

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330303

研究課題名(和文)危険行動の誘因推定に基づく潜在的危険箇所の抽出：状況判断改善支援への展開

研究課題名(英文)Extraction of Potentially Hazardous Situations based on Inducement of Risky Behavior: Development of Decision Support System for Assessment of the Situation

研究代表者

荒井 幸代 (ARAI, Sachiyo)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10372575

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：自転車事故のうち都市部で深刻な対自動車の潜在的な危険を抽出するためのシステムを構築した。ホンダ技研の自転車シミュレータを用いて多様な被験者の走行データ(ハンドル、ブレーキ操作、速度、加速度)を収集、パターン分類し、「走行過程を説明するベイジャンネットワーク」モデルを構築した。このモデルをマルチエージェント交通シミュレータ上に実装し様々な状況の疑似走行を可能にした。

現状では「追越し、信号の変わり際、右折時」など自明な状況の抽出に留まるが、その前後の走行者の速度制御、視界、ブレーキの利用有無など走行パターンが併せて抽出できる点で今後の危険運転回避教育や、自動運転の設計上への貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)： In recent years, traffic accident of bicycle against vehicle accounts for more than 85 percent of the whole accidents. For such occasions, it is important to specify where and why accident will be happened. However, in the present circumstances, it depends on the experience without utilizing evidential data of driver's operation.

Therefore, our study firstly analyzed logging data of human's which were collected by using a bicycle simulator made by Honda Motor Co., Ltd., and classified them into some typical patterns. Secondly, using these patterns, we construct the Bayesian network to represent cause-and-effect of accident to implement into the multiagent simulator MATES, which can realize a mixed traffic flow, and reproduce the bicycle-caused accident scenarios. The main contribution of this study is that our constructed system can detect the unexpected accident pattern and find the causal relation via observing long period of their operation, before and after the accident.

研究分野：マルチエージェントシステム、強化学習、逆解析

キーワード：マルチエージェントシミュレーション 意思決定 強化学習 認知モデル パターン分類 ベイジャンネットワーク

1. 研究開始当初の背景

環境問題、災害時の可用性の高さから自転車の普及は益々進む様相を呈する一方、自転車が原因の交通事故の割合が増加している状況である。それまでの事故対策は、自動車を含む車輛運転教育が主な方法で、典型的な危険シーンを導入したシミュレータが利用されていた。しかし、日本の道路交通事情、自転車利用者の高齢化を鑑みると、想定可能なシーン以外の危険状態が潜在している可能性は高く、そこで、道路対策、教育の両面に対して、運転者の認知構造と操作エラーの関係に基づいた潜在的危険を抽出する要請が大きい状況であった。

2. 研究の目的

- (1) 自転車の危険な運転の誘因を、走行中の操作履歴データから推定すること。
- (2) 「事故につながる危険な状態と、そこでの被験者の行動を」操作履歴からルールとして抽出する方法を確立すること。
- (3) 抽出された行動ルールを用いたマルチエージェントシミュレーションによって、起こりうる危険場面を創発し、(1)や(2)で得られる定量的評価に基づいた交通標識の配置や、注意喚起のタイミング、また高齢者向けの代替走行(自動化)が必要な場面に関する知見の集積。

以上の3つを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の目的実現に向けて、図1に示す研究者チームを作り、それぞれの専門性に応じて役割を分担した。

研究計画は以下の3ステップから構成した。ステップ1およびステップ2は、相互に洗練化を繰り返すサイクルとし、ステップ3の精度を高めた。また、本シミュレーション環境に不可欠である「道路の構造(ハード面)」と「混合交通流の特徴(ソフト面)」を反映する必要がある。前者は丸山、後者は鈴木が担当し、インフラと自動車/人の両側面から、自転車走行における危険箇所の抽出を実施した。

- (1) [ステップ1]: 自転車シミュレータによって収集した被験者の行動履歴から、危険運転の要因となる誘因(報酬関数)を推定するための逆強化学習アルゴリズムの適用と改善。
- (2) [ステップ2]: ステップ1で推定した誘因を報酬として強化学習を適用し、得られる方策によって生成される操作系列と操作履歴とを照合する。差異が大きければステップ1に戻り、一致していればステップ3に進む。
- (3) [ステップ3]: ステップ2で得られた方策を持つエージェントによるマルチエー

ジェントシミュレーション]を実施し、潜在的に危険な状態と行動の検出および、知識の形式化とその共有方法を検討する。

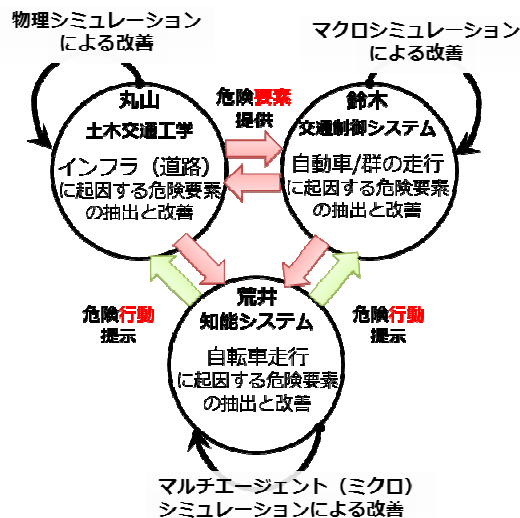


図1 研究方法と役割分担

4. 研究成果

- (1) 自転車シミュレータによるデータ収集
自転車走行データの収集は、本田技研工業(株)の教育用自転車シミュレータ[3]を用いた。自転車シミュレータは被験者の操作を反映する自転車と、周囲の状況を確認するために前後左右に設置した4つのモニタによって構成されている。このシミュレータでは日常的に経験する商店街や通学路などを再現した映像を見ながら被験者は自転車を操作し、各時刻、状況におけるスピード、ブレーキ、ハンドル角などのデータを収集することができる。

①実験方法:

被験者は10代から30代の男女24人である。はじめに、被験者にシミュレータでの走行に慣れてもらうため、4つのコースのうち、“学校へ行くコース”(コース1)の「やさしい」レベルを用いて2回の走行練習を行う。練習後、4つのコースの「むずかしい」レベルを走行してもらう。1つのコースを終了するごとに走行軌跡を再生し被験者に見せて、被験者が各場面で認識していた対象物、認識していなかった対象物に対する聞き取りと、実際にとった運転操作の理由の聞き取りを行う。また、各時刻の被験者の状況を表すデータとして、シミュレータの映像と被験者の操作を同時に録画する。

②実験結果

本実験では24人中22人が事故に遭遇し、のべ56件の事故が発生した。実験中に発生した事故は、自動車や歩行者と

の接触事故が多く、壁等に衝突する対物事故は3件であった。事故が発生した場所は20箇所あった。

③ 走行データの処理

走行データは、シミュレータによって記録される時系列データと被験者の行動を記録した映像データからなる。

●時系列データは、0:03秒ごとに被験者の時刻 t 、座標 (X, Y) 、舵角 h 、前後ブレーキ、速度 v がそれぞれ詳細に記録されている。

●映像データは、被験者ごとに実験開始から終了までのメインモニタと被験者操作の映像を撮影したデータである。このデータから被験者の各操作に対応した昼夜、障害物、信号などの周囲の状況に関する情報を入手した。

(2) 状態遷移図の作成

① 状態の離散化

被験者の各状態 s を属性ベクトル $x=(v, \Delta v, h, \theta, \text{day}, \text{obstacle}, \text{signal})$ で表す。ここで v は速さ、 Δv は加速度、 h はハンドル角、 θ を進行方向に対する向き、 day は昼か夜かを表す。このうち、走行者に依存する属性である $v, \Delta v, h, \theta$ の4つを時系列データから離散化し、 $\text{day}, \text{obstacle}, \text{signal}$ の3つを映像データを用いて離散化する。 $\text{obstacle}, \text{signal}$ の抽出法は被験者の認識(視界)として実験者が映像データから推定する。 obstacle は自動車、歩行者、ゴミ箱や街路樹等の障害物のことを示す。

② 安全走行者と危険走行者の定義

自転車シミュレータ実験を通して事故を起こした回数が3回以下の被験者を「安全走行者」と呼ぶ。一方、事故を起こした回数が4回以上の被験者を「危険走行者」と呼ぶ。全被験者24人のうち安全走行者は16人、危険走行者は8人であった。安全走行者のうち無事故だった被験者は2人、危険走行者のうち事故回数が最大の被験者は9回の事故を起こしている。

(3) マルチエージェント交通シミュレータ MATES への実装

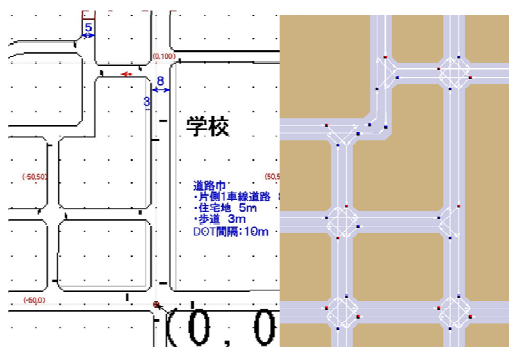


図2 HONDA自転車地図のMATES上の再現

MATES は自動車をエージェントとするマイクロシミュレータである。既存のMATESにおいて自動車は、自転車を避けるルールが実装されており、対自動車事故は起こりえない設定になっているため、この点を改善する実装をおこなった。

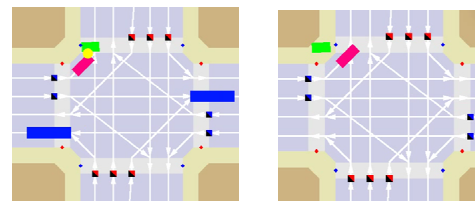
(4) モデルの妥当性検証

自転車モデルが自転車と同じ挙動を再現していることを確認する。HONDA自転車シミュレータのコース1における被験者の軌跡とそれを再現した環境での軌跡を示す。図2左にHONDAシミュレータ内の地図を、図2右に再現したMATESの環境を示す。また、被験者の走行軌跡とMATES上のエージェントの軌跡が一致していることも確認した。

(5) 事故の再現

図3は交差点内部のシミュレーションの一例である。左上(緑)の長方形が自転車、黒丸は通過点を示しており、現在、交差点の信号の手前に位置していることを示す。交差点を横断する際は対岸の通過点を目指す状況で、図3左は事故発生した場合、右は事故を回避した場合である。

自動車との混合交通流における事故の再現



交差点内で事故発生 同様の状況で回避判断の違いによる事故

図3 判断エラーによる事故の抽出

(6) まとめと今後の課題

モデルは認知、判断、操作の運転操作に関する3つのフェーズを持ち、それぞれ認知エラー、判断エラー、操作エラーを再現することを可能にした。自転車走行データを収集し、被験者の特徴をそれぞれのエージェントに反映させることによって、従来検出が難しかった「判断の相違」を確認することができた。

また、加速度だけの一次的な動きだけでなく、ハンドルを用いた二次元的な動きを再現可能なモデルであったが、自動車の存在に対して、被験者のハンドル操作が少なかったため、今回のデータからは、顕著な二次元的な動作を表現することはできなかった。

今後の課題は、様々な状況での自転車走行シミュレーションの実施である。対自動車だけでなく、歩車自転車混合交通における危険を抽出しなければならない。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① 石川 翔太, 荒井 幸代, 先行車情報の共有が自然渋滞に与える影響の解析 -Nagel-Schreckenberg Model の一般化-, 人工知能学会論文誌, 査読有, Vol. 31-2-D, 2016, pp.1-8
DOI: <http://doi.org/10.1527/tjsai.D-F32>
- ② 榊想 太郎, 丸山 喜久, ドライビングシミュレータ実験による津波避難のためのハザードマップ利用の有効性の検討, 日本地震工学会論文集, 査読無, Vol.16-1, 2016, pp.274—284
DOI: なし,
URL: <http://ci.nii.ac.jp/naid/130005123720>
- ③ H.Suzuki, T. Nakatsuji, Dynamic estimation of headway distance in vehicle platoon system under unexpected car-following situation, Transportation Research Procedia, 査読有, Vol. 6C, 2015, pp.172—188
DOI: <http://10.1016/j.trpro.2015.03.014>
- ④ 許 海遅, 荒井 幸代, 行動干渉状態の検出によるマルチエージェント強化学習法の改善, 電気学会論文誌 C 門, 査読有, Vol. 134, 2014, pp.1310—1317
DOI: 10.1541/ieejieiss.134.1310
- ⑤ 許 海遅, 荒井 幸代, 学習ペースカーによるメタ安定相への遷移の実現, 電気学会論文誌 C 門, 査読有, Vol. 133, 2013, pp.1709—1716
DOI: 10.1541/ieejieiss.133.1709
- ⑥ 田中 健太, 丸茂 喜高, 鈴木 宏典, 先々行車の挙動を考慮した評価指標の呈示が運転行動に及ぼす影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 査読有, Vol. 15, 2013, pp.21--29
DOI: なし
URL: <http://ci.nii.ac.jp/naid/40019885885>

[学会発表] (計 16 件)

- ① 栃木 祐太郎, 荒井 幸代, 混合交通のシミュレーション実現に向けた自転車走行モデルの構築, 情報処理学会, 2016年03月10日~2016年03月12日, 慶應義塾大学(神奈川県横浜市)
- ② 馬場 章弘, 鈴木 宏典, 丸茂 喜高, ショックウェーブ理論に基づいた信号交差点における無停止通過支援システムの提案とその有効性の検証, 自動車技術会関東支部学術研究講演会, 2016年03月09日, 東京都市大学(東京都世田谷区)
- ③ 一ノ瀬 良奈, 丸山 喜久, 永田 茂, スマートフォンの位置情報を用いた歩道利用状況の把握, 土木学会, 2016年01月07日, 土木学会講堂(東京都新宿区)
- ④ 石川 翔太, 荒井 幸代, 車車間通信の局

所的情報による運転戦略の学習, 人工知能学会, 2015年05月30日~2015年06月02日, はこだて未来大学(北海道函館市)

- ⑤ 栃木 祐太郎, 荒井 幸代, 自転車事故多発者の走行特性と潜在的危険状況の特定人工知能学会, 2015年05月30日~2015年06月02日, はこだて未来大学(北海道函館市)
- ⑥ 石川 翔太, 荒井 幸代, ボトルネックを含む交通ネットワークの要制御状態抽出法, 人工知能学会, 情報処理学会, ソフトウェア科学会共催, 2014年10月27日~2014年10月29日, ANA ホリデイ・イン リゾート 宮崎(宮崎県宮崎市)
- ⑦ Yuki Habuka, Yoshihisa Maruyama, Ken'ichi Kouchi, Estimation of traffic situation after the 2011 Great East Japan earthquake based on probe-car data and vehicle information and communication system, 5th Asia Conference on Earthquake Engineering, 2014年10月16日~2014年10月18日, Taipei (Taiwan)
- ⑧ H. Suzuki, A. Tanaka, Y. Marumo, T. Nakano, Driver Assistant System to Anticipate Pre-Preceding Vehicle and Its Effect on Traffic Flow, 12th International Symposium on Advanced Vehicle Control, 2014年09月25日, Tokyo (Japan)
- ⑨ 栃木 祐太郎, 荒井 幸代, 自転車走行データからの潜在的危険運転の抽出法, 電気学会, 2014年03月10日~2014年03月10日, 千葉大学(千葉県千葉市)
- ⑩ 上原 康平, 丸山 喜久, 曝露交通量を用いた道路ネットワークの脆弱性評価に向けた検討, 土木学会, 2013年12月06日~2013年12月06日, 土木学会講堂(東京都新宿区)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒井 幸代 (ARAI, Sachiyo)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 1 0 3 7 2 5 7 5

(2) 研究分担者

鈴木 宏典 (SUZUKI, Hironori)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号: 2 0 4 2 6 2 5 8

丸山 喜久 (MARUYAMA, Yoshihisa)
千葉大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 7 0 3 9 7 0 2 4