

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

和田 悠佑¹ 山口 弘純^{1,2} 東野 輝夫^{1,2}

概要: ナビゲーションシステムやスマートビルディング等、屋内や地下における人の正確な位置情報の重要性が高まっている。我々の研究グループではこれまでに、レーザレンジスキャナによる計測と歩行者の持つスマートフォン同士の通信情報から各々の歩行者の位置を推定する方法を提案してきている。提案手法では、レンジスキャナ計測で得た歩行者の正確な物理位置情報から推定される近接関係を実際のモバイル端末間通信情報と照合し、各歩行者がどの端末を持つのかをリアルタイムに判別し、各々の位置情報を取得することが可能である。本稿では、ネットワークシミュレータ Scenargie を用いてシミュレーション評価実験を行い、提案手法が最大 97.4%の精度で各歩行者の正確な位置情報を推定できることを示す。また、実際にレーザレンジスキャナで歩行者を計測したデータを元に提案手法を評価した結果についても報告する。

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

Identifying Pedestrians Using Range Scanner : An Experimental Study

WADA YUSUKE¹ HIROZUMI YAMAGUCHI^{1,2} TERUO HIGASHINO^{1,2}

Abstract: In this paper, we propose a method of detecting and identifying indoor pedestrians with mobile terminals (such as smartphones) in public/private space like event halls, shopping malls and office buildings. The method employs laser range scanners placed at several points and wireless PAN capability of the mobile terminals. The proposed method shows a good performance from the simulation results.

Keywords: Localization of Pedestrians, Range Scanner, Wireless Communication, Field Experiment

1. まえがき

センサ技術の発展に伴い、人の行動データに基づく次世代のシステムが注目されている。中でも、人の正確な位置情報は有用性が高く、屋内環境でのパーソナルナビゲーションシステムや、人の位置に合わせて照明等を管理するスマートホーム・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、商業施設における客の位置に合わせた

情報提示サービスなどのシステムが期待されている。

歩行者の位置を計測するセンサとしてレーザレンジスキャナ (LRS) を用いる方法が注目を集めている。LRS はセンサから物体までの距離を正確に取得することができるセンサである。計測データは距離情報のみであるため、歩行者のプライバシーを侵害するおそれが少なく、また画像等と比較するとデータサイズが小さく計算コストが低減されるメリットを持つ。しかし、LRS はセンサの見通しを邪魔する障害物により計測対象を見失いやすく、さらに各歩行者を区別することができないため、スマートフォンなどを持つ被検出者への位置フィードバックが難しく、ナビシステムなどに活用できないというデメリットを持っている。

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

² 独立行政法人科学技術振興機構, CREST
Japan Science Technology and Agency, CREST

我々は、屋内環境における歩行者の正確な位置情報をリアルタイムに取得することを目標とし、LRS とモバイル端末の WPAN 通信を活用した位置推定手法を提案してきている [1]。歩行者の持つモバイル端末が Bluetooth のような信号到達距離の短いデバイスを用いてビーコンを送出する環境を想定し、各端末のビーコン受信記録から得られる近接端末の情報と、LRS 計測で得た匿名の歩行者の物理位置集合の整合性を最大とするように端末と歩行者の位置との対応を決定することで各歩行者がどの端末を持つかを判別し、各々の端末の位置を推定する。損失のない理想的な通信が行われる状態を仮定したシミュレーション評価の結果、提案手法では $0.1 \text{ 人}/\text{m}^2$ の空間において最大 98.2% の精度で位置推定が可能であることを示した。

本稿では、Space-Time Engineering 社のネットワークシミュレータ Scenargie [2] を用いて、より現実環境に則した通信の下での提案手法の性能評価を行う。提案手法は、パケットロス等が発生する通信モデルの下でも最大 97.4% の精度で正しく歩行者を識別し、各々の位置を推定することが可能であることが分かった。さらに、北陽電機株式会社のレンジスキャナ UTM-30LX ?? を用いて実際に歩行者を計測し、現実の計測データを元に提案手法を評価した結果について述べる。

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 [4,5]。

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 [6]。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 [7] 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 [8] 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 [9] 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 [10] 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 [11]。

上記の従来手法に対し、提案手法 [1] 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手法である。屋内位置推定技術の多くは広範囲の領域をカバーする場合は設置コストが無視できず、測距範囲が比較的広い Wi-Fi 等では安定した精度を達成できないが、提案手法は高精度なトラッキングデバイスとモバイル端末の近接通信のみを仮定して高精度な位置推定を実現可能である。本稿では現実環境を重視し、より現実的な無線通信を再現可能な Scenargie シミュレータを利用した性能評価結果を述べる。

3. レーザレンジスキャナを用いた歩行者計測

3.1 レーザレンジスキャナの特性

レーザレンジスキャナ (LRS) の例として、北陽電機株式会社の UTM-30LX の仕様を表 1 に示す。

表 1 UTM-30LX の仕様 (北陽電機資料より抜粋)

Table 1 UTM-30LX SPEC

項目	仕様
計測距離	0.1 ~ 30m
観測角	270°
分解能	ステップ角: 0.25°
測定間隔	25ms/scan
測定精度	0.1 ~ 10m: ± 30mm, 10 ~ 30m: ± 50mm

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するセンサである。表 1 に示されるように、距離 30m、走査角度 270 度という広範囲を非常に小さな誤差で高速に計測することができる。計測データは、セ

ンサに対する対象物の方向と対象物までの距離という位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少なく、さらに、動画像などと比べてデータサイズが小さく計算コストもかからない。しかし一方で、LRS は歩行者が柱などの物陰や別の歩行者の陰に隠れると計測対象を見失ってしまう。また、顔や服の色といった情報を取得できないため個々の人物を識別することが難しく、一度見失った歩行者を再び見つけてもそれらが同一人物であると判断することができない。

3.2 LRS による歩行者検出・軌跡検出

LRS を用いた最もシンプルな位置推定手法は、人の腰の高さに LRS を設置し計測データから歩行者を抽出する方法である [12]。障害物による検出率低下を防ぐために、人の足首の高さに LRS を設置して計測を行う手法も提案されている [13] が、いずれの場合も個々の歩行者を判別することができない。

本研究では、歩行者の腰の高さに LRS を設置し、図 1 で示すような背景差分法によって歩行者を検出する方法を想定している。LRS による人物検出においては、事前に計測対象領域内の壁や柱等の障害物までの距離を LRS で測定し、背景情報として登録しておく (図 1(a))。領域内に歩行者が現れたとき、歩行者に照射される LRS のレーザの照射点は背景記録との差分として抽出することができ (図 1(b))、このように抽出した歩行者上の照射点を LRS の検出点と呼ぶ。

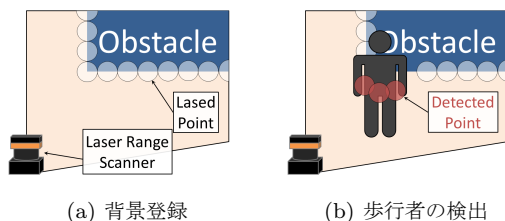


図 1 背景差分法による歩行者の検出

Fig. 1 Background Differencing Technique

次に、背景差分法によって得た検出点群から歩行者の位置点を決定する。検出点群は歩行者の腰の表面の形に沿って連続する点群として検出できる。ここで、歩行者の腰の断面を半径 R_w の円に見立て、検出点群が円上に並ぶような半径 R_w の円の中心点を求める。この円の中心点を歩行者のスキャン点と呼び、この点が歩行者の位置を表すものとする。また、各歩行者のスキャン点にはそれぞれ固有の ID が割り当てられる。

レーザ光の反射を利用する LRS は非常に高頻度でスキャンを行うことができ、歩行者の移動軌跡は取得したスキャン点集合と直前のスキャンで取得したスキャン点集合を比較することによって取得できる。二つのスキャン点集合の

中から、歩行者の移動速度で移動できる範囲内において、最も近い点同士を結びつけることで同一の歩行者であると判断することができ、同一の歩行者であると判断されたスキャン点には同じ ID が割り当てられる。ただし、LRS 計測では、歩行者が物陰や他の歩行者の陰に隠れて正しく検出されない場合がある。本研究では、移動体の速度は変化しにくいという特徴 [14] を利用し、見失ってしまった歩行者を線形予測を用いて補完することとする。

4. 軌跡推定手法

4.1 想定環境

提案手法では、位置推定の対象となる全ての歩行者が Bluetooth のような信号到達距離の短い通信デバイスを備えた、固有の ID を持つモバイル端末を保持しているとする。これらの端末を持つ歩行者を以降ノードと呼ぶ。ノードの最大無線通信到達距離 R_{max} は既知であるとする。各ノードは無線 LAN などを通じてサーバと接続しており、サーバは計測領域に存在するノード集合 $N = \{n_i | i = 1, 2, \dots, M\}$ を把握している。

ノード n_i は短距離通信デバイスを使い、一定時間間隔 T_b で自身の ID i を通知するビーコン・メッセージ b_i をブロードキャストしているとし、ビーコン b_i を受信した他のノード n_j は受信ビーコン情報と受信時刻を自分の ID j と併せてサーバに送る。

また、計測領域には歩行者の位置情報を取得するための LRS が設置されている。LRS の設置位置やスキャン方向は既知であるとする。各 LRS はスキャンによって得たスキャン点データをサーバに送信している。以降、スキャンが実施された時刻 t において検出された M^t 個のノードの座標点集合を $P^t = \{p_k^t | k = 1, \dots, M^t\}$ で表す。

図 2 にシステムアーキテクチャのイメージを示す。同図では、2 つの LRS がノード位置をスキャンし、計測データをサーバに送信している様子が表されている。LRS のスキャン域は色付きの領域で示され、いずれかの LRS のレーザが当たっているノードはその存在と位置を検出されるが、障害物の陰やスキャン域外に存在するノード (白色の領域に存在するノード) は検出されない。また、各ノードはビーコンを送信しており、ビーコンを受信したノードは受信ビーコン情報をサーバへと送信している。

4.2 歩行者の位置とモバイル端末のマッチング

LRS による計測では、歩行者の正確な位置情報を取得できるが、歩行者が誰であるかを知ることはできない。一方、歩行者の持つモバイル端末間の通信情報では、ID によって各端末を識別することはできるが、正確な位置を知ることにはできない。本節では、位置情報と端末間通信情報の対応付け (マッチング) の方法について述べる。

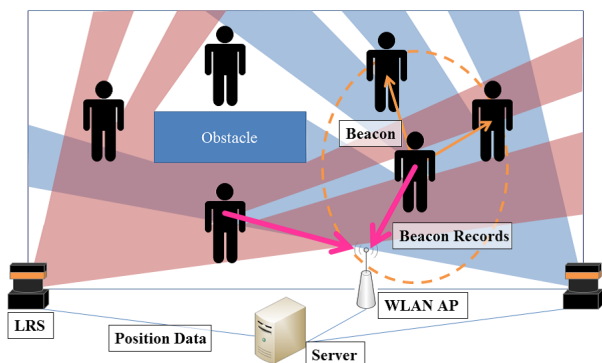


図 2 提案手法の動作環境
Fig. 2 Target Architecture Image

4.2.1 マッチングのアイデア

各ノードは T_b の時間間隔でビーコンをブロードキャストしており、理想的な状態では、最大信号到達距離 R_{max} を半径とする円内に存在する他のノードはビーコンを受け取ることができる。従って、受信したビーコンの数 (以下、リンク数 (実際のリンク数) と呼ぶ) を数えることで、自ノードから距離 R_{max} 以内に存在する他のノードの数を数えることができる。

一方で、LRS 計測により、歩行者の正確な位置を取得しスキャン点同士の距離関係を計算することができる。2つのスキャン点の距離が R_{max} 以下であれば、それらのスキャン点に該当するノード同士はビーコンの送受信を行ったと推測される。従って、あるスキャン点 p_k を中心として半径 R_{max} 以内に存在するスキャン点の数を数えることで、点 p_k に相当するノードが受信すると推測されるビーコンの数 (見かけのリンク数と呼ぶ) を数えることができる。

これらの各ノードのリンク数と各スキャン点の見かけのリンク数を比較することで、ビーコンの送受信記録から推定されるノードの位置関係と LRS 計測によって得られた正確な物理位置情報との整合性を評価することができ、各歩行者を識別し各々の位置情報を知ることが可能となる。

本研究では、歩行者の移動による通信相手の変化を捉えることで、整合性評価の精度を向上させる。移動による通信相手の変化を表す指標として「新しいリンク数」および「失ったリンク数」を導入する。

ノード n_i が、時刻 t に受信したビーコン集合 $B_i^t = \{b_j^t | j \text{ はビーコン送信者 ID}\}$ と直前のビーコン送信時刻 $t - T_b$ に受信したビーコン集合 $B_i^{t-T_b}$ を比較し、 B_i^t に含まれていて $B_i^{t-T_b}$ に含まれていない ID の数 ($|B_i^t - B_i^{t-T_b}|$) を「新しいリンク数」、 B_i^t に含まれておらず $B_i^{t-T_b}$ に含まれている ID の数 ($|B_i^{t-T_b} - B_i^t|$) を「失ったリンク数」と定義する。スキャン点に対しても同様に、時刻 t に通信到達範囲 R_{max} 内に存在しているが時刻 $t - T_b$ では通信範囲内に存在していなかったようなスキャン点の数を「見かけの新しいリンク数」、時刻 t に通信範囲内に存在していない

が時刻 $t - T_b$ では通信範囲内に存在していたようなスキャン点の数を「見かけの失ったリンク数」と定義する。

ビーコン受信情報に基づくリンク数、新しいリンク数、失ったリンク数の 3 項組と、LRS 計測データに基づく見かけの 3 項組の値を比較し、各項目の差が小さくなるようにノード集合とスキャン点のマッチングを行い、ノードの位置情報を取得する。3 項組評価の有効性については、先行研究 [1] にて詳細に報告している。

4.2.2 マッチングアルゴリズム

ビーコン送信時刻 t に、ノード n_i は周囲のノードからビーコンを受信する。受信ビーコン数 (リンク数) $L^t(n_i)$ に加え、直前の周期 (時刻 $t - T_b$) に受信したビーコン集合と比較して計算した新しいリンク数 $NL^t(n_i)$ 、失ったリンク数 $RL^t(n_i)$ の 3 つの情報をサーバに送信する。また、LRS の計測結果からスキャン点 p_k^t の見かけのリンク数 $L^t(p_k^t)$ 、見かけの新しいリンク数 $NL^t(p_k^t)$ 、見かけの失ったリンク数 $RL^t(p_k^t)$ を算出する。

時刻 t において p_k^t がどれぐらい n_i らしくないかを表す指標として乖離度 D^t を次の式で定義する。

$$D^t(n_i, p_k^t) = |L^t(n_i) - L^t(p_k^t)| + |NL^t(n_i) - NL^t(p_k^t)| + |RL^t(n_i) - RL^t(p_k^t)|$$

さらに、スキャン点 k の移動軌跡情報が保存されている場合、直前のビーコン送信時刻 $t - T_b$ に計測されたスキャン点 $p_k^{t-T_b}$ に対しても各 n_i に対する乖離度を求めることができる。各ビーコン送信時刻における、ID k のスキャン点の軌跡の各点の乖離度の総和を、ID k の軌跡の乖離度 D と呼び、次の式で定義する。

$$D(n_i, p_k) = \sum_t D^t(n_i, p_k^t)$$

ノード集合とスキャン点集合の割り当ては、それぞれのスキャン点に対してノードを割り当てたときのそれぞれの軌跡の乖離度の和が最小となるような割り当てを探すことで実現する。なお、本研究では歩行者の位置情報のリアルタイム取得を目標とするため、ノード集合とスキャン点集合の全ての組み合わせを評価せず、グリーディ法を用いて、あるノードに対して最も確からしく対応するスキャン点を見つけて紐付けるという実装を行っている。

5. シミュレーションによる性能評価

提案手法をシミュレータ上に実装し、その性能評価および特性解析のためのシミュレーション実験を行った。先行研究 [1] では、ノード間の距離が通信到達距離 R_{max} 以下であれば必ず通信に成功し、 R_{max} 以上であれば必ず失敗するような理想的な通信環境を過程して評価を行っていた。本稿では、ネットワークシミュレータ Scenargie [2] を利用して、より現実環境に則した通信の条件のもとで提案手法を評価する。

5.1 シミュレーション環境

シミュレーションで評価する環境のパラメータを表 2 にまとめた。

表 2 シミュレーション評価のパラメータ
 Table 2 Simulation Parameter

項目	値
計測領域	30m × 30m の閉空間
歩行者数	90 人 (0.1 人/m ²)
移動モデル	Random Way-Point Model (速度 0 ~ 1.3m/s (一様分布)) (停止時間 0 ~ 3s (一様分布))
LRS	4 台 (領域の各辺の中央に設置)
検出範囲	検出距離 15m, 操作角 270 度
無線通信帯域	2.4GHz
ビーコン到達距離	5.0m
ビーコン送信間隔	3.0s (時刻 0s, 3s, 6s... に同期して通信)
ジッター	1.0s
試行回数	30s のシミュレーションを 30 回試行

[計測対象領域]

計測領域は歩行者が出入りしない閉じた空間とする。

[歩行者]

領域内の全ての歩行者は位置推定の対象であり、モバイル端末を一人一台携帯している。歩行者の腰は半径 12.4cm の完全な円形としてモデル化した。歩行者は円の中心の位置にモバイル端末を携帯していると看做する。現段階では LRS の計測漏れの影響を大きくしすぎないように、歩行者密度は 0.1 人/m² 程度を想定している。

歩行者の移動モデルは Random Way-point Model を利用する。移動速度は 0.0 ~ 1.3 m/s, Way-point での停止時間は 0.0 ~ 3.0 s の範囲からそれぞれ選択される。なお、歩行者は障害物や他の歩行者に接触しないように移動の目的地を選ぶものとする。

[LRS]

LRS は 100ms 毎に検出距離 15m, 走査角 270 度の範囲をスキャンする。分解能は 0.25 度であり、角度毎に 1 本のレーザが照射される。LRS は正方形計測領域の各辺の中央に 1 台ずつ設置されている。見失った歩行者は 3 秒間だけ線形予測を用いて補完し、見かけの 3 項組を計算する際に利用する。

[モバイル端末]

端末の通信到達距離は 5m で、3 秒間隔でビーコンをブロードキャストする。ここでは、Bluetooth を利用することを想定し、無線通信は 2.4GHz 帯を用いて行うとした。先行研究 [1] では全端末が同じタイミングでビーコンを出力していたが、本研究ではパケット損失を考慮する。そのため、ビーコンの規定の送信タイミングは最大 1 秒のジッターを与え、衝突をなるべく回避する。送受信の成否は Scenargie を用いて評価する。

[評価方法]

全ノードの 3 項組情報がサーバに集まり次第、乖離度を計算しマッチング処理を行う。ノードに割り当てたスキャン点の位置が正しいか否かを調査し、全ノード数に対する正しく割り当てられた数の割合をマッチング正解率と呼ぶ。30 秒間のシミュレーションを 30 回試行し、各時刻における平均マッチング率を評価する。

5.2 Scenargie シミュレータによる通信状況の変化

理想的に通信が成功する通信モデルと比較して、Scenargie によるシミュレーションが通信モデルに与える影響を調査した。30 回のシミュレーション実験を行い、理想的な通信モデルの下で位置推定に用いられるリンク数の総数が、Scenargie を利用した場合にどれだけ変化するかを比較する。シミュレーション環境のパラメータは表 2 と同じとした。評価結果を表 3 に示す。

表 3 Scenargie を用いた場合の通信環境の変化

Table 3 Effect of Scenargie Simulator

項目	値
理想環境下での総リンク数	313756
Scenargie 評価によって失われたリンク数 (パケットロスとなったリンク数)	9832
Scenargie 評価によって新たにつくられたリンク数 (5m の範囲外まで到達した通信によるリンク数)	11401
Scenargie 評価によって変化した総リンク数	21233
ロスしたリンクの割合	3.1%
範囲外まで到達したリンクの割合	3.6%
理想状態に対する変化率	6.8%

Scenargie シミュレータによって、5m の信号到達範囲内においてもビーコンを受け取れなくなったノードや、信号到達範囲外においてもビーコンを受け取れてしまうノードがシミュレートされている。全体としては、理想的な通信環境下でのビーコンの受信状況と比較して 6.8% の差異が現れる。この差異が LRS 計測で得た物理位置情報から推定する見かけのリンク数との誤差として現れることになる。

5.3 障害物のない空間での評価

5.3.1 理想的な通信環境との比較

先行研究 [1] では、全ノードが同期してビーコンを送信し、通信範囲内にいるノードだけに必ず通信が成功する理想的な通信モデルでの評価結果を報告した。理想的な通信モデルでの手法の評価結果とビーコン受信の成否をネットワークシミュレータ Scenargie を用いて評価した場合の手法の評価結果を比較したグラフを図 3 に示す。

より現実的な通信モデルの下ではパケットロス等の影響により、物理的な位置関係だけから推定した見かけの 3 項組と実際の通信から算出した 3 項組が一致しなくなる

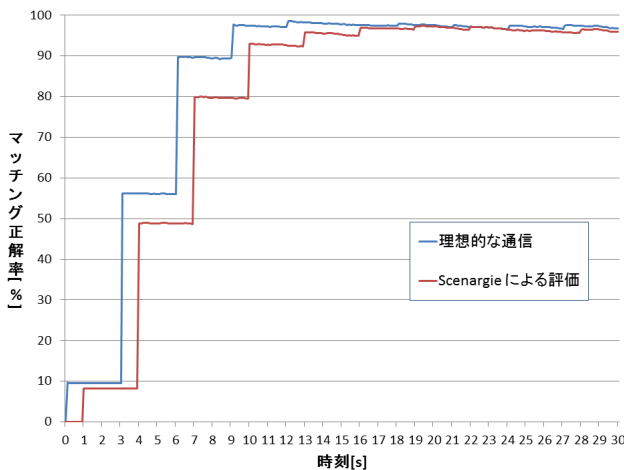


図 3 評価結果 (理想的な通信モデルとの対比)

Fig. 3 Result (vs. Ideal Communication Model)

ため、時間が十分に経過していない状態 (時刻 13s 程度まで) では理想的な通信モデルを仮定した評価よりもマッチング一致率が 10% 程度低下する。しかし、十分に時間が経過すると (時刻 15s 程度から), ある程度の長さの軌跡が得られるため乖離度から一意なマッチングが可能となり, 評価結果は理想通信モデルとほぼ同じ値となる (最大で 97.4%)。図 3 から, 提案手法は現実的な通信状況下でもロバストに動作し, 高精度な位置推定が可能であることを示している。

5.3.2 ビーコン送信間隔別の評価結果

表 2 のパラメータのビーコン送信間隔 1.0s, 3.0s, 5.0s と変化させた場合のシミュレーション評価結果のグラフを図 4 に示す。

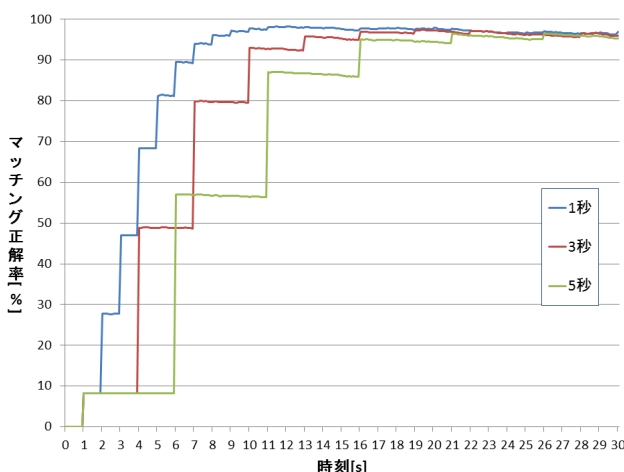


図 4 ビーコン送信間隔別の評価結果

Fig. 4 Result (Variation of Beacon Interval)

送信間隔を早めるとマッチング率が早く収束するが, 最終的には送信間隔に関わらずマッチング率は 97% 程度に収束する。また, 送信間隔が 3 倍, 5 倍となっても, 収束の早さの比は送信間隔の比よりも小さい。これは, 歩行者の移動による通信相手の変化が十分に起こっていないことに

起因している。この結果は, 提案手法では, 高頻度に通信して高速にマッチングを行ったり通信頻度を下げて端末のバッテリーを優先したり, 状況に合わせたモードを選択する柔軟なシステムの実現が可能であることを示唆している。

5.3.3 歩行者数別の評価結果

表 2 のパラメータの歩行者数を 45 人 (0.05 人/m²), 90 人 (0.10 人/m²), 135 人 (0.15 人/m²) と変化させた場合のシミュレーション評価結果のグラフを図 5 に示す。

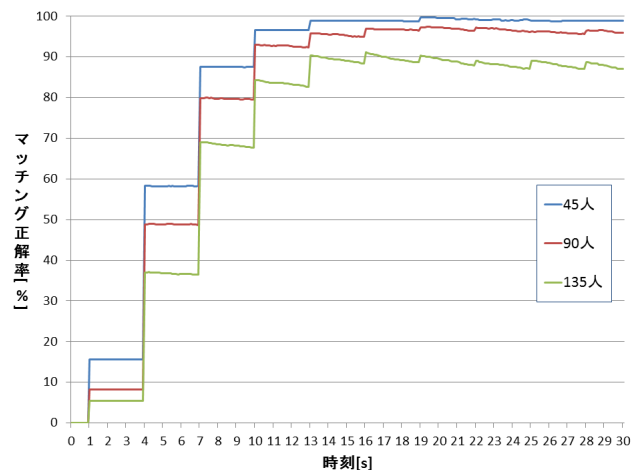


図 5 歩行者数毎の評価結果

Fig. 5 Result (Variation of Pedestrian Density)

歩行者数が増加すると, 別の歩行者の陰に隠れて検出されなくなる歩行者が増え, 見かけの 3 項組の値に誤差が累積するためマッチング精度が低下することがわかる。検出できない歩行者を正確に補完し, 見かけの 3 項組を正しく算出することが今後の課題となる。

5.4 障害物の存在する空間での評価

図 6 のように 3.6m × 1.8m のブースを 9 個等間隔に設置した展示会を想定した空間を対象としてシミュレーションを行った。図 6 中の青い点が歩行者, 灰色の物体がブースを表している。桃色の領域が LRS のスキャン域で, 白色の領域は LRS で検出されない領域を示している。その他のパラメータは表 2 に準じ, モバイル端末間の通信は Scenargie シミュレータで評価したものを利用する。

5.4.1 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 7 に示す。歩行者数は 45 人, 90 人の 2 パターンで評価した。

障害物の存在する空間では, LRS によって検出されない歩行者の数が増加するため, 45 人という非常に低密度な場合であってもマッチング率が大きく低下する (最大 77% の精度)。歩行者数が増えるとともにマッチング率は低下してしまう。歩行者が移動できる全ての空間をカバーできるように LRS を配置することが理想的ではあるがコストがかかるため, スキャンできない領域に存在する歩行者を

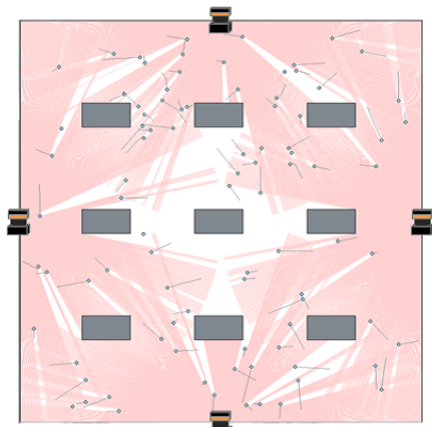


図 6 障害物のあるシミュレーション領域
Fig. 6 Simulation Map (Obstacle Space)

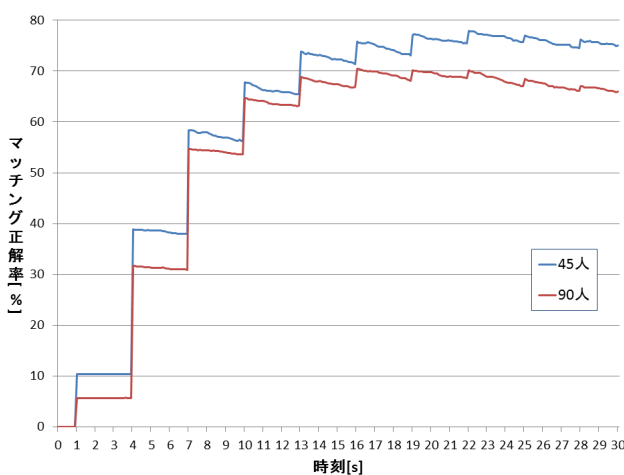


図 7 障害物の存在する空間で評価結果
Fig. 7 Result (in Obstacle Space)

予想して見かけのリンク数を正しく推定することが今後の課題となる。

6. 実機 LRS を使用した実験についての報告

最後に、実際に LRS を用いて歩行者の計測実験を行い、計測データを用いて提案手法を評価した結果について報告する。

実験は 2 台の LRS (UTM-30LX [3]. 仕様は表 1) を用いて、15m × 15m の障害物のない空間を歩く 12 名の歩行者を 30 秒間計測することで行った。実験の様子を図 8、LRS による歩行者計測の様子を図 9 に示す。図 9 では、赤い点が LRS、青い領域がレーザの届いている範囲、青い点が検出点、丸が歩行者をそれぞれ表している。

計測データによる位置情報をベースにして、歩行者が持っているモバイル端末間通信をネットワークシミュレータ Scenargie を使ってシミュレートし、提案手法の性能を評価した。シミュレーションのパラメータは表 2 と同じとする。

現段階では、実計測データをベースとした提案手法と性



図 8 実験の様子

Fig. 8 Picture of Experimentation

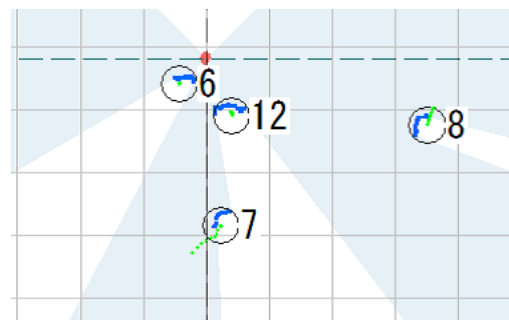


図 9 LRS 計測の様子

Fig. 9 Screenshot of LRS Scan Data

能は、最大でも 41.7% のマッチング正解率となっている。これは、モバイル端末の半径 5m の信号到達範囲に対し、実験を 15m × 15m という小さいスペースで行ったためであると考えられる。計測領域に対する信号到達範囲のカバレッジが高く通信相手の変化が起こりにくくなり、新しいリンク数、失ったリンク数の評価項目が有効に働かず、端末の 3 項組評価値に差異が生まれず一意なマッチングが困難となった。

しかし 5.3.3 節のシミュレーション評価では、実験と同程度の歩行者密度 (0.05 人/m²) であっても最大 99.7% のマッチング率を達成しているため、工夫次第で本実験環境でも同程度のマッチング率を達成できると予想している。現在は、受信ビーコンの数だけに着目してマッチングを行っているが、ビーコン送信者の ID を利用してリンク信頼性を評価するなど、マッチング正解率の低下を防ぐ方法を検討していきたい。

7. おわりに

本稿では、LRS 計測と歩行者の持つモバイル端末間の無線通信を照らし合わせて歩行者の位置・移動軌跡を推定する手法について提案した。先行研究 [1] では理想的に通信が成功する環境下での評価しか行っていなかったが、本稿ではネットワークシミュレータを用いて現実環境に近い通信環境下で提案手法を評価した。提案手法はパケットロス等の発生する通信環境下でも最大 97.4% の精度で歩行者

を識別・位置推定できることを示し、そのロバスト性と有用性を示した。

一方で、実機実験を通して、モバイル端末の信号到達距離に対し計測領域が小さい場合に、提案手法の精度が著しく低下する問題がわかった。これは端末 ID を用いたリンク識別などの方法を用いることで回避可能であると考えられるため、そのような実験を続けていきたい。

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] 株式会社スペースタイムエンジニアリング: “ネットワークシミュレータ Scenargie,” <http://www.spacetime-eng.com/jp/labSimulator.html>
- [3] 北陽電機株式会社: “レンジスキャナ (測域センサ) UTM-30LX,” http://www.hokuyo-aut.co.jp/02sensor/07scanner/utm_30lx.html
- [4] Hui Liu, Darabi H., Banerjee P., Jing Liu: “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 (2007 Nov.).
- [5] Seyed A. (Reza) Zekavat, R. Michael Buehrer: “Handbook of Position Location,” *IEEE Press* (2012).
- [6] Molisch A. F., Cassioli D., Chia-Chin Chong, Emami S., Fort A., Kannan B., Karedal J., Kunisch J., Schantz H. G., Siwiak K., Win M. Z.: “A Comprehensive Standardized Model for Ultrawideband Propagation Channels,” *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, Vol.54, No.11, pp.3151-3166 (2006 Nov.).
- [7] Hazas M., Hopper A.: “Broadband ultrasonic location systems for improved indoor positioning,” *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, Vol.5, No.5, pp.536-547 (2006 May).
- [8] Lim H., Kung L. C., Hou J. C., Luo H.: “Zero-Configuration, Robust Indoor Localization: Theory and Experimentation,” *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings*, pp.1-12 (2006 April).
- [9] Teixeira Thiago, Jung Deokwoo, Savvides Andreas: “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)*, No.10, pp.213-222 (2010).
- [10] 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 (1997).
- [11] Takamasa Higuchi, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino: “Clearing a Crowd: Context-supported Neighbor Positioning for People-centric Navigation,” *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive '12)*, pp.325-342 (2012)
- [12] 李在勲, 金容植, 川田浩彦, 大矢晃久, 油田信一: “測域センサを用いたセキュリティーシステムの開発 -人物追跡・計数アルゴリズム-,” 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2B22 (2006 Nov.).
- [13] H. Zhao, 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).
- [14] Rallapalli Swati, Qiu Lili, Zhang Yin, Chen Yi-Chao: “Exploiting temporal stability and low-rank structure for localization in mobile networks,” *Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '10)*, No.12, pp.161-172 (2010).