

令和 4 年 5 月 13 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04926

研究課題名（和文）多重追突事故防止型自動運転技術の開発：先行車の減速意図予測に基づく車群安全の実現

研究課題名（英文）Development of Autonomous Driving Techniques for Prevention of Multiple Rear-End Collision: Vehicle Platoon Safety by Intent Inference of Driver's Deceleration Behaviour

研究代表者

鈴木 宏典 (SUZUKI, HIRONORI)

日本工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：20426258

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）：本研究では、多重追突事故防止を念頭に置き、新しい車群制御技術の効果を検証した。先行車の減速意図の予測技術を確立すること、後続車の早期減速を促す運転支援/自動運転技術を提案すること、多重追突事故を防止する車群制御技術を提案することを目的とした。数理モデリングと数値計算の結果、アンセンティッドカルマンフィルタとニューラルネットワークモデルとの融合により、数秒先の減速意図を高い精度で予測することに成功した。また、可視化されたショックウェーブを活用し、単純な制御でもショックウェーブの逆伝播の抑制と車群安定化に対する高い効果を確認し、多重追突事故防止への貢献が期待される成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高速道路など高密度・高速度で走行する車群内での多重追突事故の被害は著しいことから、追突事故の抑制は社会安全上の喫緊の課題である。この研究の遂行により、学術的には、数理モデリングの融合により車群を安全化・安定化する技術の開発に成功し、この成果は、死亡事故に至るようなリスクの高い交通事故の低減に寄与する可能性があるという点において、その社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：This research aims to propose a new vehicle platoon control technology with the prevention of multiple rear-end collisions and to verify its effectiveness. The objectives were to establish a technique for predicting the deceleration intention of the vehicle ahead, to propose a driving assistance or autonomous driving technique to encourage early deceleration of the vehicle behind, and to propose a vehicle platoon control technique to prevent multiple rear-end collisions. Mathematical modelling and numerical simulation showed that the fusion of an unscented Kalman filter and a neural network model successfully predicted deceleration intentions several seconds ahead with high accuracy. Furthermore, it is confirmed that the utilizing the visualized shockwave contributed to suppression of shockwave propagation and prevention of multiple rear-endo collisions with simple control techniques.

研究分野：交通予防安全工学

キーワード：意図推定 動的推定 アンセンティッドカルマンフィルタ ショックウェーブ 車群交通流制御 運転支援 自動運転

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) 車両相互の事故の約 40% を追突事故が占めており、それに伴う人的被害や保険料の支払いも含む経済的損失は膨大である。追突事故の中でも特に、高速道路や幹線道路を高密度かつ高速度で走行する車群内での「多重追突事故」ではその被害は著しいことから、追突事故の抑制は社会安全上の喫緊の課題の一つといえる。

(2) 追突事故等を未然に防ぐ「予防安全技術」を搭載した自動車の普及とそれに伴う事故削減が期待される一方で、その技術の普及率が 100% でない中では、高速道路や幹線道路での「多重追突事故」の削減効果に関しては未知数であることから、多重追突事故防止を意図した新規性の高い技術、すなわち、その普及率が 100% でなくとも多重追突事故防止効果の高い予防安全技術の提案と確立が望まれている。

2. 研究の目的

上記背景を踏まえ、本研究では、予測された減速度を後続車に呈示し、後続車のドライバに適切な減速行動を促す従来の運転支援の考え方を車群制御技術へ拡張することを目指し、以下の目的を設定した。

- (1) 先行車の減速意図を予測する従来の技術を精緻化（高精度化）すること。
- (2) 後続車の早期減速を促す車群制御技術を提案し、その実現可能性を検討すること。
- (3) この技術が車群安全すなわち多重追突事故防止に与える効果を検証すること。

3. 研究の方法

(1) まず、先行車の 1.5 s 後の減速意図を予測する技術については、状態推定法の一つとして幅広く用いられているアンセンティッドカルマンフィルタに人工知能技術の一つであるニューラルネットワークモデルを融合した手法を提案し、高い精度での予測を試みた。

(2) 次に、後続車の早期減速を促す車群制御技術については、車群内に発生するショックウェーブの逆伝播を後続車のドライバに事前に伝えることにより、安全かつ安定な車群交通流を実現する手法を検討した。

(3) 最後に、車群交通流の安全かつ安定化手法の効果については、車群制御技術の有無による差異を、交通流シミュレーションモデルを用いて検証した。

4. 研究成果

(1) 先行車の減速意図の予測

アンセンティッドカルマンフィルタで先行車の減速意図を予測するとき、状態方程式（システムモデル）と観測方程式（観測モデル）で構成される状態空間モデルを定義する必要がある。このうち、観測モデルの一部に、人工ニューラルネットワーク（ANN）モデルを適用し、予測精度の向上を目指した。

予測結果の一部を図 1 に示す。図中 UKF-ANN は、観測モデルの一部に ANN モデルを適用した提案手法、UKF-MRG は、観測モデルの一部に重回帰モデルを適用した提案手法、そして、conventional は従来の手法であり、縦軸はそれぞれの手法の最大減速度の予測誤差の大きさであり、誤差が小さいほど精度が高いことを示す。また、エラーバーは、ばらつきの大さを示す。図 1 からわかる通り、UKF-ANN が最も誤差が小さく、ばらつきも小さいことから、提案した手法の有用性を確認できた。

図 2 は、被験者 14 名のうち、代表的な 1 名（P1）の加速度の実測値（黒実線）と予測値（UKF-ANN：赤実線、UKF-MRG：青点線、従来手法：灰実線）との比較である。特に、60 s 前後における減速度が最も大きい場面では、従来手法に比べて UKF-ANN の提案手法が実際の減速度を高い精度で再現できていた。

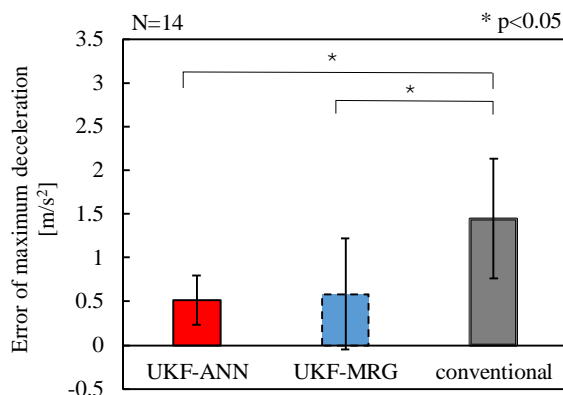


図 1. 最大減速度の予測誤差

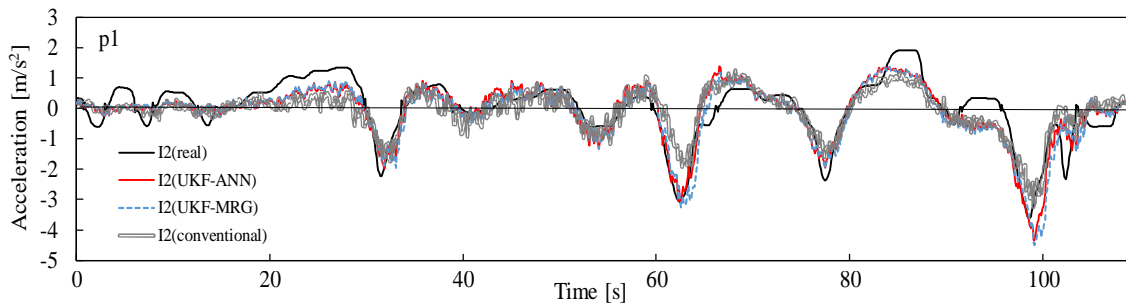


図 2 . 予測された減速意図と実測された加速度の比較

(2) 後続車の早期減速を促す車群制御技術

追従する 3 台の車群に発生するショックウェーブを計算し、これを視覚化した結果が図 3 である。横軸は時間 (s)、縦軸は車両の位置 (m) である。1 台目が青、2 台目が橙、3 台目が灰で示され、2 台目車両の 2 s 後の予測位置が山吹で示されている。ショックウェーブは 2 台目の予測位置から発生すると仮定し、ショックウェーブの到達位置を赤で示している。

車群制御しない場合、 $t=162$ s 前にショックウェーブが発生し、その後、図 3 に示した傾きの伝播速度で車群後方にショックウェーブが逆伝播し、 $t=164$ s 付近で 3 台目車両に到達する。そして、 $t=166$ s 付近でショックウェーブが解消する様子が可視化できた。

このように、3 台目のドライバは直接目に行き届かないショックウェーブを可視化することに成功し、可視化したショックウェーブを 3 台目のドライバに呈示して早期減速を促す運転支援技術、あるいは、直接的に車両を早期減速制御する自動運転技術への応用可能性を明らかにした。

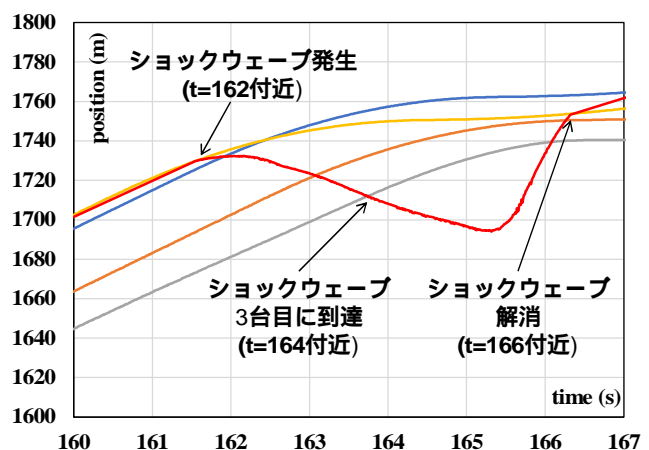


図 3 . ショックウェーブの可視化

(3) 車群交通流の安全・安定化

可視化されたショックウェーブに対して早期減速を促す運転支援技術あるいは自動運転技術が実現された場合、その後、ショックウェーブの伝播が抑制され、車群交通流の安全性に寄与するのか、交通流シミュレーションモデルを用いて検証した。その結果の一部を図 4 に示す。

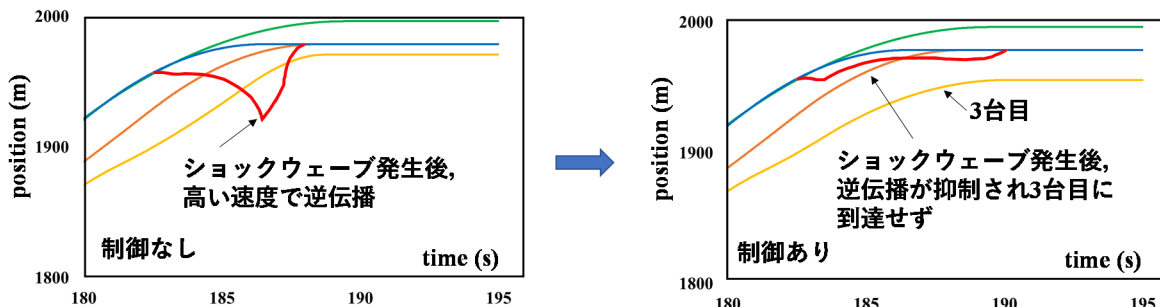


図 4 . 車群制御の有無によるショックウェーブ逆伝播の違い

図 4 の左は、車群制御を実施しない場合のショックウェーブの逆伝播を示す。ショックウェーブ発生後、高い速度で急速に車群後方 (上流) に逆伝播し、3 台目まで到達している。図 4 の右は、ショックウェーブ発生後、3 台目車両が 2.0 m/s^2 の一定減速を行った場合のショックウェーブの逆伝播の様子である。単純な車群制御であっても、ショックウェーブの逆伝播は抑制され、車群後方 (上流) には伝播せず、3 台目車両に到達すること無く解消した。

このように、提案した車群制御技術を車群内に存在する複数台の車両に施すことにより、多重追突事故防止への貢献が期待される成果を得ることに成功した。

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 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 若林翔, 鈴木宏典	4. 巻 52 (2)
2. 論文標題 アンセンテッドカルマンフィルタによる先行車の減速意図予測モデルの構築と検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 343 ~ 348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11351/jsaeronbun.52.343	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 -

1. 著者名 Suzuki Hironori, Wakabayashi Sho, Marumo Yoshitaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Intent Inference of Deceleration Maneuvers and Its Safety Impact Evaluation by Driving Simulator Experiments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Traffic and Logistics Engineering	6. 最初と最後の頁 28 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18178/jtle.7.2.28-34	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 -

1. 著者名 Suzuki Hironori, Wakabayashi Sho	4. 巻 -
2. 論文標題 Intent Inference of Driver Deceleration Behavior by Using Unscented Kalman Filter Integrated with Conventional Artificial Neural Network Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2nd International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies: Future Applications	6. 最初と最後の頁 129 ~ 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-44267-5_19	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8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Wakabayashi Sho, Suzuki Hironori
2. 発表標題 Intent Inference of Deceleration Maneuvers and Its Safety Impact Evaluation by Driving Simulator Experiments
3. 学会等名 2019 4th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 若林翔、鈴木宏典
2. 発表標題 状態推定法による先行車の減速意図予測モデルの改良
3. 学会等名 自動車技術会2019年秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki Hironori, Fujiwara Kakeru
2. 発表標題 Indirect Driver Monitoring by Online Estimation of Driver Model Parameters
3. 学会等名 6th International Symposium on Future Active Safety Technology Toward zero traffic accidents Fast-Zero 2022 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木宏典、藤原翔
2. 発表標題 ショックウェーブの可視化と運転支援への応用
3. 学会等名 自動車技術会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木宏典、藤原翔
2. 発表標題 デュアルパーティクルフィルタによるドライバモデルパラメータのオンライン推定
3. 学会等名 計測自動制御学会 コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Suzuki Hironori, Arai Takumi
2. 発表標題 Shockwave Detection and Visualization for Rear-End Collision Avoidance
3. 学会等名 Road Safety and Simulation Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

日本工業大学 交通制御システム研究室 研究業績 https://sites.google.com/site/nittraffic/ResearchActivity
--

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