

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04639

研究課題名(和文) 集団歩行者の確率的行動予測モデルに基づく危険度評価

研究課題名(英文) Risk Estimation of Group Pedestrians based on Stochastic Behavior Model

研究代表者

高梨 宏之 (TAKANASHI, Hiroyuki)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：30398333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、数秒先の歩行者位置を確率的に予測可能なモデルを構築することである。今以上の歩行者保護を考えると、個々の歩行者に着目した行動分析が必要である。特に、歩行経路前方の障害物を回避するために、歩行者が車道側にはみ出す場面では、車両との接触危険度が高まる。本研究では、単独歩行者と複数歩行者の障害物回避場面を想定し、その歩行行動を確率的にモデル化することで、歩行者の歩行経路を予測する。さらに、複数歩行者の中から「危険」と考えられる歩行者を特定し、その危険度を定量的に評価する。複数歩行者の行動を定量的に予測することで、自車両の最適経路を計画する場面等にも活用できると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、運転支援システムの性能向上に寄与する。運転支援や自動運転においては、自車周辺の物体認識が重要であり、歩行者や自転車の行動を適切に捉え、より安全に接触を避けることが大切である。そのため、周辺歩行者を捉えた段階でその歩行者の行動を予測することで、接触しないような経路や速度選択を行うことが期待できる。また、将来的に人とロボットが共存する社会においては、ロボットが人と接触しない、あるいは適切な速度や距離を保って接近する場面が多々考えられる。そのような場面でも、人や障害物の動きを予測することが重要である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to build a model that can predict the position of pedestrians in the next few seconds probabilistically. In order to protect pedestrians, it is necessary to analyze the behavior of individual pedestrians. In particular, the risk of contact with a vehicle increases when a pedestrian moves out of the way to avoid an obstacle in front of the walking path. In this study, we predict the walking path of a pedestrian by assuming the walking situations of a single pedestrian and group pedestrians, and modeling their walking behavior probabilistically. In addition, we identify pedestrians who are considered dangerous from among group pedestrians, and quantitatively evaluate the degree of risk. By quantitatively predicting the behavior of group pedestrians, the prediction can be used to plan the optimal route for a vehicle.

研究分野：制御工学

キーワード：確率的予測 予防安全 歩行者 危険度指標

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

運転支援システムや自動運転車両の開発が急速に進んでいる。将来的には多くの車両が自動運転になると考えられるが、その過渡期には非搭載車両と混在する。また、歩行者や自転車の保護は、現在も将来的にも重要な課題である。現在の運転支援システム搭載車では、前方の歩行者・自転車を移動体として捉え、オプティカルフローなどの画像処理技術で検出・追従することが基本的な考え方であり、自動車主体の予防安全技術であると考えられる。

歩行者の移動に着目した研究では、都市計画などで人の流れをシミュレーションすることが行われている。駅構内やショッピングセンターの設計などに利用されている。これらはマクロな視点で集団の流れに着目したものである。

しかしながら、個々の交通シーンを考えると、ミクロな視点で車両から歩行者や自転車を捉え、安全対策を施すことが必要と考えられる。特に、車道と歩道が区別されていない生活道路や、車道と歩道の境界にガードレールなどの物理的な仕切りが存在していない道路環境において、歩行者とのすれ違いや歩行者の追い越し場面では、歩行者行動をより確実に捉える必要がある。さらに、歩行領域に駐車車両などの障害物が存在している場合には、歩行者は車道側にはみ出してその障害物を回避することとなる。そのような場面で、歩行者が車両の接近に気づいていない場合、衝突の危険度が一層高くなる。

車両や移動ロボットの最適経路計画法として、ポテンシャル法が提案されている。車両や移動ロボットは、周辺のものに接触しないように移動することが目的であり、周辺の静止物や移動物体との距離に応じて接触危険度をポテンシャルで表現している。現在地と目的地までの移動経路を、ポテンシャルが最も低い領域に基づいて最適経路を計画する方法である。この場合、周辺物体との距離はセンサで計測し、目的地を設定しておくことが必要となる。工場内の移動ロボットの場合には、決まった経路を移動するものであれば目的地の設定は容易であるが、車両の場合には難易度が高まる。周辺の物体（特に移動体）の位置によって、ポテンシャルが時々刻々変化することは容易に想像できる。また、ポテンシャルを計算する領域を決定する問題も残る。

以上のことより、歩行者行動を確率的に表現可能なモデルを構築した上で、障害物の位置や大きさ等も踏まえたモデルに基づいて歩行者位置を予測することが、一層の歩行者保護を簡潔に実現するための一つの手段になると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は、数秒先の歩行者位置を確率的に予測可能なモデルを構築することを目的とする。そのため、歩行者の経路を予測することを考える。ここでは、人の歩行を自然に再現するように、確率的なモデルで表現することを特徴とする。

この目的を達成するために、歩行者の障害物回避行動を実測し、実データに基づくモデル構築を行う。さらに、歩行者を個別の確率的な移動体として扱うこととあわせて、集団の中から危険な歩行者を判別することに挑戦する。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の点を明らかにすることを目指す。

- 障害物との位置関係を考慮して、一人の歩行者行動を表現する確率的モデルを構築する。その上で、車載センサから捉えた歩行者とモデルによって予測した軌跡の一致精度を実験によって検証する。
- 静止障害物の大きさに応じた回避行動の解析および移動障害物（対向する歩行者など）に対する歩行行動をモデル化し、前項で構築したモデルの精度を改善する。
- 複数の歩行者が路肩を歩行している状況下で、ヒヤリハットデータベースから「危険な歩行者行動」を抽出し、いくつかの特徴的なパターンに分類することで、危険な歩行者の判別を実現する。

まず、歩行者行動の計測を実施する。大きさが異なる障害物を単独歩行者が回避する場面、障害物が移動体である場面、複数歩行者が存在する場面を想定し、それぞれの実軌跡を計測する。その上で、障害物の大きさや障害物の動きを考慮したモデル構築に取り組む。

つぎに、複数歩行者の中から危険な歩行者を判別する方法に取り組む。ヒヤリハットデータベースから該場面を抽出し、複数歩行者行動をパターンに分類することに取り組む。該当するデータがヒヤリハットデータベース内に無い場合、あるいは少ない場合、学内において歩行シーンを実測するなどの対応を検討する。なお、ヒヤリハットデータベースを用いた分析等については、研究期間を通して継続する予定である。

以上から、車道側に出る可能性が高い歩行者を特定し、歩行者行動および歩行者感の相互作用を表現するモデルを構築することで、より高精度な予防安全システム開発が期待できる。

### 4. 研究成果

移動障害物（移動歩行者や移動自転車）に対する、障害物速度と障害物との距離の関係を図1に示す。移動歩行者に対する関係と移動自転車に対する関係から、速度と距離の関係を以下のよ

うに近似した。

$$D_p = 3.11V_{obs} + 1.81$$

$$D_b = 1.12V_{obs} + 7.34$$

このとき、速度の係数(3.11 および 1.12)は時間の次元を有するものであり、歩行者が障害物を回避開始する時間と考えられる。つまり、障害物の速度に応じて回避行動を開始している。また、回避行動時の進行方向との角度変化については、障害物に対して左右のいずれに回避しても同程度の角度変化であることが明らかとなった。

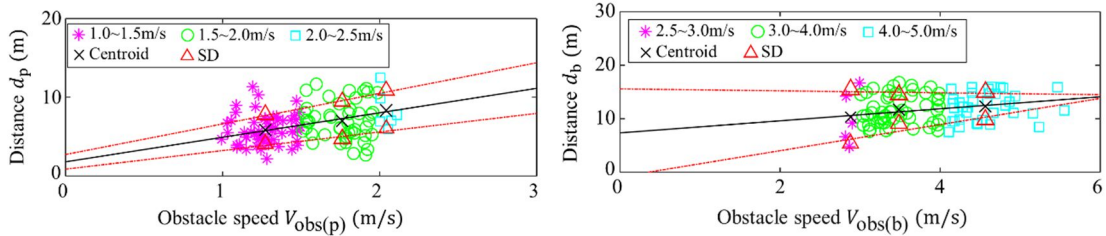


図1：歩行者が回避を開始する時点での移動障害物速度と距離の関係

集団歩行者を形状として捉えることで、歩行者の行動パターン分類を行った。比較した形状は、四角形、円形、三角形とした。なお、三角形は3人での歩行の場合のみとした。ここでは、結果の一部を示す。

集団歩行者を円形で捉えた場合、直径が1.0~1.5mとなるケースが多く、一回の歩行における面積変化がほとんど見られなかった。つまり、歩道の幅(1.5m程度)を保ったままの状態障害物を回避していると考えられる。四角形で捉えた場合、歩行者の位置関係の変化が形状変化に直接現れる。特に、障害物を通過する際には縦長の位置関係になることが多く、歩行途中での歩行者位置関係を明確に捉えることができる。三角形で捉えた場合には、四角形と同様に、位置関係変化を明確に捉えることができる。

図2に複数回の歩行軌跡での形状別面積変化を示す。いくつかの軌跡を除いて、いずれの軌跡でも、軌跡ごとの平均面積に大きな違いは見られない。なお、他の形状でのさらなる検討も必要である。

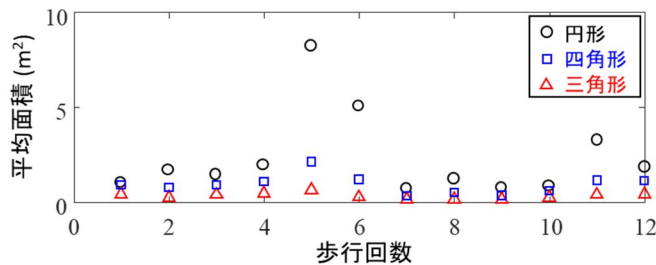


図2：形状ごとの面積変化の比較(3人歩行の場合)

集団歩行者の個別の行動を捉えるため、個々の歩行者行動をシミュレーションによって検討した。障害物回避実験で計測した軌跡から読み取ったパラメータ(回避行動開始位置、障害物との距離など)をカーネル分布で近似し、シミュレーションで利用した。また、歩行者同士が接触しないように、いくつかの歩行者間力を設定した。図3にシミュレーション結果の一例を示す。

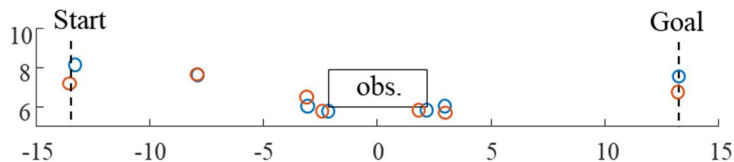


図3：歩行者間力を考慮した複数人歩行のシミュレーション例

各歩行者の速度・進行方向などに対して、  
時々刻々ペナルティを付与  
⇒ ペナルティが高い歩行者ほど、接触の可能性大

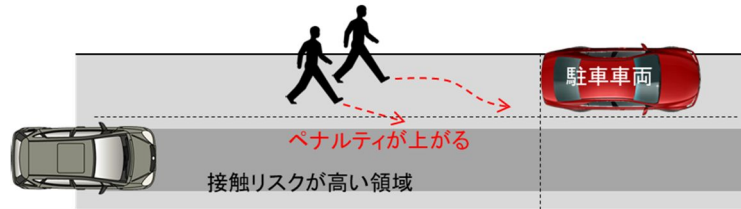


図 4：集団歩行者の危険度評価の考え方

危険度評価の考え方を図 4 に示す。各歩行者の歩行位置や進行方向に対して、時々刻々ペナルティを与え、ペナルティが高い歩行者ほど、後方から接近する車両と接触の可能性が高いという評価を行う。特に、接近する車両の走行領域上に接近するほどペナルティは大きくなる。一方、車道から離れていく場合にはペナルティは減少するようにしておく。

個々の歩行者の動き、シミュレーションによって検討した。実測データに基づいて抽出したパラメータおよび歩行者間力を考慮することで、複数歩行者の行動を捉えることができたが、集団歩行者全体としての危険度評価には、さらなるシミュレーションおよび実験データの収集が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hiroyuki Saito, Hiroyuki. Takanashi
2. 発表標題 Simulation Study of Group Pedestrians Behavior in case of Static Obstacle Avoidance
3. 学会等名 FAST-zero'21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高梨宏之, 笠原千聡, 齊藤博之
2. 発表標題 歩行者間の相互干渉を考慮した路肩障害物回避シミュレーション
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 Hiroyuki Takanashi, Isamu Mura, Tetsushi Mimuro
2. 発表標題 Features of Car to Bicycle Near-miss Incidents at Intersections
3. 学会等名 AVEC2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高梨宏之, 佐藤淳紀, 道辻洋平, 小竹元基, ボンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 林隆三
2. 発表標題 障害物との相対距離を考慮した歩行軌跡の確率的予測
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2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高梨宏之, 唐嘉序
2. 発表標題 自転車の走行状態評価に関する検討
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2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高梨宏之, 千葉敦司
2. 発表標題 路肩障害物回避における自転車行動のモデル化
3. 学会等名 第65回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Takanashi, Takahisa Kawai, Takahiro Tamura, Nanami Ota
2. 発表標題 Prediction of Pedestrian's Walking Route for Moving Obstacles
3. 学会等名 FAST-zero'19 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高梨宏之, 飯塚大貴
2. 発表標題 自転車の障害物回避行動計測とモデル化
3. 学会等名 電気学会制御研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高梨宏之, 湯川智英, 矢内裕太, 関根孝之, 大橋宏
2. 発表標題 自転車用走行ログ記録装置
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2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高梨宏之, 岡田和大, 稲葉緑, 臼井清文, 永安克志, 永井利明, 岡田有策, 下枝貞彦, 梶原祐輔, 喜岡恵子, 宮嶋勝春, 橋本光紀, 五百旗頭肇, 高木元也, 今村伊知郎, 作田博, 山中仁寛, 市川紀充, 氏田博士, 舟橋智広 (他36名)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 668
3. 書名 ヒューマンエラーの発生要因と削減・再発防止策 教育・訓練法 / 管理体制, 組織風土改革 / 対策事例	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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