

レーザレンジスキャナと Wi-Fi Fingerprint を併用した歩行者の位置推定手法の提案

和田 悠佑¹ 山口 弘純^{1,2} 東野 輝夫^{1,2}

概要：我々の研究チームはこれまでにレーザレンジスキャナ (LRS) をインフラとし、歩行者の持つスマートフォンのような端末間の通信を利用して屋内環境における歩行者の位置を推定する手法を提案してきている [1-3]。本稿では、先行研究で想定しているよりも歩行者密度の小さい空間や、廊下等の通路における歩行者の位置推定手法を提案する。先行研究と同様に LRS を歩行者計測のインフラとし、建物内の Wi-Fi の基地局との通信の無線信号強度を手がかりに歩行者の位置を推定する。本手法では LRS の高い測距性能を利用することで、従来のフィンガープリント法よりも遥かに誤差が小さい位置推定を実現し、また事前学習データも少なく済ませることができる。大学棟内で行った実験では、ほぼ 100% の歩行者を識別し、位置を推定することができた。

キーワード：屋内位置推定 レーザレンジスキャナ 無線通信 実証実験評価

1. まえがき

近年、人の位置や行動を多様なセンサで計測し、情報システムやサービスに活用する技術への需要がこれまでに大きく高まっている。行動情報の中でも、屋内環境における歩行者の正確な位置情報はアンビエント・コンピューティングにおいて中核を成す情報の一つである。博物館・美術館等の施設やイベントスペースにおけるパーソナルナビゲーションシステム、家庭やオフィスビルにおける人の行動に合わせてエネルギー管理を行うスマートホーム・スマートビルディングといったエネルギー管理システム、商業施設における買い物客の移動情報に基づくマーケティング調査やターゲティング広告など、歩行者の位置情報を利用した様々なシステム、サービスが期待されている。

歩行者の物理的な位置を外部より追跡する技術としては、カメラ映像認識などが一般的に用いられる。また携帯端末や RFID タグといったデバイスを利用し、それらの位置を特定する技術として、赤外線センサや超音波センサを用いた測距ベースの推定技術、WiFi の電波強度地図を生成し受信電力で地図マッチングを行う方法、モバイルデバイスに搭載された慣性センサを利用する自律航法などが知られている。前者は比較的正確な物体位置特定が可能である一方、それらの歩行者が保持する携帯端末の位置特定は

できず、端末上の位置情報サービスへの応用は難しい。また、後者は端末そのものの位置を特定できるが、一方で、広範囲で実施するために位置基準局をある程度の密度で設置する必要があるたり、位置精度が安定しなかったりするなどの課題がある。

これに対し、我々はレーザレンジスキャナ (LRS) を用いて歩行者の位置を正確に計測するとともに、歩行者が保持する携帯端末（移動端末）間での短距離通信により歩行者間の位置関係を計測し、それらのデータを併用することで、歩行者の位置をトラッキングできる手法について研究してきている [1-3]。LRS は、センサから物体までの距離を高々数 cm 程度の距離誤差で正確に計測することができるセンサで、広範囲を高速にスキャンすることが可能である。例えば、実際に市販されている LRS [4] では、距離 30 m、視野角 270 度の扇形領域を 25 ms 間隔でスキャンし、誤差 ± 50 mm の精度での測距が可能である。センサの計測データはセンサに対する方向と距離で表される位置情報のみであるため、計測対象となる歩行者のプライバシーを侵害するおそれが少ない。[1-3] では、移動端末間の近接性の変化を特徴量とし、LRS で得られる歩行者群の正確なトラッキング位置と、短距離無線通信により得られる移動端末の相対位置関係をマッチングすることで、LRS で得られた歩行者位置がどの移動端末のものであるかを特定し、正確な端末位置推定に結びつけている。しかしこの手法は、パーティ会場など十分な端末密度があり LRS が対象領域を

¹ 大阪大学大学院情報科学研究科

² 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

ほぼスキャンできる環境において、それらの領域内を移動し続ける端末の位置を推定する方法であり、例えばオフィスのフロアやブースが並ぶ展示会場、大型のショッピングモールなど、居住者や来訪者が単独あるいは少人数で通路主体で構成された比較的広い領域を行きかうような環境は想定していない。このような環境においては十分な近接端末数が得られず、端末を区別するに足る十分な近接性特徴量が得られない可能性が高いため、物理位置に紐づいた位置基準局を活用する必要がある。

そこで本研究では、屋内位置推定技術として広く利用されている、WiFi 基地局を用いた位置推定技術を用いて端末のおおよその位置を特定し、それを LRS スキャナにより補足される正確な歩行者位置とマッチングすることで、LRS 領域内を移動・通過する端末の正確な位置特定を可能とする手法を提案する。提案手法は、LRS 計測による正確な歩行者位置を利用することで、従来の WiFi の電波強度学習手法のように多数の箇所における膨大な学習作業を必要とせず、かつ大きな誤差を発生させずに移動端末の位置・軌跡情報取得を可能とすることが特長である。大阪大学大学院 情報科学研究棟において LRS とスマートフォンを用いた実証実験を行い、ほぼ 100 % の精度でフロアを移動する居住者の移動軌跡情報を取得できることを示している。

2. 関連研究

屋内の位置推定技術やオブジェクトトラッキング技術は活発に研究されている分野であり、赤外線、UWB、超音波送受信器、RFID、Wi-Fi など多様なデバイスや無線通信方式を活用した方法論や技術が開発されている [5,6]。

信号の送受信が可能なノードでは、電波伝搬を用いた測距原理を用いるものが多く提案されている。測距精度は無線通信方式に依存する 경우가多く、例えば UWB は時間分解能が高いため屋内で生じる反射によるマルチパス伝搬を検出できるといった特徴がある [7]。しかし、UWB は利用帯域幅が広いため電波出力も限られており、数十 m 程度の屋内空間での測位には適さない。超音波ベースのシステム [8] も提案されているが、UWB と同様の課題がある。電波を用いた距離推定の多くは、受信電波強度 (RSS) が距離の対数に比例して減衰するといったモデルを用いる場合が多い。ゼロコンフィギュレーション位置推定 [9] は AP 間および AP-クライアント間の RSS 情報を用いてオンラインキャリブレーションを行う。これらの方式は見通し通信を必要とすることから、屋内での運用は 10m 以下の比較的短距離に限られ、広域での運用では多数の測距機器の設置が必要となる。

カメラを用いた位置推定は監視カメラという既存インフラを利用でき、精度も比較的高いが、歩行者のプライバシー保護の観点から撮影が難しい場面も多い。データサイズが大きく計算コストがかかる点や、キャリブレーションの間

題を抱えている点もデメリットである。プライバシー保護のために歩行者の視覚的情報を記録せず、画像差分から歩行者の位置を抽出し、Dead-Reckoning による推定位置と比較して歩行者を識別する手法 [10] もあるが、この手法では非常に低密度の環境での評価結果のみ示されている。

Dead-Reckoning は、加速度センサやジャイロセンサ等を用い、計測データに基づいて移動形態や次の位置を予測する技術である。携帯電話にはこれらのセンサを搭載しているものがあり、ユーザの行動をデータ化する手法として注目されている。Dead-Reckoning は自律的に自身の位置を推定できるというメリットを持つが、誤差が累積する問題がある。誤差を補正する手法としては、位置推定の際にカメラを用いて目印を見つけ、目印との距離を用いて誤差を補正する自律走行ロボット向けの方法 [11] などが提案されている。また、本研究で想定しているスマートフォンのようなモバイル端末を用いた歩行者用自律航法の研究も盛んになってきており、我々の研究グループを含めいくつかのグループで複数ノードを協調させて誤差を軽減するという概念が発表されてきている [12]。

上記の従来手法に対し、我々の提案手法 [1-3] は通常スタンドアロンで用いる LRS を歩行者の持つ端末に位置情報をフィードバックするためのデバイスとして活用する新しい概念を提案している。本稿で提案している手法はその概念に基づき、おおよその位置のみ検出できる簡易な WiFi 位置推定と高精度なトラッキングデバイスを組み合わせて高精度な位置推定を実現している点が特長であり、[1-3] では考慮できなかった、オフィスビルや商業施設などの公共スペース（通路）を行きかう人々の位置推定を対象としている。屋内位置推定技術においては、広範囲の領域をカバーする場合は基準局の設置コストや学習コストが無視できないが、本稿では LRS によりカバレッジ問題を解決することで、LRS のスキャン範囲の境界におけるいくつかのポイントにおいて WiFi 位置推定が可能であれば利用できるといった利点がある。大阪大学大学院 情報科学研究棟に設置した LRS を利用した実証実験により高精度な位置推定が実用的に可能であることを示している。

3. 提案手法の概要

3.1 レーザレンジスキャナの特性

LRS の例として、北陽電機株式会社の UTM-30LX [4] の仕様を表 1 に示す。

LRS は、レーザ光の伝播時間を用いてセンサから対象物までの距離を計測可能なセンサである。例えば北陽電機の標準的な LRS である UTM-30LX であれば、表 1 に示されるように、距離 30 m、走査角度 270 度という広範囲を高速にスキャンし、非常に小さな誤差で対象物までの距離を計測することができる。センサの計測データは、センサから対象物までの距離とセンサに対する方向で表される位

表 1 UTM-30LX の仕様 (北陽電機資料より抜粋)

項目	仕様
計測距離	0.1 – 30 m
観測角	270°
分解能	ステップ角: 0.25°
測定間隔	25 ms/scan
測定精度	0.1 – 10 m: ± 30 mm 10 – 30 m: ± 50 mm
FDA レーザ安全クラス	クラス 1
レーザ光の波長	905 nm
外形寸法	W60 × D60 × H87 mm
質量	370 g

置情報のみであるため、計測の際に歩行者の個人情報に侵害するおそれが少ない。さらに、動画像などと比べると計測データサイズが小さいため計算コストも抑制できる。また、実際に LRS を設置する際には、軽量小型であるため設置コストの低減が見込まれる点や、安全なレーザクラスで動作する点も大きなメリットとなる。センサの構造が比較的簡単のため、複数台のセンサを連携して運用する場合でもキャリブレーションが容易であるという特徴もある。しかし一方で、LRS は、歩行者の顔や服の色といった情報の取得ができないため、個々の人物を識別することが困難であり、したがってそれらの歩行者が保持する携帯端末上で動作する位置情報サービス（例えば屋内ナビゲーションサービス）などに活用することができない。

提案手法では、LRS の広角で長距離なスキャン機能を十分に活用し、オフィスビルフロアといった比較的複雑な構造の領域において移動する無線クライアントを特定する技術を提案する。

3.2 提案手法が対象とする環境

提案手法は、オフィスビルや商業施設における通路やエレベータホールといった公共空間のある領域をカバーするように設置された LRS のスキャン領域内に進入してきた無線 LAN クライアントを速やかに特定し、そのクライアントがスキャン領域内を移動する軌跡を（領域を離脱するまで）追跡することを目的とする。ここで無線 LAN クライアントは予め無線 LAN 位置推定システムに登録されているものとし、その存在とおおよそ（最大 5～10m 程度の誤差範囲での）位置は既知であるとする。

これに対し、提案手法では LRS をスキャン領域の境界線上の地点のうち、スキャン領域外と領域内の接続点となっている地点（以下、これらを境界地点とよぶ）、あるいはそれらのスキャン領域外側の領域は、無線 LAN 位置推定システムによりおおよそ区別可能であるとする。図 1 に LRS 設置と境界地点の例を示す。これは著者らが所属する大阪大学大学院 情報科学研究科棟のフロア地図であり、星印の位置に前述の北陽電機の UTM-30LX を一台設置してい

る。この LRS は 30m までの物体検出が可能であるが、人体の大きさを考慮した場合に実用的な検出精度を達成できる距離は 20m 強であるため、図 1 に示すように 20m 程度の範囲を対象とし、LRS のスキャン領域外である居室や会議室、廊下の階段との境界 A から L が境界地点となる。なお、D はエレベータ、E は洗面所、H、L は上下階を結ぶ階段、その他はオフィス居室の出入口である。一般にオフィス居室内には無線 LAN アクセスポイントが設置されているケースが多く、他の居室からの電波は壁等の減衰が発生するため、どの居室にいるかといった存在情報はかなりの精度で検知できる。また、無線 LAN や端末内の加速度センサーなどを利用し、エレベータで移動していることを検知したり、階段でフロア間を移動していることを検知する位置推定システムは一般に多く存在するため、そのようなシステムを前提とすることで、例えば階段を通して地点 H からスキャン領域内に無線 LAN クライアントが進入したことを知ることができる。提案手法ではこの情報と、その同時刻に実際に進入した歩行者を LRS で検出し、それらの情報間のマッチングを行うことで、LRS で捉えた歩行者をその無線 LAN クライアントと特定する。また、例えばエレベータから 2 人の歩行者が同時にフロアに進入し、別々の部屋に移動する場合など、同じ境界地点から進入する複数の歩行者が存在する場合、それらの歩行者位置が互いに離れるにつれて無線 LAN 位置推定システムによる位置特定と区別が可能となるため、その時点でそれらの歩行者たちと無線 LAN クライアントたちのひも付けを行う。離れない場合（それらの歩行者が同一方向に移動する場合）はおおよそ同じ行動をしていると考えられるため、類似の軌跡のいずれかをそのクライアントのものとすれば大きな位置誤差を生むことなく移動トラッキングが可能となる。

前述のように、WiFi Fingerprinting などの（一般的な）無線 LAN 位置推定では屋内構造の複雑さに依存して地点ごとの特徴量が決まるため、エレベータホールや廊下といった見通しのよい環境が多い公共移動空間での正確なトラッキングは単独では困難である。これに対し提案手法では境界地点での位置特定情報に基づき、その後のトラッキングを LRS で行うことで精度を維持する。

なお、LRS の設置高は歩行者の胴の高さとしている。人の足首の高さに LRS を設置し、LRS のオクルージョン問題（人密度が高い場合にレーザスキャンが妨害されて検出率が低下する問題）を緩和する方法 [13] も提案されているが、胴の高さを狙うことで LRS の見通し線上に存在する歩行者の検出の信頼性を優先する。その他、レーザスキャナを用いた歩行者検出手法については我々の先行研究 [1–3] を参照されたい。

3.3 アルゴリズム

以下、簡単のため時刻はタイムスロット（おおよそ 1 秒

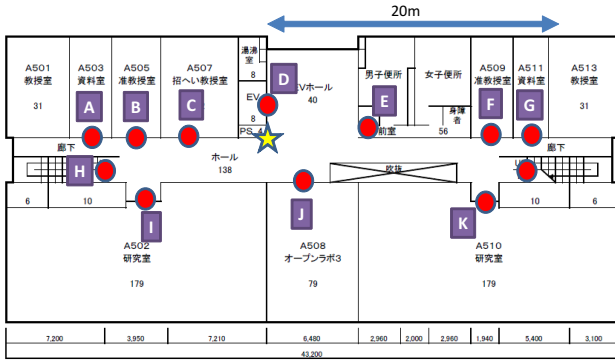


図 1 大阪大学大学院 情報科学研究科棟における LRS スキャン領域と境界地点

を想定している) で表すとし、現在時刻のタイムスロットを t で表す。タイムスロット k において無線 LAN 位置推定システム上で位置を把握されている無線 LAN クライアント集合を C_k で、LRS によって位置を把握されている歩行者集合を A_k でそれぞれ表す。また、タイムスロット k において LRS が把握する歩行者の無線 LAN クライアントへの割当を $M_k: A_k \rightarrow C_k$ で表す。

提案システムでは、各タイムスロット t において、 C_k および A_k が更新された場合、 $A_t^+ = A_t - A_{t-1}$ に含まれる (すなわち新たに LRS スキャン領域に進入した) 歩行者集合に対する割当 $M_t^+: A_t^+ \rightarrow C_t^+$ を新たに求め、 $A_t^* = A_t \cap A_{t-1}$ に含まれる (すなわち LRS スキャン領域内に滞在している) 歩行者集合に対する割当 $M_t^*: A_t^* \rightarrow C_t^*$ を更新する。ここで、 M_t は $M_t = M_t^+ \cup M_t^*$ で得られる。なお、 $A_{t-1}^- = A_{t-1} - A_t$ に含まれる (すなわち LRS スキャン領域内から離脱した) 歩行者集合に対する割当を $M_t^-: A_{t-1}^- \rightarrow C_t^-$ とすれば、正解である割当においては常に C_t^+ 、 C_t^* および C_t^- は互いに素である。

これに対し、提案手法では、以下の順で割当を決定する。なお、タイムスロット k における (LRS による) 歩行者の位置を $P_A^t(x)$ 、無線 LAN 位置推定システムによるクライアント i の位置を $P_C^t(i)$ で表す。

(1) 各歩行者 $x \in A_t^*$ に対し、

$$M_t^*(x) = \begin{cases} M_{t-1}(x) & \text{(if } D(P_A^t(x), P_C^t(M_{t-1}(x))) \leq Th^*) \\ \arg \min_j D(P_A^t(x), P_C^t(j)) & \text{(otherwise)} \end{cases}$$

ただし、 D は 2 地点間の距離である。すなわち、 x に対するタイムスロット $t-1$ における割当をタイムスロット t において適用した場合に、LRS の歩行者位置とクライアントの推定位置との乖離が一定距離以下であればその割当を維持し、そうでなければその乖離が最も小さい新しいクライアントの割当に変更する。なお、ここで割当に利用されたクライアント集合を C_t^* で表す。

(2) 各歩行者 $x \in A_t^+$ に対し、

$$M_t^+(x) = \arg \min_j \{D(P_A^t(x), P_C^t(j)) | j \in C_t - C_t^*\}$$

なお、 D は単純なユークリッド距離関数ではなく何らかの尤度関数とみなすこともできる。過去の割当や全体の割当の整合性 (例えば M_t の単射性の保証) から、もっともらしさが最大であるような無線 LAN クライアントを選択するような関数を設計することにより、割当の信頼度をより向上させることも考えられる。

4. 実証実験

本稿で提案している LRS 計測と無線 LAN 通信を併用した位置推定手法について、大阪大学大学院 情報科学研究科棟の 5 階に LRS を設置した位置推定実験を行った。

4.1 WiFi 電波強度情報の収集と解析

初めに、計測対象となる領域の出入り口付近において、WiFi 基地局 (以下、AP) からの電波強度を測定した。計測対象となる領域を図 2 に示す。同図には LRS および 3 台の AP ($e1, e2, e3$) の設置位置も併せて示している。LRS と AP の設置の様子を図 3 および図 4 にそれぞれ示す。本手法では、5 階に訪れる人物の特定を目的とし、AP からの電波強度を調査する箇所はそれらの人物が利用するであろう階段出入口ならびにエレベーター出入口付近とした。図 2 中の星印で示される位置 ($p1, p2, p3$) にスマートフォン (Nexus S) を 3 台配置し、WiFi 基地局からの受信電波強度 (RSS) を 10 分程度計測しその平均を利用した。

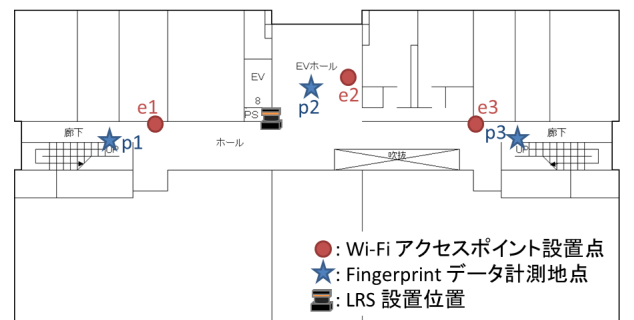


図 2 計測領域と機器の設置位置 (大阪大学情報科学研究科棟 5 階)

各地点 ($p1, p2, p3$) における各 AP ($e1, e2, e3$) の RSS 平均を図 5 に示す。グラフに示されるように、各出入口に対して最も近い位置に設置されている AP の RSS が最も大きくなる。

更に計測対象領域内を歩いた時のスマートフォンでの RSS の変化も測定した。領域内での歩行を LRS で計測した様子を図 6 に示す。同図の白色の領域は LRS のレーザが到達する範囲を表しており、灰色の領域は LRS によって計測された壁等の障害物である。黒色の点はレーザの照射点、赤色の点は照射点から検出された歩行者の位置点、



図 3 LRS の設置



図 4 AP の設置

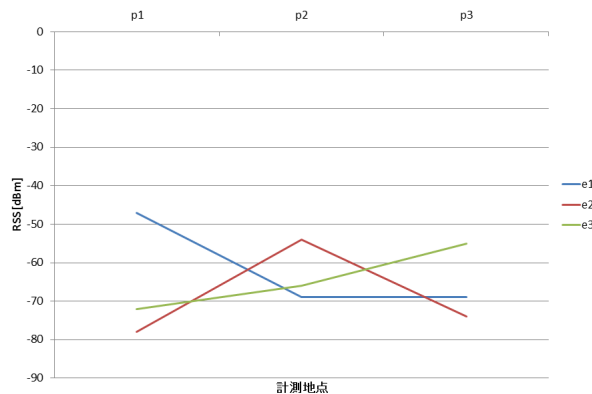


図 5 p1, p2, p3 の各位置における各 AP との通信状態

緑色の線は歩行者の移動経路を示している。歩行者は図の左側から右側へと移動しており、図には歩行者が計測された 21:02:16 の位置点から 1 秒間隔で歩行者の存在していた位置点とレーザ照射点が表示されている。

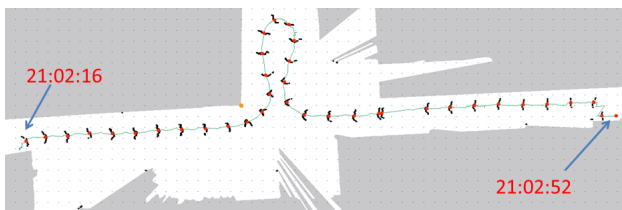


図 6 RSS 測定経路

図 6 で示した経路を歩いた時の各 AP (e1, e2, e3) からの RSS の測定結果を図 7 に示す。図 6 と図 7 から、歩行時においても概ね歩行者の位置に対して最も近い位置に存在する AP との通信の RSS 値が最も大きくなると言える。

これらの結果に基づき、提案手法では LRS 計測で得た歩行者の位置に対する最近 AP を決定する。具体的には、図 8 に示されるように領域を部分領域に分割し、部分領域の歩行者に対する最近 AP を推定する。例えば、同図の緑色の点線で囲われた領域内に歩行者が存在しているとき、その歩行者の無線 LAN クライアントにおいては、基地局 e1 からの RSS が最大であると推定する。

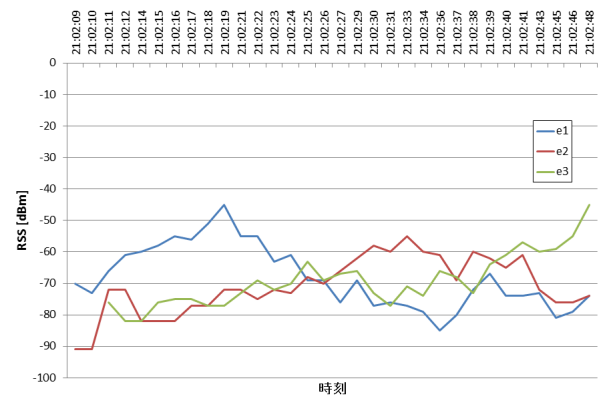


図 7 RSS の変化

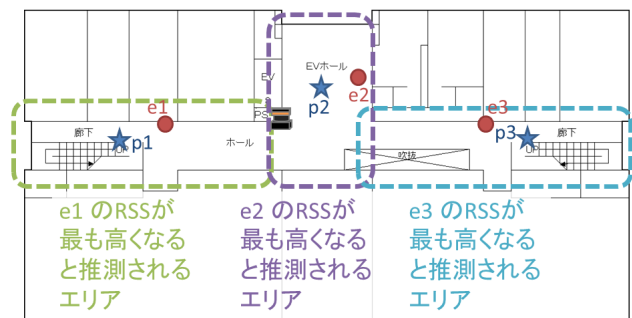


図 8 推定最近 AP を決定する領域

4.2 位置推定実験

図 8 に示した推定最近 AP の分類に基づき、LRS とスマートフォンを用いた実機実験を通して歩行者識別の性能評価を行った。実験の様子を図 9 に示す。



図 9 実機実験の様子

4.2.1 実験 1: 2 人の歩行者が移動するシナリオ

2 人の歩行者がほぼ同時にそれぞれ別の階段の入り口から計測対象領域に入り、その後入ってきた階段とは別の階段から領域を出る。移動軌跡の例を図 10 に示す。図中の矢印は、同色の軌跡を辿った歩行者の移動方向を表している。

それぞれの歩行者はスマートフォンを持ち、各 AP からの RSS 値と信号受信時刻を記録する。記録された各 AP の RSS 値と、同時刻での LRS 計測の結果から推定した最近 AP を照らし合わせ、LRS で検出した歩行者とスマートフォンを対応付ける。それぞれの歩行者 (Pedestrian1,

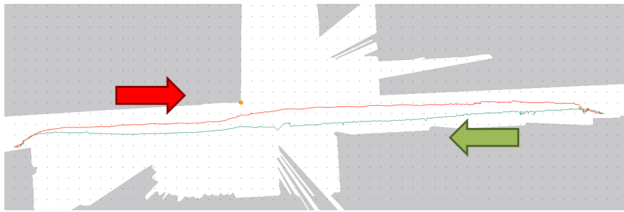


図 10 2 人の歩行者の軌跡と移動方向

Pedestrian2) に対して、各時刻での LRS 計測データに基づいて RSS が最大と推測される AP の時間変化を図 11 に示す。また、各時刻で実際にそれぞれのスマートフォン (Phone1, Phone2) が受信した信号の強度に基づいて算出した RSS が最大である AP の時間変化を図 12 に示す。

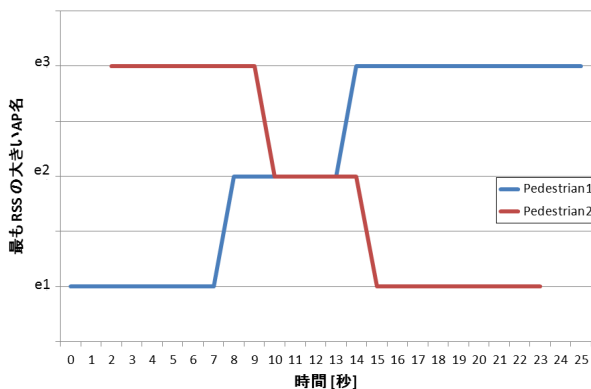


図 11 LRS 計測データに基づいて推定した RSS 値の最も大きい AP の時間変化

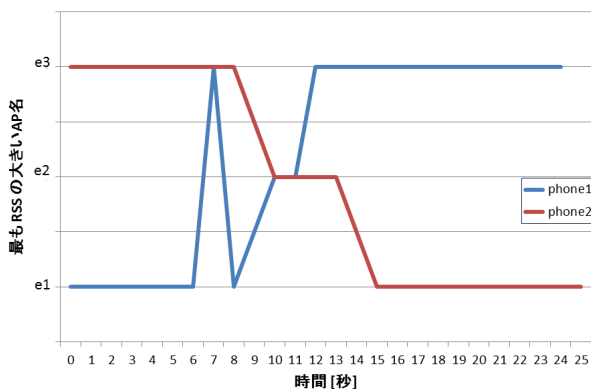


図 12 各時刻で最も RSS 値の大きい AP の時間変化

図 11, 12 を比較すると、Pedestrian1 と Phone1, Pedestrian2 と Phone2 には類似性があることがわかる。このような類似性の高い歩行者とスマートフォンを結びつけることで、LRS で検出した各歩行者を識別する。これ以降の実証実験についても同様に、類似性の高い歩行者とスマートフォンの RSS データを比較することで、各歩行者の識別、位置推定を実現する。

逐次的に歩行者とスマートフォンの対応付けを行ったときの時刻毎の正解率を結果を図 13 に示す。図 13 では、開

始時から 2 秒程度、一方の歩行者が LRS によって検出されない遮蔽領域に存在していたため、対応付けが行えていない。しかし、一度 LRS に検出されるようになると、その後は安定して 2 人の歩行者を見分けられている。

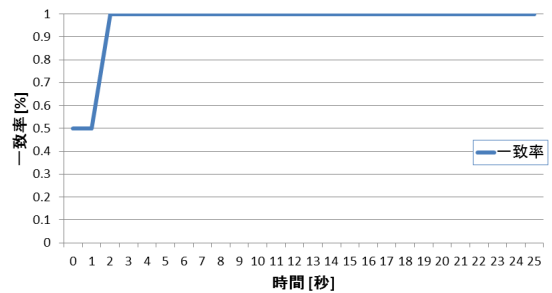


図 13 各時刻での一致率 (実験 1)

4.2.2 実験 2: 3 人の歩行者が移動するシナリオ

次に、階段だけでなくエレベーターからの出入りも含めた実験を行った。移動軌跡の例を図 14 に示す。図中の矢印は、同色の軌跡を辿った歩行者の移動方向を表している。

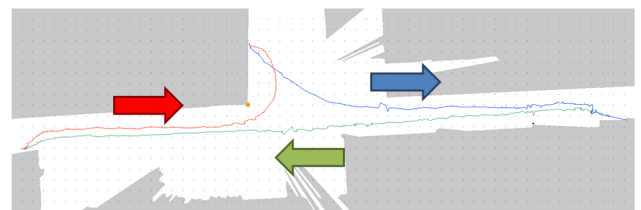


図 14 3 人の歩行者の軌跡と移動方向

実験 1 と同様に逐次的に歩行者とスマートフォンの対応付けを行ったときの時刻毎の正解率を結果を図 15 に示す。

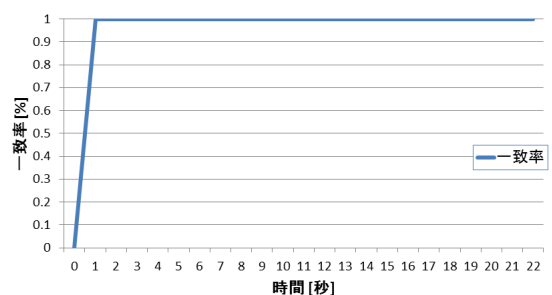


図 15 各時刻での一致率 (実験 2)

4.2.3 実験 3: 2 人が同じ地点を始点として移動するシナリオ

実験 1, 2 では全ての歩行者は異なる入り口から領域に入り、それぞれ異なる出口から領域外へ出て行った。ここでは、2 人の歩行者が同じ入り口 (エレベーター) から領域に入り、それぞれ異なる出口へ出ていく場合について実験を行う。移動軌跡の例を図 16 に示す。図中の矢印は、同色の軌跡を辿った歩行者の移動方向を表している。

実験 1, 2 と同様に逐次的に歩行者とスマートフォンの

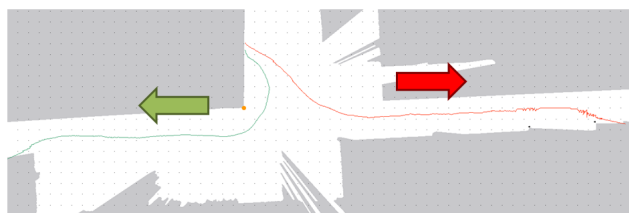


図 16 同一の地点から移動する歩行者の軌跡と移動方向

対応付けを行ったときの時刻毎の正解率を結果を図 17 に示す. 計測開始時から 7 秒までは二人の歩行者はいずれも AP e2 の付近に存在しているため, LRS の計測結果, スマートフォンが受信した電波の強度の最も高い AP についても差異が出にくく, 識別が正しく行えていない. しかし, 時間が経ち, 二人の歩行者が別々の出口に向かうと差異が現れて識別できるようになる. 本稿で提案する手法だけでは, このように複数の人が同時に同じ移動経路を辿るケースや, 多数の歩行者が混在するようなケースに対応することは難しいが, グループ推定や先行研究 [1-3] 等を併用することで歩行者識別の精度が向上する可能性がある.

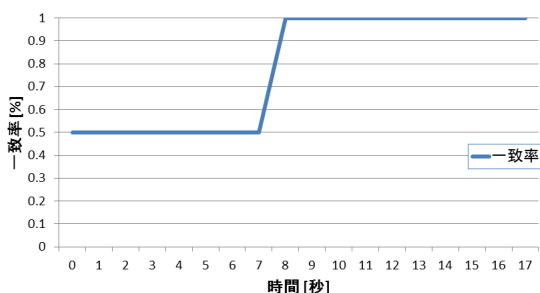


図 17 各時刻での一致率 (実験 3)

5. まとめ

本稿では, オフィスビルや展示会場, 商業施設など, 人々が動き回る共有空間において, レーザレンジスキャナ (LRS) と歩行者が持つスマートフォンが実施する WiFi などによる位置推定結果を基に, LRS の計測領域に出入りした各歩行者を識別する手法を提案した. 従来のフィンガープリント法を用いた位置推定手法と異なり, 提案手法ではトラッキング精度が極めて高い LRS を利用し, 無線 LAN による位置推定クライアントの正確な位置を推定することで, 膨大な学習データ等も必要なく, かつ大きな誤差を発生させずに歩行者の出入りを検出し, 位置・移動軌跡情報を取得することが可能である. LRS とスマートフォンを用いた実験評価では, ほぼ 100% の精度で歩行者の出入りを検出し, 移動軌跡情報を正確に取得できることを示した.

現在提案手法を実環境 (実際の展示会場) で適用する予定で準備を進めており, 関係者との調整を行っている. またその際には先行研究 [1-3] と本提案手法を組み合わせ, 会場全体での来場者位置を推定できるようなシステムの構

築を目指している.

参考文献

- [1] 和田悠佑, 山口弘純, 東野輝夫: レーザレンジスキャナによる歩行者軌跡と実人物のマッチング手法の提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム論文集, pp. 1877-1888 (2012).
- [2] 和田悠佑, 山口弘純, 東野輝夫: レーザレンジスキャナと携帯端末による位置ナビゲーション手法, 平成 24 年度情報処理学会関西支部 支部大会 論文集 (2012).
- [3] 和田悠佑, 山口弘純, 東野輝夫: レーザレンジスキャナ計測を利用した歩行者の識別手法の実験と評価, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会第 64 回研究発表会 (2012).
- [4] Hokuyo Automatic Co., LTD.: Scanning range finder (SOKUIKI sensor) UTM-30LX.
- [5] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P. and Liu, J.: Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, Vol. 37, No. 6, pp. 1067-1080 (online), DOI: 10.1109/TSMCC.2007.905750 (2007).
- [6] Zekavat, S. A. R. and Buehrer, R. M.(eds.): *Handbook of Position Location*, IEEE Press (2012).
- [7] Molisch, A., Cassioli, D., Chong, C.-C., Emami, S., Fort, A., Kannan, B., Karedal, J., Kunisch, J., Schantz, H., Siwiak, K. and Win, M.: A Comprehensive Standardized Model for Ultrawideband Propagation Channels, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, Vol. 54, No. 11, pp. 3151-3166 (online), DOI: 10.1109/TAP.2006.883983 (2006).
- [8] Hazas, M. and Hopper, A.: Broadband ultrasonic location systems for improved indoor positioning, *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, Vol. 5, No. 5, pp. 536-547 (online), DOI: 10.1109/TMC.2006.57 (2006).
- [9] Lim, H., Kung, L.-C., Hou, J. C. and Luo, H.: Zero-Configuration, Robust Indoor Localization: Theory and Experimentation, *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings*, pp. 1-12 (online), DOI: 10.1109/INFOCOM.2006.223 (2006).
- [10] Teixeira, T., Jung, D. and Savvides, A.: Tasking networked CCTV cameras and mobile phones to identify and localize multiple people, *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing*, Ubicomp '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 213-222 (online), DOI: 10.1145/1864349.1864367 (2010).
- [11] 吉川毅: 視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発 (第 2 報)-機能モジュールの開発と自律走行試験-, 北海道立工業試験場報告, Vol. 296, pp. 113-121 (オンライン), 入手先 <<http://ci.nii.ac.jp/naid/80009929298/>> (1997).
- [12] Higuchi, T., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: Clearing a Crowd: Context-supported Neighbor Positioning for People-centric Navigation, *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive '12)* (2012).
- [13] H.Zhao and R.Shibasaki.: A Novel System for Tracking Pedestrians Using Multiple Single-Row Laser-Range Scanners, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A*, Vol. 35, No. 2, pp. 283-291 (2005).