

屋内位置検出を利用した子ども見守りサービスシステム

木村 峻介^{1,a)} 松本 卓人¹ 矢澤 櫻子¹ 星野 准一² 李 昇姫³ 浜中 雅俊⁴

受付日 2014年6月30日, 採録日 2014年11月10日

概要: 本稿では, 屋内施設での迷子防止と迷子探しのための屋内位置情報サービスの構築とその構成について述べる. 従来の屋内位置情報サービスでは, 子どもの迷子防止と迷子搜索の片方しか考慮されていなかった. そこで我々は, 迷子搜索と迷子防止の両方に役立つサービスの構築を行った. 具体的には, 複数のセンサと無線通信機器を搭載したキッズ・フレンドリなデザインのウェアラブルデバイスを開発し, そのデバイスの無線通信とセンサ情報を用いて屋内の位置を推定することで位置情報サービスを構築した. この位置情報サービスでは, 親が携帯電話などを用いていつでも, Web ページ上から子どもの位置を確認できたり, 子どもが親から離れた際に親の携帯電話に連絡したりすることを可能とする. つくば市内の大型ショッピングモール「イースつくば」において位置推定精度の実験を行い, このサービスの有効性を確認した.

キーワード: 位置推定, 位置情報サービス, ジオフェンシング, 無線通信, ウェアラブルデバイス

Child Monitoring Service System Using Indoor Location Detection

SHUNSUKE KIMURA^{1,a)} TAKUTO MATSUMOTO¹ SAKURAKO YAZAWA¹ JUNICHI HOSHINO²
SEUNGHEE LEE³ MASATOSHI HAMANAKA⁴

Received: June 30, 2014, Accepted: November 10, 2014

Abstract: This paper describes construction of indoor location service for searching lost child and preventing lost child. Conventional indoor location services have only considered searching lost child or preventing lost child. Therefore, we construct indoor location based service of searching lost child and preventing lost child. Specifically, we develop a Kid's friendly design wearable device which have radio communication device and many sensors. We construct indoor location service in terms of estimating position by using the device. In using this indoor location based service, a parent always locate where parent's child over the Web. Moreover, parent's mobile phone is called when child is constant length away from parent. In this paper, we show the localization system by using radio communication device and probability model, and show the experimental results in shopping mall.

Keywords: location estimation, location-based services, geofencing, wireless communication, wearable device

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科
Graduate School of Systems and Information Engineering,
University Of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan
² 筑波大学システム情報系
Faculty Of Engineering, Information and System, University
Of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan
³ 筑波大学大学院人間総合科学研究科
Graduate School of Comprehensive Human Sciences, Uni-
versity of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan
⁴ 京都大学大学院医学研究科
Graduate School of Medicine and Faculty of Medicine Kyoto
University, Kyoto 606-8507, Japan
a) s1320817@u.tsukuba.ac.jp

1. はじめに

近年, 大型商業施設が増加しており, 迷子が発生した場合, 搜索範囲が広がることから, 迷子を発見するまでの時間が増大している. 多くの施設では迷子探しに館内放送を利用しているが, 最近では迷子探しや迷子防止のためのサービスを導入する商業施設 [1], [2] も出てきており, 館内放送に代わる迷子防止や迷子探しのためのサービスが求められていると考えられる.

これまで, 迷子搜索に利用可能な屋内位置情報サービス

が実用化されている [1], [3], [4], [5]. しかし, これらのサービスには迷子防止を促す機能はなかった [1], [3], [4], [5].

また, 屋内での迷子防止を目的としたシステムには, 子どもの所持するデバイスと親の所持するデバイスとの距離が一定の距離よりも離れると, 親の所持するデバイスに内蔵されたブザーが鳴ることで迷子の防止を促すサービスがある [7], [8], [9]. しかし, これらのサービスは位置情報を取得できないため迷子搜索の支援ができず, 迷子防止と迷子搜索を同時に行うことはできないという問題がある.

本稿では, 迷子防止と迷子搜索の両方を考慮した屋内位置情報サービス「子ども見守りサービス」を提案する. この屋内位置情報サービスは, 位置検出用デバイスを携帯した子どもが施設内のどのエリアにいるか, 親が Web ページで確認することを可能とする. また, 施設内でデバイスを装着した子どもが保護者と離れて迷子になりそうな状態を両者の位置情報から推定し, 保護者に電子メールを用いて注意を促すことで迷子を防止する.

子ども見守りサービスを構築する場合に以下の点が問題にあげられる.

- 位置を常時推定する手法の 1 つである無線電波通信を用いた手法を用いる場合, 木造や吹き抜けのある建物では, 電波が階をまたいで届くことがあるため階の推定を誤る可能性がある.
- 屋内での電波環境は壁や物や人との反射, シェドウイング, マルチパスなどの影響で, 非常に複雑なため, 推定位置を大きく誤る可能性がある. 推定する位置を大きく外した場合, 迷子の発見にかかる時間が増大する.
- 屋内位置情報サービスの普及のためには, 既存の施設への導入が容易であることが重要である. 具体的には, 導入にあたって必要となる作業を減らし, コストを抑える必要がある. 無線電波通信を用いた位置推定手法では, 位置を推定する範囲の中に, 位置の基準点となる基地局を複数設置する必要があるため, 導入コストは基地局の設置個数が多くなるほど高くなる. しかし, 基地局の設置個数を減らすと位置推定精度が低くなる.
- 子どもがデバイスの所持を嫌がり, サービスの利用を拒否する可能性がある.

そこで, 我々は子どもが自ら利用したがるようなキッズ・フレンドリーなデバイスを開発し, 屋内位置情報サービスを構築する. さらに, 大気圧センサと, 確率モデルを用いることによって, 基地局の設置個数を削減しつつも, 位置の推定精度の低下を防ぐ位置推定手法を提案する.

大型ショッピングモール「イーアスつくば」での実験により, 位置推定精度が 82.72% となり, 迷子を見つける時間が短縮されるとともに, 迷子の防止に役立つことが期待できる. さらに, 提案手法が従来手法と比較して, 36.2% 位置推定精度が向上したため, 位置推定精度の低下に対して

も有効性が確認された. 以下 2 章では, 関連する研究について議論し, 3 章では, 本サービスの全体像について述べる. 4 章では, 屋内位置推定方式について提案を行い, 5 章ではその具体的な方法として, 確率モデルを用いた位置推定手法とその評価について述べる. 6 章で実装について説明し, 7 章で評価実験について述べる. 最後に 8 章でまとめる.

2. 関連研究

2.1 屋内位置情報サービス

従来, 多くの迷子搜索に利用可能な屋内位置情報サービスが実用化されている [3], [4], [5]. なかでも, 本サービスに近いものとして, 「迷子探しサービス」がある [1]. これは, 約 80m 四方ごとに分割されたエリアのどこに子どもがいるか web 上で確認できるサービスである. しかし, このサービスには迷子防止を促す機能はなかった.

また, そのほかの屋内位置情報サービスでは, 屋内の位置情報を取得するためにスマートフォンなどの携帯端末を用いるアプリケーションのため, 携帯端末を所持している割合が低い小学校低学年や未就学の児童 [6] の迷子搜索サービスは難しかった [3], [4], [5].

一方, 屋内での迷子防止を目的としたシステムには, 子どもの所持するデバイスと親の所持するデバイスとの距離が一定の距離よりも離れると, 親の所持するデバイスに内蔵されたブザーが鳴ることで迷子の防止を促すサービスがある [7], [8], [9]. しかし, これらのサービスは屋内のどこにいるかを推定せず, センサなどを用いて親と子どもとの距離から迷子判定を行うため, 迷子になった場合, 迷子搜索の支援ができないという問題があった.

2.2 位置推定手法

一般的に屋外での位置情報は, GPS (Global Positioning System) を利用することで取得可能である. しかし, 屋内では GPS の電波が弱くなるため測位が困難である. そのため, 無線 LAN, RFID, IMES, XBee, 赤外線などの無線通信を用いた位置推定手法の研究が進められている [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]. 赤外線などの光を用いた無線通信は, 太陽光のノイズに弱いという問題や, 物影に隠れると光が届かず通信が困難であるという問題がある. また, 太陽光を取り入れる吹き抜けがある施設では利用することができない. RFID は通信距離が数センチから数メートルと短いため, 大型施設内でつねに位置を推定しようとする, 基地局の設置コストが増大し, 現実的でない. また, Wi-Fi は個人や企業が各自に設置していることが多いためコストが少なく非常に優位であるが, 設置位置や機器が変動したりするため座標の把握や, 管理が容易でないことから迷子探しサービスには適さないと判断した. IMES などの屋内 GPS は今後普及が見込ま

れるが、現時点では入手が難しい。

そこで、本システムでは屋内でも 30 m 以上の通信距離があり、なおかつ小型で、軽量という特徴のある無線電波通信機器 XBee [19] を利用する。子どもが携帯するデバイスを構築するうえで、小型で軽量、省電力という特徴は非常に重要である。

電波を用いる通信機器の屋内での位置推定手法は、一般に 2 種類の方式がある。1 つ目が RSSI (Received Signal Strength Indicator) 方式 [10] であり、2 つ目が TDOA (Time Difference of Arrival) 方式 [20] である。RSSI 方式は、基地局と通信機器との通信時の電波強度から位置を推定する方式である。一方、TDOA 方式は基地局と通信機器との通信時間から距離を算出し、位置を推定する方式である。TDOA 方式は RSSI と比較し高精度の位置推定を実現できるという研究結果も出ているが、TDOA 方式は設置費用が RSSI 方式と比べ高額である。そのため、コスト面における導入の容易さから本研究では、RSSI 方式を用いた位置推定を行う。

一方、本サービスに近いものとして、迷子探しサービスがある [1]。これは、施設を約 80m 四方のエリアに分割し、各エリアに通信可能な電波環境を構築することで、位置検出を可能としていた。しかし、各エリアに分かれた理想的な電波環境を構築するために各基地局の電波の方向と強度の調整を行う作業が必要であり、既存の施設への導入は困難であった。また、もう 1 つの問題として、精度を上げようとすると基地局の設置個数が増大し、基地局を設置する際の電波調整がさらに困難になることがあげられる。

そこで、本稿では各基地局の電波の調整が不要で、従来よりも基地局の設置個数の削減が可能な位置推定手法を提案し、4 章と 5 章で述べる。

3. 子ども見守りサービスの構成

本章では、迷子搜索と迷子防止を目的とした屋内位置情報サービスの構成について述べる。

3.1 設計方針

図 1 に迷子搜索と迷子防止を行うための位置情報サービスの概念図を示す。図 1 に示すように、位置検出用デバイスを携帯した子どもが施設内のどのエリアにいるか、親が携帯電話などを用いていつでも Web ページ上から子どもの位置を確認できたり、子どもが親から離れた際に親の携帯電話の着信音が鳴ったりするような Web サービスを実現する。このサービスを利用すれば、迷子が現在いるエリアが分かるため搜索範囲が狭まり、搜索時間の短縮が期待できる。また、親子のいるエリアが一定以上離れたとき、親に連絡することで迷子の予防の効果も期待できる。

本サービスを実現するためには、次のような要件を満たす位置推定手法が必要となる。

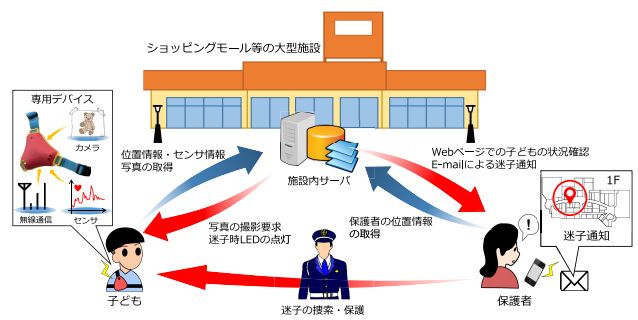


図 1 子ども見守りサービスの概要

Fig. 1 Child Monitoring Service overview.

- 1) 階を誤ったエリアへの誤推定は迷子の搜索を困難にするため、階を正しく推定することが重要である。位置を常時推定する手法の 1 つである無線電波通信を用いた手法を用いる場合、木造や吹き抜けのある建物では、電波が階をまたいで届くことがあるため階の推定を誤る可能性がある。そこで我々は大気圧センサを用いて高度を測定することで、階誤りの防止を試みた。
- 2) 屋内位置情報サービスの普及のためには、既存の施設への導入が容易であることが重要である。具体的には、導入にあたって必要となる作業を減らし、コストを抑える必要がある。無線電波通信を用いた位置推定手法では、位置を推定する範囲の中に、位置の基準点となる基地局を複数設置する必要があるため、導入コストは基地局の設置個数が多くなるほど高くなる。そこで我々は、基地局の設置個数を削減する位置推定手法を提案する。具体的には、大気圧センサを用いることで、別の階から到達する電波を利用して位置推定の精度を向上させたり、基地局の数を削減したりする。そこで、実験により、基地局を設置していない階での位置推定が可能であるか試みた。
- 3) エリアを間違えたとしても遠く離れたエリアではなくせいぜい隣接したエリアとなることが重要である。屋内での電波環境は壁や物や人との反射、シャドウイング、マルチパスなどの影響で、非常に複雑なため、位置推定は容易でなく、誤って推定する可能性がある。その場合でも隣接したエリアであると推定されていれば、迷子の発見に寄与できよう。そこで、屋内の電波環境と屋内での人の移動を確率モデルで表すことで、過去の位置の履歴を反映させた位置推定を行う。これにより、大きな推定誤りを抑えることが可能になる。

また、本システムでは、子どもが利用したがることも重要である。子どもがデバイスを所持する場合、デバイスを持つことを嫌がったり、デバイスを捨ててしまったりして、サービスが利用できなくなる可能性がある。従来の迷子搜索支援や迷子防止を目的としたサービスでは、システムが子どもにとって使いやすいかどうかについては取り上げてこられなかった。そこで、我々は、子どもが自分から

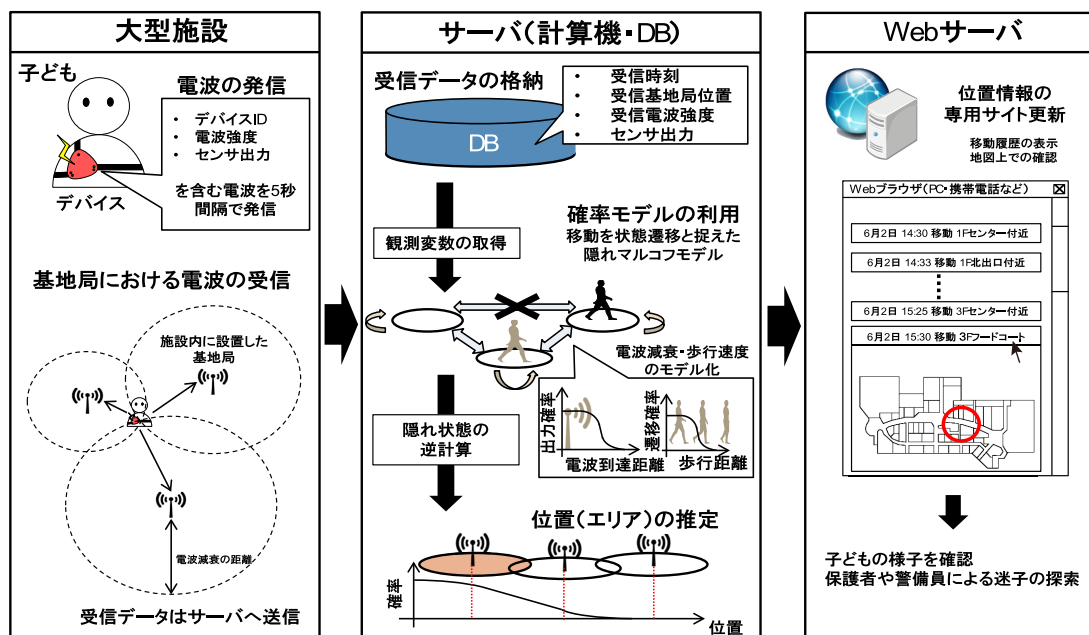


図 2 システムの全体図
Fig. 2 System overview.

身に付けたがるようなデザインのデバイスや親子が見やすいホームページを設計した。これにより、子どもがサービスの利用を嫌がることによって、サービスが利用できなくなることを抑えることを可能とする。

3.2 システムの構成

子どもが迷子になり、長時間保護されないことで危険にさらされる事態を防ぐために、図 2 に示すようなサービスを構築した。具体的には、親と子の所持するデバイスの電波強度や、大気圧センサの値を施設内に設置されたサーバに送り、その情報をもとに位置を推定する。そのデータを web サーバに送り、web サービスを構築する。その詳細を以下に述べる。

- おにぎり型デバイス：子どもが施設内でつねに身に付けていても気にならないような軽量かつ動きやすいウェアラブルデバイスである。無線通信機器、カメラ、大気圧センサ、加速度センサ、心拍センサが内蔵されている。一定間隔で固有 ID と大気圧センサの値、加速度、心拍数を発信する。

我々はこれまでに複数のセンサを搭載したウェアラブルデバイスを用いて保育園で、子どもの行動や状態を推定する研究を行ってきた [18], [21]。保育園で複数のデザインのデバイスを試作した結果、図 3 の左に示すおにぎり型のデザインが子どもに好まれることが分かった。そこで、本研究でも、おにぎり型のデザインのウェアラブルデバイスを採用した。

このおにぎり型デバイスは、通常時は動作確認用の LED が点灯し、迷子時には右下の LED が点滅する。

- 親用デバイス：親が持ち運ぶ、5 cm × 8 cm の小型の



図 3 おにぎり型デバイス (左), 親用デバイス (右)
Fig. 3 Onigiri device (left), Device for parent (right).

デバイス (図 3)。無線通信機器が内蔵されており、一定間隔で固有 ID を発信する。

- 情報管理サーバ：デバイスの固有 ID や位置情報、時間情報などをデータベースに登録、管理する計算機。
- 基地局：位置推定対象範囲の各地に設置する無線通信機器の基地局。デバイスからの信号を受け取り、位置情報を付加して情報管理サーバに送信する。
- Web サーバ：情報管理サーバの情報をもとに子どもと親の位置を Web ページ上に表示する。

3.3 各種データの管理

サービスを運営する施設側のシステムについて述べる。専用の ID とパスワードを入力し、管理者用のシステムにログインする。ログイン後、メニュー画面より、貸し出したデバイスの位置情報や、個人情報、基地局の設置位置の確認を行うことができる。図 4 左に示すように、建物のマップを登録することで、マップを利用して、基地局の設



図 4 基地局の登録

Fig. 4 Registration of base station.

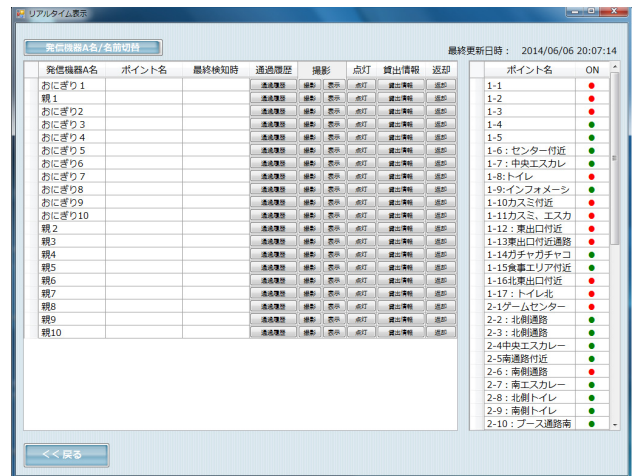


図 6 利用者の位置情報

Fig. 6 Location information of users.

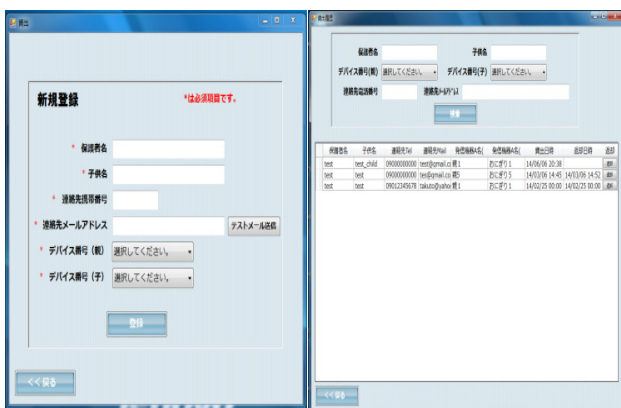


図 5 利用者情報の登録

Fig. 5 Registration of user information.



図 7 ログイン画面

Fig. 7 Log-on window.

位置の登録ができる。また、テキスト情報で設置した位置や ID、子どもの位置情報などを確認することもできる。

サービス運営に必要な情報の登録手順を以下に示す。

まず、基地局の設置位置を登録する。基地局の設置位置は、施設内の地図画像データを専用画面にアップロードし、その地図画像上に基地局の設置位置を示すアイコンを乗せることで登録することができる (図 4 左)。登録した基地局の情報は、テキスト情報ですべて確認することができる (図 4 右)。

次に、利用する親子を登録する。親の氏名と、子どもの名前、連絡先と貸し出すデバイスをキー入力で登録する (図 5 左)。登録された情報は、テキスト情報で確認できる (図 5 右)。利用した親子がデバイスを返却し、利用を終えると、データは消される。

最後に、利用者の位置情報について述べる。管理者は、登録した利用者のすべての位置情報をテキスト情報で確認することができる (図 6)。

3.4 提供するサービス

以上のシステムを用いて、子どもが迷子になり、長時間保護されないことで危険にさらされる事態を防ぐために以

下のサービスを提供する。

- デバイスの貸し出し：ショッピングモールのインフォメーションカウンターでサービスの利用登録をすると、親子に 1 組のデバイスが貸し出される。このデバイスを親子がそれぞれ所持することで、位置情報サービスが利用可能となる。貸出時には、デバイスに対応した Web ページにアクセスするためのパスワードが発行される。
- Web 上での位置情報確認：携帯電話などからパスワード付きの専用 Web ページ (図 7) へアクセスし、自分と子どもがいると推定される各エリア (半径 20~30m) をリアルタイムで確認できる (図 8)。子どもの過去から現在までの位置情報が Web ページ上に地図画像とテキスト情報で表示されるため、親は子どもの位置を容易に把握することが可能である。
- 迷子の防止：親と子どもがいるエリアが一致も隣接もしていない場合、親と子どもが離れたとして、登録したアドレスにメールを送り着信音を鳴らす。
- カメラによる撮影：子どもが迷子になったとき、デバ



図 8 子どもの位置を表示する画面
Fig. 8 Child's location information.

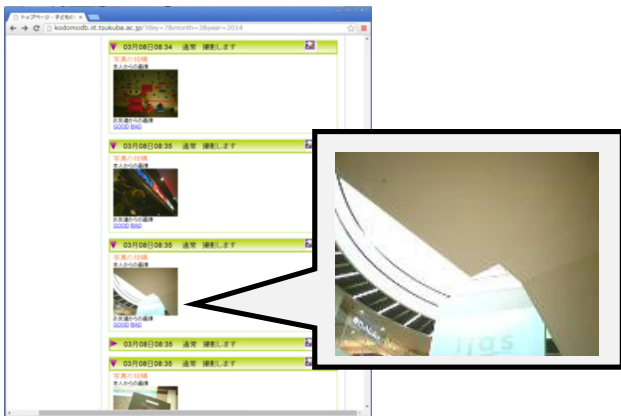


図 9 デバイスに搭載されたカメラの画像
Fig. 9 The picture taken by Onigiri device.

イスに搭載されたカメラ (図 3) によって写真を撮影し、より詳細な位置の特定や、子どもの状況の把握を行う。撮影された画像は、位置情報を確認する Web ページで見ることができる (図 9)。

- 施設従業員による検索：親が Web ページ上の緊急呼び出しボタンを選択することで施設従業員が協力して迷子検索を行う。そのとき、施設従業員が迷子を発見しやすいように、おにぎり型デバイスの右下の LED が赤色に点滅する。子どもを発見した場合はシステムからただちに保護者に連絡が入る。
- 迷子防止サービス：親と子のいるエリアが一定時間以上異なったとき、迷子の危険性があると判定し、親の携帯電話に連絡することで注意を促す。

4. 電波強度を用いた屋内位置推定方式

本章では、子ども見守りサービスを実現するうえで課題となる、無線通信基地局の設置個数を減らして、導入コストを削減するための電波強度 (RSSI) を用いた屋内位置推定手法について述べる。

ここでは、まず既存の RSSI 方式である近接性方式、三点測量方式、マルチホップを利用した方式、環境分析方式の 4 つの推定手法とその問題について説明した後、我々が提案する位置推定方式の概要について述べる。

近接性方式は、位置推定の対象範囲内に設置された複数の基地局と通信した際に、最も受信電波の強度が高い基地局を推定位置とする方法である。この方式には、単位面積あたりの基地局設置個数が少なくなるため設置費用が抑えられるという利点がある。しかし、強度の高い電波を受信した基地局の近くにいることしか分からないため基地局が少ないと精度が低いという問題があった。

一方、三点測量方式は 3 つ以上の基地局と通信した際の電波強度から距離を算出し位置を推定する方法である。推定される位置は、3 つ以上の円が重なる部分となるため精度は高いが、つねに 3 点以上の基地局との通信を行わないとならないため、基地局の設置個数が近接性方式と比べて多くなり、設置コストが増大するという問題があった。

マルチホップを利用した方式 [22], [23] では、基地局と通信機器との三点測量が可能でない場合に、位置座標が推定できる通信機器を基地局として利用することで、三点測量を行う手法である。すべての対象領域において 3 つ以上の基地局と通信できなくても三点測量が可能であるが、この方式では多数の通信機器が推定範囲内に存在しているという仮定に基づいているため、通信機器を所持している人が十分に周りにいなかった場合測量ができないという問題があった。また、壁の反射やシャドウイング、障害物や人間による電波の減衰などを考慮していなかったため、実環境では、通信基地局の位置推定精度がホップを繰り返すたびに大きく落ちる可能性が高いと考えられる。

環境分析方式は、事前に対象場所での電波強度マップを作成し、ベイズ推定などを用いて最も近似する受信状況の場所を推定する方法である。しかし、電波強度は、人や物があることでも変化するため、ショッピングモールなどの場合、展示レイアウトの変更や、多くの人が訪れることで精度が落ちるという問題がある。

これらの手法に対し、我々は近接性方式と三点測量方式の長所を組み合わせた手法を提案した [18]。具体的には、電波が 1 つでも届けば近接性方式として利用でき、複数の電波が届けば三点測量方式のようにして範囲を絞り込める。図 10 を用いて説明すると、提案手法は A, B, C の基地局から電波強度の異なる複数の電波を発信している。端末に A の基地局の弱い電波と B の基地局の強い電波が

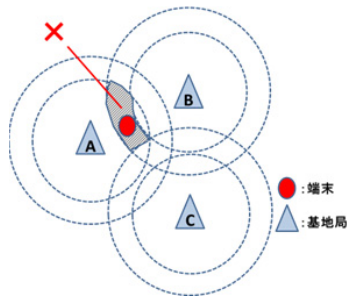


図 10 到達電波を用いた位置推定手法

Fig. 10 Position estimating system using arrival signal.

到達していることから、端末の位置は斜線部であると推定できる。電波の到達を利用しているため、三点測量方式よりも精度は落ちるが、推定範囲の単位面積あたりにおける基地局の数の削減が可能である。

しかし、この方法でも電波の壁や物や人との反射、シャドウイング、マルチパスなどの影響や階をまたいで届く電波の影響で、電波の受信可能範囲が大きく変動するため、大きく推定位置を誤る可能性がある。そのため、本システムでは電波強度による各中継器の受信可能性と、施設の構造上の移動制限を考慮した人の移動について確率モデルを用いてモデル化する。

5. 確率モデルを用いた位置推定手法

4章で提案した位置推定手法では、屋内の電波環境の一時的な変化によって、推定位置を誤る可能性がある。本章では、確率モデルと大気圧センサを用いて位置推定精度を向上させるとともに、大気圧センサを利用した基地局削減手法について述べる。

図 11 に本手法の概念図を示す。本システムでは、デバイスが一定の時間間隔で、そのデバイス固有の ID にそのときの大気圧出力を付加した情報を複数の強度の電波でブロードキャストする。そして、施設内に複数設置された各基地局が、そのブロードキャスト信号を受け取ることで、その固有 ID のデバイスの所持者が施設内のどのエリアにいるのかを推定する。具体的には、施設内での人のエリア移動の確率モデル化と、屋内での電波到達確率のモデル化、大気圧センサが正しい階推定を行う確率のモデル化を行うことで、エリア移動を状態遷移ととらえ、電波到達確率と大気圧センサの階判定正解確率を出力とする隠れマルコフモデル (HMM) を構築する (図 11)。そして、Viterbi アルゴリズムを用いて実時間での位置推定を実現する。

5.1 人の移動のモデル化

施設内で自由歩行を行っている人の単位時間あたりの施設内の移動をモデル化する。具体的には、対象とする施設の範囲を複数のエリアに分割すると、人がある時間に、あるエリアにいることを 1 つの状態としてとらえられる。す

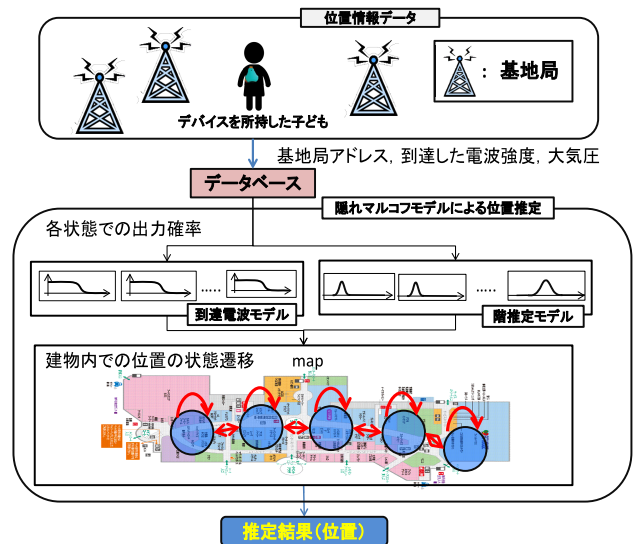


図 11 確率モデルを用いた位置推定手法

Fig. 11 Location estimation method based on probabilistic models.

ると、施設内での単位時間によって変化する人の移動を状態遷移ととらえることができる。

屋内の場合には、距離が近くても、壁などがあると通過することができず移動経路としては遠くなる場合がある。そこで、人が移動できる遷移であるかを考慮して遷移確率を設定する。具体的には以下の 3 つの条件が考えられる。

- a) 通路では、人が走る速度を上回る速度での移動はできない。
- b) 通路が壁で仕切られている、また吹き抜けも通り抜けて移動することができない。
- c) 2階以上ある施設においては、エレベータやエスカレータ、もしくは階段がなければ階を移動できない。

まず、条件 a) について検討する。本研究では、施設に設置した基地局の数を n としたときに、基地局 i ($1 \leq i \leq n$) を設置した座標 (x_i, y_i, z_i) を中心とした区間とする。区間の幅 w は通信機器の発する電波の最大通信距離である。また、基地局 i と異なる基地局 j ($1 \leq j \leq n$) との距離 d_{ij} (式 (1)) が、事前に設定した区間と重なる場合 ($d_{ij} < 2w$)、基地局 i と j を中心とした 2 等分線を区間の境目とする。

$$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} \quad (1)$$

2階以上の建物の場合、階段やエスカレータの部分にも状態を作ることで、階をまたいだ状態遷移を可能にする。また、初期状態や一時電波が届かなかった場合、すべての状態遷移の確率が 0 になったときにも遷移ができるよう、すべての状態への遷移確率が等しい状態 s を与える。状態 s 以外の状態遷移の遷移確率は、通信機器の発信間隔と人の移動距離を考慮して設定した。具体的には、デバイスに内蔵され加速度センサの値を用いて、歩行者の加速度に応じた値を平均 μ としたガウス分布 (式 (2)) で表し、分散 σ は予備実験によって求めた値を用いた。ここで求めた人の

移動距離の分布に、現在の状態から他の状態への距離 d_{ij} (1) を比較して遷移確率 $a_{i,j}$ を求める。

$$a_{i,j} = f(d_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(d_{ij} - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

条件 b) について検討する。推定対象地域内において隠れ状態どうしの距離が近くても壁で仕切られていたり、吹き抜けなどがあったりすると人が通ることができない。そこで、そのような状態どうしの遷移確率 $a_{i,j}$ を 0 にする。

条件 c) について検討する。距離が近くても同じ階ではない状態 ($z_i \neq z_j$) は移動できないので、その遷移確率 $a_{i,j}$ は 0 とする。階段やエスカレータ上に新しく作った隠れ状態とそれに隣接する状態との遷移確率 $a_{i,j}$ はそのままとする。

5.2 電波到達のモデル化

屋内に複数設置された基地局への各種電波強度の電波が到達する確率のモデル化について述べる。

電波を受信する場合、受信電力は、送信電力と送信アンテナ絶対利得、受信アンテナ絶対利得を足し合わせたものから自由空間基本伝搬損失を引いたもので表される (式 (3))。送信電力と送信アンテナ絶対利得と受信アンテナ絶対利得は使用する通信機器固有の値であるため、自由空間基本伝搬損失を求めれば受信電力は求まる。

$$P_s = P_r + G_s + G_r - L \quad (3)$$

P_s : 受信電力 [dBm]

P_r : 送信電力 [dBm]

G_s : 送信アンテナ絶対利得 [dBi]

G_r : 受信アンテナ絶対利得 [dBi]

L : 自由空間基本伝搬損失 [dB]

自由空間基本伝搬損失は一般に式 (4) と式 (5) から、周波数と距離の 2 乗によって表される。基地局での受信が可能となる受信電力は基地局固有であるため、式 (3) と式 (5) から最長距離を求める。この距離が受信可能範囲である。しかし、式 (5) から求めた伝搬損失は自由空間と仮定したもので、ガラスや人混みなどが間にあった場合はより損失が大きくなるため、実際には受信可能な距離が大きく変動する。

$$\lambda = \frac{f}{v} \quad (\lambda: \text{波長 (m)}, f: \text{周波数}, v: \text{速さ (m)}) \quad (4)$$

$$L = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (L: \text{損失}, d: \text{距離 (m)}, \lambda: \text{波長 (m)}) \quad (5)$$

$$F(x) = 1 - \int_{-\infty}^x f(t) dt \quad (f(t) \text{ は累積分布関数}) \quad (6)$$

そのため、自由空間での受信電力から求めた受信可能距離を中心とした、ガウス分布 (式 (1)) の累積分布関数を求

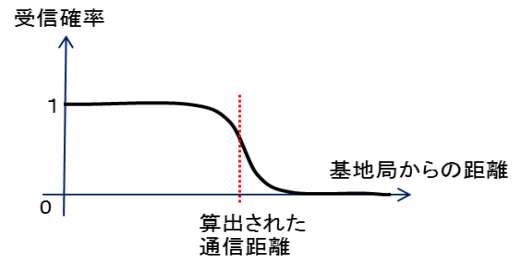


図 12 受信確率のモデル

Fig. 12 Output probabilities of radio receiving.

め、求めた関数を式 (6) に代入したものを受信確率とする (図 12)。

5.3 階推定の正解確率のモデル化

階の誤検出を防ぐために施設内の参照地点における大気圧の測定値とデバイスの測定値の差分から階の推定を行う。このとき、デバイスに搭載した大気圧センサが、歩く振動などで測定値が不安定になるため、正しく階が推定できない可能性がある。そこで、大気圧センサの出力情報を用いて階推定を行ったときに正しい階が求まる確率を階推定正解確率として定義する。

同じ建物内のある参照地点における気圧と温度をつねに測定し、子どもがいる高度 z を参照地点に対する相対高度として求めることで階の推定を行う。ここで、気圧と高度の関係は式 (7) で与えられ、式 (7) の両辺の対数をとると、式 (8) のように表せる。ここで式 (8) から、参照地点とデバイス所持者のいる地点での気圧と温度が分かれば、参照地点に対する相対高度が求まり、その高度情報から、現在のデバイス所持者の階を推定する。しかし、デバイス所持者の走行による上下運動などにより、センサに物理的な衝撃が加わることでセンサの出力に誤差が生じ、正しい階の推定が行われない。そのため推定された階を平均としたガウス分布を大気圧センサの階推定正解確率とする。分散の値は予備実験を行い適切な値を設定した。

$$p(z) = p(z_0) \exp\left(\frac{-g(z - z_0)}{R_d \bar{T}}\right) \quad (7)$$

R_d : 1 kg の乾燥空気の気体定数 $287 [\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}]$

\bar{T} : z_0 から z までの平均気温

g : 重力加速度 $9.81 [\text{m}/\text{s}^2]$

$p(z_0), p(z)$: 高度 z_0, z における大気圧

$$z = z_0 - \frac{R_d \bar{T}}{g} \log\left(\frac{p(z)}{p(z_0)}\right) \quad (8)$$

5.4 隠れマルコフモデルによる定式化と位置推定

以上で述べてきた、人の移動モデル、電波到達モデル、階推定確率を使ったモデルを用いると隠れマルコフモデルが構成できる。つまり、人の移動のモデルを状態遷移確率 $a_{i,j}$ とし、電波到来確率モデルと階推定正解確率を用いたモデルを出力確率 $b_j(x_k, z_l)$ とする。このとき電波到来確

率と階推定の正解確率は独立であるため、エリア j にいる際の出力確率は式 (9) で表せる.

$$b_j(x_t, z_t) = G(z_t) \cdot F(x_t) \quad (9)$$

$b_j(x_k, z_l)$: エリア j にいるとき, 電波強度 x_k を受信し, z_l 階と推定される確率

$G(z_k)$: z_k 階と出力される正解確率

$F(x_l)$: x_l の強度の電波到達確率

一定時刻ごとにいたエリア移動列を $S = \{s_1, s_2, \dots, s_t\}$ とし, そのときに観測された到来した電波の強度と階推定の値の列 (出力データ) を $O = \{(x_1, z_1), (x_2, z_2), \dots, (x_t, z_t)\}$ と定義する. すると, 出力データ O とエリア移動列 S が与えられたとき, その同時確率は式 (10) で表せる.

$$P(S, O) = p(s_0) \cdot \prod_{n=1}^t a_{s_{n-1}, s_n} \cdot b_{s_n}(x_n, z_n) \quad (10)$$

初期確率 $p(s_0)$: 初めは, すべての状態への遷移確率が等しい状態 s から始めるため, $p(s_0) = 1$

状態 s_i : エリア i

状態遷移確率 $a_{i,j}$: 一定時刻にエリア i からエリア j へ遷移する確率.

出力確率 $b_j(x_t, z_t)$: エリア j にいるとき, 電波強度 x_t を受信し, z_t 階と推定される確率

S : 移動したエリアのデータ列. $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$

O : 出力された電波強度のデータと推定された階のデータ列. $O = \{(x_1, z_1), (x_2, z_2), \dots, (x_t, z_t)\}$

出力配列データ O のみが与えられたとき, 最も尤もらしい状態遷移列 S' は式 (11) で表せる. 式 (11) を, viterbi アルゴリズムを用いて最大化することで, 最も尤もらしい現在位置を推定することができる.

$$S' = \operatorname{argmax}_S [P(S, O)] \quad (11)$$

5.5 仮想基地局による基地局の削減手法の提案

大気圧から算出した階情報を利用して, 上下階からの電波のみから現在位置を推定する.

吹き抜け構造や木造建築の建物においては, 階をまたいで電波を通すため, 階の推定は難しい. しかし, 精度の高い大気圧センサを用いると, 大気圧から高度を算出できるため階の推定は容易となる. そのため, 上下階からの電波を利用して, 位置を推定し特定の階の基地局設置個数を削減することを考える.

吹き抜け構造のあるフロアにおいて, 基地局を設置せず, 上階または下階にある基地局と同じ位置に仮想的に基地局が設置されていると考え, エリアを設定する. 大気圧センサを用いた階推定の正解確率は信頼性が高いため, どの階から到達した電波かを判別できることから, 式 (11) を用

いて位置を推定できる. 他の位置推定実験と同様に評価を行った.

6. 実装

実験を行うためのシステム構成とその実装方法について述べる. 我々は, つくば市内の大型ショッピングモール (イーアスつくば) において, 迷子探しと迷子防止を行うための位置情報サービスと, それに対応するシステムの検討, 開発を循環的に行ってきた.

本稿では, イーアスつくばの 1 階から 3 階通路を使用し実験を行った. 通路の全長は約 300 m である. 実験場所は, 図 15 のように 2~3 階通路の一部に吹き抜けがあり, 電波は階をまたいで届く構造である. 隠れマルコフモデルにおける各隠れ状態は, 基地局と基地局の間に 2 等分線を引いて分割した, 19 のエリアと 4 か所のエスカレータである (図 14).

6.1 デバイス

ユーザが所持するデバイスには無線モジュール XBee と大気圧センサ SCP1000-D01, およびそれらを制御するマイコンを実装した. サイズは 4 cm × 7 cm で, 首からぶら下げたり, 衣服や持ち物に装着して用いる. 小型かつ軽量であるため, 子どもが装着しても動きが阻害されず, 負担になることはない (図 3).

6.2 基地局の設置

各基地局どうしが通信できる範囲内に設置するため, 約 30 m 間隔で設置した. 来客者に不信感を与えないために, 研究内容の説明が書かれたポスターパネルを製作し, その中に XBee を実装した基地局を埋め込んだ (図 13). 厚さ 15 mm 高さ 1.1 m のパネルの一部をくりぬき回路がおさめられている. XBee はメッシュネットワークを構成しており, ある基地局が受け取った情報はほかの基地局の XBee で中継されて情報管理サーバまで伝えられる.

施設の景観を配慮し, ポスターパネルの下部は施設の壁紙と同色にしている. このポスター型の基地局にはバッテリーを内蔵しているタイプとコンセントから電源を供給するタイプの 2 種類がある. バッテリータイプはコンセントのない場所でも, 位置の制限を受けることなく設置が可能である. また, 安全性に配慮し, ポスターパネルは難燃性の素



図 13 ポスター型基地局

Fig. 13 Poster type base station.

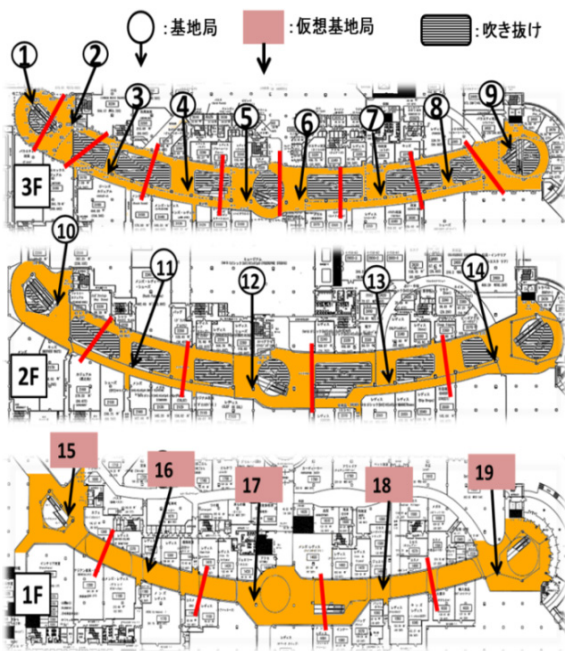


図 14 基地局設置位置とエリア

Fig. 14 Location of base station installation and areas.



図 15 イーアスつくばの吹き抜け図

Fig. 15 Layout of the figure object.

材を使用して作り、角にぶつかって怪我をしないように、角のある部分にはクッション性のある素材を取り付けた。

基地局は2~3階の通路の柱に、来客者の邪魔にならないように設置を行った。1階の通路には設置できる箇所がなかったため、1階においては、電波が吹き抜けを通ることを利用し上階に設置した基地局と、大気圧による高度推定によって位置の推定を試みた。

6.3 位置推定手法の実装

デバイスは5秒おきに電波強度の異なる2種類の電波(1.4dBmと-7dBm)に大気圧の測定値を付与して発信する。発信された電波は電波到達範囲内にある基地局を介して情報管理サーバへ送られる。情報管理サーバでは、デバイスから送られてきた信号を処理し、デバイスの固有ID、デバイスの発信時刻、基地局に到達した電波強度、基地局の固有ID、大気圧をデータベースに格納する。データベースに格納された情報から位置推定を行い、推定位置をデータベースに格納する。

6.4 エリア境界線部分の状態の追加

エリアどうしの隣接付近での電波環境は似ているため、誤判定が多く起きる。そこで、電波環境の似通うエリアどうしの隣接付近を新しい状態として位置推定を行う。具体的には、境界部分の状態を通過しないと、隣の状態へ移動できないようなモデルを構築した。

7. 評価実験

本手法によって推定される位置精度を評価するために、位置推定手法を実装し、大型ショッピングモールで実験を行った。男女計5名の大学生が5秒おきに発信するデバイスを所持して20分間自由歩行し、デバイスの発信ごとに被験者のいるエリアを正しく位置推定できているか確認した。

7.1 実験方法

位置推定の正誤を確認するためには歩行者のエリア移動を正確に記録する必要がある。実験は朝の営業開始前の8時から10時までの時間を使って行ったが、開店準備のための店員や清掃員がいるため、エリア境界のマーキングを行うことは不可能であった。そこで、我々はマーカの代わりにレーザーを用いて実験を行った。

具体的には、位置推定を行う歩行者に対して、各エリア境界を事前によく確認した位置判定員3名と、判定結果の記録員1名を同行させて実際の歩行者の位置を正確に記録した。以下に、それぞれの役割について述べる。

- 位置判定員 (3名)：判定員のうち2名は歩行者の進行方向を予測してエリア境界に先回りし、その両端で待機する。待機中はレーザーポインタで境界に沿って逆の端にいる別の判定員の体に向けてレーザーを照射し続ける。残りの1名の判定員は歩行者を観察しやすい位置につく。歩行者によってレーザーが遮られたのを観測した判定員は、各自所持している旗を上げる。
- 記録員 (1名)：判定員3名中2名が旗を上げた時点で歩行者がエリア移動をしたと見なし、移動先のエリア番号とその時刻を記録表に記入する。記録員は電波時計を用いて時刻の記録を行う。なお、デバイスの発信時間は5秒に1回のため、観測結果の記録は秒単位で行えば十分と考えた。

7.2 評価

評価方法は、情報管理サーバ内のデータベースに記録された推定結果に対して、ある時刻における観測結果が一致した場合、その時刻における推定結果を正解とする。つまり、位置推定はデバイスが発信するごとに行っており、正解率は、正しく推定できた回数をデバイスの発信回数で割ったものである。

この正解率を、大気圧センサと隠れマルコフモデル (以

表 1 正解率

Table 1 Accuracy rate.

	HMM+大気圧	HMMのみ	従来手法
正解率	82.72%	78.55%	46.5%

表 2 隣接エリアを含めた正解率

Table 2 Accuracy rate of including adjacent area.

	HMM+大気圧	HMMのみ	従来手法
正解率	98.7%	80.8%	65.4%

表 3 各階での正解率

Table 3 Accuracy rate on every floor.

	HMM+大気圧	HMMのみ	従来手法
1階	89.4%	-	-
2階	86.63%	80.4%	57.3%
3階	72.3%	64.9%	41.1%

下 HMM) を用いた位置推定手法と大気圧センサを用いない HMM の位置推定手法, 各電波強度の信号に重みを付けて, 一定時間内に取得した信号のうち最も重みが高かった基地局を現在地として推定する従来手法 [18] との比較を行った。

7.3 結果

実際に大型施設内で位置推定を行い, HMM と大気圧センサの両方を用いた場合, 大気圧センサによる階の推定を行わず HMM のみで推定した場合, および従来手法と比較した (表 1)。その結果, 従来手法よりも提案手法を用いた方の正解率が 32.05% 向上しており, 提案手法の有効性が確認できた。吹き抜け付近では, 上下階の基地局とも通信を行うが, HMM を利用して過去の履歴を現在の位置に反映させることで, 上下階の誤検出に対応することができたと思われる。大気圧を用いるとさらに約 4.17% の正解率向上が確認された。これは, 隠れ状態に階の移動制限を設けただけでは不十分であり, 電波のみでは階誤りをすることを示している。大気圧センサと HMM を利用した手法の誤りは, エリアとエリアの移動した瞬間には対応できず, 移動前のエリアと誤推定することが主な原因であった。結果を確認したところ, 人の移動モデルを入れたことでエリア移動の検知は従来手法よりも早くなっていた。

一方, エリアを誤推定しても, 隣接するエリアであれば迷子探しに役立つことから, エリア境界線付近で隣のエリアと取り違えたものも正解とした場合の正解率を表 2 に示す。結果は, 従来手法では階の誤検出などで大きくエリアを間違えて推定しているが, HMM を用いて過去の履歴を反映させることで 15.03% 正解率が向上し, 大気圧センサを用いれば 33.3% 正解率が向上した。隣のエリアと間違えることはあるものの, デバイスに取り付けられたカメラや, デバイスに搭載された非常用 LED を点滅させて発見率の向上を補うことで, 子ども見守りサービスとしては,

十分な正解率であると考えられる。

1 階部分は仮想基地局のため大気圧センサと HMM を用いた位置推定のみで実験を行った (表 3)。1 階と 2 階とではほぼ同じ正解率であることが示された。これにより, 階をまたぐ電波と大気圧を利用した位置推定の有効性が確認できた。

8. まとめ

本稿では, 屋内での人の移動のモデル化と電波の到来確率のモデル化, 大気圧での階推定精度のモデル化を行い, それらを用いた隠れマルコフモデルに基づく位置推定手法を提案した。同時に, 大気圧センサによる階誤りを減らす手法を提案し, 大気圧センサと別の階からの電波のみでの位置推定が可能か試みた。

確率モデルを用いてモデル化したことにより, 遠く離れたエリアの誤推定が改善され, 従来手法と比較して正解率が約 30% 改善された。また大気圧センサを用いることで, 階誤りの防止だけでなく, 基地局を設置していない階でも約 90% の正解率で位置を取得できた。

今後は, 屋内位置推定で用いる通信機器を GPS と同じ電波形式を用いている屋内 GPS を利用することで屋内と屋外のシームレスな位置推定を行い, 得られた位置情報を利用したサービスについても検討したいと考えている。屋外駐車場などの施設内の屋外では, 通常の GPS を用いた方がコストや精度において優位であると考えられる。屋内 GPS を用いると, 同じ通信機で GPS と屋内 GPS の両方の通信機器と通信できるため, GPS と屋内用の通信機器を分ける必要がなく, コストの削減が可能となる。そこで, 屋内と屋外のシームレスな位置推定を可能とする屋内 GPS の利用を検討している。屋内 GPS も電波強度の取得が可能であるため, 本手法を利用できる。また, 迷子時にマイクを用いて親の声を伝えるなどの心理的なケアや, 子どもデバイスに搭載された加速度センサや心拍センサなどを用いて子どもの状態を推定することで, さらに子どもの安心・安全に配慮したサービスの実現を目指して研究を行っていく。

謝辞 実験場所を提供していただいた, イーアスつくば (ダイワハウス工業株式会社) に感謝します。

参考文献

- [1] 坂井宏光, 小田倉淳, 山田文俊: 安全・安心なお買い物環境を実現する屋内基地局測位による迷子探しサービス, NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル, Vol.17, No.2, pp.46-48 (2009).
- [2] 高島屋/現場提案で新タイプの迷子防止サービス導入, 迷子の個人情報保護に配慮, 入手先 (<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/JIREI/20080515/301786/>) (参照 2014-09-10).
- [3] Rekimoto, J., Miyaki, T. and Ishizawa, T.: LifeTag: WiFi-Based Continuous Location Logging for Life

- Pattern Analysis, Location- and Context-Awareness, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4718, pp.35-49 (2007).
- [4] Micello Indoor Maps, 入手先 (<http://www.micello.com/jp>) (参照 2014-09-10).
- [5] 曆本純一, 塩野崎敏, 末吉隆彦, 味八木崇: PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤, インターネットコンファレンス, pp.95-104 (2006).
- [6] 平成 24 年度青少年のインターネット利用環境実態調査調査結果 (速報), 入手先 (<http://www8.cao.go.jp/youth/youth-harm/chousa/h24/net-jittai/pdf/kekka.pdf>) (参照 2014-09-10).
- [7] REVEX/離れるとアラーム, 入手先 (<http://www.revex.biz/item/?no=67>) (参照 2014-09-10).
- [8] Google play/迷子防止, 入手先 (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.taiyost.android.blueberry&hl=ja>) (参照 2014-09-10).
- [9] princeton/レーダー機能付きアラーム PWS-KF1W, 入手先 (<http://www.princeton.co.jp/product/pwskf1w.html>) (参照 2014-09-10).
- [10] Bahl, P. and Padmanabhan, V.N.: RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System, *Proc. IEEE Infocom 2000*, pp.775-784 (2000).
- [11] Manandhar, D., Kawaguchi, S., Uchida, M., et al.: IMES for Mobile Users Social Implementation and Experiments based on Existing Cellular Phones for Seamless Positioning, *International Symposium on GPS/GNSS* (2008).
- [12] Naimark, L. and Foxlin, E.: Circular Data Matrix Fiducial System and Robust Image Processing for a Wearable Vision-Inertial Self-tracker, *Proc. 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, IEEE Computer Society (2002).
- [13] Bekkali, A., Sanson, H. and Matsumoto, M.: RFID indoor positioning based on probabilistic RFID map and kalman filtering, *Proc. 3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, White Plains, NY., USA., p.21 (2007).
- [14] 梶 克彦, 河口信夫: indoor.Locky: UGC を利用した無線 LAN 屋内位置情報基盤, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.12, pp.1-11 (2011).
- [15] LaMarca, A., Chawathe, Y., Consolvo, S., et al.: Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild, *3rd International Conference PERSASIVE2005*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.LNCS3468, pp.116-133 (2005).
- [16] 中村嘉志, 並松祐子, 宮崎伸夫, 松尾 豊, 西村拓一: 複数の赤外線タグを用いた相対位置関係からのトポロジカルな位置および方向の推定, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.3, pp.1349-1360 (2007).
- [17] 藤田 迪, 梶 克彦, 河口信夫: Gaussian Mixture Model を用いた無線 LAN 位置推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.3, pp.1069-1081 (2011).
- [18] Hamanaka, M., Murakami, Y., Usami, A., Miura, Y. and Lee, SH.: System for Detecting Kindergartners' Potential Emergency Situations, *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, Vol.9, No.2, pp.39-45 (2011).
- [19] Digi International: Bee & XBee-PRO OEM RF Module Antenna Considerations, 入手先 (http://ftp1.digi.com/support/images/XST-AN019a_XBeeAntennas.pdf) (参照 2014-09-10).
- [20] 安田明生: GPS 技術の展望, 信学論 (B), Vol.J84-B, No.12, pp.2082-2091 (2001).
- [21] Lee, SH., Sohn, J., Usami, A. and Hamanaka, M.: Development of Wearable Device by Kid's friendly Design

for Kid's Safety, *Human Computer Interaction 2010*, Brisbane, Australia (2010).

- [22] 春本 要, 藤原謙太郎, 寺西裕一, 秋山豊和, 竹内 亨, 西尾章治郎: 存在確率分布の伝播を用いた自己位置推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.5, pp.1862-1870 (2011).
- [23] 山田純弥, 竹中友哉, 峰野博史, 水野忠則: 電子トリアーシステムにおけるモバイルノード利用型 RSSI 位置推定方式, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.5, pp.1871-1881 (2011).



木村 峻介 (学生会員)

2013 年筑波大学工学システム学類卒業, 同年より筑波大学大学院博士前期課程システム情報工学研究科に在学中. 位置推定に関する研究に従事.



松本 卓人

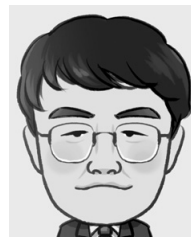
2013 年筑波大学工学システム学類卒業, 同年より筑波大学大学院博士前期課程システム情報工学研究科に在学中. 基盤設計に従事.



矢澤 櫻子 (学生会員)

2011 年筑波大学工学システム学類卒業, 2013 年筑波大学大学院システム情報工学研究科博士前期課程修了, 現在は筑波大学大学院システム情報工学研究科博士後期課程に在学. 音楽情報処理分野の研究に従事. 人工知能学会,

Society for Music Perception and Cognition 各会員.



星野 准一 (正会員)

筑波大学システム情報系准教授. エンタテインメント VR の研究に従事. 博士 (情報科学), 博士 (デザイン学). エンタテインメントコンピューティングの研究に従事. IEEE, ACM 各会員.



李 昇姫

1999年筑波大学大学院芸術学研究科博士課程修了。博士（デザイン学）。同年オランダデルフト工科大学デザイン工学部主任研究員。2000年筑波大学芸術学系講師。2001年より筑波大学大学院人間総合科学研究科感性認知

脳科学専攻講師。2007年同専攻准教授。2014年 Southern Denmark University, User Centered Design 分野の客員教授。



浜中 雅俊 （正会員）

2003年筑波大学大学院工学研究科電子・情報工学専攻博士課程修了。2003～2004年日本学術振興会特別研究員PD, 2004～2007年科学技術振興機構さきがけ研究員（専任）として独立行政法人産業技術総合研究所において音楽情報処理の研究に従事。2004～2005年オランダ・

ナイメヘン情報認知研究所（NICI）客員研究員。2007～2014年筑波大学大学院システム情報系講師。2014年～現在、京都大学大学院医学研究科において計算創薬、疾患予測の研究に取り組む。博士（工学）。2001年情報処理学会山下記念研究賞, 2001年SCI（5th World Multiconference on Systemics Cybernetics and Informatics）in Art 優秀論文賞, 2003年筑波大学大学院優秀論文賞（博士課程長賞）, 2005年ICMC2005 Best Paper Award（Journal of New Music Research Distinguished Paper Award）各賞受賞。