

空間を共有する人々のためのソーシャルイベント可視化プラットフォーム「ひとなび」の設計開発

藤田 和久^{2,a)} 廣森 聡仁^{2,b)} 山口 弘純^{2,c)} 東野 輝夫^{2,d)} 下條 真司^{1,e)}

概要：本研究では、共有空間における人々の存在・行動情報、ならびにそれらの人々の気持ちや考えなどを統合的に共有するための共有空間ナビゲーションプラットフォーム「ひとなび」の設計開発を行う。人々の位置や移動状況のセンシングに対しては、レーザ測域スキャナを複数台別方向から用いる複数同時トラッキング手法を提案し、高精度な座標情報取得を実現する。また人々の考えや気持ちは、それらの人々がスマートフォンなどのモバイル端末を介して発信するショートメッセージであり、これを共有空間地図上のなるべく正確な位置に表示することで、人々がどこで何を考えているかが把握できる。ここで、レーザ測域スキャナから得られる人々の移動軌跡は位置精度が高い一方で、どのモバイル端末のものであるかはわからない匿名の軌跡群であるが、提案手法ではモバイル端末の簡易な WiFi 位置測定により得られるおおよその位置情報を用い、匿名軌跡群との時空間的整合性（マッチング）を取ることで、各モバイル端末の移動軌跡を推定し、WiFi 位置推定では得にくい高精度な位置情報を提供することで、高精度なきもち表示を実現する。大学キャンパス内の居住ビルフロアにおける実環境実験を実施した結果、複数台のレーザ測域スキャナによるトラッキングが極めて低誤差で実現できることを示した。またモバイル端末の WiFi 位置推定と匿名軌跡群を高精度でマッチングできることも示した。さらに、大規模商業施設グランフロント大阪内での実証実験の取り組みを紹介する。

1. はじめに

SNS の爆発的普及などにより、人々が写真や動画などのメディアコンテンツ、GPS 情報や訪れた店舗などの位置行動情報、趣味や興味などの嗜好情報など、多様な個人情報や環境情報をサイバー空間で共有し、活用する事例が増加している。例えば友人が訪れた隠れた名店レストランや居酒屋を写真やコメントとともに Twitter や Facebook などでの声で伝えることで、人々は主観と客観に基づく貴重なデータを自身の位置に関わらず知ることができる。また、Twitter や Ustream によるショートメッセージや映像中継のように、高いリアルタイム性で遠隔地の情報を知ることが容易に実現可能なサービスやプラットフォームが実現しつつある。

その一方で、大規模な商業ビル内の店舗やレストラン

群、東京ビッグサイトのような大型のイベント会場におけるブース群といった、ある共有空間に存在するスペースのリアルタイムな人気状況や混雑状況、それらに対する人々の評価や感想などを知りたい場合がある。自身と同空間に存在する他の人々がどのような行動をとり、何を考えているかをその場で即時に把握することで、自身の行動をより効率的かつ充実したものにできる。例えば多くの人々が集まっており、その中の一部の人々が感嘆しているブースは、そのブース自体が非常に興味を引くものであったり、その時間に特別な事象が発生した（その時にユニークな説明員がいた、あるいは展示していたロボットの実演が始まった）可能性もある。その情報を入手した人々は、自身の存在場所や他のブースの状況を総合的に判断し、その場所を訪れるべきかなどを判断できるなど、行動決定のための重要な情報を得ることができるため、そのような人々の位置や気持ちの情報のリアルタイム共有は同じ場所に存在する人々にとって高い価値を有する。

近年では、スマートフォンのような小型携帯端末に搭載された加速度センサや電子コンパスなどのセンサから端末の移動軌跡（位置トレース）を高精度に推定する Pedestrian Dead Reckoning (PDR) 技術 [4], [5], [6] や人々の行動を推測したりする行動把握（Activity Recognition）技術な

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

² 大阪大学 サイバメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University, Japan

a) k-fujita@ist.osaka-u.ac.jp

b) hiromori@ist.osaka-u.ac.jp

c) h-yamagu@ist.osaka-u.ac.jp

d) higashino@ist.osaka-u.ac.jp

e) shimojo@cmc.osaka-u.ac.jp

ど、端末による個人のセンシング技術は発達しつつあるものの、車両ナビゲーションなどとは異なり、歩行者のナビゲーションには他の歩行者の存在情報は反映されていない。これは、イベントスペースなど比較的広範囲の屋内空間全体における人々の存在情報（混雑状況）のセンシングやモバイル端末の位置推定技術が現状では十分に活用されていないことがあげられる。ユーザ参加型で列車の混雑状況を共有するジョルダンライブ!のように、特定の共有空間における状況把握と共有を行うサービスも現れてきているが、あくまでユーザによるおおまかな位置判断と状況判断であり、人の位置情報や混雑状況などを検知し共有する技術ではない。

本研究では、共有空間における人々の存在・行動情報、ならびにそれらの人々の気持ちや考え、感覚などを統合的に共有するための共有空間ナビゲーションプラットフォーム「ひとたび」の設計開発を行う。ひとたびでは、リアルタイムな人々の位置や移動状況とそれらの人々の考えや気持ちを取得および集約し、これらの情報を共有空間地図上に統合して可視化し、スマートフォンやタブレットなどのモバイル端末ユーザにわかりやすく提供する。人々の位置や移動状況のセンシングには、レーザ測域スキャナ（Laser Range Scanner）を複数台活用する。我々が利用している市販品のレーザ測域スキャナは、距離 30m、視野角 270 度にわたる平面上に存在する物体までの正確な距離を赤外線レーザの反射を捉えて測定できる。複数台用いることで人によるオクルージョンの影響を排除し、広範囲の人々の軌跡を可視化する。一方で、複数のセンサからの測距情報の融合が必要となるため、そのための技術を提案する。また、人々の考えや気持ちは例えばそれらの人々がモバイル端末を介して発信するショートメッセージ（例えば Twitter におけるつぶやき）などであり、これを共有空間地図上のなるべく正確な位置に表示する。レーザ測域スキャナから得られる人々の移動軌跡群は、どのモバイル端末ユーザのものであるかはわからない匿名軌跡群である。一方でこれらは極めて位置精度が高いため、この情報とモバイル端末の WiFi 位置測定により得られる端末のおおよその位置情報との時空間的整合性を取ることで、モバイル端末がどの移動軌跡に相当するのかを推定し、端末にレーザ測域スキャナの対応する軌跡情報を通知することで、端末の位置情報精度を大きく向上させる技術を提案する。

大学キャンパス内の居住ビルフロアにおける実環境実験を実施し、レーザ測域スキャナによる軌跡トラッキングが極めて高い精度で実現できることを示した。また比較的簡易な WiFi 位置推定を用い、いくつかのモバイル端末と匿名軌跡群に対する軌跡-端末マッチングを実施し、一定の精度により実現できることを示した。また研究グループでは、2013 年 4 月 26 日に新規開業（まちびらき）し、開業後 3 日間で 100 万人が訪れた大規模商業施設グランフロン

ト大阪で、産学の最先端技術を展示するイベントスペース「The Lab みんなで世界一研究所」において、一般社団法人ナレッジキャピタルと大阪大学が共同して、まちびらき当日より本システムを継続展示中である（2014 年 2 月 15 日現在）ため、そこでの取り組みを紹介する。

2. 関連研究

人の存在を把握する技術として、位置検出技術が挙げられ、屋外の位置検出においては GPS が利用されているが、GPS が利用できない屋内や地下における位置推定手法も盛んに研究されており [2]、無線信号の電波強度を利用した手法、加速度センサや角速度センサを利用した Dead Reckoning、カメラなどの設置型センサを利用した手法など多くの手法が提案されている。これらの手法は、(a) 人々が所持した何らかのセンサによって位置を推定する手法（個別測位）と、(b) 設置型センサで環境自体を観測し、その中から人々の位置を抽出する手法（環境測位）の二種類に大別される。

個別測位手法の一つとして、無線信号の送受信が可能な小型の通信端末を活用し、電波伝搬を用いた測量原理を用いる手法が挙げられる。また、受信電波強度（RSS）が距離の対数に比例し減衰するモデルに基づく手法も多数考案されており、文献 [7] では、アクセスポイント間、アクセスポイントとクライアント間の RSS 情報を計測し、アクセスポイント間の位置を自動的に調整することで、事前学習を行うことなく、位置推定が行える環境を構築できることが示されている。これらの個別測位の手法により得られた位置情報は、センサーの所持者するユーザに対するものであるため、位置情報とユーザの対応関係は明示的に与えられるが、センサを所持していないユーザの位置は得られないため、ある領域におけるユーザ全体を把握する用途には不向きである。

一方、環境測位の手法として、カメラを用いた位置推定手法が提案されており、歩行者の頭部や全身を撮影し、画像処理技術を応用することで、撮影範囲に滞在する人々の位置を把握することができる。既存の監視カメラを利用することが可能で、推定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カメラ撮影が困難である場所も少なくない。別の環境測位手法として、レーザ測域スキャナを用いる位置推定手法が挙げられる。レーザ測域スキャナは赤外線レーザにより、照射された箇所までの位置を正確に把握することが可能で、文献 [1] では、赤外線レーザを人の腰の高さで照射し、各時刻に計測される距離データの差分から人の移動軌跡を得る手法が提案されている。レーザ測域スキャナで計測されるデータは小さく、キャリブレーションも容易であるというメリットを持つが、見通し線にない物体を検出することができず、障害物や別の人の陰に隠れてしまう人を捕捉することはできない。このよう

に、環境測位では、センサー観測域内の全ての人の位置を測位することが可能であり、位置推定のために、ユーザが個別にセンサを所持する必要はないが、得られた位置情報がいずれのユーザのものであるかなど、対応関係を把握することは困難である。

本研究では、共有空間における人々の存在を把握するために、端末に搭載された Wi-Fi による個別測位と、レーザ測域センサによる環境測位を組み合わせることで、対象とする領域において継続した人々の位置検出を実現している。また、イベントやきもちの把握についても、つぶやきなどの分析から得られるユーザ参加型の主観的な情報と、センサなどから得られる客観的な情報を統合し、かつ可視化する点で既存研究とは大きく異なる。

3. ひとたびプラットフォームの構成と要素技術の概要

ひとたびのアーキテクチャ概要を図 1 に示す。まず、設置型センサーであるレーザ測域スキャナを 1 台以上用いる。各レーザ測域スキャナは、水平平面上のある扇形領域上に存在する人々や壁、その他存在物体までの最近距離を一定角度ごとに取得できる。スキャン回数は一般的に数十ヘルツ以上（デバイスに依存する）である。我々が用いている北陽電機の UTM-30LX [11] は半径 30m、中心角 270 度の扇形領域に対応し、角度分解能は 0.25° 、スキャン回数は最大 40Hz、測距誤差は 30mm から 50mm である。また、Ethernet を介して URG C Library [9] によるデータの取得が可能であり、取得した距離データは単一のサーバに集約される。複数のレーザ測域スキャナからのデータをサーバ上で時間同期させて統合することで人の滞留と移動軌跡を検出する。また、対象領域の人々のスマートフォンなどの Wi-Fi モバイル端末も利用する。スマートフォンは無線 LAN アクセスポイントからの受信強度情報および AP 情報（MAC アドレス）を取得し、これらを自身の端末 ID（MAC アドレスなど）とともにサーバに集約する。サーバは、レーザ測域スキャナデータから軌跡情報を計算するとともに、各 Wi-Fi モバイル端末からの無線 LAN 情報を用いてその端末のおおよその位置推定を行う。それらの情報を組み合わせることで、軌跡情報とモバイル端末の対応付けを行い、その軌跡をモバイル端末の位置として返信するとともに、共有空間に軌跡を表示する。また、その端末からのショートメッセージもサーバに集約し、その端末の位置と時刻に対応する共有空間上の座標に表示する。以上のように、共有空間に存在する人々の位置や移動、ショートメッセージが可視化され、各モバイル端末や共有ディスプレイ（サイネージディスプレイなど）上に表示される。

以上のアーキテクチャにおいては、(1) 複数台のレーザ測域スキャナによる背景（壁や家具などの静止物体）ならびに人物の位置検出と移動軌跡導出、(2) Wi-Fi によるモ

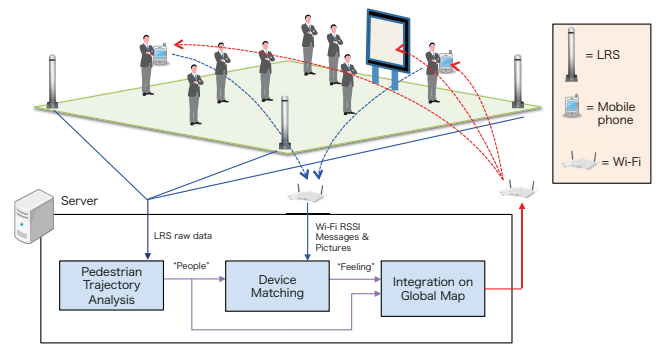


図 1: システム構成

バイル端末の位置推定、(3) レーザ測域スキャナによる匿名移動軌跡群と、各モバイル端末の Wi-Fi 位置情報との対応付けによるモバイル端末の高精度位置推定、の 3 つが主要な要素技術である。以下の各章で上記の技術について述べる。

4. レーザ測域スキャナによる人物トラッキング

4.1 軌跡導出プロセス概要

ひとたびでは、腰の高さの位置に地面と水平に設置した複数のレーザ測域スキャナによって共有空間内の歩行者トラッキングを行うが、事前に無人状態において取得した静止物体上の計測点（これを背景計測点とよぶ）の集合を取得しておくものとする。

ひとたびは、各時刻における各スキャナの測距結果を座標平面に集約することで、存在する人物または静止物体の表面上のレーザ反射点（これを計測点とよぶ）の集合を求める。以下では、各レーザ測域スキャナを中心とした座標系における、レーザの照射先にある物体の位置 $(m_x, m_y) = (r \cos(\theta), r \sin(\theta))$ で表す。ここで θ, r はスキャナの方角および物体までの検出距離を表し、例えば前述の UTM-30LX では $\theta \in [0^\circ, 270^\circ]$ (0.25° 刻み) である。ある時刻 t においてレーザ測域スキャナ i から見た角度 θ で得られた計測点を $m_i(\theta, t)$ として表す。

人物の検出においては、各レーザ測距角から得られる各レーザ測域スキャナに対し、計測点から背景計測点を除外することで、人の体表のレーザ反射点（これを体表計測点とよぶ）と思われる点集合を抽出する。

次に、各レーザ測域スキャナが検出した体表計測点のうち、同一の歩行者と想定される点群をグループ化し、それらの位置関係からその歩行者の体の中心点（体中心点）を推定する。ここで、スキャナはステップ角 $\delta\theta$ で各角度の距離を離散計測するが、隣り合う角 $\theta, \theta + \delta\theta$ で得られる距離 $r(\theta)$ および $r(\theta + \delta\theta)$ の関係を考える。角 θ および角 $\theta + \delta\theta$ 方向に同一の物体が存在する場合、それぞれ得られる測定距離 $r(\theta)$ 、測定距離 $r(\theta')$ は近い値になることが予想されるため、これらの測定距離の差が一定閾値以下である

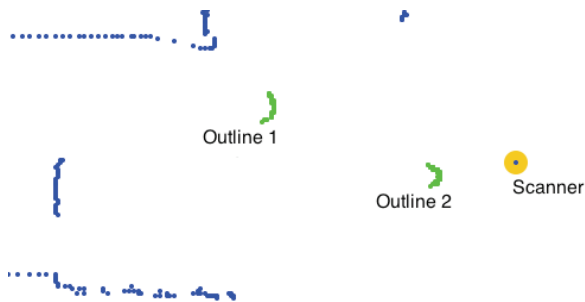


図 2: 2 歩行者の輪郭の例

体表計測点をつなぎ合わせることで同一歩行者の体表計測点の集合を取得し、これを輪郭とよぶ。図 2 は 2 人の輪郭が抽出されている様子を示している。輪郭に属する点からスキャナ i によるある歩行者の体中心点を得る。なお、単一の歩行者に対し、複数のスキャナから別々の体中心点を得られる可能性もあるが、これらのうち同一の歩行者の体中心点と思われる点群をグループ化し、その重心をとることで最終的にその歩行者の体中心点とする。

最後に同じ歩行者の体中心点を時系列でつなぐことでその歩行者の移動軌跡を導出する。

4.2 背景計測点の自動更新法

前節では、空間に存在する移動物体は歩行者のみであるとしたが、イベント会場等では、看板などが設置されたり展示物の配置が変えられるなども頻繁に生じるため、歩行者を検出できない(偽陰性)あるいは歩行者でない物体を検出する(偽陽性)といった問題につながる。これに対し、ひとたびでは背景計測点を自動で更新する手法を提案し実装している。ここで、歩行者は数十分程度の比較的長い時間で同一地点に滞留し続ける可能性は低い、新たに設置された看板等はしばらくその場所に設置されると考えられるため、検出点が 30 分程度変化しない場合はそれを背景検出点をみなすようにすることで背景情報の自動更新を実現する。なお、レーザ測域スキャナの測距誤差は高々 50mm 程度であることから、ある角度に対する異なる時刻の測定距離の差がこの値の 2 倍(100mm)の範囲内である場合、それらは同じ物体を検出したものとみなす。ひとたびでは背景検出のみならず体表検出においてもこの誤差を考慮している。また、看板や展示物などは人体と形状が大きく異なるため、その輪郭の形状や大きさに着目することで素早い背景変化の検知も可能であるため、現在その実現に取り組んでいる。

以上のように、各レーザ測域スキャナで観測された歩行者の輪郭の体表検出点は、基準座標系に変換される。

4.3 体中心点推定法の詳細

各レーザ測域スキャナは独立に測距を行うため、同一歩行者が複数のスキャナに捉えられることも多い。複数の

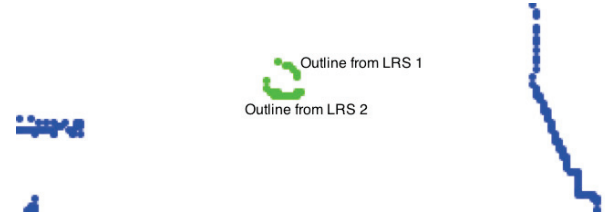


図 3: 複数のレーザ測域スキャナによる単一歩行者の輪郭

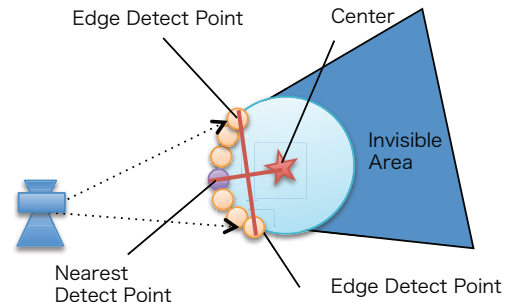


図 4: 輪郭と体中心点

スキャナが同一の歩行者を観測するとき、スキャナと歩行者の位置関係によっては歩行者の体を別方向から観測することとなり、体表の形状の違いから図 3 のように輪郭が異なる場合もある。従って、複数の輪郭が同じ歩行者のものか否かの判断は容易でない。

ここで、各歩行者の体中心点は、図 4 のように、輪郭の両端点を結ぶ線分に対し、スキャナに最も近い体表検出点 a からその線分への垂直線上にあり、 a から想定体半径分離れたところに体中心点があると想定する。したがって、 a が体側面なのか体前面(あるいは後面)なのかで本来体半径が異なりその分が誤差となることが、複数の同一歩行者の輪郭の同一性判定を困難にする要因となっている。これに対しひとたびでは、各輪郭の体中心点を距離に関してクラスタリングすることで、同一歩行者の複数の体中心点を単一化する方法を採用する。クラスタリングには Ward 法を用い、ある距離以下の点同士を同一歩行者の体中心点とみなしている。最後に同一歩行者の体中心点群のの重心を、その歩行者の体中心点とする。

4.4 体中心点からの軌跡導出手法

レーザ測域スキャナはスキャンの時間周波数が高いため、時間的に連続する 2 スキャン間の歩行者の動きは非常に小さい。したがって、それらのスキャンによって得られる(時刻が連続する 2 つの)体中心点間の距離が他のどの組と比較しても最小である場合、それらを同一の歩行者とみなし、これにより軌跡を導出する。どの軌跡にも結合されない体中心点は新たに出現した歩行者とみなして新しい軌跡を形成する。

5. デバイスマッチングモジュール

本章では、レーザ測域スキャナから得られる匿名移動軌跡群をモバイル端末に対応付けすることで、より高い精度でモバイル端末の位置を推定する方法について説明する。各居室にアクセスポイントが設置されている状況においては、他の居室からの電波は壁等の影響により大きく減衰し、居室のアクセスポイントからの電波のみが観測されるため、居室アクセスポイントの MAC アドレスなどを参照することにより、いずれの居室に滞在しているかといった存在情報は高い精度で検知することができる。提案手法では、無線通信により存在情報が把握できる領域を予め把握し、あるモバイル端末に対する存在情報が明らかになった瞬間、レーザ測域スキャナのスキャン領域内において、いずれの歩行者が無線通信により存在情報が把握できる領域に進入したかを把握することで、匿名移動軌跡群に対するモバイル端末の対応付けを行う。

5.1 マッチングアルゴリズム

以下、簡単のため時刻はタイムスロット（およそ 1 秒を想定している）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、無線通信により存在情報が把握されているモバイル端末集合を C_k として、レーザ測域スキャナにより把握されている歩行者集合を A_k として表す。また、タイムスロット k において、レーザ測域スキャナが把握する歩行者と、無線通信により存在情報が判明しているモバイル端末の割当を $M_k: A_k \rightarrow C_k$ で表す。

提案手法では、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（すなわち新たにレーザ測域スキャナの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（すなわちレーザ測域スキャナのスキャン領域に滞在している）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（すなわちレーザ測域スキャナのスキャン領域から離脱した）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（レーザ測域スキャナによる）歩行者の位置を $P_A^k(x)$ 、無線通信により判明したモバイル端末 i の位置を $P_C^k(i)$ で表す。

(1) 各歩行者 $x \in A_t^*$ に対し、

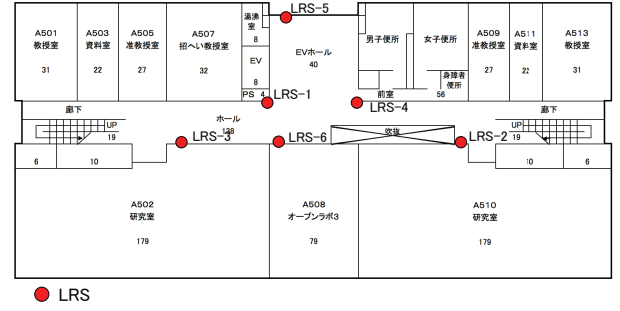


図 5: 実験環境 6 台のレーザ測域スキャナの配置

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

ただし、 D は二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、レーザ測域スキャナによる位置と無線通信による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モバイル端末の割当に変更する。なお、ここで割当に利用されたモバイル端末集合を C_t^* で表す。

(2) 各歩行者 $x \in A_t^+$ に対し、

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

6. 性能評価

6.1 歩行者トラッキングの性能評価

提案する歩行者トラッキングの性能を評価するために、マルチオブジェクトトラッキングの評価メトリクスとして一般的に利用されている CLEAR-MOT[3]を導入する。CLEAR-MOT は、位置推定の精度を評価する指標 MOTP と、追跡の正確さを示す指標 MOTA の 2 つの評価指標から成る。MOTP は、歩行者を追跡出来た時に真の位置と推定結果がどれだけずれているかを、MOTA は、どれだけ失敗（追跡ロスト、擬陽性、追跡ミスマッチなど）を少なく歩行者を追跡できているかを示している。

大阪大学大学院 情報科学研究科棟の 5 階にレーザ測域スキャナを設置し、歩行者トラッキングの評価実験を行った。図 5 で示された場所にレーザ測域スキャナを計 6 台設置し、使用するレーザ測域スキャナの数 1 台から 6 台まで変化させて歩行者トラッキングを実行し、位置推定の精度 (MOTP) と追跡の正確さ (MOTA) を評価した。

6.1.1 位置推定精度評価

真値の判明している地点の上に歩行者を静止させ、その位置推定結果と真値のずれを計算したところ、図 6(a) の結果を得た。少なくとも 1 つのレーザ測域スキャナで歩行者

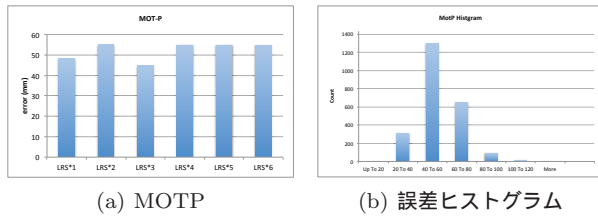


図 6: 歩行者トラッキングの位置推定精度

を捉えることができれば、誤差 50mm 程度と高精度に位置を推定することができることが判明した。

また、図 6(b) が示すように、多くの場合で誤差 100mm 以内に位置推定を行えることが判明した。ただし、誤差の多くが 40mm-60mm となっており、0mm-40mm の範囲に収まるのが少ないことが分かった。これは、輪郭から体中心点を推定する際、輪郭の最近点から一定の距離の地点に体中心点を置いているが、実際は輪郭から体中心点までの距離は一定ではなく、体の向きによって変化するため誤差が生じたものと考えられる。

移動軌跡や輪郭の形状から体の向きを判別し、輪郭上の点から体中心点までの距離を変化させ、より高精度に体中心点を求めるようになって考えている。

6.1.2 追跡の正確さ評価

表 1: MOTA

スキャナの数	Miss	False p.	Missmatches	MOTA
6	3.2 %	0 %	0 %	96.8 %
4	6.1 %	0 %	1.5 %	92.4 %
5	6.5 %	0 %	1.5 %	92.0 %
3	7.0 %	0 %	3.6%	89.4%
2	10.8 %	0%	9.1%	80.1%
1	15.7 %	0%	11.4%	72.9%

表 1 は、5 人の歩行者が廊下を歩く様子を、指定の台数のレーザ測域スキャナを用いてトラッキングを実施した時の追跡の正確さ (MOTA) を示している。歩行者を両側からスキャンできる領域では、5 人の歩行者が一箇所に固まっても見失うことなくトラッキングできた。一方で、歩行者をある方向からしか観測できない時には、しばしばオクルージョンによって歩行者を見失い、トラッキング ID が変わってしまう問題が発生する。この問題は、レーザ測域スキャナから歩行者への視線と、歩行者の進行が同じ向きの時に特に顕著となる。歩行者がレーザ測域スキャナの視線と同一方向に移動している時には、一定の角度に長時間オクルージョンが発生し、その後ろ隠れてしまった別の歩行者を長時間発見できなくなるからであると考えられる。少ないレーザ測域スキャナで効率よく歩行者をトラッキングするためには、歩行者の移動方向を真横から観察するようにレーザ測域スキャナを設置すると良いことが分かる。

6.2 デバイスマッチングの性能評価

無線 LAN 通信電波強度を用いたデバイスと軌跡のマッチングの性能評価のため、大阪大学大学院 情報科学研究科棟の 5 階で実験を行った。

はじめに、計測対象空間に設置した 3 つの Wi-Fi 基地局 (以下、AP) $e1, e2, e3$ を設置し、 $(p1, p2, p3)$ の各地点で AP からの RSS を測定した。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。その結果、図 7 に示すように、計測対象領域を各 AP の RSS が最も高くなるエリアに分割することができた。このエリア分類に基づき、レーザ測域スキャナとスマートフォンを用いた実験を通して歩行者識別の性能評価を行った。

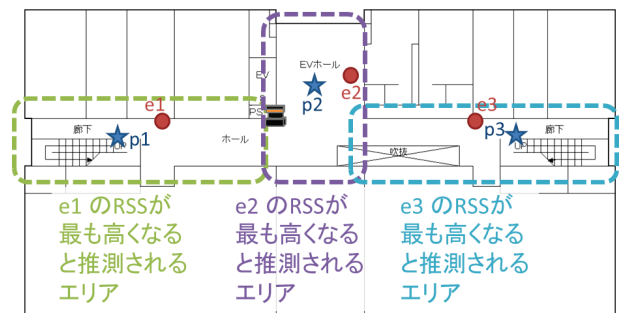


図 7: 推定最近 AP を決定する領域

図 8 で示す 3 つの歩行シナリオで実験を行う。実験 1 では、図 8(a) のように、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。実験 2 では、図 8(b) のように、階段だけでなくエレベーターからの出入りも含めたシナリオとする。実験 3 では、図 8(c) のように、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。なお、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す。

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、同時刻にレーザ測域スキャナでトラッキングしている歩行者の位置から推定した最近 AP を照らし合わせ、レーザ測域スキャナで検出した歩行者とスマートフォンを対応付ける。実験 1 において、それぞれの歩行者 (Pedestrian1, Pedestrian2) に対して、各時刻でのレーザ測域スキャナの観測結果に基づいて RSS が最大と推測される AP の時間変化を図 9(a) 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 9(b) に示す。

図 9(a), 9(b) 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

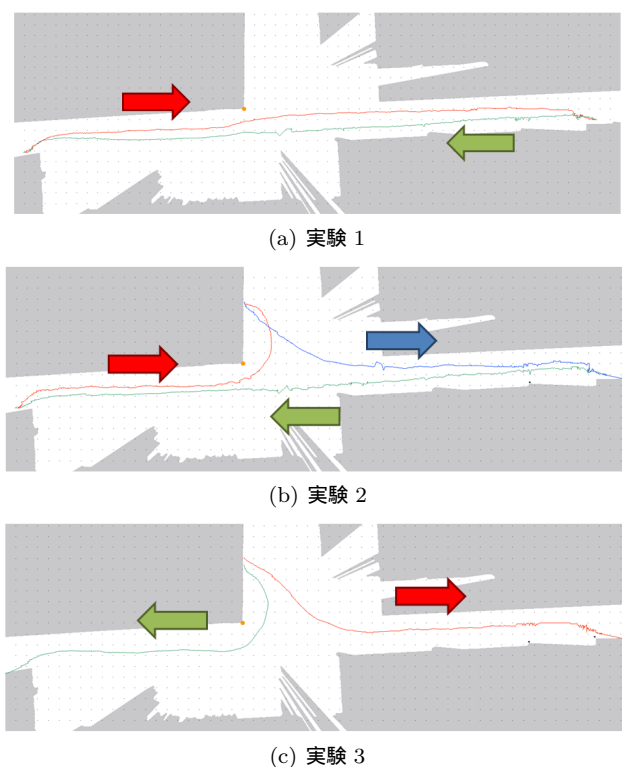


図 8: 実験の歩行シナリオ

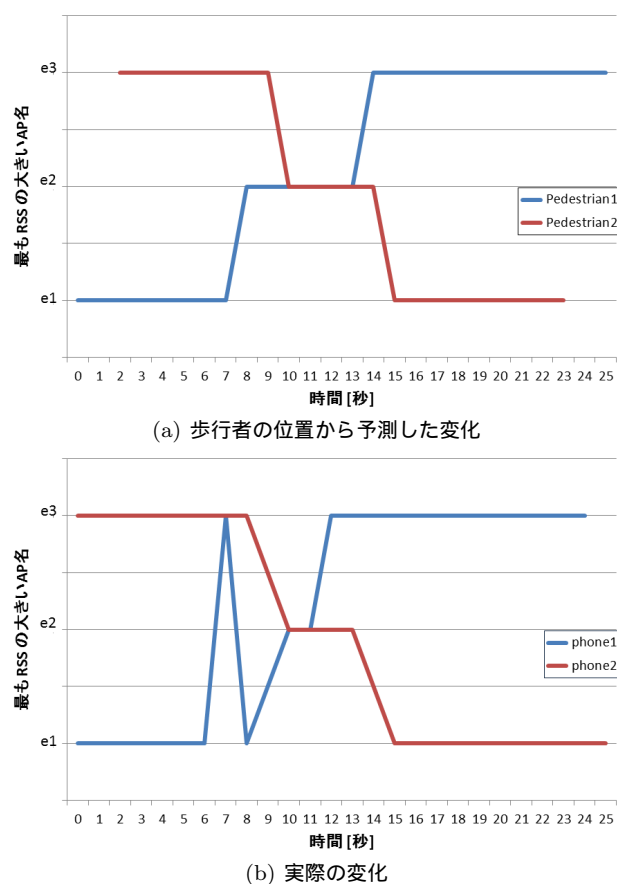


図 9: 最大 RSS 値を得る AP の時間変化

けることで、レーザ測域スキャナ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 10 に示す。図 10 では、開始時から 2 秒程度、一方の歩行者がレーザ測域スキャナ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、一度レーザ測域スキャナ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。

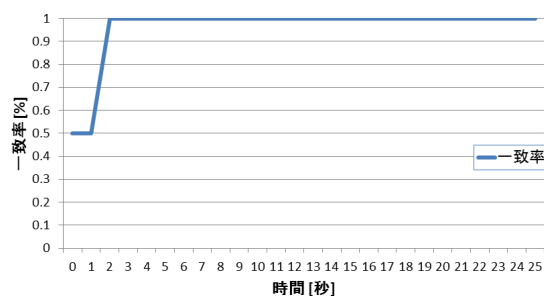


図 10: 各時刻での一致率 (実験 1)

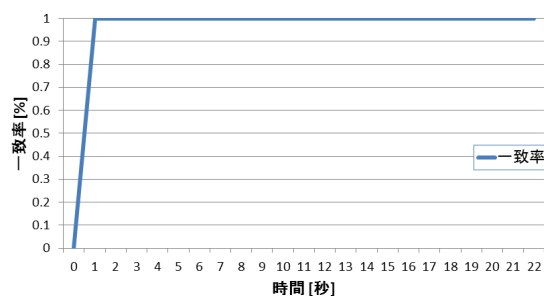


図 11: 各時刻での一致率 (実験 2)

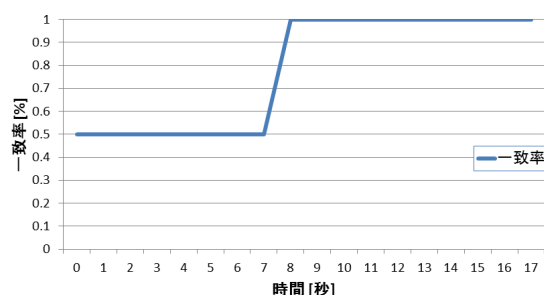


図 12: 各時刻での一致率 (実験 3)

実験 2 において、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 11 に示す。

実験 3 において、実験 1, 2 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 12 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、レーザ測域スキャナの計測結果、スマートフォンが受信した電



図 13: The Lab. みんなで世界一研究所 (Active Lab. フロア)



図 14: ひとたび RT のサイネージディスプレイ展示

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 [12] 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。

7. 実証実験の紹介とまとめ

「The Lab みんなで世界一研究所」[13] (図 13) は、2013 年 4 月 26 日に新規開業し、開業後 3 日間で 100 万人が訪れて大きな注目を集めた JR 大阪駅前の大規模商業施設グランフロント大阪のナレッジキャピタルにおいて、先端技術を見て、触れ、体験し語り合う交流施設であり、現在多数の企業や学術団体、大学がブースで最先端技術の展示を行っている。我々は、一般社団法人ナレッジキャピタルと共同で、レーザ測域スキャナを計 8 台設置し、この The

Lab 内の人々の行動を計測し可視化して展示する実証実験を展開している (図 14)。同システムはまちびらき当日より展示を開始し、2014 年 2 月 13 日現在も継続して展示している。今後は The Lab 内での軌跡と WiFi 測位の融合実験を行なっていきたい。

謝辞

本研究の一部は、KDDI 財団ならび文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業-次世代 IT 基盤構築のための研究開発 - 「社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システムの構築」(2012 年度 ~2016 年度) の助成を受けたものです。The Lab. での実証実験に関し、一般社団法人ナレッジキャピタルの宮原秀夫代表理事をはじめ、多大なご協力を賜りましたすべての関係者の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Fod, A., Howard, A. and Mataric, M.: A laser-based people tracker, *Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on*, Vol. 3, IEEE, pp. 3024-3029 (2002).
- [2] Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I.: A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks, *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, Vol. 11, No. 1, pp. 13-32 (2009).
- [3] Keni, B. and Rainer, S.: Evaluating multiple object tracking performance: the CLEAR MOT metrics, *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, Vol. 2008 (2008).
- [4] Kjaergaard, M. B., Wirz, M., Roggen, D. and Tröster, G.: Detecting pedestrian flocks by fusion of multi-modal sensors in mobile phones, *Proceedings of the 14th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '12)*, pp. 240-249 (2012).
- [5] Kloch, K., Lukowicz, P. and Fischer, C.: Collaborative PDR Localisation with Mobile Phones, *Proceedings of the 15th Annual International Symposium on Wearable Computers (ISWC '11)*, pp. 37-40 (2011).
- [6] Li, F., Zhao, C., Ding, G., Gong, J., Liu, C. and Zhao, F.: A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors, *Proceedings of the 14th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '12)*, pp. 421-430 (2012).
- [7] 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).
- [8] 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*, ACM, pp. 213-222 (2010).
- [9] URG Helper project: URG C Library document.
- [10] Zhao, H. and Shibasaki, R.: A novel system for tracking pedestrians using multiple single-row laser-range scanners, *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, Vol. 35, No. 2, pp.

283-291 (2005).

- [11] 北陽電機株式会社 UTM-30LX.
- [12] 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).
- [13] KNOWLEDGE CAPITAL. アクティブラボ – knowledge capital –.