育士(工学・技術)。



佐藤 佳 (ジュニア会員)

1995年生。2016年国立東京工業高等専門学校情報工学科卒業。同年東京工業高等専門学校専攻科機械情報システム工学専攻入学, 現在, 在学中。視覚障がい者ナビゲーションシステムの研究開発に取り組む。



佐藤 俊太 (ジュニア会員)

1995年生。2016年東京工業高等専門学校情報工学科卒業。同年東京工業高等専門学校専攻科機械情報システム工学専攻入学, 現在, 在学中。視覚障がい者ナビゲーションシステムの研究開発に取り組む。



川口 正太郎 (学生会員)

1993年生。2016年東京工業高等専門学校専攻科機械情報システム工学専攻修了。同年電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻博士前期課程入学, 現在, 在学中。アンビエント情報社会の実現に向けたセンサネットワーク,

データマイニング, 機械学習に関する研究に取り組む。