

# 論文審査の結果の要旨

氏名 帷子京市郎

近年、セキュリティやマーケティング、コンテキストウェアサービスなどへの応用を目的として、人物追跡技術に関する研究が盛んに行われている。人間の行動を観測し、システムが自動的に「誰が」、「どこで」、「何をしているのか」、さらに「どのような意図で行動しているのか」を理解することができれば、非常に幅広い分野での応用が可能となる。こうしたアプリケーションに共通して必要とされる基本的な情報が「個人の識別情報 (ID) 付きの連続的な軌跡データ」であり、移動する人間を途中で途切れずに継続的に追跡ができる技術が望まれている。

これまで CCD カメラやレーザスキャナなどさまざまなセンサを利用して人物追跡や行動認識に関する研究が行われてきたが、継続的に追跡することは困難な場合が多い。例えば、駅のような混雑した環境では、人同士の重なりによって隠蔽が発生することが避けられないし、隠蔽が生じないように多数のセンサを高密度に配置することは費用的に困難なことが多い。結局、追跡が途中で失敗し軌跡が途切れてしまうことを前提に、それらができるだけ精度よく接合する（復元する）技術が重要になる。途切れた軌跡を接合する方法は、個々の人物追跡システムにおいてそれぞれアドホックに実装されているが、さまざまな場合に適用可能なより汎用性の高い手法は開発されていない。

本論文の目的は、複数の異なるセンサ情報を用いて、追跡の失敗によって生じた断片化軌跡を復元する汎用性の高い手法を開発することである。本論文は全 9 章からなっている。

第 1 章は序論であり、研究の背景、既往の研究事例が整理され、研究課題および目的が述べられている。

第 2 章は異種センサの統合による断片化軌跡の復元処理手法の全体構成が提案されている。まず想定される主要センサとしてレーザスキャナ、カメラ、人感センサ、ID タグリーダーが挙げられ、各センサから得られる情報の特徴が整理されている。そしてそれぞれの情報の特徴をどのように活かして、事後確率を最大する軌跡の結合を実現するのかが述べられている。なお各センサから情報を得るための個別手法の開発については、以下の通り第 3 章から第 6 章にかけて記載されている。

第 3 章はレーザスキャナに着目し、複数台のスキャナによる歩行者追跡手法について述べている。複数台のレーザスキャナを統合することで、計測領域の拡大、および隠蔽領域の緩和を実現している。そしてレーザスキャナによる人物追跡の精度を検証するために、都内の JR 駅構内にて実験を行っている。

第 4 章では、レーザスキャナによる追跡から得られた断片的な軌跡情報をテストケース

として、断片的な軌跡情報から人の移動予測モデルを学習し、軌跡の消失地点から出現地点までの軌跡を確率的に予測する方法を述べている。その応用として、確率的に予測された人の移動軌跡に、人感センサによる「人の有無データ」を重ね合わせることで、人の位置の予測精度を改善できることを示している。

第 5 章は、CCD カメラなどから人の外観情報を取得して軌跡に関連づけ、断片的軌跡の復元に利用する方法を述べている。

第 6 章は、斜めに走査するレーザスキャナを用いて、その走査断面を通過する歩行者の体型（身長など）を計測する手法を提案している。通過軌跡に結びつける形で人物の身長や体格といった個人特徴を取得することを可能としている。

第 7 章は、それぞれのセンサデータから得られた人の外観情報や身長情報、軌跡の出現予測分布を基に、断片化軌跡間の同一性の確率的評価を行い、組み合わせ最適化手法によって全体尤度を最大化することで軌跡を復元する手法を実装している。そしてオフィス環境を模した実験と、駅構内の旅客流動計測実験を通じて精度向上を検証した。その結果、センサ個別の追跡結果に比べて大きく精度が向上することが示された。

第 8 章では、復元された ID 付きの連続軌跡情報を、セキュリティへのアプリケーションに応用した事例を述べている。

第 9 章は終章であり、結論および今後の展望について述べている。

以上をまとめると、本研究はレーザスキャナ、カメラ、人感センサ、ID タグリーダなどを題材に、異なるセンサから得られる断片的な軌跡情報に、人の外観情報、身長などの体型情報、存在の有無といった情報を加え、事後確率を最大化することで ID 付きの連続的な軌跡を復元するといった汎用性の高い方法を提案し、その有効性を実証的に明らかにしている。これによりセキュリティやマーケティングなど多くの分野において、より精度の高い人の流動情報を利用することが可能となり、空間情報学の進歩に大きな貢献をしたと考えられる。また、本論文の成果は趙卉菁、柴崎亮介らと共著で公表されているが、論文提出者が主体となって研究を実施しており、論文提出者の寄与は十分である。したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。