



自動走行ストレス軽減に向けた 車載カメラによる歩行者の移動方向推定の検討

御前 賢斗¹⁾, 澤邊 太志¹⁾, Butaslac Isidro¹⁾, 加藤 博一¹⁾

Kento MISAKI, Taishi SAWABE, Isidro BUTASALC, and Hirokazu KATO

1) 奈良先端科学技術大学院大学 インタラクティブメディア設計学研究室
(〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5, misaki.kento.mo3@naist.ac.jp, t.sawabe@is.naist.jp)

概要：自動運転の普及が進む中、自動運転レベル 3 では衝突の危険が生じた際に運転者の介入が求められる。特に歩行者との接触リスクに対しては、その情報を事前に提示し、ストレスを感じさせることなく、円滑なテイクオーバーを行うことが重要である。そのため、歩行者の検出だけでなく、その行動も考慮する必要がある。本研究では、車載カメラによる前方映像から、歩行者の移動方向の推定手法を提案し、搭乗者への適切な注意喚起による手法によって、自動走行ストレス軽減を目指す。

キーワード：移動方向推定, 車載カメラ, 歩行者, 自動運転, ストレス軽減

1. はじめに

近年、センシング技術の発達や人工知能の利用に伴い、自動車などのモビリティにおける自動走行技術の実用化が急速に進んでいる。この自動運転の技術水準は、Society of Automotive Engineers International によってレベル 0 からレベル 5 までの 6 段階に分類される[1]。特に、特定の条件下でシステムが全ての運転タスクを担うレベル 3 以降では、搭乗者は運転状況を監視する義務から解放され、非運転タスクを行うことが可能となる。矢野経済研究所の調査によると、世界市場におけるレベル 3 自動走行車の台数は年々増加し、2035 年には 652 万台に達すると予測されている[2]。

こうしたレベル 3 の自動走行車は、システムが運転継続を困難と判断した場合、搭乗者に対して運転の引継ぎ要求（テイクオーバーリクエスト）が発せられる。このテイクオーバーは、状況把握、意思決定、操作介入という 3 つのプロセスに分割することができ[3]、最初のステップである状況把握は以降の操作に大きく影響する。しかし、歩行者との衝突リスクが想定される場面においては、人物の移動方向を瞬時に予測することが難しく、状況判断に要する時間も増加する。これにより、円滑なテイクオーバーが困難となる。加えて、搭乗者の心理的負担も重要な課題である。自動運転を社会全体に普及させるにあたり、自動走行化することによって搭乗者が感じるストレス（自動走行ストレス）を軽減する必要がある[4]。自動走行ストレスの中でも太田ら[5]は、動的な外部物体がストレス要因の 1 つであることを指摘しており、歩行者もこれに該当する。したがって、

安全かつ快適な自動運転システムを実現するためには、歩行者による自動走行ストレスを軽減し、緊急時においても運転者が迅速かつ正確に状況を把握できるような支援が不可欠である。

そこで本研究は、レベル 3 の自動運転において、車載単眼カメラから歩行者の移動方向を推定し、その情報を搭乗者に提示することで、自動走行時のストレス軽減と即時性のある状況把握の支援が可能か検証する。本稿では、その目標達成に向けた第一歩として、歩行者の移動方向推定を行う。想定するシステムを図 1 に示す。

2. 関連研究

2.1 自動走行ストレスの軽減と状況把握補助

自動走行ストレスを軽減し、周囲の状況把握の補助を行うために、搭乗者への情報提示に関する研究が行われている。

永田ら[6]は、ストレス要因となる動的な外部物体を映像から秘匿することで搭乗者に提示する情報量を制御し、心理的な快適性と状況把握補助を両立させるアプローチを提案している。実験の結果、即時の状況把握を必要とする場合においては、動的な外部物体の視覚的な情報量を削減する映像加工が、ストレス軽減と状況把握の両立に有効であることが示されている。

2.2 車載単眼カメラによる歩行者の移動方向推定

安全な自動運転の実現に向けては、車載単眼カメラの映像から歩行者の行動を予測する研究が行われている。

Czech ら[7]は、従来の歩行者軌道予測が、過去の歩行者位置情報のみに依存している点を課題として指摘している。このような手法は、歩行者の非線形な動きに対しての予測精度が低下する傾向にある。そこで同研究では、人間の運転者と同様に視覚的な行動特徴を活用する予測手法を提案している。具体的には、歩行者の過去の位置情報に加え、身体や頭部の向き、姿勢といった行動特徴を導入する。実験の結果、特に身体の向きと姿勢の情報が軌道予測の精度向上に大きく寄与することが示された。

また、Kim ら [8] は、従来の歩行者軌道予測手法が車両の運動と歩行者の運動を分離できていない点に着目している。多くの手法は自車両の将来の動きを含むため、予測結果が現在の視点とずれ、リアルタイムのリスク評価には適さない。これに対処するため、速度や旋回角などのセンサ情報を用いて車両の自己運動を補正し、映像中の道路状況も活用することで、現在の視点に基づいた歩行者の将来位置を推定する手法が提案されている。

2.3 本研究の位置づけ

- ストレス軽減と状況把握を目的とした搭乗者への情報提示
 - 単眼車載カメラによる歩行者の軌跡推定
- は、それぞれ個別に研究されている。しかし、歩行者の移動方向推定を活用して、搭乗者の心理的負担を軽減し、状況把握を支援する情報提示へとつなげる取り組みは十分に行われていない。本研究は、これら2つの領域をつなぐものであり、危険の検知や回避にとどまらず、予測技術を搭乗者への情報提示に活用することで、快適かつ安心な自動走行環境の実現が可能であるか検証する。

3. オプティカルフローによる歩行者移動方向推定

本章では、車両前方を撮影している車載単眼カメラの映像から、オプティカルフローを用いて歩行者の移動方向を推定する手法を提案する。車載カメラの映像には、車両自身の自己運動と、歩行者のような動的な外部物体の動きの両方が合成されている。そのため、各フレームにおける歩行者の位置を追跡するだけでは、歩行者が停止している状況でも見かけ上の動きが生じ、その真の移動方向を正確に推定することができない。本研究ではこの課題に対し、まず物体検出モデルを用いて映像内の歩行者を検出し、その上で歩行者の周辺領域内における密なオプティカルフローを用いることで、移動方向を推定する。大まかな操作手順を図2に示す。まず、入力された映像フレームから歩行者領域を特定するため、物体検出モデルである YOLO11[9]を用いる。これにより、各フレームにおける歩行者の位置がバウンディングボックスとして取得される。次に、このバウンディングボックスを基準として、その周囲に一定のマージンを設けた「人物周辺領域」を設定する。そして、

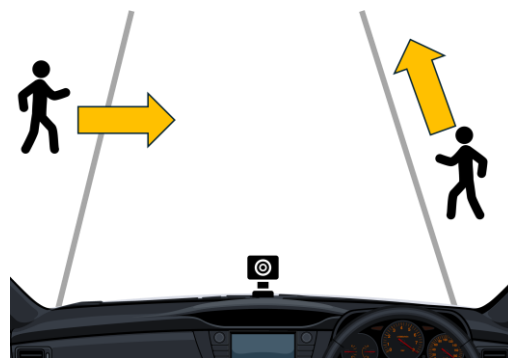


図 1: 歩行者の移動方向提示のイメージ。

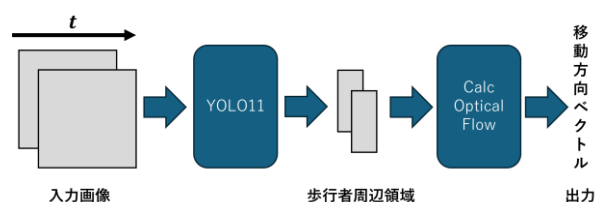


図 2: 歩行者の移動方向推定フロー。時系列画像に対して YOLO11 で人物周辺画像を抽出し、オプティカルフローを求めることで、人物の移動方向ベクトルを得る。

連続するフレーム間でこの領域内のオプティカルフロー [10]を算出する。本手法では、この人物周辺領域におけるオプティカルフローの平均ベクトルを、その人物の将来の移動方向ベクトルとして直接利用する点に特徴がある。

このアプローチにより、自動走行車の速度や将来の運行経路といった車両情報を用いることなく、単眼カメラの映像情報のみから歩行者の移動方向を推定することが可能となる。

4. まとめ

本研究では、レベル3の自動運転において、歩行者が搭乗者に与える心理的ストレスや、状況把握の困難さに着目した。そして、この問題に対するアプローチとして、歩行者の移動方向を推定・提示することによるストレス軽減と状況把握補助の可能性を検証することを最終的な研究目的として設定した。その目標達成に向けた第一歩として本稿では、車載単眼カメラの映像のみから、オプティカルフローを用いた歩行者の移動方向推定手法を提案した。今後は、提案手法をもとに実環境での実験を行い、その有効性を検証する。具体的には、まず本手法の推定精度を定量的に評価する。その後、被験者実験を通じて、推定された歩行者移動方向を搭乗者に提示することが、実際に自動走行ストレスの軽減や迅速な状況把握の支援に繋がるかを検証する。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 研究費 JP24K17238 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, J3016_202104, SAE International, Apr. 2021. [Online]. Available: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- [2] "自動運転システムの世界市場に関する調査を実施 (2024 年) ." 株式会社矢野経済研究所. Accessed: Jul. 2025. [Online] Available: https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/3693
- [3] H. Chen, X. Zhao, Z. Li, Q. Fu and Q. Wang, "Construction and analysis of driver takeover behavior modes based on situation awareness theory," IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, Vol. 9, No.2, pp.4040-4054, 2024.
- [4] T. Sawabe, M. Kanbara and N. Hagita,, "Comfort intelligence for autonomous vehicles," 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), pp. 350-353, Jan. 2018.
- [5] S. Ota, M. Kanbara, N. Ukita, I. Kitahara, Y. Kameda, Y. Ohta, T. Ikeda, Y. Morales, K. Shinozawa, N. Hagita, "Stress of Autonomous Vehicles : Stress measurement of Autonomous Vehicles driver by physiological indices," IEICE, Vol. 114, No.369, pp.87-92, 2014.
- [6] T. Sawabe, K. Nagata, M. Kanbara, Y. Fujimoto, H. Kato, "Evaluation of dynamic objects secrecy processing methods for both automatic driving stress reduction and situational awareness ," IEICE Tech Rep, vol. 124, no. 143, CNR2024-1, pp. 1-6, Aug. 2024.
- [7] P. Czech, M. Braun and U. Kreßel, "On-board pedestrian trajectory prediction using behavioral features," IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), pp. 437-443, 2022.
- [8] Y. Kim, E. Seo, C. Noh and K. Yi, "Non-Autoregressive Transformer Based Ego-Motion Independent Pedestrian Trajectory Prediction on Egocentric View," IEEE Access, Vol.11, pp. 104554-104567, 2023.
- [9] G. Jocher, Q. Jing, A. Chaurasia. *Ultralytics YOLO*. Jan. 2023. [Online]. Available: <https://ultralytics.com>
- [10] G. Farneback, "Two-Frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion," in *Image Analysis*. Springer, Berlin Heidelberg. pp. 363-370. 2003.