1308 先行車後部へ情報を呈示する予測運転支援システム

Indicating Information at Rear End of Preceding Vehicle to Assist Predicted Driving Behavior

○学 中野 堯 (日本大院)

正 丸茂 喜高 (日本大)

正 鈴木 宏典 (日本工大)

Takashi Nakano, Graduate School of Nihon University, 1-2-1 Izumi-cho, Narashino-shi, Chiba, 275-8575 Japan
 Yoshitaka Marumo, Nihon University
 Hironori Suzuki, Nippon Institute of Technology

This study examines a driver assistance system to predict driving behavior considering the pre-preceding vehicle behavior. The assistance system indicates the evaluation index at the rear end of the preceding vehicle. Driving simulator experiments are conducted with participants who are required to follow the past two vehicles immediately ahead with/without the assistance system. The participants with the assistance system realize the driving behavior with the small relative velocity to the pre-preceding vehicle and the small acceleration. These effects make it possible to suppress the variation of the collision risk to the preceding vehicle and to reduce fuel consumption of the following vehicle. In addition, the proposed assistance system improves drivers' reactions to the emergency deceleration of the preceding vehicle in comparison with the conventional assistance system, which is indicated at the onboard monitor in the following vehicle.

Key Words: Driver Assist, Active Safety, Human Interface, Pre-Preceding Vehicle, Predicted Driving Behavior

1. 緒言

近年、先行車との衝突リスクや自車の燃費など、ドライバへ情報呈示をすることにより、運転行動を改善させる運転支援システムの検討が進んでいる^{(1)~(2)}。今後さらに、安全性や環境性能を向上させるためには、先行車だけでなく先々行車など、より前方の情報から予測した運転支援を行うことが重要であると考えられる。そこで筆者らは、先行車と自車だけでなく先々行車も含めた3台の相対関係を考慮した予測運転評価指標 (PRE3: PREdiction by PRE-Preceding vehicle) を定義し、ドライバへリアルタイムに呈示する支援システムを提案した⁽³⁾。その結果、先々行車との速度差や自車の加減速度が抑制され、先行車との衝突リスクの変動を低く保ち、安定した追従走行が実現されることを、ドライビングシミュレータ (以下、DS とする) を用いた実験により確認した。

従来の運転支援システムでは、自車を基準として、先々行車と先行車に対する相対的な情報を直接取得し、自車内の車載表示器へ呈示することを想定していた⁽³⁾。しかし、ドライバが表示器を注視し続けていると、意図せぬ先行車の急制動に対して、ドライバの反応が遅れることによる先行車への追突など思わぬ事故の要因になりかねない。また、PRE3を算出するには、先行車のみでなく先々行車に対する相対的な情報も必要となる。最近、先々行車との相対関係を直接計測する技術⁽⁴⁾も開発されているが、自車を基準とすることで特殊な計測技術により状態量を取得する必要があるため、従来の手法では、安全性や特殊性に課題があるといえる。

これらの課題は、自車を基準として計測、呈示を行うことにより生じるものであるが、先行車を基準とすることで課題が解決できる可能性がある。具体的には、先行車後部への情報呈示により、先行車から注意が逸れることがなくなり安全性が向上する。さらに、先行車の前後二車両間の状態量を先行車のみによる計測を想定することで、特殊な計測技術が不要となる。しかし、先行車後部への情報呈示により、先行車のみで状態量を計測することで、特殊性に対しては改善されることが明らかであるが、安全性について改善されるかは明らかとなっていない⁽⁵⁾。

そこで本研究では、先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムの有効性について DS 実験により検討する。さらに、自車内の車載表示器による呈示を想定したもの⁽³⁾と

先行車後部への呈示を想定したもので、支援システムの呈示手法による影響について、DS での比較実験により検討する。

2. 予測運転評価指標

図1に3台の車両の関係を示す。番号*i*を先頭から1, 2, 3と振り、*i*番目車両の速度を v_i 、*i*番目車両の全長を l_i とする。また、 d_{mn} を車間距離とし添字の数字は車両番号を表す。

Fig. 1 Three-car following situation

図1のような追従状態において、先々行車 (1 番目車両) の急制動から予測した運転を評価する予測運転評価指標 PRE3 を式(1)に示す。

$$\text{PRE3} = \frac{a}{\text{THW}_{23}} + \frac{2b}{\text{TTC}_{13}} = \left(\frac{av_3}{d_{23}} \right) + \left[\frac{2b(v_3 - v_1)}{d_{13}} \right] \quad (1)$$

ここで PRE3 は、先々行車との相対速度を小さくするため衝突余裕時間 TTC (Time To Collision) を先々行車に対して適用している。また、衝突に対する安全を確保するため先行車との車間時間 THW (Time HeadWay) も使用している。ここで、式中の係数はそれぞれ $a=1$ 、 $b=5$ であり⁽⁶⁾、TTC の項の係数を2倍にするのは先々行車との車間距離を使用するためである。

本研究では、前後で隣り合う二車両の間の状態 (車間距離 d_{mn} 、相対速度 Δv_{mn}) については、先行車の前・後部に設置されたミリ波レーダなどの車間距離計やカメラ映像からの画像処理などにより取得することを想定する。式(1)における先々行車や自車に関する物理量 (先々行車速度 v_1 、自車速度 v_3 、先々行車自車間の車間距離 d_{13}) について、先行車のみで得られた物理量から算出する式を式(2)~式(4)に示し、これらの値を式(1)に代入することで、先行車のみで PRE3 を算出

することが可能となる。

$$v_1 = v_2 - \Delta v_{12} \quad (2)$$

$$v_3 = \Delta v_{23} + v_2 \quad (3)$$

$$d_{13} = d_{12} + d_{23} + l_2 \quad (4)$$

また、従来の呈示においては、PRE3 の目標値（中立値）として、先々行車との速度差がない場合に THW が 2 秒となるように 0.5 を固定した値に設定し、実際の値と目標値との差をドライバへ呈示していた⁽³⁾。しかし、固定された目標値の場合、先々行車および自車停止時（ $v_1=v_3=0$ ）には、式(1)より PRE3 の値は 0 となる。そのため、停止状態を維持しているにも関わらず、固定された目標値との差が生じ、ドライバへ加速操作を促してしまう。そこで本研究では、速度に応じた PRE3 の目標値 PRE3* と実際の PRE3 との差として、 Δ PRE3 をドライバへ呈示することとする。この場合、差が負の値になると加速、正の値になると減速を促し、差が 0 であれば操作を要求しない。したがって、停止時には実際の PRE3 の値および速度に応じた目標値がともに 0 となるため、操作の要求をせず、停止時に加速操作を促す問題が解決される。

Fig. 2 Image of Δ PRE3 indicator (indication at rear end of preceding vehicle)

既存研究⁽³⁾で用いられていた自車内への評価指標の呈示では、必要となるアクセルやブレーキの操作量に応じて、上下に伸縮するバーを用いており、バーの長さ（大きさ）が変化する表示形態であった。しかし、これを先々行車後部へそのまま呈示すると、先々行車と自車の車間距離によりドライバからの視野角が変化するため、操作量が認識しづらく、先々行車との車間距離が拡がると、そもそも指標の認識が困難となる。

そこで本研究では、先々行車後部へ呈示する評価指標は、要求される操作量に応じて、矢の色や向き、速さを動的に変化させることとする。図 2 に先々行車後部への呈示による Δ PRE3 の呈示イメージを示す。矢の色は緑と赤、灰の 3 色とした。緑色で上向き矢の移動が速くなるほど加速が必要であること、赤色で下向き矢の移動が速くなるほど減速が必要であることを表している。また、適正域（目標域）においては、矢の動きは停止し、灰色（呈示する背景と同系色）とすることで、操作が適切であることを表している。

3. 先々行車後部への呈示による予測運転支援システム

3-1 実験方法

先々行車後部への情報呈示を行う「支援あり」と、呈示を行わない「支援なし」の 2 条件で先々行車・先行車の追従実験を行い、支援システムの有効性について DS 実験により確認する。図 3 に実験で用いた定置型の DS を示す。実験は、自車の前方に先々行車・先行車の 2 車両が走行している条件で追従走行実験を行い、支援あり・支援なしの順に交互に、それぞれ 2 走行ずつ計 4 走行を行った。ここで、先々行車は 10m/s から 15m/s の加減速を加減速度 1m/s² で繰り返した走行を行

Fig. 3 Overview of fixed-base driving simulator

い、先行車も先々行車を追従走行する走行パターンを行うものとした。実験参加者は、普通自動車運転免許を保有している、DS の運転に習熟した（実験前に十分練習）20 代の男性 2 名（実験参加者 A・B）であり、事前に文書によるインフォームドコンセントを得た。

3-2 実験結果

結果の一例として、評価区間における実験参加者 A の第 1 走行の速度の時系列を図 4 に示す。同図より支援ありの場合（実線）の方が支援なしの場合（破線）と比較して、先々行車の速度変化（点線）にいち早く対応した走行となっており、先々行車との速度差が抑制されていることがわかる。

Fig. 4 Velocity of following vehicle (1st trial by Participant A)

Fig. 5 RMS of acceleration (four trials)

図 5 に、評価区間における加速度の RMS 値の平均を示す。同図は実験参加者 2 名が 2 走行した計 4 走行の結果が示されている。この図より支援ありの場合の方が加速度の RMS 値が抑制されていることがわかる。支援システムにより、予測した加減速操作での運転が可能となり、速度差がなくなった

ことで、無駄な加減速を抑えることができた結果、緩やかな加減速度で追従走行が可能になったと考えられる。

次に、追従時の衝突リスクに対する支援システムの有効性について検討する。はじめに、先行車に対する衝突リスクの変動について検討する。評価区間における実験参加者2名計4走行のRP (Risk Perception) ⁽⁹⁾の平均は支援の有無によらず0.45s⁻¹程度であった。これは先行車との速度差を0とするとTHWが約2秒程度になるような安全な追従状況である。そこで、1回の走行における標準偏差に着目する。図6に、評価区間におけるRPの標準偏差の平均を示す。同図は計4走行の結果が示されており、この図より、支援がある場合の標準偏差が小さいことがわかる。すなわち、支援システムにより、衝突リスクの変動が抑制されることがわかった。

さらに、先行車に対する衝突余裕時間の最小値に着目し、先行車に対する衝突リスクについて検討する。図7に、評価区間における衝突余裕時間の最小値の計4走行に対する平均を示す。この図より、支援がある場合の衝突余裕時間の最小値が大きくなっていることがわかる。したがって、支援システムにより、先行車との衝突リスクが低減し、そのリスク自体の変動も抑制されることで、より安全な追従走行が可能となることがわかった。

Fig. 6 Standard deviation of RP (four trials)

Fig. 7 Time to collision (four trials)

4. 支援システムの呈示手法による影響

4-1 実験方法

先行車が急減速する場合の支援システムの呈示手法による影響を調べる。先行車後部への情報呈示を想定した支援システム（以下、先行車呈示とする）と、自車内の車載表示器への情報呈示を想定した、従来の支援システム⁽⁹⁾（以下、自車呈示とする）の2条件で先々行車・先行車の追従実験を行う。実験内では発生しないが、先行車の前方へ車両の割り込みや人間の飛び出し、信号交差点における信号切り替わりのための先行車の急減速による停止を想定し、支援システムの

Fig. 8 Image of $\Delta PRE3$ indicator
(indication at onboard monitor in following vehicle)

呈示手法による影響について検討する。

ここで、実験に用いる先行車呈示は、3章で使用したもの（図2）と同様である。図8に実験に使用した自車呈示の呈示イメージを示す。これは、DSの画面右下に呈示されるもの⁽⁹⁾で、必要となるアクセルやブレーキの操作量に応じて、上下に伸縮するバーの長さ（大きさ）が変化する表示形態である。要求される操作量に応じて、バーの色や伸縮する方向を動的に変化させる。バーの色は緑と赤、灰の3色とした。緑色で下向きに伸びるほど加速が必要であること、赤色で上向きに伸びるほど減速が必要であることを表している。また、適正域（目標域）においては、上下どちらかに伸縮するが、バーの色を灰色（呈示する背景と同色）とすることで、操作が適切であることを表している。

実験に用いたDSは3章の実験で使用したものと同様の位置型のDS（図3）である。実験は、自車の前方に先行車・先々行車の2車両が走行している条件で追従走行実験を行い、10m/s から15m/sの加減速を加減速度1m/s²で繰り返した走行中、実験参加者が予期できないタイミングで、先行車のみが急減速（6m/s²）による停止を行う。この条件で、先行車呈示・自車呈示の順に交互に、それぞれ2走行ずつ計4走行を行った。また、実験参加者は3章の実験と同様の2名である。

4-2 実験結果

図9に、結果の一例として実験参加者Aの第2走行の速度の時系列を示す。この図は、先行車の急減速開始5秒前からの15秒間における時系列である。同図より先行車（一点鎖線）の急減速開始後、先行車呈示（実線）の方が自車呈示（破線）と比較して、先行車の急減速に対して早く減速操作を開始していることがわかる。また、図10に、先行車急減速開始後のブレーキ操作までの反応時間を示す。同図は実験参加者2名が2走行した計4走行の結果が示されている。この図より、速度の時系列でみられたように、先行車後部へ情報呈示を行うことで、先行車の急減速に対して早く反応して減速操作を行っていることがわかる。

次に、急減速に対する安全性について検討する。はじめに、減速時の減速度に着目する。図11に、実験参加者2名が2走行した計4走行における平均減速度（距離平均）の平均を示す。この図より先行車呈示の方が自車呈示と比較して、小さい減速度で減速していることがわかる。これは、先行車呈示の方が、いち早く減速操作を開始することで、小さい減速度でも先行車へ衝突することのない減速を行えるためであると考えられる。さらに、衝突余裕時間の最小値に着目する。図12に、実験参加者2名計4走行の衝突余裕時間の最小値の平均を示す。この図より、先行車呈示の方が自車呈示と比べ、衝突余裕時間の最小値が大きく、先行車との衝突リスクが低減されていることがわかる。したがって、先行車後部への情報呈示を行うことで、先行車の急減速に対して、余裕のある減速操作が可能となるため、自車呈示と比べ小さな減速度で減速操作を行うことが可能となる。

Fig. 9 Velocity of following vehicle (2nd trial by Participant A)

Fig. 10 Reaction time of brake pedal operation (four trials)

5. 結 語

本研究では、先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムの有効性について DS 実験により検討し、さらに、支援システムの呈示手法による影響について、DS を用いた比較実験により検討した。

その結果、先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムの有効性については、自車内の車載表示器による支援と同様に、先々行車を予測した追従走行が可能となり、無駄な加減速および加減速度が抑制された。また、追従時の衝突リスクにおいても、先行車との衝突リスクが低減し、そのリスク自体の変動も抑制されることで、より安全な追従走行が可能となることがわかった。以上より、先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムの有効性が確認された。

さらに、支援システムの呈示手法による影響については、先行車の急減速が発生した場合においても、先行車後部への情報呈示による運転支援システムの方が、先行車の急減速に対して、いち早く反応して減速操作を行うことが可能となり、その結果、小さな減速度で停止をすることが可能となることがわかった。また、自車の先行車への衝突リスクも低減することがわかった。以上より、先行車の急減速が発生した場合における支援システムの呈示手法による影響が確認された。

Fig. 11 Average of deceleration (four trials)

Fig. 12 Time to collision (four trials)

謝 辞

本研究の一部は、平成 26 年度日本大学生産工学部若手研究者支援研究費の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 北島創, 鷹取収, 榎田修一, 片山硬, “ドライバの自発的な安全運転を促すための運転支援方法の検討”, 自動車技術会 2011 秋季学術講演会, No. 138-11 (2011), pp. 15-18.
- (2) 田ノ上明宏, 伊藤誠, 稲垣俊之, “燃費情報の視覚呈示が自動車運転に及ぼす影響について”, 自動車技術会論文集, Vol. 41, No. 6 (2010), pp. 1421-1426.
- (3) 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, Vol. 15, No. 2 (2013), pp. 21-29.
- (4) 日産自動車, “プレディクティブフォワードコリジョンワーニング”, <http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/predictive.html> (参照日 2014 年 10 月 14 日)。
- (5) 中野堯, 丸茂喜高, 鈴木宏典, “先行車後部への情報呈示による予測運転支援システムに関する研究”, 日本機械学会 2014 年度年次大会講演論文集, CD-ROM (2014).
- (6) Takayuki KONDOH, Tomohiro YAMAMURA, Satoshi KITAZAKI, Nobuyuki KUGE, and Erwin Roeland BOER, “Identification of Visual Cues and Quantification of Drivers' Perception of Proximity Risk to the Lead Vehicle in Car-Following Situations”, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol. 1, No. 2 (2008), pp. 170-180.