

## 衝突予測による警告型安全運転支援システムにおける 予測手法に関する一検討

高取 祐介 長谷川 孝明

埼玉大学工学部電気電子システム工学科

〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: {takatori, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

あらまし 本稿では衝突予測による警告型安全運転支援システムにおける予測手法の性能に及ぼす影響を述べている。まずラテラル方向の移動範囲を制約する予測方法と制約しない予測方法の比較、直接判定型と逐次判定型の性能比較を自律型ミクロスコピック交通流シミュレータを用いて行い、直接判定法・ラテラル方向の制約あり・1.5 秒の予測時間が適切であることを示している。さらにこの予測手法とパラメータを用いた警告型安全運転システムの総合遅延、車両密度、搭載率に関する特性の評価をシミュレーションにより行い、総合遅延の平均が 0.8 秒まではシステム非搭載時と比べ 5~6 倍の効果が得られること、事故が発生する頻度が高い車両密度ほどシステムの効果が大きいこと、搭載率が 70%を超えると効果が急激に向上することを明らかにしている。

キーワード ITS, 安全運転支援, 衝突警告, 衝突予測, 交通流シミュレータ,

## A Study on Collision Prediction Methods of the Driving Assistance System of the Warning Type

Yusuke Takatori Takaaki Hasegawa

Dept. of Electrical and Electric System Eng, Saitama University

255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama, 338-8570, Japan

E-mail: {takatori, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

**Abstract** This paper describes the influence of the collision prediction methods on the performance of the driving assistance system of the warning type. By using the autonomous microscopic traffic simulator constructed by authors, performance comparisons of the prediction method constraining the moving range in the lateral direction, and the prediction method that is not constrained are carried out; the performance of the direct collision judgment scheme and that of the successive collision judgment scheme are compared. It is shown that 1.5 seconds of prediction time, the constrained lateral moving range, and the direct judgment method are appropriate. Furthermore, the performance of the driving assistance system of the warning type using this prediction method and parameter described above have been evaluated by simulation on the total delay characteristics, the vehicle density characteristics, and the equipped ratio characteristics. The delay characteristics evaluation shows that this system improves the average accident interval about 5 or 6 times. The vehicle density characteristics evaluation clarifies that the effectiveness of this system increases with increasing accident frequency. The equipped ratio characteristics evaluation brings out that the average accident interval increases drastically in the region that the equipped ratio exceeds 70%.

**Keyword** ITS, Safety driving assistance, collision warning, collision prediction, traffic simulator

### 1. まえがき

現在 ITS におけるさまざまな安全運転支援システムについての研究が行われている[1]。このようなシステムの一つとして、周辺他車の走行情報を取得し、自車の周辺の危険状況を判断しドライバに対して警告支援

を行う警告型安全運転支援システムが挙げられる。警告型安全運転支援システムにおいて周辺他車の走行情報を取得する方法として通信ネットワークを用いる方法があり、近年盛んに研究が行われている[2] 著者らはこれまでに警告型安全運転支援システム

の効果について、自律走行型交通流シミュレータを構築し、定量的検討を行ってきた[3]~[8]。警告型安全運転支援システムでは適切な危険警告を発するためにはシステムが危険状態を適切に判断することが重要であり、著者らは一定時間後の車両の位置推定による衝突可能性を判断し警告を発するシステムに関する性能評価を行っている[8]。しかし、事故予測手法の性能に与える影響についての検討は十分ではない。

そこで本稿では通信を用いた衝突予測に基く安全運転支援システムにおいて事故予測手法が事故発生間隔に与える影響について検討を行う。具体的には衝突予測手法における事故判定方法および位置推定方法について検討を行う。ここで用いる衝突予測手法は走行時の位置と速度を用いて線形的に車両位置を推定し事故が生じるかどうかを判断する。位置推定方法に関して、3車線高速道路において車線変更を行う車両の位置推定を行う際にラテラル方向の移動範囲を隣接車線に制限する方法と制限をせずに単純に線形予測を行う方法について検討し、事故判定方法に関しては予測先の時間  $T_p$  における事故を直接判定する方法とある時間刻み  $\Delta t$  秒ずつ逐次的に事故判定する方法について検討する。

2. では本稿で想定している事故予測を用いた警告型安全運転支援システムのモデルおよび評価用ミクロスコピック自律走行型交通流シミュレーションのモデルについて述べる。3. では本稿で用いる事故予測に基く警告型安全運転支援システムの予測方法について述べる。4. では3. で述べた予測方法の定量的な性能評価を行う。5. では4. で求めた適切なシステムに関して、車両密度特性、搭載率特性、遅延特性の性能評価を行う。

## 2. 事故予測を用いた警告型安全運転支援システムモデルおよび評価のためのシミュレーションモデル

### 2.1. 事故予測を用いた警告型安全運転支援システム

#### 2.1.1. 事故予測方法

システムは周辺他車の走行情報を取得し、自車走行情報(位置, 速度)および他車走行情報(位置, 速度)から一定時間内の車両位置推定を行うことにより事故予測を行う。システムは一定時間内に事故が生じると判断した場合、ドライバーに対して警告を与える。本稿においては周辺他車の走行情報の取得は通信を用いて他車両と走行情報を交換することを想定する。

#### 2.1.2. 車両間通信

警告型安全運転支援システムではリアルタイムに

状況を判断し、ドライバーに警告を与える必要があるためリアルタイムシームレス通信を可能とする通信ネットワークが必要である。このような通信ネットワークの例としては、車々間通信ネットワークや、車路車間通信ネットワーク(例えば道路プラットフォーム“ドットITS”[7]における通信機能部分)などが挙げられる。本検討では道路プラットフォーム“ドットITS”における通信機能を用いてリアルタイムシームレス通信を実現するものとする。

#### 2.1.3. 通信ネットワーク

警告型安全運転支援システムではリアルタイムに周辺状況を判断し、ドライバーに対して警告を与える必要がある。そのためにはリアルタイムシームレス通信を可能とする通信ネットワークが必要となる。このような通信ネットワークの例として、車車間通信ネットワークや、車路車間通信ネットワーク(例えば道路プラットフォーム“ドットITS”[9]における通信機能部分)などが挙げられる。本稿においては道路プラットフォーム“ドットITS”における通信機能部分を用いたリアルタイムシームレス通信等により、少なくとも半径100m以内の車両同士の情報交換がなされることを仮定する。

## 2.2. 事故予測に基く安全運転支援システムの警告

### 2.2.1. 警告の種類

ドライバーに対して2種類の警告を与える。一つは追突警告であり、もう一つは車線変更における危険警告である。追突警告は自車の直前を走行する車両に対して接触すると判断した場合に発生する。一方車線変更における危険警告は自車が車線変更中にシステムが他車と接触すると判断した場合に発生する。また、これらの警告はそれぞれ異なる警告として発せられるものとする。

### 2.2.2. 警告に対するドライバーの行動

ドライバーは追突警告および車線変更時の危険警告に対してそれぞれ以下の回避行動を起こすものとする。

#### (1)追突警告に対するドライバーの行動

追突警告発生時にはドライバーは所定の減速度で減速を行うものとする。ただし、ドライバーが所定の減速度以上の減速が必要であると判断している場合にはドライバーの判断する減速度を優先してドライバーの加速度を決定する。本検討において所定の減速度は-0.15Gとする(文献[8]では減速度を-1.5Gとしているが、これは-0.15Gの表記の誤りである)。

#### (2)車線変更時の危険警告発生に対するドライバーの行動

警告発生時ドライバーは直ちに車線変更を中断し、自車の走行していた車線に戻るものとする。

ドライバーはそれぞれの警告を同時に受けた場合に

は双方に対する回避行動を起こすものとする。また、いずれの場合においてもドライバは警告が与えられた場合は必ずこれらの行動をとるものとする。

### 2.3. 評価のためのミクロスコピック自律走行型交通流シミュレーションモデル

#### 2.3.1. ミクロスコピック自律走行型交通流シミュレータ

これまでに著者らは安全運転支援システムの安全性の検討が可能なミクロスコピック自律走行型交通流シミュレータを提案している[4], [5]。本検討におけるシミュレーションでは文献[4]において提案されているシミュレーションモデルを用いる。本シミュレーションモデルは 2.3.2~2.3.4 で述べるようなドライバモデル、道路モデル、車両モデルの3つのモデルから構成されている。

#### 2.3.2. ドライバモデル

本シミュレーションモデルではそれぞれ異なった特性を与えられたドライバが各車両に乗車し、視界から得られた情報を基に状況判断を行い、自律的に車両を制御し走行する。シミュレータの各特性としては以下の特性が挙げられ、ここでは文献[4]と同様のパラメータを用いる。

- (1) 視界
- (2) 希望速度
- (3) 速度決定モード
- (4) 車線変更
- (5) 総合遅延

#### 2.3.3. 道路モデル

想定する道路環境は片側3車線の直線高速道路とする。道路長は10km、一車線あたりの道路幅は3.5mとする。また、車両発生地点(道路開始部)には車両発生時に用いる車両待機用の領域(車両プール)を設ける。

#### 2.3.4. 車両モデル

車両モデルとして、車両幅1.7m、車両長4mの普通乗用車を用意する。車両発生はポアソン生起を仮定しており、発生時の車両初速度は70km/hとする。ただし、車両発生時に自車線上の前方車両との車頭時間間隔が1秒未満の場合には車頭時間間隔が1秒になるまで車両プールで待機するものとする。

## 3. 事故予測手法

### 3.1. 車線変更時の車両位置推定におけるラテラル方向移動範囲の制約

車線変更中の車両の位置推定を行う場合、多くの場合は車両が移動するラテラル方向の範囲は隣接車線に限られる。しかし、単純な線形予測により車両位置推

定を行うと、予測時間の長さによっては車線変更後の推定位置が希望車線を越えてしまう場合がある。そこで単純な線形予測から位置推定を行う場合と車線変更時のラテラル方向移動範囲を隣接車線のみを制約する事故予測方法に関して比較検討を行う。

#### A. 単純な線形予測による事故予測方法

車両が車線変更をしている(ラテラル方向に速度を持っていない)場合に単純に線形予測を行い位置推定を行う。

#### B. 車線変更時の車両位置推定におけるラテラル方向移動範囲の制約を加えた事故予測方法

車両の中心が隣接車線の中央を越えてラテラル方向に移動しないものとして位置推定を行う。

## 3.2. 事故判断方法

### A. 直接判定型事故予測法

現時刻からある一定時間先(ここでは予測時間  $T_p$  と定義する)において事故が生じるかどうかを予測する。事故予測の方法は予測時間  $T_p$  秒先の自車、他車の位置を線形予測し、両車が接触するか否かを判断し、接触する場合に事故が生じると判定する。この予測法は  $T_p$  秒の一点のみについて予測を行えばよいため、事故予測を行う際の計算処理が少なくすむ。

### B. 逐次判定型事故予測法

現時刻から予測時間  $T_p$  までの期間に事故が生じるかどうかを予測する。事故予測方法は現時点から予測時間  $T_p$  まで刻み幅  $\Delta t$  秒間隔で自車および他車の位置を線形予測し、各刻みごとに両車が接触するかどうかを判断する。この予測法は直接判断型と比較して計算処理が多くなる。事故予測の流れを図1に示す。

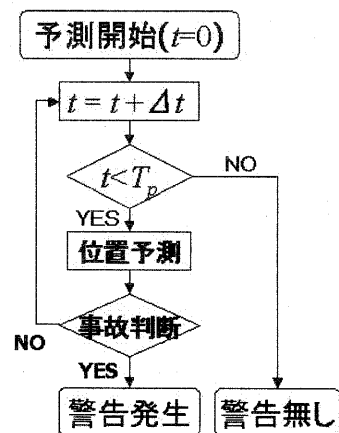


図1. 逐次判定型事故予測方法

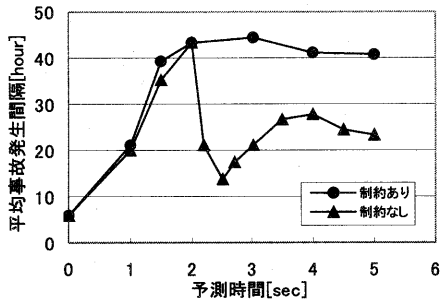


図2.移動範囲制約の効果(逐次判定)

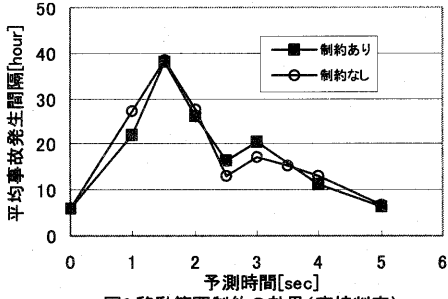


図3.移動範囲制約の効果(直接判定)

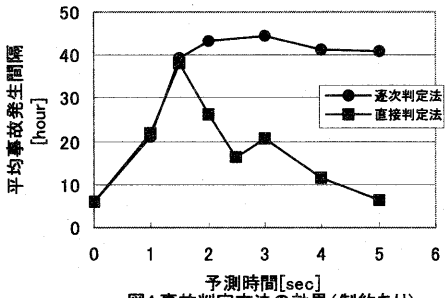


図4.事故判定方法の効果(制約あり)

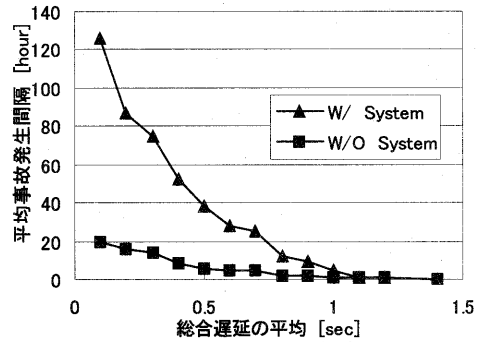


図5 総合遅延の平均に対する平均事故発生間隔

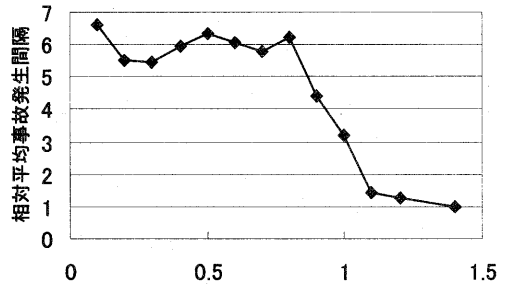


図6 システム非搭載時に対するシステム搭載時の相対平均事故発生間隔の車両密度特性

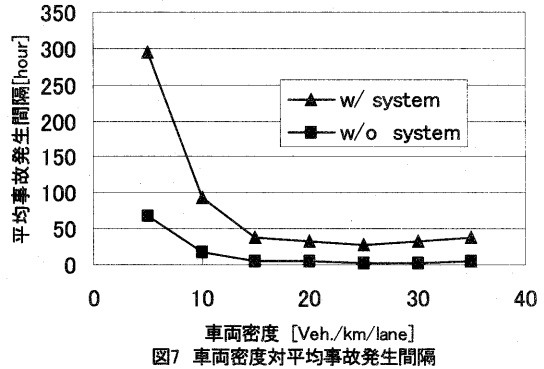


図7 車両密度対平均事故発生間隔

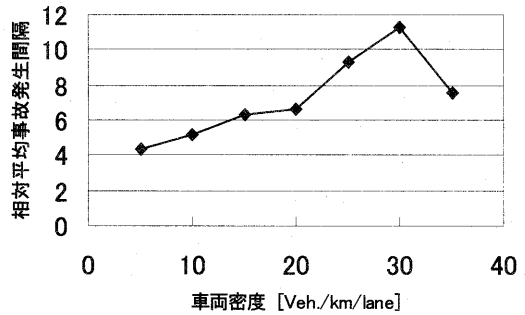


図8 システム非搭載時に対するシステム搭載時の相対平均事故発生間隔の車両密度特性

#### 4. 性能評価

##### 4.1. 評価指標

本検討では評価指標として平均事故発生間隔を用いる。平均事故発生間隔は道路管理者側から見た安全性の評価基準として提案されており[4]、車両の混雑状況に関わらず、一定の道路区間の事故頻度を知ることができる。本検討における平均事故発生間隔は直線10km、3車線の高速道路において事故が発生する平均の時間間隔とする。

##### 4.2. ラテラル方向移動範囲の制約と事故判定方法に関する評価

ラテラル方向移動範囲の制約の有無および事故判定方法に関して性能比較を行うために車両密度15[Veh./km/lane]としてシミュレーションを行った。図2に事故判定方法を逐次型とした場合のラテラル

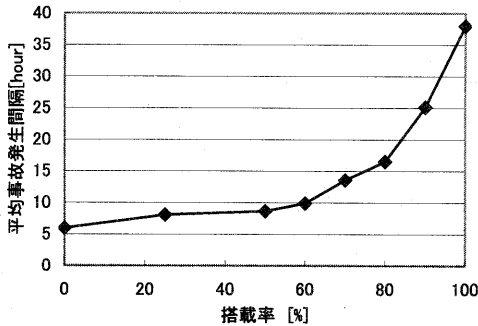


図9 搭載率に対する平均事故発生間隔

方向移動範囲制約の有無それぞれにおける予測時間に対する平均事故発生間隔を示す。予測時間 2 秒程度まではほぼ同等の性能となっているが、2 秒以上では範囲を制約しない場合性能が劣化している。また、図 3 には事故判定方法を直接型とした場合の移動範囲制約の有無それぞれにおける予測時間に対する平均事故発生間隔を示す。この場合は制約の有無による差はない。

#### 4.3. 適切なシステムの検討

4.2 における性能比較の結果より、車線変更時の車両位置推定ではラテラル方向移動範囲に制約を設ける場合には制約がない場合に比べてシステムの性能が同等あるいは良くなるということがわかる。また、事故判定方法に関しては図 4 に示すような移動範囲制約がある場合における逐次型と直接型の比較より、逐次型判定方法を用いて予測時間を 1.5 秒以上、あるいは直接型判定方法を用いて予測時間 1.5 秒と設定すると 6 倍程度の安全性の向上が得られることがわかる。これにさらに計算処理の量を考慮すると直接判定法、制約あり、予測時間 1.5 秒と設定することが適しているといえる。以降はこの予測方法とパラメータで諸特性の評価を行う。

#### 4.4. 諸特性の評価

図 5 に総合遅延の平均に対する平均事故発生間隔を、図 6 に総合遅延の平均に対する相対平均事故発生間隔をそれぞれ示す。ここで相対平均事故発生間隔はシステム非搭載時の平均事故発生間隔に対するシステム搭載時の平均事故発生間隔の比と定義しており、システムの搭載による安全性の改善度をあらわしている。総合遅延の平均が 0.1~0.8 秒では非搭載時に比べ 5~6 倍平均事故発生間隔が増加するが、総合遅延の平均が 0.8 秒より大きくなると支援システムの効果が徐々に減少することがわかる。

図 7 に車両密度 5~35[Veh./km/lane]における車両密度に対する平均事故発生間隔を、図 8 に車両密度に対する相対平均事故発生間隔を示す。いずれの密度においても 4~11 倍程度の平均事故発生間隔の改善がみら

れ、特にシステム非搭載時に平均事故発生間隔の短い密度ほど大きな効果が得られている。

図 9 に車両密度 5~35[Veh./km/lane]におけるシステム搭載率に対する平均事故発生間隔を示す。結果より搭載率がおよそ 70%を超えると急激に安全性が向上することがわかる。

#### 5. むすび

本検討では衝突予測による警告型安全運転支援システムの予測手法の性能に及ぼす影響をミクروسコピック交通流シミュレータを用いて明らかにした。車両位置推定においてラテラル方向の移動範囲を制約する予測方法の性能比較を行った。逐次型判定方法での移動範囲制約の有無に関しては、予測時間が 2 秒以内ではどちらもほぼ同様の性能を示し、予測時間が 2 秒よりも大きい範囲では制約がある場合の方が飽和、ない場合で劣化していくことがわかった。また、直接型判定方法に関しては制約の有無による差はほとんど見られなかった。さらに、事故判断方法について逐次判定方法と直接判定方法の比較から本システムにおいて直接判定法、ラテラル方向移動範囲制約あり、予測時間 1.5 秒と設定することが安全性および計算処理の点から適切であると判断し、この予測方法とパラメータを用いたシステムの総合遅延特性、車両密度特性、搭載率特性を評価した。その結果、システム非搭載時に比べ、総合遅延の平均が 0.8 秒までは 5~6 倍平均事故発生間隔が大きくなり、0.8 秒を超えると徐々に効果が減少することがわかった。また、事故の頻度が高い車両密度ほどシステムの効果が大きいことがわかった。さらに搭載率がおよそ 70%を超えると急激に安全性が向上することがわかった。今後の課題としては更に詳細な予測手法やドライバの警告受容率に関する検討などが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は財団法人国際コミュニケーション基金の援助により行われました。ここに深謝致します。

#### 文 献

- [1] 佐藤健治 “運転支援システムの実用化に向けた課題”, 自動車研究, 23-11, nov.2001
- [2] 例えば, 森純一郎, 上木淳平, 中村友亮, 堀井康史, 岡田博美 “車載コンピュータ間通信による衝突回避支援システムの開発” 信学全大 2003
- [3] アリ・ウィドド, 永長知孝, 長谷川孝明, “車々間通信を含めた自律分散型交通流シミュレータ,” 信学技報, SANE97-108, 1997.
- [4] A. Widodo, 長谷川孝明, “IVCN ネットワークを含めた交通システムの評価のための自律走行交通流シミュレータ,” ITS のための情報通信と航行・測位論文小特集号, 信学論(B), vol. J82-B, No 11, pp2002-2009, Nov. 1999.
- [5] Makoto Adachi, Yosuke Morita, Kaichi Fujimura, Yusuke Takatori, Takaaki Hasegawa, “On an

Autonomous Cruising Traffic Flow Simulator including Inter-Vehicle and Road-to-Vehicle Communication Networks,"Proc. of IEEE Inteli-gent Transportation Systems Conference 2002,pp645-650.,2002.

- [6] A. Widodo, 長谷川孝明, "IVCN の交通流に与える効果について," 信学論(B), vol.J82-B, No 11, pp2010-2017, Nov. 1999.
- [7] 安達真, 森田洋介, 藤村嘉一, 高取祐介, 長谷川孝明, "通信ネットワークを含む自律走行型交通流シミュレータに関する一検討," 信学技報, ITS2001-97, Mar.2002
- [8] 高取祐介, 長谷川孝明 "通信を用いた衝突予測に基く警告型安全運転支援システムに関する一検討," 信学技報, ITS2003-,May.2003
- [9] 長谷川孝明, "安全運転支援システムとその要素技術について~道路OSとドットITS~, " 信学技報, ITS2001-14, July.2001A. Widodo, 長谷川孝明, "IVCN ネットワークを含めた交通システムの評価のための自律走行交通流シミュレータ," ITS のための情報通信と航行・測位論文小特集号, 電気情報通信学会論文誌(B), vol.J82-B, No 11, pp2002-2009, Nov. 1999.