

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11490

研究課題名(和文) 視覚的注意を考慮した歩行者モデルの構築

研究課題名(英文) Development of Pedestrian Model Considering Human Visual Attention

研究代表者

田村 雄介 (Tamura, Yusuke)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40515798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：人間とロボットが共存する環境においてロボットが安全かつスムーズに衝突を回避するためには、周囲の歩行者の移動を予測する必要がある。本研究では、歩行者の注意に着目し、まず、周辺他者との関係に基づいた歩行予測手法の構築を行った。さらに、歩行者の中でも特に衝突のリスクが高く、社会問題ともなっている「歩きスマホ」に焦点を絞り、ロボットに搭載されたセンサのみから得られる情報をもとにした歩きスマホ検出手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果である歩行者移動予測技術および歩きスマホ検出技術は、今後社会に普及することが期待されている自動運転車や移動ロボットが安全かつ円滑に移動するために必須の技術であると言える。特に、スマートフォンを見ながら歩行する「歩きスマホ」の危険性は既に社会的にも問題となっているが、本研究で提案している歩きスマホ検出技術は、ロボットがこのような危険な他者との衝突を回避するためだけではなく、より一般的な交通環境の安全化・円滑化にもつながると期待される。

研究成果の概要(英文)：In order for robots to avoid collisions safely and smoothly in human-robot coexisting environments, it is necessary to predict the movement of surrounding pedestrians. In this study, we focused on the attention of pedestrians and firstly developed a method for predicting pedestrian movement based on their relationship with surrounding neighbors. In addition, we focused on "smartphone zombies," who have a particularly high risk of collision among pedestrians and have become a social problem, and developed a method for detecting smartphone zombies based on information obtained only from sensors mounted on the robot.

研究分野：ロボティクス

キーワード：歩行者 歩きスマホ 歩行者移動予測 機械学習 移動ロボット

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

人間とロボットが共存する環境においては、ロボットは安全かつスムーズに衝突を回避しながら移動する必要がある。また、一般道において自動運転システムを実現するためには、他の自動車だけでなく、周囲の歩行者や自転車などとの衝突の危険を回避しなければならない。

これらの実現のためには、歩行者に代表される周囲の他移動体の移動を予測することが必要不可欠である。歩行者の移動予測のためには、これらから影響を受ける歩行者の移動をモデル化するというアプローチが有効であるが、既存の歩行者モデルには、歩行者の注意を考慮していないという問題があった。既存のモデルでは、歩行者は進行方向のある一定範囲に含まれる他者や障害物からは必ず影響を受けるという前提をおいている。しかしながら実際には、歩行者はしばしば進行方向とは別の方向を向いている。また、進行方向を向いていても、必ずしもすべての対象に注意を向けているとは限らない。ロボットや自動運転車の安全な移動を実現するためには、他者が周囲に限らず注意を向けているという前提はリスクを増大させる危険がある。

### 2. 研究の目的

歩行者の挙動は、周囲の障害物や他者に影響を受けるが、この影響の受け方は歩行者の注意に大きく依存すると考えられる。そこで本研究では、歩行者の視覚的注意を明示的に考慮した歩行者モデルの構築を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 他者からの影響を考慮した歩行者モデルの構築

歩行者の移動に与える周囲の他者からの影響を考慮するべく、歩行者間の軌道の相互作用を学習可能なデータ駆動型の歩行者モデルを構築した。提案手法では、時系列データの学習に適したモデルである Recurrent Neural Network (RNN) を双方向に拡張した Bi-directional RNN (BiRNN) および Attention Mechanism を用いて、周囲の歩行者軌道と対象歩行者の軌道の関係をモデル化した (図 1)。

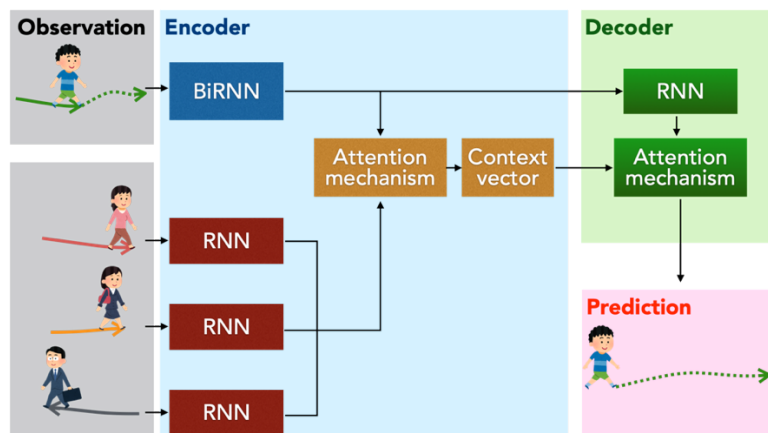


図 1：周辺他者の歩行による影響を考慮した予測モデル

#### (2) 一人称視点からの歩きスマホの検出

近年、スマートフォンを見ながら歩行 (歩きスマホ) することによる接触事故等が問題となっているが、これは歩行者の注意がスマートフォンに集中しており、周辺他者の存在や挙動への注意が疎かになっていることを意味している。このような歩行者とロボットの衝突を防ぐためには、歩きスマホのような危険歩行を検出することが重要である。そこで、ロボットの一人称視点のみによって得られるセンサ情報から、歩きスマホ (Smartphone Zombie) を検出する手法の開発を行った。

#### 3次元 LiDAR を用いた歩きスマホの検出

まず、特に屋外環境における移動ロボットからの歩きスマホ検出を目指し、ロボットに搭載された 3次元 LiDAR から得られる点群情報をもとに歩きスマホを検出する手法を構築した。

点群データのセグメンテーションを行い、歩行者に関するデータを切り出す。その後、歩行者の点群形状について、歩行者のトラッキングによる進行方向の情報を考慮して座標変換を施し、2次元ヒストグラム特徴を抽出する (図 2)。この特徴量を用いて Support Vector Machine によって、歩きスマホをしている歩行者を検出する。

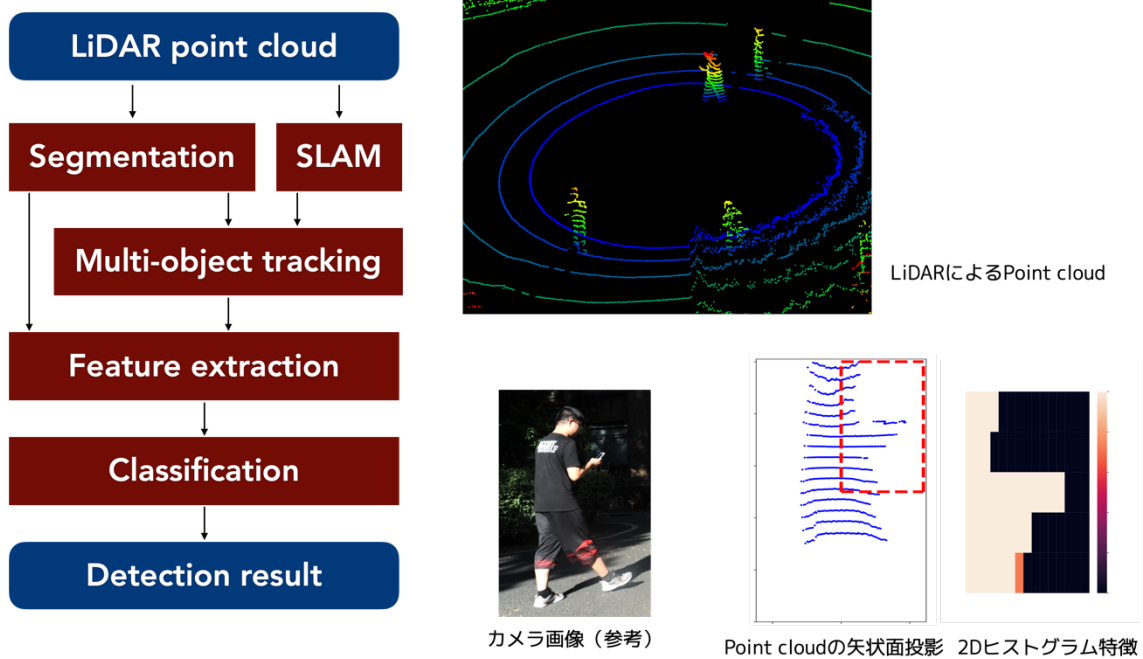


図2：3次元LiDARによる点群情報からの歩きスマホ検出

実環境での歩行者のデータを利用することが必要であるため、鉄道駅構内及び大学キャンパス内に一人称視点のカメラ及びLiDARを設置して、歩行者の計測を行い、データセットを構築した。

#### 単眼カメラ映像を用いた歩きスマホの検出

次に、特に屋内等を移動するロボットが比較的低コストで歩きスマホ検出を行うために、単眼カメラ映像のみを用いた検出手法を構築した。提案手法は、カメラ映像からの人物姿勢検出手法をベースとし、検出された人物について、まず不確実性を考慮した移動軌跡の予測を行うことにより、ロボットと衝突する可能性があるかどうかを判別する。その後、衝突のリスクがある歩行者について、腕の姿勢推定および手先周辺画像の取得を行う(図3)。



図3：単眼カメラ画像からの歩きスマホ検出

その後、手先周辺画像について、HOG特徴量を用いたSupport Vector Machineによってスマートフォンを所持しているかどうかを判別し、腕姿勢推定の結果と合わせることで、歩きスマホかどうかを判定する。ここでは、歩きスマホをしている人の観察に基づき、腕姿勢については、肘より手首が高い位置にあるという条件を用いることにした。

## 4. 研究成果

### (1) 他者からの影響を考慮した歩行者モデル

提案手法の有用性を検証するため、複数の公開データセットを用いて、歩行軌道予測の精度を評価した。3.2秒間の観測データをもとに、その後の4.8秒の軌道を予測し、その結果を、Average Displacement Error (ADE)及びFinal Displacement Error (FDE)を用いて評価した。

その結果、全てのデータセットについて、従来研究と同程度以上の予測精度を示すことができた(文献①②)。なお、この成果(文献①)を発表した筆頭著者学生が、計測自動制御学会システムインテグレーション部門若手奨励賞を受賞した。

## (2) 一人称視点からの歩きスマホの検出

### 3次元 LiDAR を用いた歩きスマホの検出

提案手法の評価は、固定した LiDAR から得られたデータによるオフライン評価と、移動ロボットに搭載した LiDAR によるオンライン走行テストによって行った。

オフライン評価においては、固定 LiDAR によって実環境で取得したデータをもとに学習・評価を行った。その結果、従来の主成分分析による特徴量抽出を行う方法に比べて、歩行者トラッキングの結果を利用した提案手法は F1 スコアで約 2 倍程度のパフォーマンスを得た(文献③)。

また、同様のセットアップを移動ロボット上に実装し、大学キャンパス内を走行させながら周辺歩行者の計測を行い、オンラインで歩きスマホを検出できることを確認した。

### 単眼カメラ映像を用いた歩きスマホの検出

固定した単眼 RGB カメラを用い、カメラの方向に向かってくる歩行者の映像に対して、各フレームごとに歩きスマホ判定を行った。その結果、歩きスマホではない通常歩行については 100% 通常歩行と判定することができた。一方、歩きスマホをしているデータについては、84% のフレームについて、歩きスマホと判定することができた。歩きスマホと判定されなかった主な要因は、腕姿勢推定結果を用いた判定基準によるものであった。

今後は、(2)で提案した歩きスマホ検出手法を移動ロボットに実装し、これと(1)の歩行者モデルを統合・拡張することによって、歩きスマホ等の周辺への注意が疎かになっている歩行者の移動予測手法の構築に取り組む予定である。

#### <引用文献>

① 呉家旭, Hanwool Woo, 田村雄介, Alessandro Moro, Stefano Massaroli, 山下淳, 浅間一, “BiRNN を用いたアテンションモデルによる歩行者軌道予測”, 第 24 回ロボティクスシンポジウム講演論文集, pp.65-68, 2019.

② Jiayu Wu, Hanwool Woo, Yusuke Tamura, Alessandro Moro, Stefano Massaroli, Atsushi Yamashita, Hajime Asama, “Pedestrian Trajectory Prediction Using BiRNN Encoder-Decoder Framework,” Advanced Robotics, Vol.33, No.18, pp.956-969, 2019.

③ Jiayu Wu, Yusuke Tamura, Yusheng Wang, Hanwool Woo, Alessandro Moro, Atsushi Yamashita, Hajime Asama, “Smartphone Zombie Detection from LiDAR Point Cloud for Mobile Robot Safety,” IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.5, No.2, pp.2256-2263, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wu Jiayu, Woo Hanwool, Tamura Yusuke, Moro Alessandro, Massaroli Stefano, Yamashita Atsushi, Asama Hajime	4. 巻 33
2. 論文標題 Pedestrian trajectory prediction using BiRNN encoder-decoder framework	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 956 ~ 969
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/01691864.2019.1635910	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 Wu Jiayu, Tamura Yusuke, Wang Yusheng, Woo Hanwool, Moro Alessandro, Yamashita Atsushi, Asama Hajime	4. 巻 5
2. 論文標題 Smartphone Zombie Detection From LiDAR Point Cloud for Mobile Robot Safety	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 2256 ~ 2263
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2020.2970570	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岡本章良, 田村雄介, 平田泰久
2. 発表標題 パーソナルモビリティの操作支援における負担軽減と効率性の両立
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 呉家旭, Hanwool Woo, 田村雄介, Alessandro Moro, Stefano Massaroli, 山下淳, 浅間一
2. 発表標題 BiRNNを用いたアテンションモデルによる歩行者軌道予測
3. 学会等名 第24回ロボティクスシンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

人間と移動ロボットの共存  
<http://tamlab.jp/research/pedestrian>

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
研究協力者	呉 家旭 (Wu Jiaxu)		
研究協力者	禹 ハンウル (Woo Hanwool)		
研究協力者	川住 歩弥 (Kawasumi Ayumi)		

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
---------	---------