

ビデオ画像とセンサ情報の統合に基づいた 位置検出手法

河合 純^{†1} 田島 潤一^{†1} 金田 重郎^{†1}
新谷 公朗^{†3} 江守 貞治^{†2} 芳賀 博英^{†1}

ビデオカメラ映像と加速度センサデータの統合により、被写体の3次元位置データを求める手法を提案する。ビデオカメラの映像から画像処理による位置抽出は、カメラの死角に対象が移動すると位置データが得られず、再び検出可能となっても同一性が不明となる。また、加速度センサデータからの座標計算では、センサの誤差が重畳し、積分を行うと更に誤差が強調される。提案手法では、これらの問題を解決し、カメラの視野を中心とした空間における位置検出を可能にする。複数センサのデータ統合には、積分や微分を行わず、センサにより得られた加速度と、カメラ画像のフレーム間差分から得られた速度を照合し、被写体のIDを照合する手法を用いる。

The Positioning Method based on the Integration of Video Camera Image and Sensor Data

JUN KAWAI,^{†1} JUNICHI TAJIMA,^{†1}
SHIGEO KANEDA,^{†1} KIMIO SHINTANI,^{†3}
TEIJI EMORI^{†2} and HIROHIDE HAGA^{†1}

We propose the three-dimensional location identification method based on the integration of the acceleration sensor and video camera data. Using video camera image alone often causes the lost problem from object hiding. On the other hand, usage of the acceleration sensor data only have the problem of error accumulation. Our proposed method resolves these problems and provides the location in three-dimensional space. This method does not use numerical computation such as difference and integral calculation but use matching with acceleration data and velocity data calculated from frames difference.

1. はじめに

日常生活の中で情報システムを利用する場合に、ユーザの位置情報は重要な情報源のひとつである。人の位置を特定し、記録をすることで、個人や集団の活動状況の分析が可能となる。業務改善、健康管理等を目的とした様々なサービスが提供可能となる。

既に社会実験及び実用化が行われている例として、日立ハイテク社における「ビジネス顕微鏡」²⁾がある。これは人の接近により人間関係を把握しつつ、センサ情報により企業活動の活発さを評価するツールである。他の位置情報を活用した情報システムの例として、各種ナビゲーションシステムが挙げられる。屋外における位置情報の取得法として最も一般的なものは Global Positioning System (以下 GPS と略す) であるが、ビルの陰や屋内では一般的には利用できない^{*1}。また、その他の方法として、加速度センサを用いた手法も各種提案されている¹⁾。加速度センサを単体で用いる場合には、誤差の蓄積が問題となり、計測開始から時間が経過するごとに誤差が増加していく。

本研究で提案する手法では、ユーザが身につけた加速度センサにより取得したデータと、定点カメラで得た画像データとを照合することにより、安価で設置の手間をかけることなく、必要な領域と対象を絞った個人位置の特定と個人識別を可能とする方法を提案する。本手法では、カメラ画像の処理によって得られた移動体の位置情報と、加速度センサから得られた加速度データを照合する。さらに、画像処理で得られた位置情報に、どのIDのセンサデータと照合されたかを知ることによって、画像処理での高精度の位置検出結果にIDの割り当てを行う。

カメラ画像処理で得られる位置情報はカメラ座標系における位置である。一方、加速度センサから得られるデータは加速度であり、座標系はセンサの姿勢に依存した値となる。それぞれの座標を変換し、データの照合を行うが、この際に加速度と位置の次元の違いが問題となる。提案手法では、人間が行動する際の加速度変化と速度の関係性に着目し、それを用いることによって微分や積分による誤差の発生を回避する。

†1 同志社大学大学院工学研究科・情報工学専攻

The Graduate School of Engineering, Doshisha University

†2 IT コンサルタント

IT Consultant

†3 常磐会短期大学・幼児教育科

Tokiwaki College, Early Childhood Education

*1 限定的には屋内で GPS 相当の位置検出を利用するシステムが提案、実装されている。

2. 先行研究

2.1 加速度センサと画像データの照合による個人識別手法の概要

著者らは、幼児教育分野における幼児の自動行動記録システムの構築を目指し、カメラ画像と幼児の腰につけたセンサデータを用いた位置検出システムを試作していた⁸⁾。目指したシステムでは能動的な電波の照射を避ける意味合いで、電波を照射しないカメラと加速度センサの組み合わせを採用していた。

ここで問題となったのが、データ照合する際の誤差の蓄積である。加速度センサ単体による位置推定の研究¹⁾では加速度データの補正を行いながら位置を推定している。加速度センサは測定開始と同時に軸のずれによる重力加速度の混入、センサが本質的に持つオフセットのドリフトなどの問題がある。このため、GPS など他の位置情報を与えるシステムからの情報をもとに補正をしながら加速度センサの情報を用いるのが一般的である^{*1}。

著者らの試作システムでは、加速度を二回積分をすることによって位置を検出し、それをカメラ画像の移動体識別結果と照合する手法を用いていた。しかし、得られた結果は実際の行動内容と比較した場合に満足な結果を得ることができなかった。

この原因は前章で述べたセンサが持つ構造的な誤差、及び計算を行う場合の数値計算上のエラー、及びデータの量子化誤差が含まれる。これらのうち、計算を行う際の誤差は、計算方法を工夫することにより克服可能であると考えられるので、次節で検討を行う。

2.2 データ照合の問題点

カメラ画像で得られるデータは二次元（ステレオカメラを用いた場合は三次元）の位置情報である。一方、加速度センサから得られるのは三次元の加速度であり、両者の間には図1に示すギャップが存在する。

加速度データを二回積分して位置を得ようとする場合、前節で述べた誤差の蓄積を避けられない。加速度センサ単体で誤差を修正しながら位置を測定する方法¹⁾を用いた場合でも、長時間の測定を行う場合は誤差の影響が無視できない。環境設置型センサの情報を元に位置情報を補正しながら積分を用いる手法も考えられるが、GPS のように間欠的に高精度の位置情報が得られる環境下でのみ有効な手法である。

画像データから得られた位置情報を微分し、速度や加速度を用いて照合する場合、検出対象の初期位置や初期速度といった情報が失われる。このため、通路を数人が歩いている、と

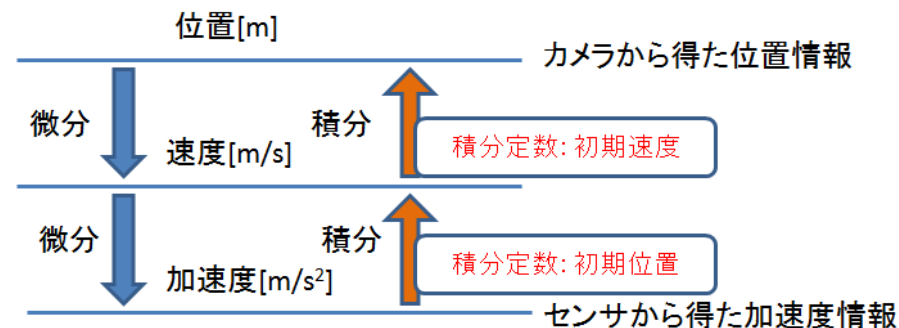


図1 カメラ画像とセンサ情報の次元差

Fig.1 Dimensional Difference between Camera Image and Sensor Data

いった同じような移動状況では検出不可能となる。

他の選択肢として、画像データの微分結果と加速度データの積分結果を照合する方法がある。この方法は積分、微分双方のデメリットを減らし、メリットを取る折衷案であるが、依然として誤差の蓄積や初期位置の問題は残る。

著者らは以上の方法のうち、どの手法が有効であるかを評価実験を通して検証してきた⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。しかし、プロトタイプによる評価実験の結果、精度は実用性を考えると十分とは言えなかった。特に、移動体が一時、カメラ視野から消えるロストがある場合の性能が十分ではなかった。

以上より、複数センサのデータを統合する場合は、微分や積分の回数を減らし、誤差の影響を少なくする手法が望ましい。

2.3 環境設置型センサの比較

センサ情報統合による個人識別と位置検出を同時に行う手法として、床センサと加速度センサを用いる方法³⁾や、Laser Renge Finder (以下 LRF と略す) と加速度センサを用いる手法⁴⁾が提案され、実証実験が行われている。ここで、これら二つの手法とカメラを用いた提案手法を比較する。

カメラ、床センサ、LRF、RFID 等電波源の三角測量の4種類の環境設置型センサを表1で比較する。いずれも加速度センサを持つ人のデータを、環境設置型センサが検出した一つ以上の位置データと照合し、個人識別と精度の高い位置検出を実現している。ここでは、加速度データの処理や個人識別の手法によらず、環境設置型センサが位置を特定する点に注

*1 自転車や人の走行データをトラッキングするシステムなどが実用化されている。

表 1 位置検出手法の比較
 Table 1 Comparing Positioning Methods

	カメラ	床センサ ³⁾	LRF ⁴⁾	RFID ⁵⁾
設置	容易	困難	比較的容易	調整が困難
空間分解能	ステレオカメラを用いれば高い	床センサのサイズに依存, 低い	複数センサの協調動作が必要, 低い	低い
価格	比較的安価	一般的に高価	高精度のものは高価	安価
環境変化への対応	外光の影響を受けやすい	特に考慮は不要	反射物に影響を受ける	障害物の影響を受ける
プライバシー	画像データの破棄	差分のみを評価	不要	不要

目し, 以下で特徴を詳述する.

床センサを用いる手法では, 座標系が床面に沿っており, センサの座標系との照合が容易であるが, 解像度を高くすることが難しい. ただし, 要求される解像度は位置情報を利用するアプリケーションによって異なるため, 利用場面によっては問題とならない. 床センサを利用するためには, 床面にセンサを設置する手間が最大の障壁となる.

LRF を用いる手法では, 複数の LRF を同時に用いる必要があり, レーザ照射タイミングや照射パターンの制御が必要となり, 設置コストは高くなる. また, レーザを独立して検出可能な空間分解能や時間分解能に限界がある. 他方, 環境に設置されていることに対するユーザの心理的負担やプライバシー上の問題は発生しづらい利点がある.

カメラを利用する際にはプライバシー面での問題が発生するが, 位置検出の際には画像データを加工し, 顔などの個人を特定できる情報を直接扱わないように注意する必要がある. 利用者にとって心理的な負担となる側面もあるが, 環境設置型のカメラは公共の場では一般的であり, 既設の機器を利用できる利点もある.

IRFD や無線 LAN の基地局との相対位置を三角測量により求める方法は, 周囲の環境による反射や散乱の影響が大きく, 十分な数の基地局が設置されていても正確な位置を得ることは難しい. 一方で, 基地局が認識する範囲を狭くすることによれば, ある地点の近傍にいることを認識することは可能である. このようなシステムは, 大規模小売店での顧客導線観察などに利用されていることが報道されている.

位置検出と個人識別に限ると, 表 1 の 4 つの手法はそれぞれの長所と短所がある. 設置の容易性はそのまま検出可能範囲の拡張性を表しており, カメラと LRF はその点で優れている. ただし, 前述のとおり LRF は設置の際に既設センサとの調整が必要であるが, カメラは受動的なセンサであるためそれぞれが独立して動作可能である. 中でもカメラは, 自発

的に電磁波を照射することがないパッシブなセンサである. この点は先行システムで対象としていた幼児教育分野に対して大きなアドバンテージがある. これらの事情により, 提案手法ではステレオカメラを用いた位置検出を採用する.

2.4 原理的に次元変換を回避可能な手法

位置検出及び個人識別に, 数値計算による次元変換を伴わずに手法について検討する. カメラを用いた位置検出に加え, 顔認識による個人識別を組み合わせた方法がある. この場合, ユーザは少なくとも一回はカメラに対し十分近い距離で正面を向く必要があるなど, 行動に大きな制約が加わる. また, 画像データを直接的に用いるためプライバシー等の問題も大

また, 加速度センサを用いた手法として, 歩数をカウントして位置を推定する方法がある. この場合, 歩数をカウントする精度が高ければ, 一定の成果が出ることを確認している⁹⁾. しかし, 一歩の歩幅が一定であるという前提に基づいており, 歩行以外の動作が加わった場合は誤差が大きくなる.

これらの手法は, 成人に対する特定のアプリケーションに対しては有効であると想像できるが, 今回のプロトタイプシステムにおいてはこれらの手法は用いない.

3. 提案手法

3.1 人間の活動における加速度と移動速度の関係

図 2 は, 著者らが測定した, 人の移動速度と垂直方向の身体加速度との関係である. この図は, 被験者 5 人に対し, 加速度センサを腰に装着して前歩き, 後ろ歩き, 横歩き, 椅子に座るといった動作をしてもらい, その様子をカメラで撮影して作成したものである. カメラのコマ数は 20[fps], 撮影時間は 2 分間である. 標本数は $5 \times 20[\text{fps}] \times 120[\text{sec}] = 12,000[\text{frames}]$ となる.

図 2 では, 横軸が水平方向の移動速度の絶対値, 縦軸が垂直方向の身体加速度の絶対値である. 相関係数は 0.91 と高い. 歩き方や被験者による大きな分布の違いは見られず, 椅子に座る動作に関しても同様の分布が見られた. この性質を利用し, 速度データから線形変換で加速度を計算できる.

3.2 画像データ処理

本章では画像データから速度を求める手法を述べる.

画像データから位置を検出するため, フレーム間差分を用いた物体追跡を用いる. 図 3 に示したように, 移動物体はフレーム間にある速度で移動を行う. その移動を一つの空間座標

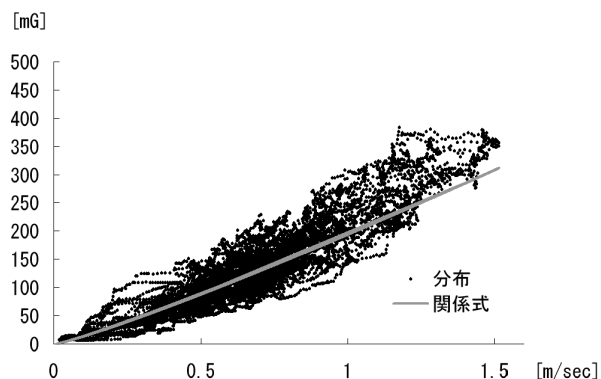


図 2 加速度と移動速度の関係

Fig.2 Relationship between Acceleration and Moving Speed

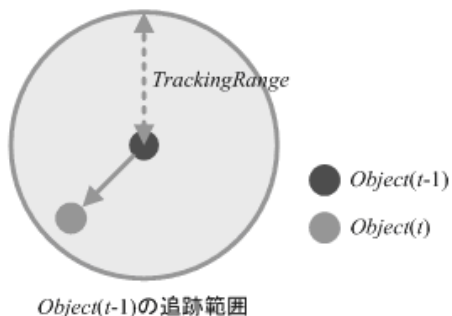


図 3 移動の追跡
Fig.3 Object

に注目し、時間軸に沿ってプロットしたものが図 4 である。図中のオブジェクトは個人識別が行われておらず、一つのパスに対して二つ以上の物体がまとめて検出されている可能性もある。また、パスが途切れている箇所は、物体がカメラの視野外に出たことや、フレーム間差分での検出に失敗したことが考えられる。このような問題は、加速度センサとのデータ照合を行って解決することができる。

図 4 に示したパスの移動速度を計算し、さらに図 2 の関係を用いて移動物体の加速度を求める。これを加速度センサで測定した加速度と照合を行う。データ照合方法は様々な手法

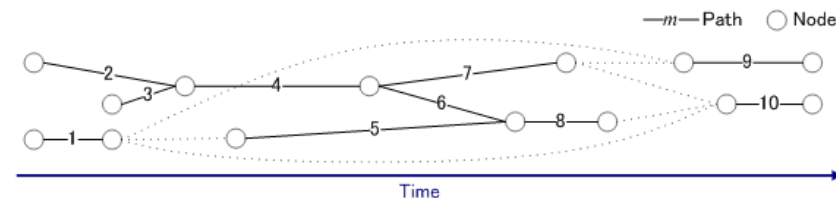


図 4 生成されたパス候補
Fig.4 Generated Path

の適用が考えられるが、後述するプロトタイプシステムでは、動的計画法に線形補完を取り入れたアルゴリズムを用いている。

3.3 照合アルゴリズム

以下にプロトタイプシステムにおけるデータ照合アルゴリズムについて詳述する。

画像処理により得られた図 4 の動線の速度から、回帰方程式 (図 2) を用いて算出した垂直方向の身体加速度の予測値を $P_{eval}(t)$ 、加速度センサから得られた垂直方向のセンサ加速度観測値 (加速度) を $S_{eval}(t)$ とし、これらを用いてパスネットワークにおける各センサの最適ルートを決する。 P_{eval} と S_{eval} は、各パスに離散的に観測されている。

まず、それぞれのパス $Path_i$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n-1$) の (時間軸上での) 長さを L_i とする。ただし、 n はパスの個数である。長さ L_i の $Path_i$ におけるすべての $P_{eval}(t)$ と $S_{eval}(t)$ との絶対値誤差 (誤差の絶対値) の平均を求めて、これを、 Mae_i (Mean Absolute Error) とした。 Mae_i は平均であるから、パスが長いからと言ってそれに比例して大きくなるわけではない。

一方、パスに対する実際の人の名前を目視で同定した情報を用いて、絶対値誤差の平均 Ave と標準偏差 SD を事前に求めておく。この値は、測定環境が変わらなければ、何度観測しても、ほぼ同一であろうとの前提に基づいている。パスの長さが長いほど、 Mae_i の値は Ave に近いはずである。従って、中心極限定理を参考として、以下の検定式を用いて、以下の α_i よりも Mae_i が小さなパスのみを有効とした。一種の枝刈りであり、照合対象となる移動体 (人) ごとにセンサ情報は異なるので、枝刈りされるパスも異なることになる。

$$\alpha_i = Ave + \frac{SD}{\sqrt{L_i}} \quad (1)$$

次に、この検定によって絞られたパス候補の中からできるだけ長く、かつ一致度が高くなるようなつなぎ合わせをセンサに対応したルートであるとみなし、解として導出する。そこ

で、次の関数 e_i を求めた。

$$e_i = 1 - \frac{Mae_i}{Normalization} \quad (2)$$

ただし、ここで、 $Normalization$ は、今回観測された Mae_i の最大値を利用する。従って、これによって各パス $Path_i$ に対する関数 e_i は、0 から 1 に正規化される。一致度が高いほど 1 に近づく。

以上の準備のもと、パス $path_i$ に対する評価関数 $eval_i$ を以下の式によって求める。

$$eval_i = e_i \times L_i \quad (3)$$

即ち、長さ L_i に応じた評価値とする。あとは、パスを選択して、上記の評価関数 $eval_i$ の合計値が最大化されるルートを選べばよい。

以上の照合法で問題となる点が 2 点ある。オブジェクトを取り出す順序とロストの問題（対象オブジェクトがカメラ視野から消えている場合）である。

前者は、図 4 のパスネットワークから、オブジェクトを個人特定するとパスが消えてゆく。結果的に、特定個人を取り出す順番によって、得られる解が異なったり、順番によっては、後半では、パスが無くなるというような問題が生じる。この問題を回避するため、今回の評価実験では、例えば、A,B,C の 3 名が対象となっている場合には、3 名を取り出すすべての順列の順番で照合を行い、総合的な一致度が最も高いものを最終的に解としている*1。

もうひとつは、ロストの問題である。ロストについては、図 4 にも破線で示したように、ルートが切れてしまったり、逆に、急に出現した場合には、ロストの終了が考えられる。そこで、ルートが突然切れてしまったところから、時間的にその後突如パスが現れてルートが再開するところには、仮想的なパスを想定した。ただし、このパスは、標準的な絶対誤差を持っていると仮定して、ロストがあるルートが過度に有利にならないように配慮している。

4. 実証実験

4.1 評価実験の狙い

提案手法の有効性を確認するため、プロトタイプシステムを実装し、評価実験を行った。この実験で評価すべきは、図 2 で示された速度と加速度の関係性を座標変換の代替手段として用いることの妥当性である。得られた加速度とセンサの測定値と比較し、被験者の行動

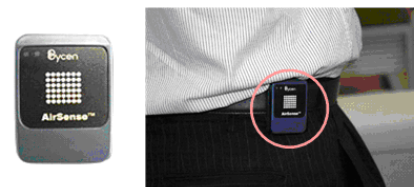


図 5 腰に装着したセンサ⁷⁾
Fig.5 Acceleration Sensor



図 6 利用した 3D ステレオカメラ⁶⁾
Fig.6 3D Stereo Camera

トラッキングが、どの程度正確に行われたかを評価指標とする。

4.2 実験条件

実証実験を行うにあたり、実験条件を以下に示す。

利用するセンサは以下のとおりである。

- 加速度センサ 図 5 に示す日立製作所製の Air Sense⁷⁾。
- 3D ステレオカメラ 図 6 に示す PointGray 社の Bumblebee⁶⁾。

加速度センサは、直行する 3 軸の加速度及び各速度を得ることができる。照合処理に使用する前に、加速度についてはセンサの傾きを補正する前処理を行う。センサは被験者の誰がどのセンサを所有していたかは既知であり、それを元に個人識別を行うものとする。実験環境には、加速度センサを所有していない、トラッキング非対象の人物にも参加してもらった。

3D ステレオカメラからは、フレーム毎における頭頂部の 3 次元位置座標が得られる。ただし、実際には一人の人が複数のオブジェクトとして認識されることがある。逆に複数の人が接近していると、単一オブジェクトに融合されることもある。得られた頭頂部の座標をもとに、図 4 で示したパス情報を生成し、図 2 の関係をもとに移動体の加速度を得る。

提案手法の有効性を確認するため、図 7 に示す実験環境を構築した。センシング領域は、 $3m \times 5.6m$ であり、椅子を 2 脚設置した。また、3D ステレオカメラ Bumblebee2 は 2 台とし、地上から約 2.2m の位置に設置した。被験者はセンシング領域を意識せず、自由に移動や静止、椅子に座る等の動作を行った。

4.3 実験結果

図 8、図 9、図 10 は、3 名の被験者の追跡結果である。

最終的な評価結果を表 2 に示す。この表では、プロトタイプシステムの判別秒集を分子、録画された画像を人間が目視で確認した結果の秒数を分母として示している。分子が分母を

*1 対象人数が大きいたときには、順列の数は、組み合わせ爆発を起こして、現実的ではない。何らかのヒューリスティックを導入せざるを得ない。今後の課題である。

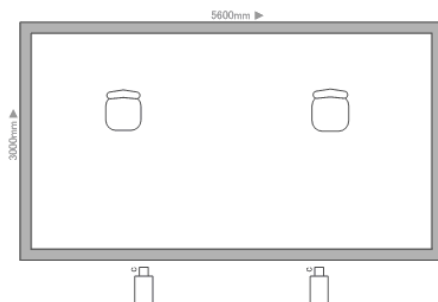


図 7 評価実験の環境
Fig. 7 Experiment Environment

表 2 評価結果
Table 2 Evaluation Results

	被験者 A	被験者 B	被験者 C
センシング領域内 [sec/sec]	283/297	239/239	111/117
センシング領域外 [sec/sec]	0/0	58/58	178/180
総時間 [sec/sec]	283/297	297/297	289/297
総時間の対応率 [%]	95	100	97

上回ることがなかったのは、プロトタイプシステム側が判別不能とした時間帯が存在したためである。

5. 実験結果の考察

5.1 提案手法の実験による裏づけ

本章冒頭で述べた評価実験の狙いからすると、表 2 を見ると 95%を超える確率で位置検出と個人識別に成功している。また、個々のトラッキング結果である図 8、図 9、図 10 を見ると、被験者 A が椅子に座っている様子、被験者 B 及び被験者 C が一度観測領域の外に出ている様子を見て取ることができる。そして実際に画像を目視で確認した結果と大きな違いは見られない。

このことより、少なくとも画像を人間の目で確認するのと同程度には、提案手法を実装したプロトタイプシステムは個人の行動追跡と個人識別に成功しているといえる。これをもって、提案手法の核であるところの、人間の移動速度と垂直加速度の相関関係を座標変換

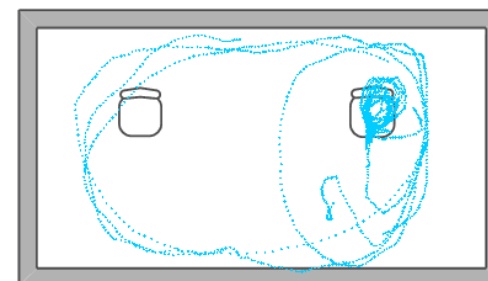


図 8 被験者 A の追跡結果
Fig. 8 Path A

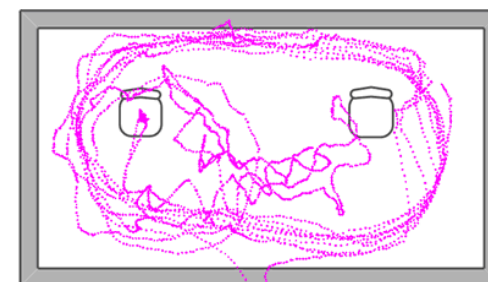


図 9 被験者 B の追跡結果
Fig. 9 Path B

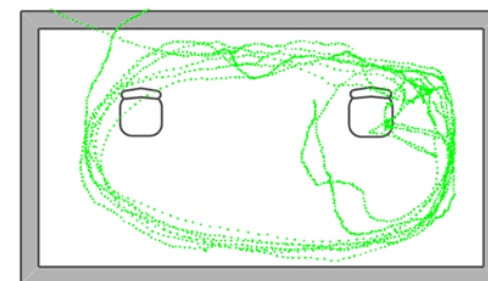


図 10 被験者 C の追跡結果
Fig. 10 Path C

に用いる手法の位置検出への応用が可能であることが示された。

5.2 提案手法の制限と今後の展望

提案手法はもともとは、幼児の行動追跡を目指して研究が進められたものであり、そのために設けられた制約事項がいくつか存在する。例として能動的な電磁波放射の可能な限りの制限や、横歩きや後ろ歩き等、通常の歩行動作とは異なる動作の割合が大人よりも多いという制約がある。これらの制約を前提とすることで、制約を回避するための技術的追及によって、人間の行動速度に対する垂直加速度成分の関連という知見が得られ、実際にそれを用いた位置検出及び個人識別手法を試作、高い精度を得ることができた。

対象を幼児以外に拡大することを考える場合、幼稚園・保育所といった集団行動が前提となっているフィールドにおける制約とは異なる条件が生じる。例として、横断歩道を集団が歩いているシーンなどが考えられるが、この場合はカメラからの大量のデータから目的のパスを発見する処理に工夫が必要であると考えられる。このように、対象フィールドを広げて行くことによって生じる新たな課題を、位置検出と個人識別を必要とするアプリケーションの求める精度や頻度で提供できる手法を追及していきたい。

6. おわりに

本論分では、環境設置型センサであるカメラと、携帯型センサである加速度センサのそれぞれが出力する情報を照合し、位置検出と個人識別を行う手法を提案した。この手法では、人の移動速度と垂直方向に検出される加速度の変化の間に相関関係があることを発見し、それを用いた線形変換によって微分・積分による誤差の問題を解決した。さらに、その手法を含むプロトタイプシステムを構築、実行を行い、上述の相関関係を実際の位置検出手法に取り込むことで所定の精度を達成できることを確認した。今後は対象フィールドに対し更なる手法の検討を進めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 佐川 貢一, 煤孫 光俊, 猪岡 光: 加速度積分による 3 次元歩行移動量の無拘束計測, 計測自動制御学会東北支部第 202 回研究集会, 資料番号 202-10, 2002 年 7 月
- 2) 森脇 紀彦, 佐藤 信夫, 脇坂 義博, 辻 聡美, 大久保 教夫, 矢野 和男: 組織活動可視化システム「ビジネス顕微鏡」(対面コミュニケーション-顔を中心のメディアとした), 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎 107(241), 31-36, 2007-09-23
- 3) 池田 徹志, 石黒 浩, 西村 拓一: 床センサと加速度センサの統計的統合による複数人間

- 同定追跡, 計測自動制御学会論文集, Vol.45, No.1, pp.60-68, 2009 年
- 4) 池田 徹志, 石黒 浩, DylanF. Glas, 塩見 昌裕, 宮下 敬宏, 萩田 紀博: 環境設置型センサとウェアラブルセンサを統合した個人同定, 信学技法 IEICE Technical Report, MVE2009-114(2010-01)
 - 5) 橋詰 和範, 金田 重郎, 芳賀 博英: アクティブ RFID を用いた方向検出手法の研究, 第 5 回情報科学技術フォーラム, Vol.M-015, pp.221-222, 2006 年 9 月
 - 6) Viewpoint 社 Web サイト, Bumblebee2, <http://www.viewplus.co.jp/product/camera/bumblebee.html>
 - 7) 日立 AirSense, 3 軸加速度ロガーノード & メタボレンジャー, 日立製作所, ワイヤレスインフォ・ベンチャーカンパニー, http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/as_acc_metabo.html
 - 8) 新谷 公朗, 金田 重郎, 江守 貞治: 幼児行動記録作成システムへの取り組み-TV カメラとパッシブセンサーによる幼児の行動追跡-, 情報処理学会・情報システムと社会環境研究会, Vol.2003-IS-83, pp.71-80, 2003 年 3 月
 - 9) 永田 章二, 清水 宏章, 河合 純, 芳賀 博英, 金田 重郎: モーションセンサと画像を用いた個人識別型の位置検出手法, 情報処理学会第 66 回全国大会, 4H-5, 2004 年 3 月
 - 10) 河合 純, 永田 章二, 清水 宏章, 新谷 公朗, 金田 重郎: モーションセンサとビデオカメラを用いた個人識別型位置検出手法, 情報処理学会・ユビキタスコンピューティングシステム研究会, Vol.2004-UBI-5, pp.1-8, 2004 年 6 月
 - 11) 富澤 優, 河合 純, 新谷 公朗, 芳賀 博英, 金田 重郎: モーションセンサとビデオカメラを用いた室内用位置検出手法, 電子情報通信学会・知能ソフトウェア工学研究会, SIG-KBSE Vol.105(208), pp.7-12, 2005 年 6 月
 - 12) 田島 潤一, 金岩 伸悟, 富澤 優, 新谷 公朗, 芳賀 博英, 金田 重郎: モーションセンサと画像を用いた個人識別型位置検出手法, 情報処理学会・情報システムと社会環境研究会, Vol.2007-IS-85, pp.29-36, 2007 年 8 月
 - 13) 川島 秀人, 新野 毅, 田島 潤一, 新谷 公朗, 芳賀 博英, 金田 重郎: 複数センサ情報の統合によるロバストな人物動線検出手法の提案, 情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会, Vol.2009-UBI-22 No.3, pp.1-8, 2009 年 6 月