

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：34315
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：21K12019
研究課題名（和文）コネクテッド自動運転車の協調認識を使用したサイクリストの安全性向上に関する研究

研究課題名（英文）Improving Cyclist Safety using Cooperative Perception of Connected and Autonomous Vehicles

研究代表者
古 艶磊（Gu, Yanlei）
立命館大学・情報理工学部・講師

研究者番号：40704838
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、協調認識手法を使用することによって、サイクリスト（自転車利用者）の意図を予測し、自動車と自転車の事故を低減することを目的とするものである。この研究は自動運転が搭載されている自動車（自車）の観点とサイクリストの観点の両方からサイクリストの安全課題を解決する。本研究は、自動車の搭載された検知システムと監視システムを利用し、サイクリストの速度・動線・姿勢、および環境の状況情報を統合することで、自車の前方で道路を横切ろうとするサイクリストの意図を予測する。さらに、搭載された検知システムの視界の限界を補うために、サイクリストの意図をサイクリストのスマートフォンから推測しようとする。

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究に提案するシステムは自動運転の開発に貢献し、私たちの社会でのサイクリストの安全課題の解決に役立つことが期待される。現在の自動運転の研究は、自動車搭載のセンサーと人工知能を信頼できる自動化技術を開発することにある。しかし、自動車の搭載されたセンサーは、検出能力あるいは検出の範囲が、気候および環境条件により物理的に妨げられたり弱められたりするという困難に直面している。したがって、協調認識の概念（例えば、インフラストラクチャー、または他の道路利用者への通信）を探索する必要がある。協調認識と人工知能は、拡張された検出範囲と高度なデータを通して効率性と安全性を改善することができる。

研究成果の概要（英文）：This research proposes to use a cooperative perception method to predict the intention of cyclists and reduce vehicle-bicycle accidents. This research addresses the cyclist safety issue from both the ego-vehicle and cyclist perspectives. The proposed systems utilize the capability of the vehicle onboard sensing system and the surveillance system, and integrate cyclists' speed, trajectory, posture, and contextual environmental information to predict the cyclists' intention to cross a road. Additionally, the intention of cyclists is estimated from their smartphones to overcome the limitations of the onboard sensing system.

研究分野：自動運転

キーワード：自動運転 センシング サイクリスト スマートフォン

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

自動運転車とは、周囲環境を検知し、人間が運転操作を行わなくとも自動で走行できる自動車である。現在、自動運転が直面する主な課題の一つとしては、人間が運転する自動車、歩行者およびサイクリストが混在する状況における運転である。交通の効率を維持しながら高度な安全性をいかに実現するかが期待される。熟練運転者は、視覚および物理的方法（例えばアイコンタクト、手を振る）で他の道路利用者とコミュニケーションを図りうまく切り抜けることができる。熟練運転者はさらに豊富な経験を持つことで、相手との距離・接近速度・動線、および周囲環境に基づき、他の道路利用者の意図を推察することができる。これにより、運転者は潜在的に危険と思われる状況に応じて自動車を制御することができる。都市部の環境において完全な自動運転車を実現するには、他の道路利用者（車両、歩行者およびサイクリスト）の意図を正確に理解して予測できるシステムを開発することが非常に重要である。

現在の自動運転の研究は、自動車搭載のセンサーに基づく自動化技術を開発することにある。しかし、自動車に搭載されたセンサーは、検出能力あるいは検出の範囲が、気候および環境条件により物理的に妨げられたり弱められたりするという困難に直面している。したがって、協調認識の概念（例えば、インフラストラクチャー、または他の道路利用者への通信）を探求する必要がある。協調認識と人工知能は、拡張された検出範囲と高度なデータを通して効率性と安全性を改善することができる。

2. 研究の目的

自転車利用者の安全性を改善することは世界中で注目を集めている課題である。日本における交通事故の死者数は減少しているが、自転車に乗っているときの死亡比率は、近年増加している[1]。死亡事故の多くは自動車対自転車の衝突によるものである。従って、自動運転技術の開発は、サイクリストの交通安全課題解決の一端を担っている。

本研究の目的は、サイクリストの意図を予測し、自動車対自転車の事故を低減するために、コネクテッド自動運転車の協調認識システムを開発することにある。本研究は、自車の観点とサイクリストの観点の両方からサイクリストの安全課題を解決することである。

3. 研究の方法

課題1は自動車の観点からの自転車利用者の安全課題に着目する。自動車と自転車との衝突を回避するために、先行研究では、自動車搭載の検知システムで観察した自転車の動線に基づきサイクリストの動きを推定することに注目していた[2]。しかし、この動線に基づく方法は短期的な交通事故のリスクを予測できるが、サイクリストの動きは速いため、危険な状況に対する制動反応の時間が不十分である。また、サイクリストの動線のみ依存すると、サイクリストが道路を横断する意図を予測できない状況が少なくない。最近の研究では、コンピュータ画像と機械学習の開発により、姿勢からサイクリストの意図を認識できるようになり、長期的な交通事故のリスク予測が提言されている[3]。また、行動分析と意図予測に対しては、歩行者の動線・姿勢情報に加えて、周囲環境の状況情報も非常に重要である[4]。しかし、これまでの研究では、状況情報は、特に日本の交通状態でサイクリストの意図を予測するには十分探求されているとは言えない。本研究は過去の研究を踏まえ、サイクリストの速度・動線・姿勢（例えばアイコンタクト、頭の回転、手を振るなどの動き）、および環境の状況情報（例えば交通信号の状態、道路レイアウトなど）を統合して自車の前方で道路を横切るサイクリストの意図を予測することを提案しようとする。

課題2ではサイクリスト側から自転車利用者の安全課題を検討する。スマートフォンは個人用コンピュータプラットフォームとして最も頻繁に使用されるものである。スマートフォンの処理能力、通信、および検知能力の向上により、スマートフォンをベースとした知的機能の開発は大変期待されている。これまでの研究では、スマートフォンの複数のセンサーから人の行動（例えば、ウォーキング、ランニング、サイクリングなど）を認識することを提案した[5]。これまで、スマートフォンの検知データからサイクリストの意図を推測する研究は非常に少ない。走行速度や加速度は、サイクリスト意図を示す重要な情報であると考えられる。そのため、本研究は、加速度計、ジャイロスコープ、カメラのデータからサイクリストの速度を推定することを提案する。スマートフォンから推定されるサイクリストの速度は、サイクリスト対自動車の通信を介して送信され、近くの車両と情報を交換することによって、潜在的な衝突状況を回避することができる。サイクリスト主体のアプローチは、自動車搭載の検知システムと比較して、視界が悪い状況における安全性を向上することができる。

4. 研究成果

(1) 姿勢推定に基づくサイクリストの横断意図の検出

道路の片側に沿って移動するとき、サイクリストは通常、道路を横断する前に後方の状況を確認するために頭を向ける。したがって、頭部を回転させる動作は、道路を横断する意図を示す重要な信号である。本研究では、ディープニューラルネットワークを使用し、車載カメラにより頭部を回転させる動作を検出する手法を提案した。研究では、まず RGB 画像からサイクリストを検出し、サイクリストの領域を抽出する。その後、各サイクリストの画像が姿勢推定ニューラルネットワークによって処理され、骨格のヒートマップ画像を生成した。その骨格のヒートマップ画像によるサイクリストの体と頭の向きを推定する。サイクリストの意図予測には、体の向きと頭の向きが併用される。実験結果は、ヒートマップ画像を使用すると、体と頭の向きの推定において最高の精度が得られることを示した。

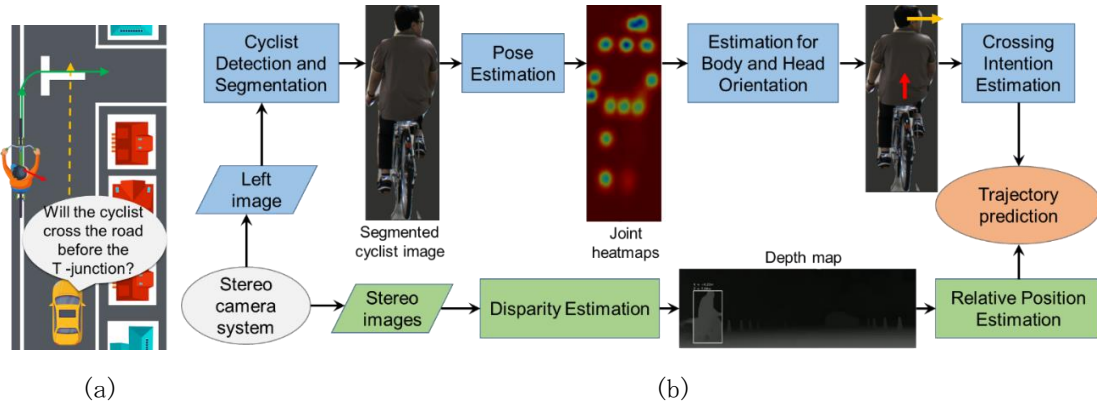


図 1. (a)サイクリストが道路を横断する前に後ろの状況を確認するために頭を回すシナリオ、(b)姿勢推定に基づくサイクリストの横断意図検出のフロー図

(2) LiDAR センサーのデータによるサイクリストの姿勢への推定

サイクリストの体や頭の向きを認識することは、自動運転においてサイクリストの動きや意図を予測するための重要な要素である。初年度の研究では、車載カメラにより頭部を回転させる動作を検出する手法を提案した。しかしながら、車載カメラによる検出するパフォーマンスは光の変化に依存し、推定結果は不安定になる可能性がある。パッシブセンサーであるカメラとは異なり、LiDAR はレーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測するアクティブセンサーである。したがって、LiDAR センサーは光の変動による影響を受けにくい。これにより、LiDAR ベースの知覚システムは、カメラのみを使用するシステムを支援することに寄与する。本研究では、サイクリストの姿勢を推定するために、2つの異なる方法を提案する。1つ目の方法は、LiDAR データをグレイ画像に変換することにより、サイクリストの方向を分類することである。二つ目の方法は、3D 点群データを使用することにより、サイクリストの方向を推定することである。実験結果は、3D 点群データベースの方法が、2D 画像ベースの方法のパフォーマンスに比べて、より優れていることが分かった。

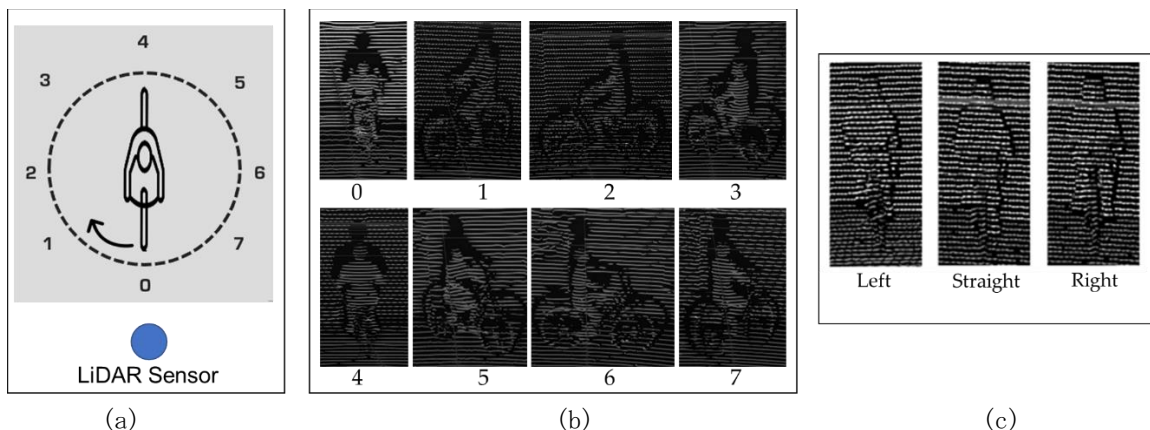


図 2. (a) (b) LiDAR データに基づく体の向き、および (c) 頭の向き

(3) 信号交差点を横断する自転車利用者の意図を推定する監視システム

交差点では、自動車とサイクリストの経路や移動時間が重なることで、自動運転車が交差点では、サイクリストの横断意図を推測することは、安全運転のために不可欠である。しかし、自動車に搭載さ

れるセンサーは、検出能力あるいは検出の範囲が、環境条件により物理的に妨げられたり弱められたりするという困難に直面している。本研究は、交差点を横断するサイクリストの横断意図を推測する監視システムを開発した。提案したシステムは、まず単眼カメラによるサイクリストを検出、追跡し、位置推定するものである。また、交通信号の状態、サイクリストの速度、位置、方向を特徴量として、サイクリストの意図（横断、停止、方向変更）を分類する。提案したシステムの予測精度は、サイクリストの意図を90%以上達成するとわかった。

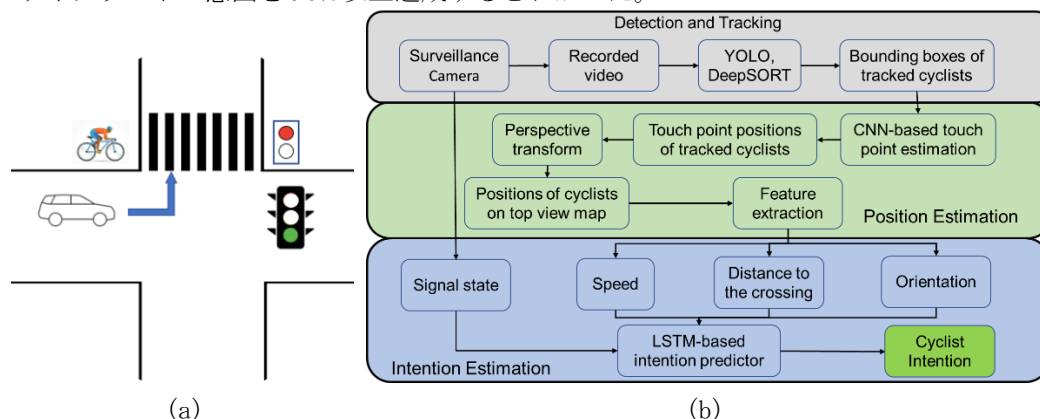


図3. (a)サイクリストが信号交差点を横断しようとするシナリオ、(b)信号交差点の監視カメラからのサイクリストの意図推定のフロー図

(4) 加速度計、ジャイロスコープ、カメラによるサイクリストへの速度推定

走行速度や加速度は、サイクリスト意図を示す重要な情報であると考えられる。しかし、自動車に搭載されるセンサーは、検出能力あるいは検出の範囲が、気候および環境条件により物理的に妨げられたり弱められたりするという困難に直面している。そのため、本研究では、サイクリストのスマートフォンのデータから、速度推定の手法を提案した。研究は、スマートフォンの加速度センサー、ジャイロスコープセンサー、およびカメラを利用することで、サイクリストの速度推定を実現した。提案した方法が従来からの方法を上回る性能を有するものであることが実証された。速度情報は、V2X(Vehicle-to-Everything)通信により、自動運転車への共有が可能であると寄与する。

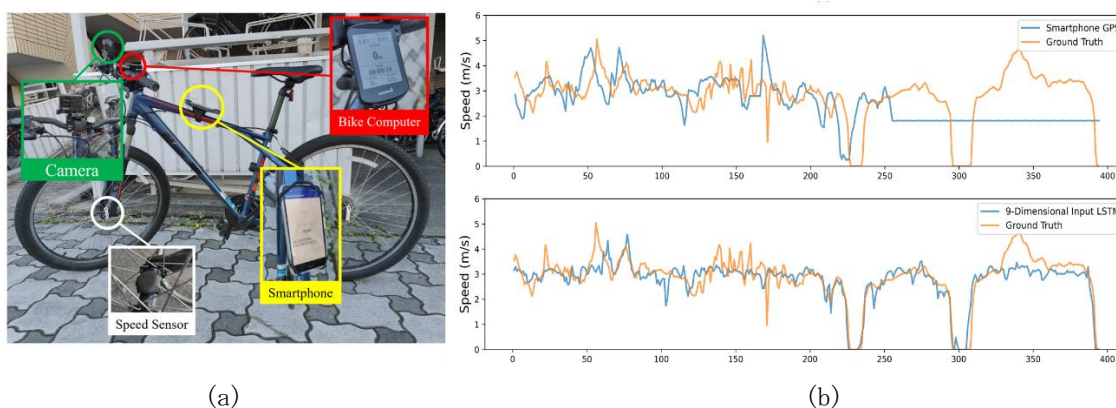


図4. (a)実験装置のセットアップ、(b)実験結果の比較

<引用文献>

- [1] 国土交通省, 自転車関連事故件数の推移, <https://www.mlit.go.jp/road/road/bicycle/pdf/001.pdf>
- [2] S. Zernetsch, S. Kohnen, M. Goldhammer, K. Doll and B. Sick, "Trajectory prediction of cyclists using a physical model and an artificial neural network," 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Gothenburg, pp. 833-838, 2016.
- [3] Z. Fang and A. M. López, "Intention Recognition of Pedestrians and Cyclists by 2D Pose Estimation," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp.1-12, 2019.
- [4] S. Neogi, M. Hoy, K. Dang, H. Yu and J. Dauwels, "Context Model for Pedestrian Intention Prediction Using Factored Latent-Dynamic Conditional Random Fields," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp.1-12, 2020.
- [5] M. A. Shafique, and E. Hato, "Use of acceleration data for transportation mode prediction," Transportation, 42(1), pp.163-188, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hyoungwon Chang, Yanlei Gu, Igor Goncharenko, Li-Ta Hsu, Chinthaka Premachandra	4. 巻 23
2. 論文標題 Cyclist Orientation Estimation Using LiDAR Data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s23063096	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Arief D. Abadi, Yanlei Gu, Igor Goncharenko, Shunsuke Kamijo	4. 巻 -
2. 論文標題 Detection of Cyclist's Crossing Intention based on Posture Estimation for Autonomous Driving	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSEN.2023.3234153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nataprawira Jason, Gu Yanlei, Goncharenko Igor, Kamijo Shunsuke	4. 巻 21
2. 論文標題 Pedestrian Detection Using Multispectral Images and a Deep Neural Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 2536 ~ 2536
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21072536	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Yanlei Gu, Yun Song, Igor Goncharenko
2. 発表標題 Cyclist Intention Estimation at Signalized Intersections Using Deep Neural Networks
3. 学会等名 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ignasius Ian Savio Gunawan, Yanlei Gu, Igor Goncharenko, Shunsuke Kamijo
2. 発表標題 Cyclist Speed Estimation Using Accelerometer, Gyroscope, and Monocular Camera
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Seokki Lee, Yanlei Gu, Igor Goncharenko, Shunsuke Kamijo
2. 発表標題 Pedestrian Orientation Estimation based on Super Resolution of LiDAR Data
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yun Song, Yanlei Gu, Igor Goncharenko
2. 発表標題 Context-based Prediction for Crossing Intentions of Cyclists at Signalized Intersections
3. 学会等名 2022 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Arief Dharmawan Abadi, Yanlei Gu, Igor Goncharenko, Shunsuke Kamijo
2. 発表標題 Detection of Cyclists' Crossing Intentions for Autonomous Vehicles
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ignasius Ian Savio Gunawan, Yanlei Gu, Igor Goncharenko, Shunsuke Kamijo
2. 発表標題 Cyclist Speed Estimation Using Accelerometer and Gyroscope in Smartphones
3. 学会等名 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yanlei Gu, Yejin Song, Igor Goncharenko, Shunsuke Kamijo
2. 発表標題 Driver Hand Activity Recognition using NIR Camera and Deep Neural Network
3. 学会等名 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>〔受賞〕(計2件)</p> <p>[1] IEEE CE East Joint Japan Chapter ICCE Young Scientist Paper Award: "Detection of Cyclists' Crossing Intentions for Autonomous Vehicles", IEEE ICCE 2022, Virtual Online Conference, 2022.</p> <p>[2] Best Paper Award in IEEE LifeTech2022: "Cyclist Speed Estimation Using Accelerometer and Gyroscope in Smartphones", IEEE LifeTech2022, 2022.</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------