

視覚障がい者ナビゲーションを目的としたRFIDタグと準天頂衛星による位置測位システム

山下 晃弘^{1,a)} 佐藤 佳² 佐藤 俊太² 松林 勝志¹

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極めて困難である。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、視覚障がい者向けのナビゲーションシステムを開発するために、準天頂衛星「みちびき」と、UHF帯RFID技術を利用した位置測位の方法について検討を行った。本稿では、みちびきとRFIDそれぞれの測位精度について検証を行ったのち、両者を併用する手法について考察する。また、実際に構築したナビゲーションシステムを用いて、京王線北野駅で実証実験を行った結果について報告する。

Development of a Positioning System with RFID and QZSS for Navigating the Visually Impaired People

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

1. はじめに

現在、日本の視覚障がい者の数は、障がい者登録されている人数で約31万人であり、障がい者全体の約8%である[1]。今後は、高齢化と共に、進行性の視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一層高くなる。中でも外出時の問題は特に重要な問題である。視覚障がい者は、外出時に白杖の携帯、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、訪れたことの無い場所へ一人で出かけることは、現在の環境では困難である。その原因の一つは、視覚障がい者が無理なく使えるナビゲーションシステムが存在せず、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システムは急速に普及した。健常者は、数m以上の誤差を含むナビゲーションであっても周囲の状況を確認し、目的地を見つけられる可能性が高い。しかし、著者らのヒアリングによる調査結果では視覚障がい者のナビに必要な測位誤差は1m以下であった。また、現行のナビシステムはユーザインタフェースを視覚に頼る部分が多く、視覚障がい者が利用することは極めて困難である。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、今後は一層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、視覚障がい者が無理なく利用できるナビシステムの開発を目的とする。当然ながら、ナビゲーションは屋外だけではなく、屋内でも利用できる必要がある。本研究では、屋内での位置測位手法を検討した結果、環境側への設置コストやメンテナンス性を考慮し、UHF帯のRFIDタグを利用したナビゲーションシステムを開発することとした。UHF帯RFID技術はRFID技術の中でも

¹ (独) 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 1930997, Japan

² (独) 国立高等専門学校機構 東京工業高等専門学校 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 1930997, Japan

a) yamashita@tokyo-ct.ac.jp

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 以上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、現在タグ一つの値段は 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、準天頂衛星みちびきの測位精度について基礎的な測定実験を実施した結果を報告する。また、みちびきと RFID の両者を用いて位置測位する手法について述べる。最後に、開発したナビゲーションシステムについて、京王線北野駅前ロータリにて実施した実証実験の内容と、それに参加した視覚障がい者の方から得られたフィードバックについて報告する。

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 [2][3]。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。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システムの研究開発も行われている [4]。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 タグは電源は不要であり、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 枚当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。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、準天頂衛星「みちびき」受信機、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、みちびき受信機、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。



図 1 開発したシステムの全体構成図



図 2 プロトタイプシステムを装着した様子

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 タグは予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。

本研究では、RFID タグを直接床面に配置した場合、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、靴の中に RFID リーダを所持する場合、路面から 80cm 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 [5] 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 0cm から 20cm 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, 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, 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わかった。

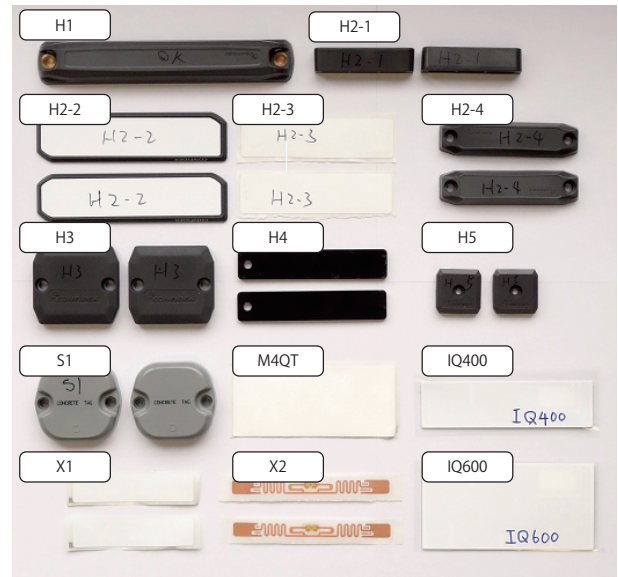


図 3 タグ候補の外形

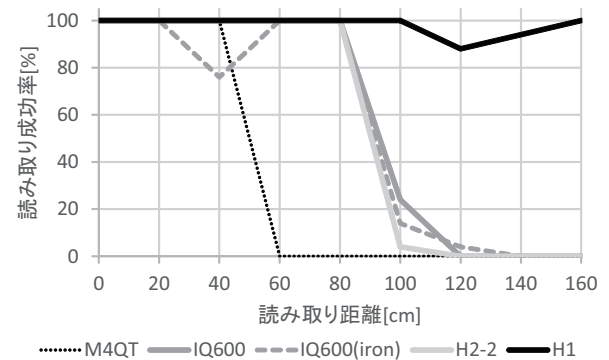


図 4 コンクリート上に直接置いて RFID タグの読み取り可能距離を測定した結果

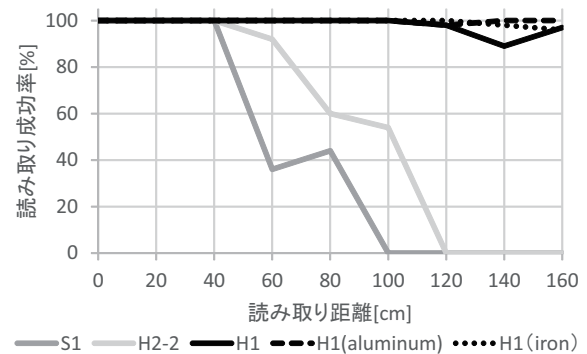


図 5 コンクリート製の点字ブロック下に RFID タグを埋め込んで読み取り可能距離を測定した結果

表 1 適した UHF 帯 RFID タグを選定するためのタグ候補

タグ ID	メーカー	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

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、2km/h, 5km/h, 10km/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 回ずつ測定した時の読取回数の平均値で

ある。2km/h と 5km/h では各タグを必ず 2 回以上読み取りすることに成功した一方で、10km/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、一度だけ一つのタグを読み飛ばしてしまう場合が存在した。しかし、10km/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

の上の問題はない。

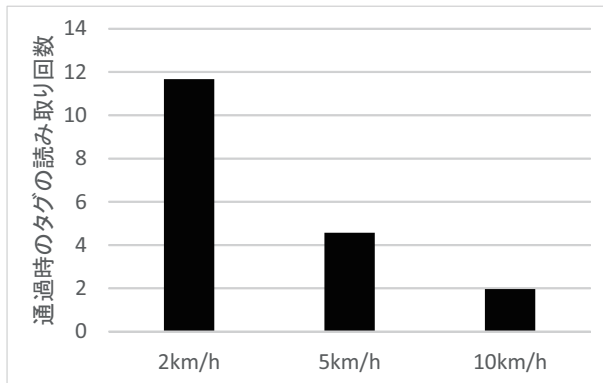


図 6 2km/h, 5km/h, 10km/h のそれぞれの速度で移動した際の RFID タグの読み取り階数の測定結果

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 タグの位置が予め正確に把握できている場合、読み取れたタグの情報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 [6] によれば、50cm 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 16cm から 80cm 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 [7] 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 [8] を取り入れた場合の精度についても検討を行ったが、本研究で用いた実験環境では精度の改善がみられなかったため、本稿では詳細は割愛する。

5.1.1 単純重心法による位置推定

単純重心法は読み取れた全てのタグ位置の重心を推定位置とする手法である。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 枚の全てのタグ位置の重心で求められる (式 1)。

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

$$\text{where } a_{i,t} = \begin{cases} 1 & (\text{if tag } i \text{ is readed}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

5.1.2 RSSI 重み付き重心法による位置推定

一般的に、通信距離が長くなるほど RSSI が小さくなる。予備実験により、いずれのタグでも距離を離すと RSSI の減衰を確認できた。単純重心法では、読み取れた全てのタグの位置の平均値を推定値としたが、RSSI が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 $P'_{reader}(t)$ は式 3 で求められる。

$$P'_{reader}(t) = \frac{1}{\sum_i a_{i,t} * RSSI_{i,t}} \sum_i a_{i,t} * RSSI_{i,t} * P_i \quad (3)$$

$$(4)$$

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 30cm 間隔、縦 60cm 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 960cm 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 70cm 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。

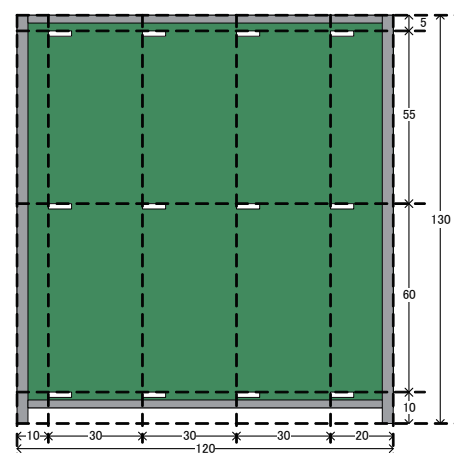


図 7 RFID タグを張り付けた実験用のボード

屋内、屋外それぞれでの読取結果の一例を図 8 に示す。図 8 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。この図からも読み取れる通り、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わかる。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位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。

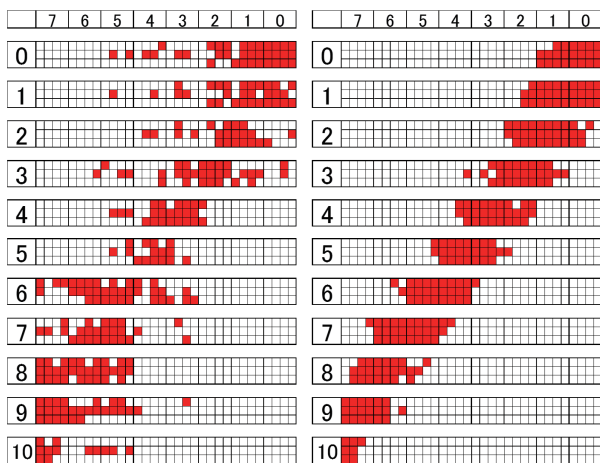


図 8 実験環境における RFID タグの読み取り結果 (左: 屋内, 右: 屋外)。図上部の番号は RFID タグを張り付けたボード番号を表し、図左部の番号は測定位置を表す。

5.2.2 単純重心法と RSSI 重み付き重心法での推定結果

前節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 9 に示す。図 9 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 41cm, RSSI 重み付き重心法を適用した場合 22cm 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 9 を見ると、0cm,100cm,1000cm 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。

6. 準天頂衛星「みちびき」と RFID を用いた位置測位

6.1 準天頂衛星「みちびき」の精度検証

みちびきの測位精度を検証するため、1 周 400m の東京高専運動場を 5 周し、歩いた軌跡を Google Map 上に描画した。図 10 の左は従来型の GPS 衛星のみで測位を行った

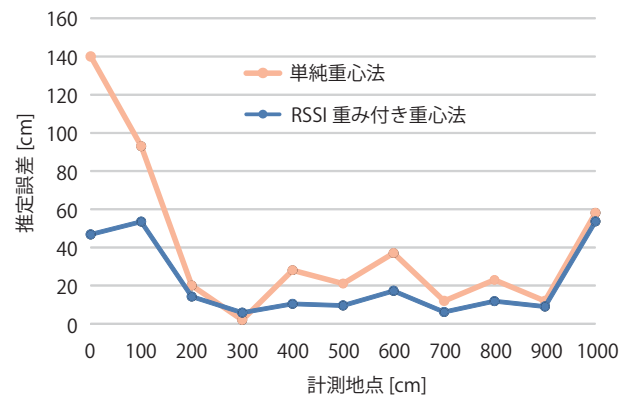


図 9 屋内環境において単純重心法と RSSI 重み付き重心法で位置推定を行った際の推定誤差

結果であり、図 10 右はみちびきから送出される L1-SAIF 信号を利用して測位を行った結果である。精度を測定したところ、みちびきを利用した場合、誤差 1~2m 程度の誤差で位置を取得可能であることが確認できた。



図 10 従来の GPS で測位した結果 (左) と、準天頂衛星「みちびき」の L1-SAIF 信号で測位した結果 (右) の比較

6.2 京王線北野駅南口での測定実験

より実環境に近い環境で測位精度の検証を行うため、京王線北野駅南口ロータリーに設置された点字ブロックの下に RFID タグを埋め込み、測位実験を実施した。京王線北野駅は、高架の駅になっており、駅前ロータリーの歩道の一部は、高架駅の真下に位置する。そのため、駅の下に位置する場所は、準天頂衛星の電波が極めて受信しにくい環境である。

まず、図 11 に、みちびきのみを利用した測位結果を示す。図 11 中の星印は RFID タグの設置位置を示し、この付近は駅の真下となる。ただし、ここで示す結果は RFID タグによる測位は利用していない。なお、使用したみちびきの信号は L1-C/A 信号である。

図 11 で示すとおり、みちびきの位置測位は、高架駅の下では衛星の電波が届きにくく、精度低下がみられる。ただし、場所によっては、測位結果の絶対的な位置はずれる一方、移動量は比較的正確であることが分かった。

そこで、RFID とみちびきの両方を用いた測位を考える。一般的に RFID による測位の方が精度が高いため、RFID が設置された環境では、RFID による測位を優先する。ま

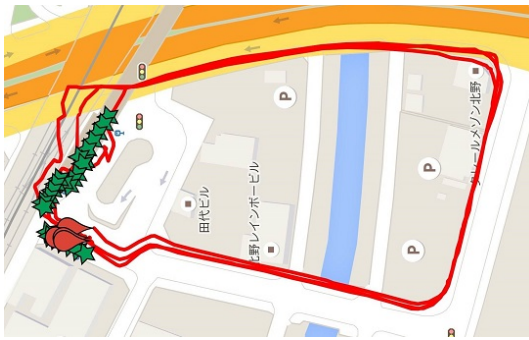


図 11 京王線北野駅南口における準天頂衛星「みちびき」での測位結果

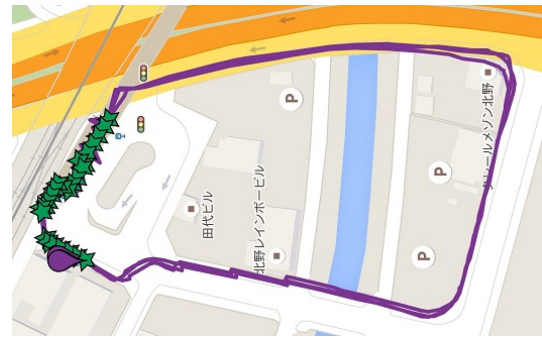


図 13 準天頂衛星「みちびき」のみでの測位誤差と、みちびきと RFID を併用した場合の測位誤差の比較

た、RFID とみちびきの両方が受信可能な場合は、みちびきによる測位のずれを RFID による測位で補正する。最後に読み取った RFID の位置情報 \vec{P}_{RFID} と、その瞬間のみちびきの位置情報 \vec{P}_{QZSS} の差分 $\vec{P}_{RFID} - \vec{P}_{QZSS}$ を補正信号 \vec{C} とし、これをその後みちびきから得られた新たな位置情報 \vec{P}'_{QZSS} に加え、推定位置 $\vec{P} = \vec{P}'_{QZSS} + \vec{C}$ とした。

みちびきによる測位で精度低下がみられた駅近辺における、みちびきのみでの測位誤差と、みちびきと RFID を併用した場合の測位誤差を図 12 に示す。RFID による補正を行ったことにより、測位精度の向上が確認できた。

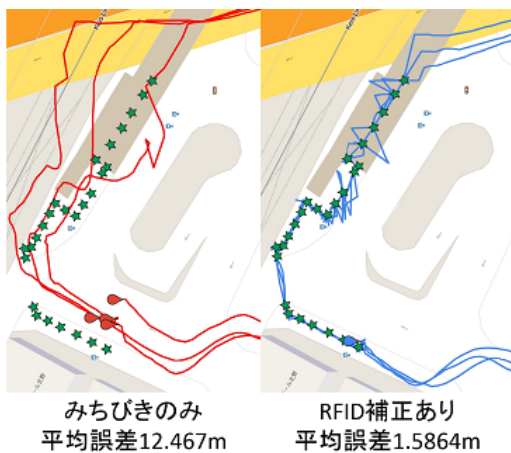


図 12 準天頂衛星「みちびき」のみでの測位誤差と、みちびきと RFID を併用した場合の測位誤差の比較

しかし、RFID から離れた場所で補正を続けてしまうことは問題であるため、補正信号 \vec{C} に係数 α を乗じ、推定位置 $\vec{P} = \vec{P}'_{QZSS} + \alpha\vec{C}$ と定め、徐々に α の値を小さくし、RFID による補正を弱めることで精度の向上を試みた。15 秒ごとに α の値を 1.0, 0.8, 0.5, 0.2, 0 とした結果を図 13 に示す。なお、より正確な補正を実現するために、みちびきの受信状況に応じて α を決定する等の改善が考えられる。

7. 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、キャスターを使った荷台などの利用が困難になってしまう他、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、出来上がったグラフ上で、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ーの定義であり、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 14)。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

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頂いたため、方向は八方向で設定可能とした。

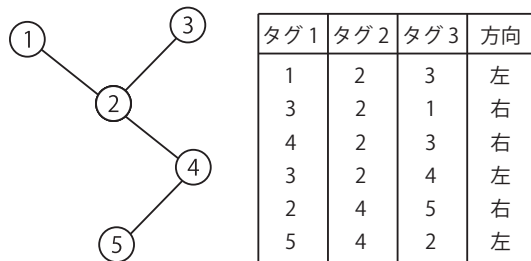


図 14 RFID タグを用いたグラフ構造の定義の例 (左) と案内のための方向テーブル (右)

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予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。例えば、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。

8. 京王線北野駅での実証実験

本システムの実環境での有用性を確かめる実証実験を2015年9月27日と29日にそれぞれ行った。実験の様子を図15に示す。本実験は、東京都八王子市にある京王線北野駅のホームに被験者が降りた後、本システムを利用して改札を通過し、バス停を目指すという想定で行った。被験者は、視覚支援学校に勤務する教諭で、先天的全盲の視覚障がい者である。また、被験者は北野駅を訪れた事はない。実験では、様々なフィードバックが得られたため、2回目の実験ではいくつか機能の修正も行った。以下に代表的なフィードバックをまとめる。

- RFID リーダの小型化と装着位置の工夫が必要
- 目的地点が近づいたら音声で伝える
- 分岐点手前で案内し分岐点上での案内は不要
- 改札は有人か無人かを明示
- スロープの上り下りの情報がほしい
- 指示が連続する場合は「右斜め前の後左折すると横断歩道です」の様に纏めて欲しい
- エレベータではボタン位置や降りた場所の情報が必要
- 「右です、右です」は「右です、更に右です。」であれば混乱しない
- システムの起動時に音声通知があると良い
- 白杖を持ちやすいよう端末は鞆やポケット内が良い

9. まとめ

本研究は、準天頂衛星「みちびき」とRFIDを用いて屋



図 15 京王線北野駅での実証実験の様子

内屋外での高精度な位置測位を実現する仕組みを構築した。また、屋外でRFIDが設置されている場合、みちびきでの測位とRFIDでの測位を併用し、みちびきでの測位誤差をRFIDでの測位で補正する仕組みを検討し、アルゴリズムを実装した。RFIDを利用した場合の測位誤差は、1mを切っており、視覚障がい者をナビゲーションするうえで実用的である。また、最終的に京王線北野駅で行った実証実験の結果、RFIDタグによる位置測位に基づいて視覚障がい者をナビゲーション出来る可能性を示すことができた。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 16K12967、及び公益財団法人立石科学技術振興財団の研究助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 厚生労働省平成27年版厚生労働白書 <http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/15-2/>
- [2] Willie Martin, Kory Dancer, Kevin Rock, Christopher Zeleney, Kumar Yelamarthi: The Smart Cane: An Electrical Engineering Design Project, Proc. of the 2009 ASEE North Central Section Conference (2009).
- [3] 鶴沼 宗利, RFIDを用いた歩行者の経路誘導 -視覚障害者向け道案内システム-, 情報処理 Vol.45, No.9, pp.918-922 (2004).
- [4] IBM Research and Carnegie Mellon Create Open Platform to Help the Blind Navigate Surroundings, <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/47867.wss>
- [5] 杉本彩, オフラインデバイスネットワーク構築のためのRFIDタグ埋め込み条件に関する研究, 高知工科大学 (2010).
- [6] 白石剛大, 小室信喜, 上田裕巳, 河西宏之: UHF帯パッシブ型RFIDを用いる屋内位置推定アルゴリズムの提案, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J95-B, No.10, pp.1302-1312 (2012).
- [7] 鶴浩二, 兼田健佑, 湯浅翔太: 電磁界強度を用いたRFタグ位置推定技術の開発, 大分工業高等専門学校紀要, 第47号, pp.19-24 (2010).
- [8] Genshiro Kitagawa: Monte Carlo Filter and Smoother for Non-Gaussian Nonlinear State Space Models, Journal of Computational and Graphical Statistics, Vol.5, No.1, pp.1-25 (1996).
- [9] 西田伸克, 佐々木清幸, 柏原一之, 工藤敏夫, 細谷勝宣, 福井政博: 電波吸収体によるUHF帯RFID電磁環境制御方法の開発, 三菱電線工業時報, Vol.104, pp.11-15 (2007).