

自動運転のための横断意図推定を用いた歩行者経路予測 Pedestrian path prediction using crossing intention estimation for autonomous driving

塩田 航輝[†] 杉本 千佳[‡]
Koki Shioda Chika Sugimoto

1. はじめに

近年、5G やディープラーニングの技術の実用化が進む中で、これらの技術を取り入れた自動運転技術の研究開発が進展している。ここ数年で、自動運転においては歩行者を認識するだけでは情報として不十分であると考えられ、歩行者認識の 1 つ先の段階である歩行者経路予測が研究されるようになった。歩行者の経路を予測することによって、自律走行車がより安全な経路を計画することができ、また人の動きを考慮することで、より人間らしい判断を下すことができるようになると考えられる。特に交差点における経路予測は、人と車が最も接触しやすい場所で、自律走行車にとって重要なタスクである。また、人と車が複雑に動くため、歩行者の経路予測が難解であるという特徴をもつ。本研究ではその交差点での経路予測精度を向上させることを目標とする。

2. 横断意図予測を用いた歩行者経路予測

交差点での経路予測精度に大きく関わる要素技術として、歩行者の意図予測がある。道路交通上の車や歩行者は将来的に意図に即した速度や方向で位置を変えるため、歩行者の経路を予測する上で、その歩行者の意図を予測することが重要となる。歩行者が道路を横断するか否かの「横断意図」を予測することに着目した研究がいくつか存在する。PIE(Pedestrian Intention Estimation Trajectory Prediction)[1]では、画像データから横断意図および自車両速度を推定し、それらを用いて歩行者の経路予測を行っている。自律走行車での実用化を強く意識した研究で、自律走行車自身から得られるデータのみを使用している。歩行者近辺の画像データから歩行者のポーズ、周囲の環境を元に横断意図の推定を行い、それを歩行者の経路予測に役立てている。未来における自車速度を推定することで、自車両と歩行者のインタラクションについても考慮している。

MHP(Multimodal Hybrid Pedestrian)[2]では横断歩道における、歩行者の横断意図をモデル化して組み込み、歩行者の経路予測を行う手法を用いている。歩行者の 4 つの状態を定義する。そしてそれらの状態遷移関数を考案し、人の行動から歩行者が横断歩道に対してどのようなアクションをするかということを推定する。歩行者の横断歩道に対するアクションを推定することで、横断歩道付近でのより正確な歩行者経路予測を可能にする。従来、横断意図推定では最終的に横断歩道を渡るか否かという 2 値分類であった。それを歩行者の 4 つの状態を予測とすることで、より明確に横断意図をモデル化し、保守的でない予測が可能となった。

[†] 横浜国立大学大学院工学研究院 Faculty of Engineering, Yokohama National University

[‡] 横浜国立大学大学院理工学府 Graduate School of Engineering Science, Yokohama National University

3. 提案手法

MHP[2]の検証結果から、横断意図を 2 値分類でなく複数の状態を遷移させる形で予測することで、より高精度な歩行者の経路予測が可能となることが示された。しかし、MHP[2]では俯瞰的に交差点を写した画像をデータとして扱っており、実際の自律走行車への応用は難しい。俯瞰的な情報を自律走行車は得られないためである。そこで、車載視点の画像データから歩行者の横断に関する 4 つの状態を定義して遷移させ、経路予測を行うモデルを提案する。

3.1 経路予測手法

歩行者の経路予測のモデルとして、PIE[1]のフレームワークを活用した。このフレームワークに状態推定モジュールを追加し、歩行者経路予測を行う。図 1 に本研究で使用したフレームワークを示す。このフレームワークは、一連の画像と自車両の現在速度を入力として受け取る。横断意図推定モジュールのエンコーダは、歩行者の周囲を四角く切り取った画像を入力とし、CNN、Convolution LSTM を用いて歩行者の観測位置（バウンディングボックスの座標）と連結した表現を作り、デコーダに送出する。自己速度推定モジュールは、現在の時刻における速度と過去の速度を入力とし、LSTM を用いてエンコーダ・デコーダ方式で将来の速度を予測する。状態推定モジュールでは、一連の画像の情報と横断意図推定を用いて歩行者の状態を推定する。状態推定モジュールについては次節にて詳しく説明する。経路予測モジュールでは、エンコーダ入力として位置情報を、デコーダ入力としてエンコーダ表現、歩行者の横断意図、歩行者の現在の状態、将来の自車両速度を受け取り、将来の軌跡を予測する。

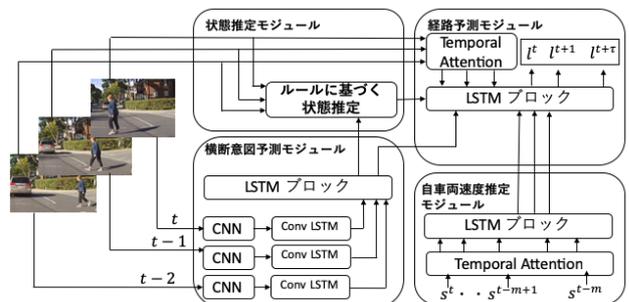


図 1 経路予測フレームワーク

3.2 横断意図に関する状態推定

MHP[2]を参考に4つの状態(横断歩道に対して、近づく、通り過ぎる、渡るために待つ、渡る)を定義する。これらの状態を以下の情報を用いて遷移させる。

- ・横断意図予測(cross or not cross)
- ・歩行者速度
- ・横断歩道との距離

横断意図予測は経路予測フレームワークの横断意図予測モジュールで予測された結果を用いた。歩行者速度は一連の画像の歩行者の過去の位置の推移から計算される。

4つの状態にそれぞれ遷移条件を設けて、ルールベースで歩行者の現在の状態を遷移させる。例えば、横断意図予測で横断意図があると予測され、歩行者の速度が低下していくことで状態遷移条件を満たし、歩行者の状態が"近づくから"から"渡るために待つ"となる。ここで得た歩行者の状態は、上記経路予測フレームワークの全結合層に入力され、歩行者経路予測に活用される。以上のようにして、交通シーンにおける歩行者の状態を推定し、それに基づき経路予測を行う。

4. 実験

4.1 データセット

データセットには PIE [1]を使用した。PIE は歩行者意図推定用に設計された大規模データセットで、1842 個の横断する歩行者のサンプルを含むビデオデータである。歩行者の位置情報と PIE の 5 割をトレーニングデータ、4 割をテストデータ、1 割を検証データとして分割して扱った。経路予測モジュールと横断意図推定モジュールはそれぞれ別で学習させ、前者はバッチサイズ 32 で 200 エポック分、後者はバッチサイズ 32 で 100 エポック分学習させた。本研究の目的より、交差点を含むシナリオでの歩行者経路予測精度を検証する。

4.2 結果

ベースラインである PIE Trajectory Prediction [1]と提案手法の交差点を含むシナリオでの経路予測結果を表 1 に示す。0.5 秒、1.0 秒、1.5 秒後のいずれにおいても提案手法が上回る結果となった。歩行者の状態を横断するか否かの二値分類ではなく状態遷移確率モデルで表現することで、より柔軟に横断時の歩行者の動きを捉えることができたと考えられる。

図 2 に歩行者の経路予測例を示す。図 2 の左の画像が時刻 0 秒の歩行者の位置を示しており、中央の画像、右の画像はそれぞれ 0.5 秒後、1.0 秒後の歩行者と、予測されたバウンディングボックスを示している。交差点のシナリオにおいて歩行者の状態を捉え、正しく経路予測を行えていることがわかる。

経路予測誤差 [pixels]	0.5[s]	1.0[s]	1.5[s]
PIE	78	221	651
提案手法	70	215	640

表 1 交差点を含むシナリオでの経路予測結果



図 2 歩行者の経路予測例

5. まとめ

歩行者の状態を横断するか否かの二値分類ではなく 4 分類に定義して遷移確率モデルで表現し、LSTM と CNN を用いた歩行者経路予測モデルにより学習させることで、より柔軟に横断時の歩行者の動きを捉えて経路予測を行う手法を提案した。評価実験の結果、複数の状態を設定して横断意図を推定した結果を経路予測に用いることで、交差点においてより高精度な予測ができることが示唆された。

自律走行車の実用化を考えると、現状の経路予測精度では不十分であり、さらなる精度向上が求められる。交通シーン全体の情報を取り込むことや、自車両の動きを正確に捉えること、より多くの細かい状態を考えて遷移させることなどが精度向上につながるかもしれない。

参考文献

- [1] Amir Rasouli, Iuliia Kotseruba, Toni Kunic and John K., "PIE: A Large-Scale Dataset and Models for Pedestrian Intention Estimation and Trajectory Prediction", IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 6262-6271 (2019)
- [2] SURESH KUMAAR JAYARAMAN, LIONEL P. ROBERT JR., X. JESSIE YANG, and DAWN M. TILBURY, "Multimodal Hybrid Pedestrian: A hybrid automaton model of urban pedestrian behavior for automated driving applications.", IEEE, Vol.9, pages 27708-27722(2021).