

<研究課題>

単眼カメラベースの3次元人体姿勢推定に基づく市街地交通環境における歩行者の行動予測システム

代表研究者 東京工業大学大学院 工学院 システム制御系 助教 倉元 昭季  
共同研究者 金沢大学 高度モビリティ研究所 教授 菅沼 直樹  
金沢大学 新学術創成研究機構 准教授 米陀 佳祐

【まとめ】

自律走行車の安全な走行のために、歩行者の行動意図の推定が必要である。本研究では、単眼カメラを用いた歩行者のトラッキングの高精度化を試みた。提案システムでは、カメラ画像上の骨格検出結果を用いて、実空間における各身体セグメントの向きを算出し、歩行者のトラッキングに用いた。実験の結果、単純な歩行軌跡に関しては、人体姿勢を考慮することにより、歩行者の移動方向のトラッキング精度が向上することが確認された。

1. 研究の目的

高度運転支援システムを用いた自動車や自動運転自動車の安全な市街地走行のプランニングのために、走行可能領域や白線、信号機の状態、他の交通参加者など、周辺環境を構成する様々な要素をそれぞれ適切に認識する技術の開発が盛んである。走行可能領域や白線、信号機については基本的に環境中で特徴が不変であるため、ランドマークと見なして検出することが比較的容易である。一方で、他の交通参加者はそれぞれ動的であるため、種類や位置の認識に加えて、各々の行動を適切に予測することは、やや難しい課題である。

そこで本研究では、カメラ画像から推定される人体姿勢を考慮した歩行者追跡システムの構築を目的とする。そのための基礎的検討として、単眼視画像から検出される歩行者の骨格データを用いて歩行者の位置に加えて身体の向きを算出し、トラッキングを行う手法を開発したので報告する。

2. 研究方法と経過

2-1 人物の骨格データを検出する手法を用いた歩行者の進行方向推定

単眼視画像から歩行者の移動方向を推定する手法の開発を行った。まず、撮影した画像に人体骨格を検出する手法を適用する。画像から人体骨格を検出する手法としては OpenPose

をはじめとして様々なアルゴリズムが提案されているが、本課題ではまず、画像上での同一人物のトラッキング機能が含まれている AlphaPose を用いることとした。なお本研究では、各関節のうち、歩行中に左右の関節の高さの変動が比較的少ないと予想された股関節と肩関節に着目して進行方向の推定を行うこととした。

次に、検出された関節のうち左右の股関節と肩関節について、画像上の座標を3次元実空間に逆投影し、関節が含まれる直線を得る。この直線と、関節の高さにある地面に平行な平面の交点を、その関節の3次元位置として算出する。その後、股関節と肩関節それぞれにおいて、左側の関節位置から右側の関節位置へのベクトルに対する法線ベクトルを計算することにより、股関節と肩関節の高さそれぞれにおける進行方向ベクトルを2つ算出する。この2つの高さにおける左右の関節の平均位置と進行方向ベクトルの平均を、歩行者の位置と移動方向としてみなす。なお、股関節と肩関節の高さについては、人間の体節長比に関する解剖学的データに基づいて、被験者の身長に対する係数をかけることにより設定した。

各フレームにおける歩行者の位置と移動方向ベクトルを観測値として、進行方向(ヨー角)を考慮した一定加速度モデルに基づくカルマンフィルタを用いた歩行者のトラッキングを実施した。

2-2 実験

提案手法でのトラッキングの有効性を確認するための実験を行った。遮蔽物のない広い室内環境のうち、図2に示すような18m×6mの矩形領域において、矩形領域内のある一点を始点および終点として、(a)外周を一周する歩行、ならびに(b)矩形領域内における1分間のランダム歩行、の2種類の歩行を実施してもらった。

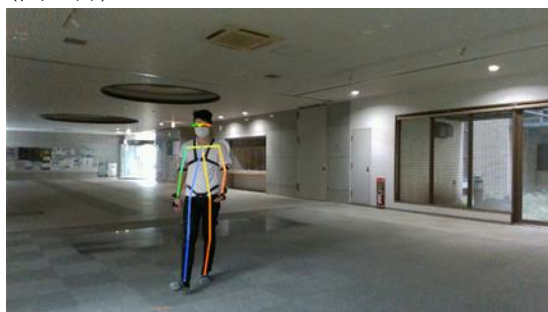
被験者の歩行の様子は、矩形領域の外側からカメラ(RealSense D435i, Intel)で撮影しPC

を用いて動画として記録した。解像度は1280x720であった。また、被験者の始点からの移動量と身体方位の正しいデータを取得することを狙い、被験者には慣性センサ式モーションキャプチャシステム Perception Neuron Pro (Noitom, Miami, FL, USA) を装着してもらった。

### 3. 研究の成果

#### 3-1 AlphaPose による姿勢検出結果

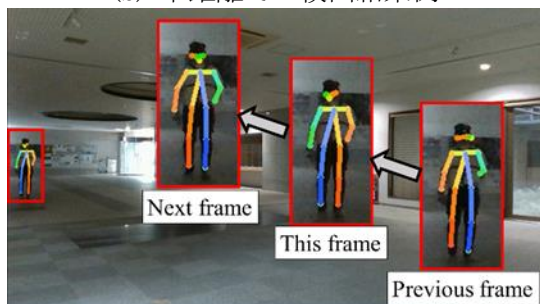
撮影した動画に AlphaPose を適用して検出された骨格データの例を図 3 に示す。比較的近距离や中距離においては、身体各部の左右を正しく検出できていた (図 3(a), (b))。一方で、カメラ画像の端部に映るシーンや遠方に離れたシーンでは、連続する 3 フレームで身体の一部が入れ替わって検出される場合も見られた (図 3(c))。



(a) 近距离での検出結果例



(b) 中距離での検出結果例



(c) 連続するフレームで身体の一部が入れ替わって検出された例

図 3 AlphaPose による検出結果の例

#### 3-2 矩形領域の外周の歩行のトラッキング

矩形領域の外周を歩行した時のデータに基づく結果を図 4(a)に示す。提案手法で得られた歩行者の経路は、慣性センサ式モーションキャプチャシステムで得られた経路と比較して、全体的に歪んでいる傾向が確認できる。これは、経路カメラパラメータ (内部パラメータと外部パラメータの両方) に関するキャリブレーション精度が不十分であったことが理由の一つと考えられる。ただし、慣性センサ式モーションキャプチャシステムに基づくトラッキング結果も、矩形領域の外周部分を正しく捉えられているわけではなかった。

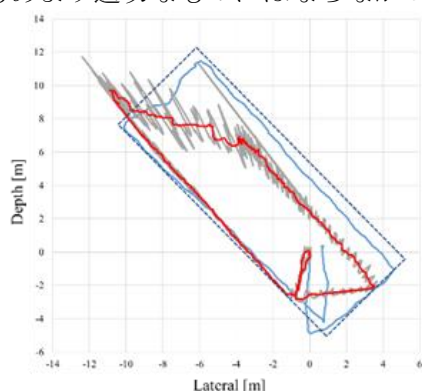
遠方においては、カメラモデルに基づいて算出された歩行者の位置が大きく散らばっており、これに起因して歩行者のトラッキングが数回途切れてしまっていた。これは、歩行中に腰や肩の高さが予想よりも大きく変動していたことが原因と考えられる。アルゴリズム上は、関節の高さは一定と仮定し、地面に平行な平面を事前に定義して関節 3 次元位置の計算に用いていた。しかし関節の実際の高さが上下すると、それに伴い算出される人体位置もカメラ視線方向の奥側や手前側へ揺れ動くこととなる。その結果、観測情報としての人体位置は、図 4(a)に示すように散らばってしまったと考えられる。したがって、人体位置をより適切に算出するためには、高さを変動する腰や肩の高さで位置を計算するのではなく、地面高さにおける位置を計算する方が良いと考えられる。このための案の一つは、画像から物体を検出する際によく用いられる矩形枠情報の底辺を用いることである。

ただし歩行者の進行方向に関しては、連続するフレームで身体の一部が入れ替わっていたシーンがあったにもかかわらず、安定してトラッキングできていた様子が見て取れる。これは、カルマンフィルタを用いたトラッキングにおいて、ヨー角方向の推定が効果的に機能していたことを示唆している。

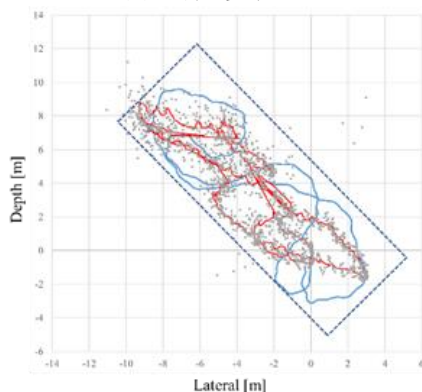
以上のことから、カメラのキャリブレーションを適切かつ充分に行えば、少なくとも単純な歩行に関しては、提案手法のように人体姿勢を考慮することで、歩行者の移動方向を正しくトラッキングできる可能性があると考えられる。

### 3-3 矩形領域内のランダム歩行のトラッキング

矩形領域内における 1 分間のランダム歩行時のデータに基づく結果を図 4(b)に示す。提案手法で得られた歩行者の移動経路は、慣性センサ式モーションキャプチャシステムで得られた経路と大きく異なっていた。これは前節と同様の理由で、カメラモデルから算出される人体位置は大きくばらついていたことに起因する。すなわち観測情報としての歩行者位置の信頼性が低かった。そのため歩行者のトラッキング結果もあまり適切なものにはならなかった。



(a) 外周歩行時



(b) ランダム歩行時

図 4 提案手法と慣性センサ式モーションキャプチャシステムによる歩行者のトラッキング結果の比較。矩形の点線が歩行領域、灰色の点が観測点（算出された歩行者の位置）、赤線が開発した手法によるトラッキング結果、青線がモーションキャプチャシステムによるトラッキング結果。

### 4. 今後の課題

今回の取り組みの結果から、画像から人体骨

格を検出するアルゴリズムで得られる関節位置情報を用いて算出された人体方位情報は、歩行者のトラッキングを効果的に補助する能力を持つことが示唆された。

ただし人体の方位や位置の算出結果は、いくつかの要因により大きく影響されていることが現状の課題である。まず、AlphaPose による画像上の関節位置の検出結果は、歩行者が画像上で小さく映るときや、左右のどちらかを向いており身体の片側が遮蔽されている場合に、大きな誤差を生じていた。この点を解決するためには、関節位置の検出誤差に頑健な 3 次元姿勢推定手法が必要と考えられる。近年、画像から検出される 2D 骨格データから 3D 姿勢を推定するアルゴリズムが多く提案されている。視線が地面に水平な単眼カメラのみから 3D 姿勢を教師なし学習で推定可能にする方法もある<sup>(12)(13)(14)</sup>。我々は別課題としてこれらの手法を発展させ、身体の体節長や関節可動域を考慮することにより、単眼カメラ画像から人体の 3 次元姿勢を復元するアルゴリズムを構築した。この手法を本研究課題の取り組みに取り込むことにより、歩行者の移動方向や視線方向を推定し、歩行者の行動意図判断に役立つ取り組みを今後進めていく予定である。

また、歩行に伴う関節高さの変動の影響を受けやすいことがわかった。すなわち関節の高さが床面から一定であるという仮定は、人体の位置や方位の計算においてあまり適切ではなさそうである。対案として、人体位置については、物体検出アルゴリズムで用いられる矩形枠の底辺中点を基準にした地面高さで計算することが挙げられる。これらの点を踏まえて今後、歩行者のトラッキングに適切なレベルの精度を持つ観測情報としての人体の位置と向きを推定するシステムを改めて構築したい。

### 5. 研究成果の公表方法

[学会発表]

倉元昭季,米陀佳祐,菅沼直樹,"単眼視画像から推定される人体姿勢を考慮した歩行者追跡システムの開発",電気学会 産業計測制御研究会,IIC, 2021(24), 1-5, 2021.11.30.

以上