

人物とカメラの3次元幾何モデリングに基づく

映像からの人流解析に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文では、カメラと実空間さらに被写体に関する幾何的な制約を活用することによって、被写体全体の検出やトラッキングを行うことなく、局所的な処理の積み重ねとして人数およびそれらの速度を推定するアルゴリズムを提案するとともにその有効性を示す。

セキュリティ分野やマーケティング分野を中心に、一般的なセキュリティカメラを活用して人の行動や状態に関する情報を自動的に抽出する技術への期待が高まってきている。ところが一般的なセキュリティカメラは広い範囲にわたって人を撮影できるよう頭より高い場所に斜め下向きに設置されることが多く、人の数が多くなると画像上で人と人が重なり合う状況が発生し、画像上で一人一人の人物を検出することは極めて困難となる。このため、形状検出やトラッキングに基づく従来の技術を混雑状況に適用することは困難であった。混雑状況も含めて人数や人の流動速度を計測したいというニーズが存在しているにも関わらず、未だ実現されていないのが現状である。このような従来技術の限界を超えるため、本論文では、一人一人の人物の検出は行わず、画素レベルの局所的な信号処理の積み重ねとして人数や速度を推定するという基本的な方針に基づく新たな画像処理手法を提案する。

まず2章において、カメラと人物の3次元的な幾何モデルを考えることにより、画素レベルの局所的な信号処理の積み重ねとして人数を推定するアルゴリズムを提案する。これは、画素と実空間面積との対応付けを行うことにより、画像上での前景画素に対応する人物上表面積を算出し、これにより人数を推定するという素朴なアイデアに基づくものであるが、斜め下向きの一般的なカメラを用いる場合には、以下の2つの課題を解決する必要がある。1番目の課題は、ある画素に対応する人物の位置は奥行き方向に不定性を持つために各画素に対応する実空間における表面積を一意に決めることができないという不定性の問題をどう解決するかである。この課題に対して本論文では、画素と実空間表面積の平均値への変換係数として機能する基準表面積 (SSA: Standard Surface Area) を定義するとともに、この基準表面積が「1人分の前景画素に対する基準表面積の和は人がどこに立っていても同じ値となる」という重要な性質を持つことを示す。これにより、人がどこに立っているかを知ることなしに人数を推定することが可能となる。もう一つの課題は、前の人の背後にいる人物の一部が画像上で観測されなくなる所謂オクルージョンの問題をどう扱うかである。これに対して本論文では、カメラ、床面および人物の幾何モデルに基づき、画像から観測される基準表面積の総和とオクルージョンにより観測されなくなる表面積とを関係づけることにより、オクルージョンの影響を加味した人数推定を可能にしている。

3章では、提案した人数推定アルゴリズムの妥当性および有効性を評価するために行った実験結

果を示す。理論から予測される基準表面積の性質と、シミュレーション画像を用いた実験結果は定性的、定量的によく一致しており、提案手法が妥当であることが示されている。また混雑状況を想定したシミュレーションの結果、オクルージョンのある場合でも適切に人数を推定できることを確認するとともに、実画像を用いた人数推定実験により提案手法の有効性を確認している。

4章では、提案した人数推定アルゴリズムがデジタルサイネージの広告効果測定に適用可能かどうかを検証すべく実施したフィールド実験の結果を示す。実験の結果、画像処理精度の観点からも、また得られたデータの有用性の観点からも提案手法がデジタルサイネージの広告効果測定に適用可能であるとの見込みを得ている。

5章では、局所的な処理の積み重ねにより被写体の移動速度を推定する方法を提案する。移動速度の推定は、想定される利用場面や被写体の動きに関する制約条件により具体的なアルゴリズムが異なってくる。本論文では(1) 単一被写体の画像上速度、(2) 単一被写体(人物)の床面上速度、(3) 複数被写体(人物)の集団としての床面上速度について、それぞれの問題設定に応じたアルゴリズムを提案する。(1)については、具体的な利用場面の一つとして映像中のロールテロップ検出を具体例として、その画像上での移動量を投票原理に基づき高速に検出する手法について述べる。実験の結果、アルゴリズムの妥当性と有効性を確認している。(2)については、オプティカルフローの拘束式を実空間座標系に拡張することにより、ハフ変換による速度推定が可能となることを示す。(3)については、カメラと被写体の幾何モデルに基づき画像上の見かけの速度と実空間における人物の移動速度とを対応付けることにより、実空間での個人もしくは集団としての移動速度を推定する方法を提案する。ここでは、観測される見かけの速度の大きさが混雑度合いに依存することに注目し、混雑度合いを考慮しながら見かけの速度場を実空間速度に変換するための変換係数としてスケールファクタの考え方を導入する。CG画像の大量生成により作成したスケールファクタを用いて実験を行った結果、混雑状況に応じた実空間速度を推定することの可能性を示した。

これら全体を要約すると、本論文におけるアルゴリズムの提案および実験による検証により、カメラと実空間さらに被写体に関する幾何的な制約条件もしくは動きに関する制約条件をうまく活用することによって、被写体全体の検出やトラッキングを行うことなく、局所的な処理の積み重ねとして人数およびそれらの速度を推定できることを示した。この結果、従来技術では困難だった混雑状況も含めた形で安定に動作する人数推定や速度推定が可能となる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷山 美 紀

副 査 教 授 荒 木 健 治

副 査 教 授 山 本 強

学 位 論 文 題 名

人物とカメラの3次元幾何モデリングに基づく

映像からの人流解析に関する研究

本論文は、カメラと実空間さらに被写体に関する幾何的な制約を活用することによって、被写体全体の検出やトラッキングを行うことなく、局所的な処理の積み重ねとして人数および速度を推定するアルゴリズムを提案するとともにその有効性を示すものである。

セキュリティ分野やマーケティング分野を中心に、一般的なセキュリティカメラを活用して人の行動や状態に関する情報を自動的に抽出する技術への期待が高まってきている。ところが一般的なセキュリティカメラは広い範囲にわたって人を撮影できるよう頭より高い場所に斜め下向きに設置されることが多く、人の数が多くなると画像上で一人一人の人物を検出することは極めて困難となる。このため、形状検出やトラッキングに基づく従来の技術を混雑状況に適用することは困難であった。混雑状況も含めて人数や人の流動速度を計測したいというニーズが存在しているにも関わらず、未だ実現されていないのが現状である。

筆者は、このような従来技術の限界を超えるため、一人一人の人物の検出は行わず、画素レベルの局所的な信号処理の積み重ねとして人数や速度を推定するという基本的な方針に基づく新たな画像処理手法を提案した。以下、章を追って論点を述べる。まず2章において、カメラと人物の3次元的な幾何モデルを考えることにより、画素レベルの局所的な信号処理の積み重ねとして人数を推定するアルゴリズムを提案した。これは、前景として検出された各画素に対応する人物上表面積を算出することにより人数を推定するという素朴なアイデアに基づくものであるが、斜め下向きのカメラを用いる場合には、以下の2つの課題を解決する必要がある。1 番目の課題は、人物の位置が奥行き方向に不定性を持つために画素に対応する表面積を一意に決めることができない問題をどう解決するかである。これに対して筆者は、基準表面積という概念を新たに定義するとともに「1 人分の前景画素に対する基準表面積の和は人がどこに立っていても同じ値となる」という重要な知見を見出した。これにより、人が立っている場所を知ることなしに人数を推定することが可能となった。もう一つの課題は、オクルージョンの問題をどう扱うかである。これに対して筆者は、カメラと人物の幾何モデルに基づき、画像から観測される表面積とオクルージョンにより観測されなくなる表面積とを関係づけることにより、オクルージョンの影響を加味した人数推定が行えることを示した。3 章では、提案した人数推定アルゴリズムの妥当性および有効性を実験により評価した。理論とシミュレーション実験結果は定性的、定量的によく一致し、提案手法が妥当であることが示された。また混雑状

況を想定したシミュレーションの結果、オクルージョンのある場合でも適切に人数を推定できることを確認するとともに、実画像を用いた人数推定実験により提案手法の有効性を確認した。4章では、提案した人数推定アルゴリズムがデジタルサイネージの広告効果測定に適用可能かどうかを検証すべく実施したフィールド実験の結果が示された。画像処理精度の観点からも、また得られたデータの有用性の観点からも提案手法がデジタルサイネージの広告効果測定に適用可能であるとの見込みを得た。5章では、局所的な処理の積み重ねにより被写体の移動速度を推定する方法を提案した。移動速度の推定は、想定される利用場面により具体的なアルゴリズムが異なるが、本論文では(1)単一被写体の画像上速度、(2)単一被写体(人物)の床面上速度、(3)複数被写体(人物)の集団としての床面上速度について、それぞれアルゴリズムを提案した。(1)については、映像中のロールテロップ検出を例に、その画像上での移動量を投票に基づき高速に検出する手法を提案した。(2)については、オプティカルフローの拘束式を実空間座標系に拡張することにより、ハフ変換による速度推定が可能となることを示した。(3)については、カメラと被写体の幾何モデルに基づき画像上の見かけの速度と実空間における人物の移動速度とを対応付けることにより、実空間での集団としての移動速度を推定する方法を提案した。

これら全体を要約すると、筆者は、従来技術では困難だった混雑状況も含めた形で安定に動作する人数推定や速度推定を可能とするため、カメラと実空間さらに被写体に関する幾何的な制約条件もしくは動きに関する制約条件をうまく活用することによって、被写体全体の検出やトラッキングを行うことなく、局所的な処理の積み重ねとして人数およびそれらの速度を推定する方法を提案した。以上、本研究を通じて、情報メディア工学、画像工学に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格があるものと認める。