

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008年度～2010年度

課題番号：20300061

研究課題名 混雑状況下における人物追跡にもとづく行動解析

研究課題名 Tracking people in crowds and its application for behavior analysis

研究代表者 佐藤 洋一（SATO YOICHI）

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：70302627

研究成果の概要（和文）：人物追跡は人物行動解析におけるもっとも基本的な要素であり，安心安全社会のための高度セキュリティシステムや実世界における人物行動解析によるマーケティングなど，多様な分野への応用が期待されている。しかしながら，従来技術では混雑状況下で人物を安定に追跡することが困難であった。これに対し，本研究では，時系列フィルタと識別器の統合による追跡，低レベル特徴のクラスタリングによる対象追跡，音と動きの相関を手掛かりとした移動音源の追跡，という3つの着想に基づき，混雑状況下において従来手法を越える性能での人物追跡を実現した。

研究成果の概要（英文）：Tracking people in a scene plays an essential role in human behavior analysis for various applications including security systems and marketing. However, the existing techniques for tracking people perform have difficulties when they are applied to crowded scenes. In this research project, we achieved robust tracking of multiple people even in crowds by introducing three novel ideas: integration of a sequential Bayesian filter and face/head detectors, clustering of trajectories of low level features, and tracking of a non-stationary sound source based on audio-visual correlation analysis.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2008年度 | 4,100,000 | 1,230,000 | 5,330,000 |
| 2009年度 | 3,700,000 | 1,110,000 | 4,810,000 |
| 2010年度 | 2,700,000 | 810,000 | 3,510,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 10,500,000 | 3,150,000 | 13,650,000 |

研究分野：コンピュータビジョン

科研費の分科・細目：情報学・知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：人物追跡、歩容特徴、特徴点軌跡、時系列フィルタ

1. 研究開始当初の背景

近年，安心・安全な社会環境の確保に向けた各種IT技術の開発が急務となっているが，特にその中でも，監視カメラの果たす役割に対する期待が非常に大きい。例えば，駅

やデパートなどの施設内で人がどのように移動しているのかがリアルタイムで計測可能になれば，通常の移動パターンから逸脱する人物などを特定することが技術的に可能となり，不審者検出に対する有効な手段として利用できることが期待される。

既に英国や韓国などの諸外国を始め、日本においても監視カメラの設置が進み社会インフラとして整備されつつあるが、映像の監視自体は人手による部分が多い。これまでも監視カメラシステムを製造する電機メーカーや運用する警備保障会社の研究所などを中心に、監視カメラ映像のリアルタイム処理技術の開発が進められてきているが、実用に供することが可能なレベルに達しているのは監視エリア内への人物侵入検出や駐車場などのオープンな場所における少数人物の追跡など極めて限られた機能のみとなっている。そのため、記録されたカメラ映像を事故後などに参照することはできても、人物の行動をリアルタイムで計測することはほとんど出来ていないのが実情であり、安心・安全な社会環境実現のためにも監視カメラ映像からの人物行動計測技術の進展が待たれている。

一方、コンピュータビジョンの分野においても、ビデオサーベイランスやビデオモニタリングというキーワードとともに、90年代頃から監視カメラ映像を想定した人物行動計測技術に関する研究が進められてきた。その中でも特に人物追跡技術は活発に研究が進められており、カメラ視野内に数人～10人程度の人物が存在する場合においても、人物間遮蔽などを影響を受けずに人物を追跡することが可能な手法も報告されている。しかしながら、これらの研究例のほとんどがいわゆる研究室環境で撮影された映像を対象としたものであり、実際の監視カメラ映像に適用しようとした場合、背景の複雑さ、照明の変動、人物による頻繁な遮蔽などさまざまな要因により、実用システムとして利用可能なレベルに達していなかった。

2. 研究の目的

このような背景のもと、本研究課題では、さまざまなレベルでの混雑度に応じた人物追跡手法を実現することにより、広く実用に供するに十分なレベルでの人物追跡技術を他に先駆けて実現することを目的とし、本研究期間内に

- 時系列フィルタと識別器の統合による人物追跡手法の高度化
- 低レベル特徴軌跡のクラスタリングによる人物追跡手法の開発
- 音と映像の相関分析に基づく移動対象追跡の高度化

の実現を目指した。

3. 研究の方法

(1) 時系列フィルタと識別器の統合による人物追跡手法の開発

複数カメラとレーザスキャナからの観測情報の統合にもとづく複数人物追跡手法を開発するための観測装置およびデータ処理装置を構築する。

さらに、この研究開発プラットフォームにより得られるテスト用データを利用しながら、分散カメラとレーザ測域センサからの入力情報を統合することにより、追跡対象の一時的な遮蔽や見え方の変動に頑健な追跡技術を構築する。具体的には、Mixture Particle Filterの枠組みに基づいて、複数の人物頭部の三次元位置と向きを追跡する。追跡初期化は、レーザ測域センサによる観測に基づいて、人物の出現を頑健に検出することで行う。追跡へのレーザ測域センサの統合は、オプティカルフローに基づいた状態遷移とレーザ測域センサによる観測に基づいた分布を混合した確率密度分布から仮説を生成することで実現する。仮説は、人物頭部のさまざまな見えに対応したAdaBoost学習による識別器群を用いて評価する。このようなアルゴリズムにより構成される人物追跡手法の性能評価のために、実際の小規模店舗における実証実験を実施する。

(2) 低レベル特徴軌跡のクラスタリングによる人物追跡手法の開発

① 歩容特徴と局所的な見えを考慮した特徴点軌跡クラスタリング

混雑状況下において頻発する人物同士の部分遮蔽に対しても頑健な人物追跡を可能とするために、顔や全身などを単位とした検出・追跡という既存のアプローチから離れ、コーナー特徴などの低レベル特徴点軌跡のクラスタリングに基づいた人物追跡手法を提案する。混雑環境下において頑健に個々の人物を区別するために、本手法では歩容特徴と局所的な見えの時間変動の一貫性という二つの指標を追跡の枠組みへ導入する。周波数空間における歩容特徴は、生体認証の分野において頻繁に利用されている指標であり、個人を識別するための重要な手掛かりであることが知られている。また、局所領域における見えの時間的な変化は、人物の動きが周りとは類似する傾向のある混雑環境下において個々の人物を区別するための効果的な指標となる。このような動きと見えの異なる種類の指標を利用することにより、混雑環境下においても安定な追跡を実現する。最後に、実環境における実験により本手法の有効性

を確認する。

② 歩容特徴を手掛かりとした断片化された動線の対応づけ

混雑環境下において継続的な人物追跡を実現するために、断片化された動線の対応付けのための手法を開発する。遮蔽に伴い、人物の動線は複数の動線片に分断されるため、一貫した人物追跡を実現するためには、分断化された動線片を対応付ける枠組みが必要となる。ここでは、歩容特徴を用いることにより、動線の対応付けを実現する。周波数領域における歩容特徴は、人物固有の性質であり、個人認証において利用されている指標である。人物に属する特徴点の動きの軌跡群から歩容特徴を抽出し、データ集合間の類似度を測る pyramid match kernel を用いることにより、対応付けるべき動線片間の類似度を計算する。計算される動線片間の類似度を用い、最尤推定を行うことにより、最適な人物動線の対応付けを実現する。

(3) 音と映像の相関分析に基づく移動対象追跡の高度化

音と映像の相関に基づき映像中の移動音源を特定する手法を提案する。これまでも音と映像の相関を手がかりとした音源位置推定手法がいくつか提案されてきているが、固定された音源の位置を特定することしかできないという問題が存在した。これに対し、本研究課題では、ビーム探索法で音源の動きを捉え、音と映像の相関を最大化する動きの経路を探索することにより、移動音源の位置推定を実現する。具体的には、音と映像の局所領域における音と映像の変化の不一貫性に着目し、局所変化記述の特徴量を導入する。また、相互情報量による音と映像特徴量の相関分析をフレームごとで逐次的に計算することにより、動きの経路を高速に探索することが可能にする。最後に分析された相関値を画像分割処理に組み入れ、経験的に決められた閾値を設定せずに、音源の領域を抽出する。

4. 研究成果

(1) 時系列フィルタと識別器の統合による人物追跡手法の開発

エリア内に設置された複数カメラとレーザー測域センサからの入力情報を、Mixed Particle Filter による時系列フィルタと Adaboost 学習により得られた複数方向の頭部検出器の組み合わせにより処理することにより、複雑な背景、照明分布の変動、追跡対象の遮蔽や見え方の変動などの諸要因に

対して頑健な人物追跡技術を実現した。さらに、実証実験として、実際の小規模店舗に 9 台のカメラと 2 台のレーザー測域センサを設置し、1 週間に渡り観測データを収集した上で、提案手法の性能を定量的に評価した。



実証実験における複数人物追跡の様子

(2) 低レベル特徴軌跡のクラスタリングによる人物追跡手法の開発

① 歩容特徴と局所的な見えを考慮した特徴点軌跡クラスタリング

人工データ、実際の群集の映像を用いた実験を通じて、人物の歩容特徴と局所領域における見えの時間変動の一貫性を利用することにより、特徴点軌跡のクラスタリングに基づくアプローチにより頑健な人物追跡が可能となることを示した。特に、歩容特徴は混雑環境において個々の人物の識別に有効であることを確認した。さらに局所領域の見えの時間変動を計測し利用することにより、局所領域の見えは動きが類似する傾向にある混雑状況において有効な指標となることを確認した。これらの研究成果は、コンピュータビジョンの分野において最も権威のある国際会議 (International Conference on Computer Vision) に採択されており、手法の新規性、有効性ともに広く評価されるにいたっている。今後は、前述したような人物の各部 (腕や脚など) の動きの特徴のばらつきに起因する追跡失敗について対処する予定である。



混雑した状況における人物追跡の様子

② 歩容特徴を手掛かりとした断片化された動線の対応づけ

混雑環境下における人物追跡安定化を目的とした、人物の歩容特徴に基づく動線の対応付け手法を新たに開発した。具体的には、人物に属する特徴点の動きの軌跡群から歩容特徴を抽出し、特徴量集合間の類似度を測る pyramid match kernel を利用することで、最尤推定のもと最適な動線の対応付けを実現している。実際の群集の映像を用いた実験を通じて、混雑環境において歩容特徴が動線の対応付けに有効に働くことを確認した。

(3) 音と映像の相関分析に基づく移動対象追跡の高度化

本研究課題では、複雑なシーン中でも移動対象をより精度よく追跡可能とすることをめざし、音と映像の相関を用いることにより移動音源を特定する手法を提案した。具体的には、音と映像の時空間局所において抽出された不貫性特徴量に基づき、逐次計算によって相関を最大化する経路を効率的に探索し、音源の移動を捉えることを可能としている。この研究成果はマルチメディア分野における主要国際会議である ACM Multimedia に採択され、音と映像の相関による移動対象追跡の高度化という着眼点の新しさと、実用性を高く評価されている。今後は、探索範囲と計算時間のトレードオフをより詳細に検討することが必要であると考える。具体的には画像ピラミッドと coarse-to-fine のポリシーを用いて解決することなどが考えられる。また、音の不貫性特徴量の抽出には、エネルギーのみでなく、周波数も利用することも有効であると思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 杉村大輔、木谷クリス真実、岡部孝弘、佐藤洋一、杉本晃宏、”歩容特徴と局所的見えを考慮した特徴点軌跡のクラスタリングによる混雑環境下人物追跡”、電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 8, pp. 1512-1522, 査読有, 2010.
- ② 鈴木直彦、平澤宏祐、田中健一、小林貴訓、佐藤洋一、藤野陽三、”人物動線データ群における逸脱行動人物検出及び行動パターン分類”、電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J91-D, No. 6, pp. 1550-1560, 査読有, 2008.
- ③ 杉村大輔、小林貴訓、佐藤洋一、杉本晃宏、”行動歴に基づく人物存在確率の利

用による人物三次元追跡の安定化”、情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 1, No. 2, pp. 100-110, 査読有, 2008.

〔学会発表〕(計7件)

- ① 杉村大輔、木谷クリス真実、岡部孝弘、佐藤洋一、杉本晃宏、”混雑環境下における人物追跡のための歩容特徴に基づく動線の対応付け”、画像の認識・理解シンポジウム MIRU2010, 2010年7月28日, 北海道釧路市
- ② 米川達弥、杉本晃宏、”見えの生成モデルに基づく物体追跡”、情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2010年5月27日, 名古屋工業大学
- ③ Yuyu Liu, Yoichi Sato, ”Visual localization of non-stationary sound sources”, ACM International Conference on Multimedia (Multimedia 2009), 2009年10月20日, Beijing, China
- ④ Daisuke Sugimura, Kris Kitani, Takahiro Okabe, Yoichi Sato, and Akihiro Sugimoto, ”Using Individuality to Track Individuals: Clustering Individual Trajectories in Crowds using Local Appearance and Frequency Trait”, IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2009), 2009年10月1日, 京都市
- ⑤ 杉村大輔、木谷クリス真実、岡部孝弘、佐藤洋一、杉本晃宏、”歩容特徴と局所的な見えを用いた特徴点軌跡クラスタリングによる混雑環境下人物追跡”、画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2009), 2009年7月21日, 島根県松江市
- ⑥ 劉玉宇、佐藤洋一、”音と映像の相関分析に基づく移動音源特定”、画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2009), 2009年7月21日, 島根県松江市
- ⑦ 小林貴訓、佐藤洋一 ”分散センサ情報の統合によるエリア内人物追跡と動線推定”、情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2008年5月9日, 京都市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 洋一 (SATO YOICHI)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号: 70302627

(2) 研究分担者

杉本 晃宏 (SUGIMOTO AKIHIRO)

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究
系・教授

研究者番号：30314256

岡部 孝弘 (OKABE TAKAHIRO)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：00396904