

すれ違い通信を利用した 大規模イベントにおける人動線推定方式の提案

北上真二^{†1} 荻野正^{†2} 大岸智彦^{†3} 宮西洋太郎^{†4} 浦野義頼^{†1} 白鳥則郎^{†1}

概要：大規模なイベント会場やテーマパークにおいて、来場者の動線情報はマーケティング情報として有用であるだけでなく、緊急時の避難指示や会場レイアウト変更のための基礎データとしての活用が期待できるため、その推定方式として GPS 測位法や環境測位法など、様々な研究がなされてきた。しかしながら、これらの方式は、屋外での利用に限定されたり環境側に測位機器を設置するためのコストがかかたりするという課題があった。本稿では、大規模イベント会場において、来場者の移動距離を計測する「歩数計」と近接通信ネットワークにより来場者間で情報を交換する「すれ違い通信」を組み合わせることにより、来場者の動線推定を行う「すれ違い人動線推定方式」を提案する。提案方式は、来場者の移動範囲を表す「最大移動円」という概念を導入し、すれ違った来場者の最大移動円の関係を元に来場者の位置を推定する。また、来場者の遭遇が少ない場所に「位置補正アンカー」を配置することにより、累積される動線推定の誤差を補正する。提案方式に基づいて、大規模イベント会場を想定した人動線推定シミュレーションを行った結果、屋内外を問わず GPS 測位法と同程度の精度で人動線推定が可能であることが分かった。

キーワード：大規模イベント会場、人動線推定、すれ違い通信、GPS 測位法、環境測位法、歩行者自律測位法

1. はじめに

大規模イベント会場やテーマパークにおいて、来場者の動線情報は、マーケティング情報として有用であるだけでなく、緊急時の避難指示や会場レイアウト変更のための基礎データとしての活用が期待できる[1]。人の動線推定方式については、GPS 測位法や環境測位法、歩行者自律測位法(PDR 法)など、様々な研究がなされてきた。しかしながら、これらの方式は、屋外での利用に限定されたり環境側に測位機器を設置するためのコストがかかたりするという課題があった[2][3][4]。

本稿では、大規模イベント会場への適用を想定し、来場者の移動距離を計測する「歩数計」と、すれ違った時に近接通信ネットワークにより来場者間で情報を交換する「すれ違い通信」を組み合わせることにより、来場者の動線を推定する「すれ違い人動線推定方式」を提案する。提案方式では、来場者の遭遇位置は、前回他の来場者と遭遇した位置を中心、そこからの移動距離を半径とする「最大移動円」が交わった領域内にあるという点に着目し、来場者が遭遇するタイミングで来場者の動線を推定する。また、移動せず最大移動円が固定となる「位置補正アンカー」を来場者の遭遇が少ない場所に配置することにより、累積される動線推定の誤差を補正する。

提案方式に基づいて人動線推定シミュレーションを行った結果、来場者が 500 名のイベント会場(広さ 100m²)において、20 個の位置補正アンカーを配置することにより、提案方式による動線推定の平均誤差が 8m 以下となること

が分かった。これは、GPS 測位法と同程度の精度であるが、位置補正アンカーの配置位置や数を調整することにより、さらなる精度向上が期待できる。

2. 大規模イベント会場における来場者の動線推定

2.1 人の動線推定法

人の動線推定方式については、従来から GPS 測位法、環境測位法および歩行者自律測位法(PDR 法)など、様々な研究がなされてきた[5][7][9]。また、これらの方式を組み合わせる方式の研究もなされている[5]。

2.1.1 GPS 測位法

GPS 測位法は、GPS 衛星から受信した軌道情報を元に動線推定を行う方式である[5]。近年、GPS チップの低価格化が進み入手しやすくなったことから、その応用が進んでいる。また、多くのスマートフォンにも GPS 機能が標準搭載されており、その機能を活用した動線推定アプリも利用されている。しかしながら、GPS 測位法は、GPS 衛星からの情報が受信できる屋外での利用に限定される。また、屋外においても、建物などの障害物により測位位置がずれることが知られており、この誤差を補正するための研究もなされている[6]。

2.1.2 環境測位法

環境測位法は、Bluetooth や Wi-Fi などの電波強度や到達時間の情報を利用して動線推定を行う方式である[7]。この方式は、屋内外を問わず利用できるが、環境側に測位機器を設置しなければならず、大規模イベント会場への適用においては、その設置やメンテナンスにコストがかかるという課題がある。また、地磁気を利用した環境測位法の研究もなされている[8]。この方式は、環境側に測位機器を設置する必要はないが、あらかじめ地磁気データと物理的な位置を対応させるためのデータベースの準備が必要となる。

†1 早稲田大学
Waseda University

†2 明星大学
Meisei University

†3 KDDI 総合研究所
KDDI Research, Inc.

†4 株式会社アイエスイエム
ISEM Inc.

2.1.3 歩行者自律測位法(PDR 法)

歩行者自律測位法は、歩行者が持つデバイスの加速度センサやジャイロセンサなどからの情報を用いて動線推定を行う方式である[9]。この方式は、屋内外を問わず利用できると共に環境側への測位装置の設置が不要となるが、センサデータの誤差の影響を受けやすかったり、移動距離を求める際に誤差が累積したりするという課題がある。これらの課題に対しては、機械学習を用いて精度を高める研究がなされている[10]。

2.2 大規模イベントにおける人動線推定の要件

第1章で述べたように、大規模なイベント会場やテーマパークにおいて、来場者の動線推定はマーケティングや緊急時の避難指示、会場レイアウト変更などのために有用である。本稿では、大規模イベント会場における来場者の動線推定の要件を下記のように設定した。

- [要件1] 屋外会場と屋内会場の間でシームレスに利用できること。
- [要件2] 期間限定のイベントにも対応するため、動線推定のための設備の設置を最小限にすること。
- [要件3] 来場者が持つデバイスは、低コストで実装でき、低電力で動作すること。

GPS 測位法は、[要件2] を満足するが、屋外会場のみで利用となるため [要件1] が満足しない。また、高頻度で GPS 情報を受信すると、来場者が持つデバイスのバッテリー容量が問題となり [要件3] を満足させることができない。環境測位法は、屋内外を問わず利用できるため [要件1] を満足するが、環境側に測位機器を設置しなければならないため [要件2] を満足させることができない。歩行者自律測位法は、[要件1] と [要件2] を満足させることができるが、歩行者が高精度な加速度センサやジャイロセンサを搭載したデバイスを保持する必要がある [要件3] を満足しない。このように、従来方式は、大規模イベント会場における来場者の動線推定の要件をすべて同時に満足させることができない。

また、イベント会場において来場者の動線推定を行う際は、来場者の匿名性が担保されなければならない。これは、システムの運用のみで担保するのではなく、動線推定方式に匿名性を担保する仕組みが組み込まれている必要がある。なお、本稿では、マーケティングや緊急時の避難指示、会場レイアウト変更などに利用することを想定しているため、来場者の正確な動線は必要とせず、来場者の流れや密集度が把握できる程度の精度が得られればよいものとした。

3. すれ違い人動線推定方式

第2章で述べたように、従来からの人の動線推定方式は、それぞれに利用場所やコスト等の制約条件がある。本稿で

は、屋外と屋内が混在する大規模なイベント会場での利用を想定し、低コストで来場者の動線を把握するための「すれ違い人動線推定方式」を提案する。本方式は、大規模イベント会場では、来場者がすれ違うことが多いという点に着目した方式である。

3.1 基本的な考え方

図1(a)において、来場者 M1 が位置 P1(1)から P1(2)に移動したとすると、P1(2)は P1(1)を中心とし M1 の移動距離 $d1(1)$ を半径とする円 C1(1) の内部にあると推定できる。本稿では、この円を「最大移動円」と呼ぶ。来場者が直線的に移動した場合は、移動後の位置 P1(2)は、最大移動円の円周上になる。同様に、図1(b)において、来場者 M2 が P2(1)から P2(2)に移動し、P1(2)にいる来場者 M1 と遭遇したとすると、P1(2)と P2(2)は M1 の最大移動円 C1(1)と M2 の最大移動円 C2(1)が交わった領域内にあると推定できる。次に、図1(c)において、来場者 M1 が位置 P1(3)で来場者 M3 と遭遇すると、P1(2)を新たな中心とし P1(3)までの移動距離 $d1(2)$ を半径とする最大移動円 C1(2)と M3 の最大移動円 C3(1)が交わった領域内に P1(3)があることが推定できる。

以上により、来場者の最初の位置が既知であれば、来場者が遭遇する度に、それぞれの最大移動円の中心（直前に

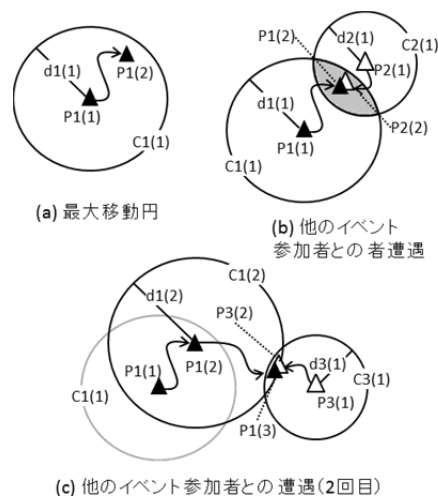


図1. 最大移動円と来場者の遭遇

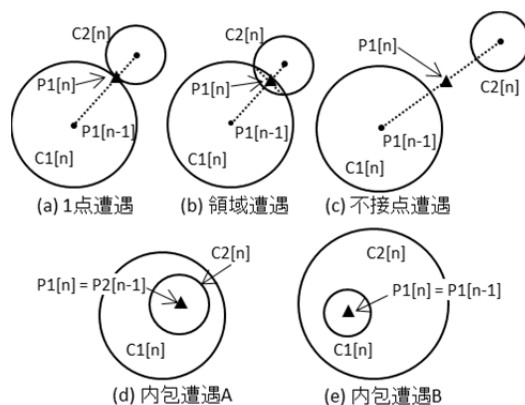


図2. 人遭遇時の最大移動円の関係

他の来場者と遭遇した位置)と半径(直前に他の来場者と遭遇した位置からの移動距離)を交換することにより、遭遇した位置を含む領域を求めることができる。つまり、図3において、来場者 M1 は P1(1), P1(2), P1(3)の順に移動したと推定できる。

3.2 人遭遇時の最大移動円の関係

来場者が遭遇した時の、それぞれの最大移動円の関係は、図2に示すように5つのパターンが考えられる。

- (1) 一点遭遇 (図2(a))
 最大移動円が円周上の1点で接する。この場合は、その接点を来場者の遭遇位置とする。
- (2) 領域遭遇 (図2(b))
 最大移動円が円周上の2点で接する。この場合は、最大移動円が重なりあった領域内で来場者が遭遇しているが、その正確な位置は分からない。そこで、本提案方式では、領域の中心(2つの接点を通る直線と2つの円の中心を通る直線の交点)を、来場者の遭遇位置とする。
- (3) 不接点遭遇 (図2(c))
 来場者は遭遇したが、それぞれの最大移動円が接しない。この場合は、直前の遭遇位置(それぞれの最大移動円の中心)に誤差があったものと考え、それぞれの最大移動円の中点を結ぶ線分の中点を、来場者の遭遇位置とする。
- (4) 内包遭遇 (図2(d)および図2(e))
 最大移動円が内包関係にある。内包遭遇は、遭遇相手の最大移動円を自分の最大遭遇円が内包する場合(内包遭遇A)と、遭遇相手の最大移動円が自分の最大遭遇円を内包する場合(内包遭遇B)がある。内包遭遇となった場合は、内包される最大移動円の半径が閾値より短い場合のみ、内包円の中心で遭遇したものとする。

なお、来場者が接近したままで並行移動した場合は、正しい動線推定ができないと考えられるため、遭遇した相手が前回遭遇した来場者と同一の場合は、遭遇しなかったものとみなす。

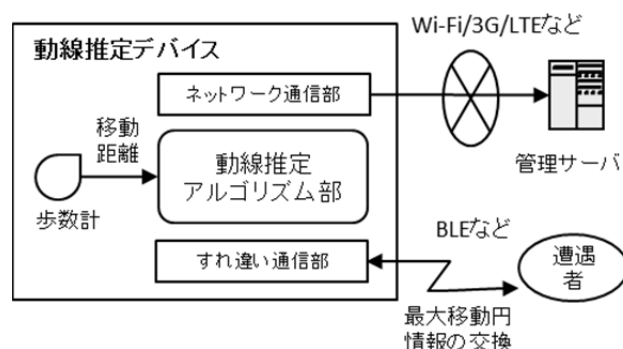


図3. システム構成

3.3 位置補正

提案方式は、来場者と遭遇した位置からの移動距離をもとに次の遭遇位置を推定する。そのため、来場者が移動するにつれて、その誤差が累積すると考えられる。そこで、本提案方式では、イベント会場に最大移動円が固定の「位置補正アンカー」を配置する。この位置補正アンカーは移動しないため、常に最大移動円の中心は正確な位置となり半径は固定となる。本提案方式では、来場者と遭遇する回数が少ないと最大移動円の範囲が広くなり誤差が大きくなるため、来場者の遭遇が少ない場所(たとえば、イベント会場の周辺部分など)に位置補正アンカーを配置する。なお、来場者の位置を補正するために、すべての来場者が位置補正アンカーと遭遇する必要はなく、位置補正アンカーによって位置を補正された来場者と遭遇することで、アンカーに遭遇しなかった来場者の位置も補正される。つまり、すれ違い通信によって位置補正情報が伝搬される。

3.4 システム構成

図3に、提案方式のシステム構成を示す。提案方式のシステムは、来場者が持つ「動線推定デバイス」と動線推定結果を収集するための「管理サーバ」から構成される。動線推定デバイスは、それを持つ来場者の移動距離を測定するための「歩数計」、遭遇した他の来場者と最大移動円の情報(中心位置と半径)を交換するための「すれ違い通信部」、推定した位置データを管理サーバに送信するための「ネットワーク通信部」および提案方式により最大移動円の情報から現在位置を推定する「動線推定アルゴリズム部」から構成される。

歩数計から移動距離を得るためには来場者の歩幅データが必要になるが、これはあらかじめ登録した来場者の身長から推定するものとする。提案方式では、すれ違い通信プロトコルとしてBLE(Bluetooth Low Energy)を採用するものとしているが、近接通信プロトコルであればその種類は問わない。管理サーバへのデータ送信は、イベント会場にあわせて、Wi-Fiや3G/LTEなどの無線ネットワークを利用するものとする。なお、提案方式は、加速度センサやBLEが利用可能なスマートフォンのアプリとして実装することも可能である。

4. 評価

提案方式の動線推定精度を評価するために、イベント会場の来場者移動を模擬し、その動線を推定するシミュレーションを行った。本シミュレーションでは、イベント会場は100m×100mの矩形領域とし、その領域内を来場者がランダムに移動するものとした。来場者は、10m単位のランダムに設定された目標位置に向かって1mを移動単位として移動する。来場者が目標位置に到達した時は、新たな目標位置を10m単位でランダムに設定する。ただし、市街地における人の移動とは異なり、イベント会場の来場者は目

標位置に直行せず徘徊しながら移動する機会が多いことを考慮して、今回のシミュレーションでは10%確率で目標位置とは異なる方向に移動し、10%確率でその場に停止するものとした。また、来場者の接近距離が3m以内となった場合に、その2者は遭遇したものとしお互いの最大移動円の情報を交換するものとした。なお、本シミュレーションはR言語を用いて実施した。

4.1 来場者数の影響

図4に、来場者数が100名、200名、500名および1,000名について、位置補正アンカーを配置しない場合のシミュレーション結果を示す。同図において、横軸は1m単位の来場者の移動ステップ、縦軸は提案方式の平均誤差(m)である。ここで、来場者の正確な位置と提案方式による推定位置とのユークリッド距離を誤差とした。図5は、それぞれ

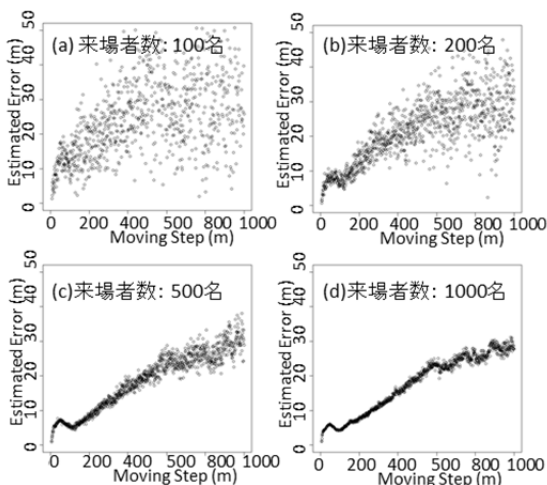


図4 動線推定の平均誤差の分布 (来場者数)

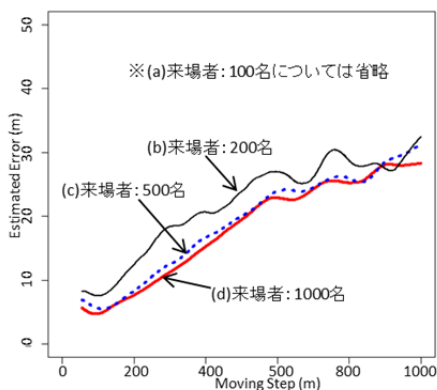


図5 動線推定の平均誤差の比較 (来場者数)

表1. シミュレーション結果 (来場者数)

来場者数	密度 (人/m ²)	平均遭遇間隔(m)	誤差の平均 (*1)	誤差の標準偏差(*1)
100	0.10	25.6	28.8	11.6
200	0.14	13.5	27.5	6.6
500	0.22	5.9	25.0	2.3
1,000	0.32	3.2	24.2	1.8

(*1) 移動ステップ 500~600m の値

の来場者数における平均誤差を平準化 (平準化幅 0.1) したグラフである。また、表1に、それぞれの来場者数について、平均密度(人/m²), 平均遭遇間隔(m), および500~600ステップの範囲における誤差の平均と標準偏差を示す。

図4, 図5および表1に示すように、来場者数が異なっても平均誤差には大きな差異がみられなかったが、来場者が少ないと平均誤差のばらつきが大きい。一方、来場者が増えるにつれて、平均誤差のばらつきは小さくなった。なお、来場者数が少ない場合は平均遭遇間隔は長くなるため、動線推定が行える回数が少なくなる。

4.2 位置補正アンカー配置の効果

図6に、来場者数を500名に固定して、イベント会場に位置補正アンカーを8個、20個および52個配置した場合のシミュレーション結果を示す。図8に位置補正アンカー

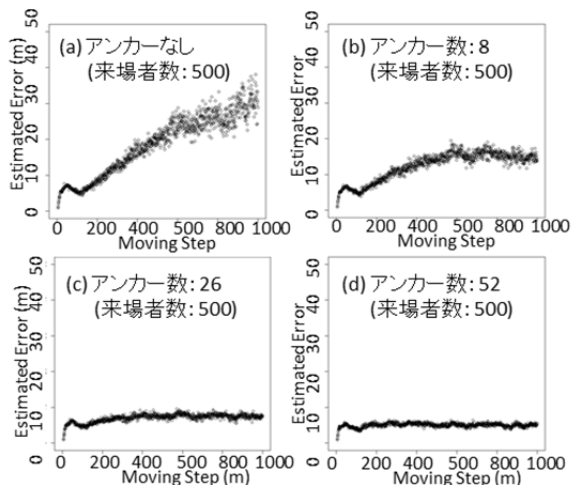


図6 動線推定の平均誤差の分布 (位置補正アンカー数)

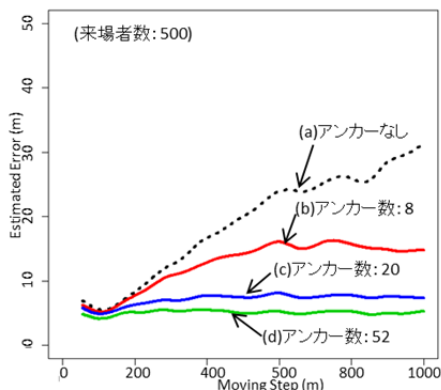


図7 動線推定の平均誤差の比較 (アンカー数)

表2. シミュレーション結果 (アンカー数)

アンカー数	誤差の平均 (*1)	誤差の標準偏差 (*1)
0	25.0	2.3
8	15.7	1.3
20	7.6	0.6
52	5.1	0.4

(*1) 移動ステップ 500~600m の値

の配置位置を示す。なお、位置補正アンカーは、来場者がランダム移動する際の目標位置の候補(10m 間隔の格子点)となる地点には配置しないようにした。図7は、それぞれの位置補正アンカー数における平均誤差をとして平準化(平準化幅 0.1)したグラフである(位置補正アンカーなしを含む)。また、表2に、それぞれの位置補正アンカーの配置数について、500~600 ステップの範囲における誤差の平均と標準偏差を示す。

図6、図7および表3に示すように、位置補正アンカーを配置することで、誤差の累積は回避できると同時に、平均誤差のばらつきが更に小さくなることが分かった。具体的には、アンカー数が20個の場合の平均誤差は7.6m、標準偏差は0.6となった。

4.3 矩形移動の動線推定

図9および図10に、来場者数を500名とし1名の来場者が矩形線上を2周移動した場合の動線の推定結果を示す。ここで、その来場者は位置補正アンカーに直接遭遇しないように移動するようにし、他の来場者はランダムに移動するものとした。同図(a)は位置補正アンカーを配置しない場合、同図(b)は位置補正アンカーを20個配置した場合の動線推定の結果ある。図9および図10に示すとおり、1週目(移動ステップ240m まで)は、平均誤差に大きな差異はなかったが、位置補正アンカーを設置しない場合の2週目で平均誤差が大きくなった。一方、位置補正アンカーを設置した場合は、動線推定の誤差は累積せず、平均誤差15m程度を維持しながら動線が推定できていることが分かる。

5. 考察

5.1 動線推定の精度に対する考察

第4章で示した人動線推定シミュレーションの結果により、提案方式はGPS 測位法と同程度の精度が得られるため、大規模イベント会場における来場者の流れや密集度の把握への活用が可能と考える。

提案方式の精度は、最大移動円が重なった領域の面積と相関関係があり、その面積が狭いほど精度が良くなる。これは、他の来場者との遭遇間隔が短い方がよいことを意味する。しかしながら、図5に示す通り、来場者数が500名と1,000名の場合とでは、動線推定の誤差には差異がみられなかった。これは、1,000名の場合の平均遭遇間隔が3.2mとなり来場者の遭遇距離3.0mに近くなったためと考えられる。つまり、提案方式の精度上限は来場者の遭遇距離に依存するため、遭遇距離を短くする方が精度がよくなることを意味する。なお、提案方式では、来場者が遭遇するタイミングで動線推定を行うため、次に遭遇するまでの間の位置は推定できない。このため、動線推定の誤差は同等であっても、平均遭遇間隔が短い方が精度がよいといえる。

一方で、来場者の数が増えた場合であっても、来場者が移動するにつれて動線推定の誤差が累積した。これは、来

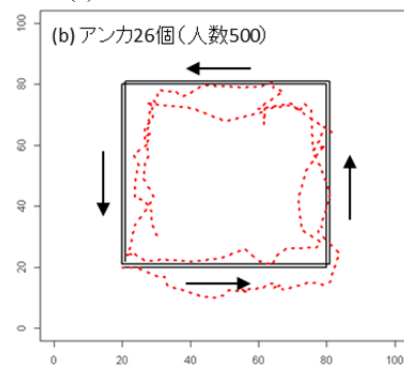
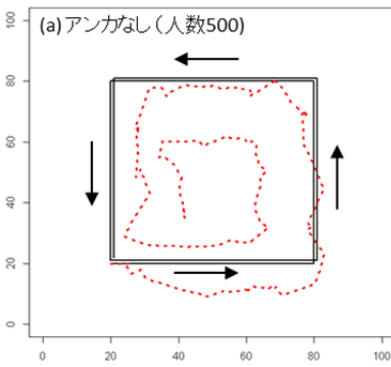
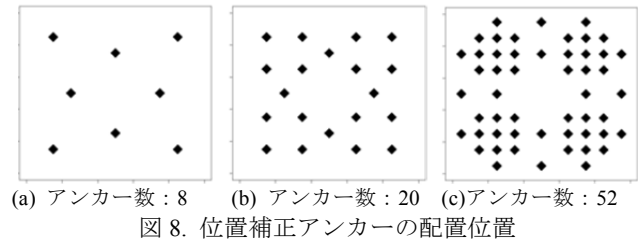


図9. 矩形移動時の動線推定

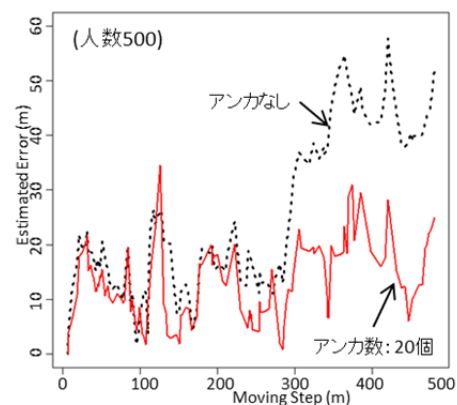


図10 矩形移動時の動線推定の誤差比較

場者が移動目的位置に直線的に移動しないため、来場者の遭遇パターンが、領域遭遇(図2(b))や内包遭遇(図2(d))になるケースが多くなったためと考えられる。動線推定の誤差累積については、図7に示すようにイベント会場に位置補正アンカーを配置することで補正することができる。また、提案方式はすれ違い通信によって位置補正情報を伝播させることができるため、すべての来場者が遭遇するよ

うに位置補正アンカーを配置する必要はない。提案方式は来場者の遭遇間隔が長くなると誤差が大きくなるため、来場者の遭遇が少ない場所に位置補正アンカーを配置することが望ましい。

5.2 提案方式の有用性に対する考察

提案方式は、3.4 で述べた動線推定デバイスを来場者に持たせるだけでよく、屋内外を問わず利用することができるため、2.2 で述べた大規模イベントにおける人動線推定の要件〔要件1〕を満足する。また、提案方式は、環境側に測位装置を配置する必要がないため、〔要件2〕を満足する。さらに、提案方式の動線推定デバイスは、基本的には歩数計とすれ違い通信のみを用いるため〔要件3〕を満足する。なお、リアルタイムに来場者の動線を推定する必要がない場合は、管理サーバとの通信は不要である。

本提案方式は、遭遇した他の来場者とは最大移動円の情報のみを交換し個人を特定する情報を交換しないため、それぞれの来場者の匿名性は担保される。

5.3 今後の課題

提案方式は、すれ違い通信により来場者間で最大移動円の情報を交換する。そのため、すれ違い時間内にすれ違い通信による情報交換を完了させる必要がある。一方、提案方式はすれ違い通信距離が短いと動線推定の誤差は小さくなるが、その分だけすれ違い時間が短くなる。したがって、提案方式に基づく動線推定デバイスを実装する際は、この条件を満たすように、すれ違い通信方式のチューニングが必要となる。

動線推定の精度については、時間的要素（たとえば、他の来場者と遭遇する時間間隔など）を取り入れることで、さらに精度を向上させることが可能になるものと考えられる。また、他の動線推定法と組み合わせることにより、動線推定の精度を向上させることも可能である。たとえば、歩行者自律測位法と組み合わせることにより来場者の移動方向が分かれば、「最大移動円」は「最大移動扇型」となり、動線推定の精度を向上させることができるものと考えられる。

6. 関連研究

人の動線推定へのすれ違い通信の適用については、これまでも幾つかの研究がなされている。藤井ら[2][11]は、無線による人の動線推定や位置基準ノードを使った人の動線推定において、すれ違い通信による情報交換により推定精度を向上させる方式を提案している。これに対して、本稿による提案方式は、すれ違い通信のみによる動線推定方式の確立を目的としている。山口ら[12]は、地下街における人の動線推定において、店舗や通行人の位置を交換する方式を提案している。この方式は複数の店舗や通行人から位置情報のみを取得して推定位置としているのに対して、本稿の提案方式は、人の移動距離と1対1のすれ違い通信を利用して動線を推定する。野坂ら[13]は、すれ違い通

信を用いた登山者位置推定方式を提案している。この方式は、2点間を相互に移動する登山者がすれ違った場所によって、遭難時の搜索範囲を限定することを目的としており、登山者の動線を推定することを目的としていない。

7. まとめ

大規模イベント会場における来場者の動線推定のための「すれ違い動線推定方式」を提案した。また、提案方式に基づく人動線推定シミュレーションを実施し、提案方式がGPS測位法と同程度の精度が得られることを示した。今後は、提案方式に基づく動線推定デバイスのプロトタイプを用いて実際のイベント会場への適用性を評価するとともに、その精度向上のための研究を進める予定である。

参考文献

- [1] 本間謙也, 間所洋和, 佐藤和人: 「動線解析によるイベント会場での行動パターン分類」, 電子情報通信学会論文誌, 情報・システム J95-D(10), pp.1848-1858 (2012)
- [2] 藤井彩恵, 内山彰, 梅津高朗, 山口弘純, 東野輝夫: 「無線端末の遭遇履歴情報を用いた移動軌跡推定手法の提案」, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 10, pp. 3601-3611 (2008)
- [3] 北上眞二, 荻野正, 宮西洋太郎, 浦野義頼, 白鳥則郎: 「大規模イベント会場における人の動線分析に関する一考察」, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 78 No. 2 pp.2.11-3.12 (2016)
- [4] 山口貴広, 高見一正: 「端末間の協調連携による地下街での位置推定法」, 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク, Vol. 112, No.464, pp. 335-340 (2013)
- [5] 興梠正克, 蔵田武志: 「組み込み型GPS・自蔵式センサシステムによる屋内外歩行者ナビ」, 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2006-33, pp.75-80 (2006)
- [6] 荻野正, 北上眞二, 宮西洋太郎, 浦野義頼, 白鳥則郎: 「すれ違い通信を用いたGPSの精度向上手法に関する一考察」, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 78 No. 2 pp.2.13-3.14 (2016)
- [7] R. Nagpal, H. Shrobe, and J. Bachrach, "Organizing a global coordinate system from local information on an ad hoc sensor network", Proceedings of the 2nd international conference on Information processing in sensor networks, pp. 333-348 (2003)
- [8] 波多野健太, 久保田幸一: 「地磁気による屋内測位システム」, 情報処理学会第77回全国大会 2W-01 (2015)
- [9] 大竹久美子, 蒔苗耕司: 「自律型測位を用いた歩行者経路案内システムの構築」, 地理情報システム学会講演論文集, vol. 13, pp. 419-422 (2004)
- [10] 梶航士, 岡田将吾, 新田克己: 「歩行者自律測位のための機械学習を用いた動線推定」, 人工知能学会全国大会論文集, Vol.27, pp.1-4 (2013)
- [11] 藤井彩恵, 内山彰, 前田久美子, 梅津高朗, 山口弘純, 東野輝夫: 「少数の基準位置情報を移動無線端末間で補完する位置推定手法の提案と評価」, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp.3977-3986 (2007)
- [12] 山口貴広, 高見一正: 「端末間の協調連携による地下街での位置推定法」, 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク, Vol. 112, No.464, pp. 335-340 (2013)
- [13] 野坂俊介, 岸野寛史, 奥田唯, 北村泰彦: 「すれ違い通信を用いた登山者位置推定方式」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システム, Vol. 1, No.97 (2013)