

異種センサ統合によるセンサデータの欠落に頑健な人物動線検出方式

森口 有紀江 小西 勇介 中尾 敏康

日本電気株式会社 サービスプラットフォーム研究所

1. はじめに

近年、セキュリティやマーケティングなどの分野で「ID 認証された個人ごとの」「途切れない」人物動線を検出する技術が必要とされている。

このような人物動線を検出する技術として、異種センサから取得した人物の移動軌跡と ID を統合する手法が提案されている^[1]。異種センサを統合してセンサ種ごとの欠点を補い利点を生かすことにより、単一種のセンサのみを用いる手法に比べて動線検出の性能を改善できると期待されている。

しかし一方では、異種センサを統合利用する手法には、センサデータの欠落が頻発すると軌跡と ID を正しく統合することが困難になる課題がある。

そこで我々は、センサデータの欠落が頻発しても、センサデータの過去の履歴情報を活用することによって人物動線を正しく検出する技術の研究を進めている。本稿では、提案方式と、提案方式をカメラとアクティブ RFID を用いた人物動線検出システムに適用し評価実験を行った結果について報告する。

2. 従来方式の特徴と課題

異種センサ統合による人物動線検出技術の従来研究として、日高ら^[2]の研究がある。日高らは、カメラで検出した軌跡とアクティブ RFID で検出した ID を統合し動線を検出する手法を提案している。本手法では、追跡領域内に設定した ID 検出エリア内における軌跡数と ID 数に応じて、各軌跡に対して各 ID が割当てられる尤度を算出し、この尤度を時間方向に統合した値が最大となるような軌跡と ID の組の集合を動線検出結果とする。

このような従来方式では、現時刻までに欠落なく検出できた軌跡と ID から算出した尤度に基づいて軌跡と ID を統合し、人物動線を検出する。しかしながら、軌跡や ID に欠落が頻発してしまうと、尤度算出に利用できる情報量が減少し、動線検出精度が低下するという課題がある。ここで、軌跡の欠落とはオクルージョン等によりカメラによる人物追跡に失敗し軌跡が途切れることを意味し、ID の欠落とは ID 検出エリア内にも関わらず ID が検出されないことを意味する。この課題の具体例を図 1 に示す。図 1 では、追跡領域内を移動する 2 人について検出された軌跡 1~4 と ID1~2 を示している。軌跡及び ID には欠落が生じ、現時刻では軌跡 3, 4 と ID1, 2 だけが検出されている。この場合、現時刻の情報のみでは軌跡 3, 4 に ID1, 2 のどちらを割当てべきか決定できない。

Robust Human Trajectory Detection Method against Sensor Data Discontinuity using Sensor Fusion
Yukie Moriguchi, Yusuke Konishi, Toshiyasu Nakao
Service Platforms Research Laboratories, NEC Corporation

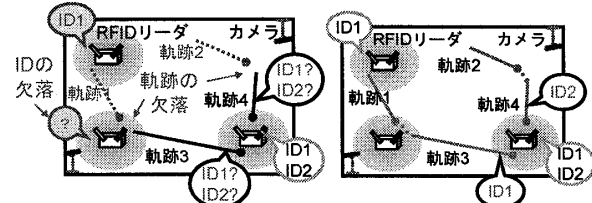


図 1 履歴情報を利用しない動線検出

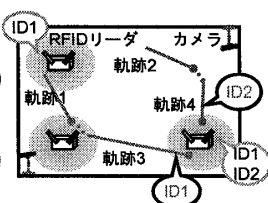


図 2 履歴情報を利用した動線検出

3. 提案方式

3.1. 概要

異種センサから取得した人物の軌跡と ID を統合し人物動線を検出する技術として、センサデータの欠落に対して頑健に人物の動線を検出するために、現時刻から過去一定時間の間に検出した軌跡と ID の履歴情報を用いる人物動線検出方式を提案する。

過去に検出したセンサデータを用いることの有効性を示す具体例を図 2 に示す。図 2 では図 1 と同じセンサデータが検出されているものとする。この場合、過去の時刻では、左上の ID 検出エリアで得られたセンサデータより軌跡 1 に対して ID1 を割当てられる。現時刻では、この情報と右下の ID 検出エリアで得られたセンサデータに基づいて、軌跡 1 と連結する可能性が高い軌跡 3 に ID1 を、軌跡 4 に ID2 をそれぞれ割当てられる。このように、現時刻に検出しているセンサデータのみでは動線を正しく検出できない場合でも、過去に検出したセンサデータも活用することによって、より正確に軌跡と ID を統合し動線を検出することが可能となる。

3.2. 構成

提案方式の構成を図 3 に示す。提案方式では、入力される軌跡と ID の組合せから動線仮説を生成し、各仮説の尤度を軌跡及び ID の検出結果から定量化し最尤推定することにより、軌跡と ID を統合する。ただし、全組合せの動線仮説を生成し最尤推定を行うと計算量が膨大になるため、仮説生成処理を軌跡の組合せ問題と ID の割当て問題に分割することで計算量を低減する。以下、組合せ問題と割当て問題の詳細について述べる。

まず、断片化した軌跡の組合せ問題を解き、軌跡連結仮説を生成する。ここで、組合せ問題とは、入力された m 個の軌跡を n 人分 ($1 \sim m$ 人分) に分ける問題とする。また、 m 個の軌跡を n 人分に分ける 1 つの組合せを軌跡連結仮説、軌跡連結仮説に含まれる n 人それぞれの軌跡集合を軌跡連結と呼ぶ。提案方式では、瞬間移動等の現実的にありえない軌跡連結を含む軌跡連結仮説を生成しないことで、

軌跡連結仮説数を削減し計算量を低減する。

次に、生成された軌跡連結仮説毎に ID の割当問題を解き、その最尤解を動線仮説とする。ここで、割当問題とは、軌跡連結仮説 (p 個の軌跡連結を含むとする) に対して q 個の ID を割当てて場合に最も尤もらしい割当て方を求める問題とする。また、p 個の軌跡連結に q 個の ID を割当てた 1 つの組合せを動線仮説と呼ぶ。提案方式では、割当問題を、軌跡連結群と ID 群の頂点集合から成る重み付き 2 部グラフの最小重み最大マッチング問題に置き換えて解く (図 4)。ただし、2 部グラフにおける各辺の重みは、あらかじめ定義した追跡領域内における ID 出力確率分布を用い、軌跡連結の通りに ID が移動したと仮定して算出した ID 出力確率を元に決定する。このように、軌跡連結仮説毎に最尤推定を行い、それらの最尤解のみを動線仮説とすることで、動線仮説数を削減し計算量を低減する。

最後に、割当問題で生成された動線仮説のうち最も尤度の高い動線仮説を動線検出結果とする。

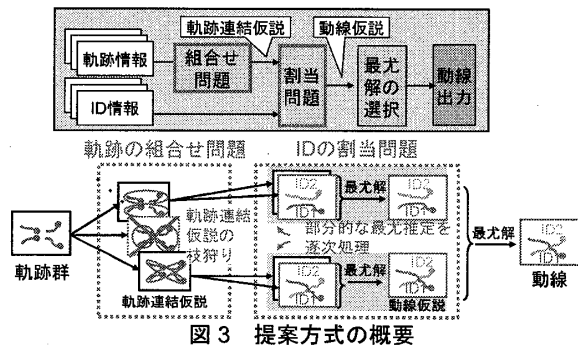


図 3 提案方式の概要

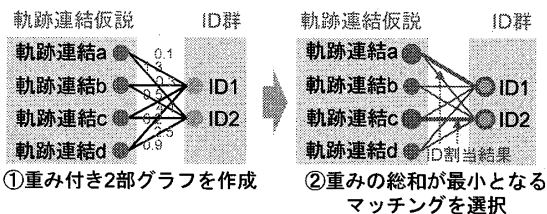


図 4 2部グラフの最小重み最大マッチングの例

4. 評価

履歴情報を利用しない従来方式と履歴情報を利用する提案方式をそれぞれ実装し、カメラとアクティブ RFID を用いた人物動線検出システムに適用して評価実験を行った。

4.1. 実験

図 5 のようなコンビニを想定した環境にカメラ 9 台、アクティブ RFID リーダ 5 台を設置し、一部の人物にアクティブ RFID タグを携帯させた。追跡領域全域でカメラ映像から軌跡を、4 箇所の ID 検出エリアで ID をそれぞれ検出できるように実験環境を構築し、表 1 に示した人数で 3 つのシナリオの実験を行った。また、各シナリオで発生した軌跡と ID の欠落回数は表 1 に示した通りである。



図 5 実験の風景

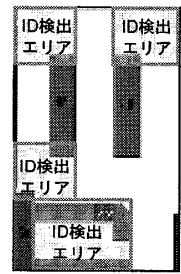


図 6 追跡領域の地図

表 1 シナリオ概要とセンサデータの欠落回数

シナリオ	RFID タグ所持人数	RFID タグ不所持人数	軌跡の欠落回数	ID の欠落回数
S111	2人	6人	14回	1回
S115	1人	3人	10回	0回
S119	2人	5人	11回	0回

4.2. 評価結果

従来方式と提案方式による動線検出結果から ID 割当の適合率と再現率を集計した (表 2)。なお、適合率は検出結果中の全 ID 付軌跡数に対する正解した ID 付軌跡数の割合、再現率は正解データ中の全 ID 付軌跡数に対する正解した ID 付軌跡数の割合と定義した。提案方式により、従来方式に比べ適合率で 18.2%、再現率で 43.7%、検出精度が改善された。従来方式では断片化した軌跡への ID 割当て漏れが多く発生した一方で、提案方式では履歴情報の活用によりこれらの軌跡に対しても漏れなく正確に ID を割当てることができており、再現率が大幅に改善される結果になったものと考察される。

表 2 ID 割当ての適合率と再現率

	適合率			再現率		
	S111	S115	S119	S111	S115	S119
従来方式	75% (3/4)	100% (4/4)	66.7% (2/3)	50% (3/6)	80% (4/5)	40% (2/5)
	81.8% (9/11)			56.3% (9/16)		
提案方式	100% (6/6)	100% (5/5)	100% (5/5)	100% (6/6)	100% (5/5)	100% (5/5)
	100% (16/16)			100% (16/16)		

5. おわりに

本稿では、軌跡と ID の履歴情報を用いることによりセンサデータの欠落に対して頑健に人物動線を検出できる方式を提案し、評価実験によりその有効性を確認した。今後は、センサデータの欠落や誤りに対してよりロバストな尤度算出方式を検討し動線検出精度を改善すると共に、多人数でも実時間処理可能な最尤推定方式の開発を進め、実用性の高い人物動線検出技術の確立を目指す。

参考文献

- [1] Mori, Suemasu, Noguchi, Sato, "Multiple People Tracking by Integrating Distributed Floor Pressure Sensors and RFID System", IEEE International Conference on System Man and Cybernetics, 2004.
- [2] 日高, 石寺, "アクティブ RFID リーダとマルチカメラを用いた追跡手法", FIT2008 講演論文集 第 3 分冊, PAGE.161-162, 2008.