

車車間通信を用いた危険車両の検出手法の提案

井須 久美子^{†1} 藤木 健之^{†1} 梅津 高朗^{†1}
中 伊佐雄^{‡2} 東野 輝夫^{†1}

本論文では、高速道路上を走行する車両間で協調して危険車両を検出するための1つの手法を提案する。提案手法では、各車両が近隣を走行する車両のIDを検知すると、前方の車両群へそれらのIDと検出位置・時刻をマルチホップ転送し、前方車両が当該車両のIDを検知した際に、検出位置と時刻から当該車両の速度を推測することで、危険車両かどうかを判定する。危険車両と判定した場合、その車両IDの走行状況を周辺車両群で協調して追跡・監視することで、暴走の状況を記録する。現実的な交通流シミュレータを用いて、車両密度や速度を変化させ、提案手法の有効性を評価・検討した。

Detecting Dangerous Vehicles Using Inter-vehicle Communication

KUMIKO ISU,^{†1} TAKESHI FUJIKI,^{†1} TAKAAKI UMEDU,^{†1} ISAO NAKA^{‡2}
and TERUO HIGASHINO^{†1}

Recently, there are a lot of research about applying inter-vehicular communication to collection and propagation of traffic information. In this paper, we propose an inter-vehicular information system that detects over speeded vehicles without any road-side infrastructures. In our system, vehicles observe each other and share the location information via inter-vehicular communication to detect over speeded vehicles. We evaluate the performance of our system by using realistic traffic simulator. The simulation results show that our system can detect over speeded vehicles under various conditions where the density and speed of the vehicles vary.

1. ま え が き

高速道路や一般道での無謀な運転や不注意運転による他のドライバーへの危険が問題となっている。もし、これらの危険行為を行う車両の接近を遭遇する以前に知ることができれば、多くの事故を減らすことができる可能性がある。

多くの道路では、カメラや速度センサを用いた速度違反車両の監視を行っている。しかし、この方法には、監視地点でのみ速度を落とすことで、検知されずに速度超過を行うことが可能であるという欠点が存在する。一方、今日では、モバイルアドホックネットワーク技術を車車間ネットワークに応用することが考えられており、交通渋滞や事故の情報を他の車両に知らせる方法として、無線マルチホップ通信を用いることについ

ても議論されている。本論文では、危険な運転を行う車両のうち、速度違反車両を無線マルチホップ通信を用いて検出する1つの手法を提案する。

車車間無線通信を用いた効率の良いデータ交換方法については、さまざまな研究が行われている。たとえば、文献4)では、車車間通信を用いた道路沿いの基地局から他の車両への情報伝播方法が提案されている。また、文献17)では、車車間アドホック通信のためのマルチキャストプロトコル、文献5)では、マルチホップを用いた位置依存の車車間通信プロトコルが提案されている。文献6)では、電源制約条件下での無線センサネットワークにおける効率の良い情報伝播を行うための適応型プロトコルについて述べている。また、文献11)では、交差点における衝突回避のためのP2P通信プロトコルの提案、文献20)では、高速道路における車車間通信の性能を評価している。文献9)では、都市におけるマルチホップブロードキャストプロトコルを提案している。

以上のような技術を走行する車両間での情報伝播に用いる際には、いわゆるブロードキャストストーム^{1,3)}

^{†1} 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University

^{‡2} 大阪成蹊短期大学
Osaka Seikei College

を避けるために車両密度を考慮してパケットの送出手法を必要とする。文献 1) には、車両密度の計算方法が提案されており、文献 8), 15) には、周辺の車両密度に応じた効率の良い情報伝播プロトコルが提案されている。また、車両密度とともに、車両のモビリティ^{2), 3), 14), 21)} についても考えなければならない。一般的にアドホック通信プロトコルの性能評価でよく用いられるランダムモビリティモデルは、均一なノード密度で構成されており、データ伝播を現実よりも高い確率で行うことができる。しかし、実際の車両は、通常いくつもの車群で走行しており、しばしば道路上に車両のいない空白部分が出てしまうため、ランダムモビリティモデルでは、情報の伝播を正しく評価することができない。そのため、車車間通信のシミュレーション評価には、現実に近い交通流でネットワークの性能を評価することが重要である。比較的現実に近い性能評価の行える交通流シミュレータとしては、Traffic View¹²⁾ や NETSTREAM¹⁸⁾, GrooveNet¹⁰⁾ がある。本研究では、交通流シミュレータとして NETSTREAM を用いた。

2. 危険車両検出プロトコル

現在の交通監視システムは、定点観測に基づいているため、速度超過で走行し続ける危険車両が、速度検出器などの路側のセンサの手前で速度を落とした場合、危険な走行状況を検出することができない。しかし、車両の監視を一定時間行うためには、多数の地点での監視が必要になり、非常に多くのコストが必要となる。そのため本論文では、継続して暴走行為を行う危険車両の検出を、路側のセンサに頼らず、走行している車両間で行うための車車間通信プロトコルを提案する。

2.1 提案プロトコルの前提

本論文では、特にアドホック通信を用いたプロトコルの実現性を検証し、周辺車両情報の収集技術の詳細に関しては述べない。ここでは、議論の簡単化のため、スマートナンバープレートシステムのような、次世代無線ナンバープレートシステムを前提として議論を進める。

まず、各車両はナンバープレートに代わる無線システムとして、自車両の車両 ID を専用のチャンネルで一定間隔で発信することが義務付けられていることと仮定し、各車両は、走行中には必ず車両 ID を発信するものとする。

各車両(以下、監視車両)は、周辺車両(以下、監視対象車両)の車両 ID を識別、収集する。ここで、各監視車両は GPS 受信機とカーナビによる補正機能

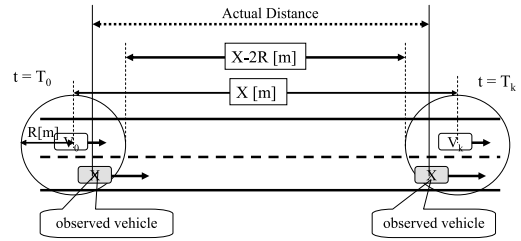


図 1 車両の速度推測方法
Fig. 1 Dangerous vehicle speed estimation.

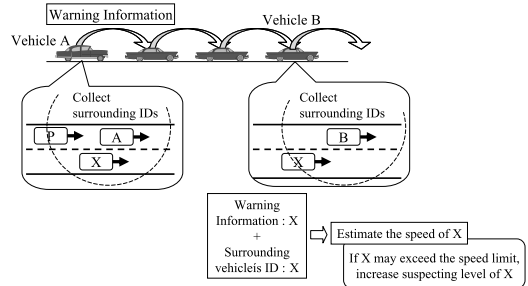


図 2 危険車両検出方法の概要
Fig. 2 Overview of proposed dangerous vehicle detection mechanism.

などを用いてかなり高精度(誤差数 m 以内)に位置情報を取得できるものとし、各車両は GPS 信号などを用いてある程度の同期をとれた時刻情報(誤差数百ミリ秒以内)を取得できるものと仮定する。この仮定の下、各車両は周辺車両の車両 ID を取得すると、それらの車両 ID と自車両の位置情報、現在時刻情報を警戒情報として前方の車両に伝播させる。警戒情報を受信した車両は、同様に周辺車両情報を収集し、さらに前方の車両に警戒情報を送信するとともに、受信した警戒情報中に記録された車両が存在すれば速度を推測して(図 1)、速度超過を行っているか否かを判定する。

ただし、監視対象車両の速度推測を行う場合に、それらの正確な位置情報を取得することができないため、監視車両の位置をその代わりとして用いる。以降、この警戒情報を、 $W = \{id, p, t, l\}$ で表現する。ここで、 id は監視対象車両の車両 ID、 p は監視車両の位置、 t は監視を行った時刻、 l は後述する警戒値である(警戒情報が複数ある場合は複数の警戒情報を前方車両に伝播する)。

警戒情報は、図 2 のように複数車両を介して前方の車両へと伝搬される。警戒情報を受信した車両(以下、前方監視車両)は同様の監視を行い、監視対象車両を発見した場合には、その速度を推測する。車両 ID を

散布するパケットの最大到達範囲を R とし、警戒情報が発信された地点と時刻をそれぞれ p_{rec}, t_{rec} 、推測を行う地点と時刻をそれぞれ p_{cur}, t_{cur} とし、推測速度 V_{est} は以下の式で求める (式 (1))。

$$V_{est} = \frac{|p_{cur} - p_{rec}| - 2R}{t_{cur} - t_{rec}} \quad (1)$$

監視対象車両の正確な座標の代わりに、監視車両の座標で代替するため、各座標には最大で車両 ID パケットの最大到達距離 R の 2 倍分の誤差が生じる。この推測式では、つねに推測速度が最小となる位置に監視対象車両が存在するものとして扱っている (図 1)。

2.2 提案プロトコルの概要

提案するプロトコルでは、継続して暴走行為を行う危険車両と単に追い越しを行うために短時間の速度超過を行う車両を区別するため、速度超過して走行する車両を検知すると警戒車両と判定し、警戒値を 1 にセットする。前方を走行する車両群でさらに警戒車両の速度超過を検知したら、警戒値を 1 ずつ増加させ、警戒値がある値以上になったら、危険車両と判定し、周辺車両群でその走行を監視・警告するとともに、路側の基地局 (警察) に遭遇したらそのことを通報する。提案するプロトコルの概要を図 2 に示す。

- (1) 周辺車両の車両 ID を収集する。
- (2) 収集した情報を警戒情報として保持する。
- (3) 警戒情報を車車間通信を用いて前方車両へ伝播させる。
- (4) 各車両は後方車両から送付された警戒情報に含まれている監視対象車両の車両 ID を検知した場合、その車両の速度を推測する。
- (5) 各車両は推測した速度から警戒車両の検出と警戒値の更新を行う。
- (6) 警戒値がある閾値を超えた車両を危険車両と判断する。
- (7) 危険車両を検出した車両は、前方の車両への警告と警察 (路側の基地局) への通報を行う。

各車両は、周辺車両の車両 ID を収集し、警戒情報として前方へ送付する。警戒情報には各監視対象車両の警戒値が含まれており、初めて監視された車両の場合は、特に問題のない車両として警戒値 $l = 0$ が設定される。各車両は、後方から警戒情報を受け取ると、周辺車両の監視を開始する。このとき、後方からの警戒情報であるかを判断する方法として、自車両の位置情報と警戒情報に含まれる送信車両との位置から、送信方向を計算し、自身の進行方向と同じであれば、後方からの警戒情報であると判断する。また、分岐における警戒情報の送信では、位置関係から前後を決定す

るため、両方向に警戒情報を送信する。受信した警戒情報と、収集した周辺車両の車両 ID に同一車両 ID が含まれていた場合、その車両の速度を推測し、推測した速度が該当道路の制限速度を大きく超えている場合、その車両を警戒車両とし、警戒値を 1 だけ増加させる。速度を超過していない車両の情報は、警戒情報から削除する。各監視対象車両の警戒値は、制限速度を大きく超えていると判断されるたびに 1 ずつ増加し、車両の警戒値が閾値 L に達したとき、その車両は危険車両と見なされる。その車両の警戒情報は車車間アドホック通信を用いて前方車両へと伝播させる。危険車両と見なされた場合には、その情報は最終的に警察へと届けるなどの対処が行われる。

ここで、警戒情報が短い距離しか伝播されなければ、受信車両は警戒情報を受け取ったときに、すでに監視対象車両と遭遇している可能性が考えられる。また、前述した速度計測の誤差 (車両 ID の最大到達距離の 4 倍) のため、短い距離で速度推測をした場合には、速度超過の検出に失敗する可能性が高くなる。そのため、各車両は警戒情報を受信したとき、あらかじめ定めた一定距離 D_{min} を超えるまでは監視を行わず即座に前方車両へと伝播する。

2.3 検出プロセス

提案するプロトコルでは、大きく分けて、(a) 監視プロセスと (b) 転送プロセスの 2 つの処理を行う。各プロセスは、それぞれ監視リストと転送リストを用いて処理を行う。ここで、監視リストは、後方から送られてきた警戒情報を保持するリストであり、転送リストは、前方へ送信すべき警戒情報を一時的に保持するリストである。まず、監視プロセスについて述べる。

- (1) 周辺車両の ID パケット (車両 id を含むパケット) を受信するまで待ち状態とする。
- (2) ID パケット (車両 id) を受信した後、自車両の位置情報 p_{cur} と時刻 t_{cur} を取得する。
- (3) id が監視リストに含まれない場合、 id と監視車両の位置、時刻を警戒情報として、転送リストに追加する。
- (4) id が監視リストに $W_{id} = \{id, p, t, l\}$ として含まれている場合には、式 (1) を用いて速度 V_{est} を推測する。
- (5) $V_{est} >$ 危険速度 V_{limit} の場合、警戒値 l を 1 増やし、転送リストに追加する。このとき、 $l >$ 閾値 L ならば、その車両を危険車両と見なす。
- (6) W_{id} を監視リストから削除する。

なお、警戒情報が不要に蓄積されることを防ぐため、

監視リストは一定時間ごとに更新される．ある車両が、監視が行われた地点 p_{rec} から、ある地点 p_{cur} まで、危険車両と見なす閾値速度 V_{limit} で走行する場合、 $T_{op} = |p_{cur} - p_{rec}|/V_{limit}$ だけの時間が経過する．そのため、警戒情報に記録された時刻から T_{op} 以上の時間が経過しても該当車両を発見できなかった場合には、その車両は、 V_{limit} 未満の速度で走行していると見なせ、監視は必要ないと考えられるため、警戒情報を削除する．また、前述の式 (1) による速度推測では、監視対象車両の走行距離には最大で $4R$ の位置の誤差が含まれているが、走行距離が十分に長い場合には、誤差の影響を無視でき、推測した速度が危険車両を上回っているか否かで危険車両の判定が行える．

次に、警戒情報の転送プロセスについて述べる．

- (1) 警戒情報パケット M を受信した場合には、ステップ (2) へと進む．それ以外の場合は、待ち状態とする．
- (2) 自分の位置と M に記録されている M を送信した監視車両の位置を比較する．
- (3) M が後方から送られていれば、ステップ (4) へ、そうでなければ M を破棄し、ステップ (1) に戻る．
- (4) M に含まれる各警戒情報 ($W_i = \{id_i, p_i, t_i, l_i\} \in M$) を距離に応じて 2 つのリストに分類する．
 - (a) p_i が距離 D_{min} より近いならば、 W_i を転送リストに追加する．
 - (b) それ以外の場合、 W_i を監視リストに追加する．
- (5) 転送リストが空でない場合には、リストの要素を新しい警戒情報として送信する．

ここで、定数 D_{min} は、監視対象車両の監視を行わずに、警戒情報を伝播させるべき距離を表す．また、転送リストも監視リストと同様、一定時間ごとに更新され、古い情報は削除される．

3. シミュレーションと性能評価

3.1 アドホックネットワークシミュレータの構成

車車間アドホック通信プロトコルを現実的な交通流で評価するためには、交通渋滞の影響や各道路の車線数、車両密度の変化や走行速度の差などに注意する必要がある．

また、転送パケットの受信確率が走行する車両間の距離によって変化することや、パケットの衝突率についても考慮しなければならない．このような複雑な状況を考慮するために、一般に ns-2¹⁹⁾、GloMoSIM、QualNet¹⁶⁾ のようなネットワークシミュレータが用

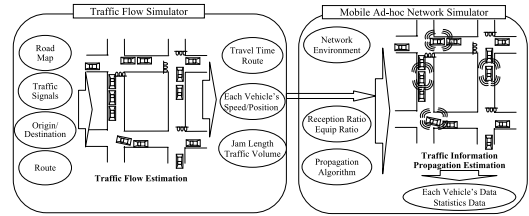


図 3 シミュレータの構成

Fig. 3 Structure of our mobile ad hoc ITS network simulator.

いられる．これらのシミュレータは、下位層のプロトコルを詳細にシミュレーションできるが、モビリティの観点からでは、random walk, random waypoint, simple group mobility などのランダムモビリティに基づいたモビリティのみをサポートしている．

そのため、我々は図 3 のような現実的なシミュレーション環境を作成した．これは、交通流シミュレータとアドホックモバイルネットワークシミュレータを組み合わせたものである．交通流シミュレータとして、豊田中央研究所が開発した NETSTREAM¹⁸⁾ を用いた．NETSTREAM は、マクロな交通流モデルであり、統計的な観測データをもとに広範囲の交通流を再現する．交通流の特性と各道路の信号の長さを定義することで、1 秒ごとにすべての車両の動きを計算する．各車両は、発生時点において目的地と経路が与えられており、その経路に従い目的地まで走行する．得られた位置情報をネットワークシミュレータの入力として用いる．アドホックモバイルネットワークシミュレータとして、我々は、車車間通信に対応したモバイルアドホックネットワークシミュレータ MANS¹⁵⁾ を開発した．MANS は、NETSTREAM で生成した車両の位置情報を用いて、パケットレベルでの車車間通信をシミュレートする．また、MANS は無線通信距離、通信帯域、車両間の距離に応じた受信確率、データのケットサイズ、散布間隔をパラメータとして設定できる．

3.2 シミュレーション環境

シミュレータ MANS を用いて、図 4 に示したような高速道路上で、危険車両の検出のための情報散布を評価した．図 4 の高速道路は、東京の首都高速である．

シミュレーションでは、高速道路の制限速度を時速 100 km とし、通常車両の走行速度を 100 ± 5 km とした．また、車両密度を 1.5–16 台/km へと変化させ、評価を行った．ここでの車両密度とは、車両発生開始後、道路全体に車両がいきわたるに十分な時間が経過した後の、危険車両が走行する道路上に実際に走行し

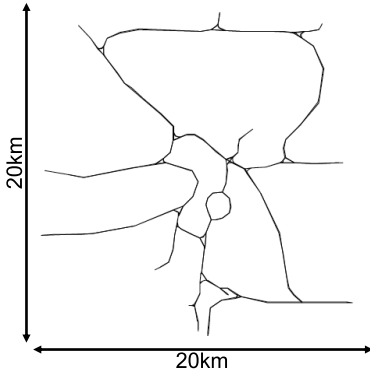


図 4 シミュレーションで用いた高速道路
Fig. 4 Highway topology used in simulation.

ている車両数から求めた．危険車両が走行した道路長は約 17km であり，観測時間は 5 分間である．各道路は，2 車線または 3 車線であり，与えた車両密度においては，渋滞は発生しなかった．ここで，平均速度が時速 130 km 以上である車両を危険車両とする．危険車両の速度を，時速 130–180 km として実験を行った．また走行する危険車両数は，9 台とした．

車車間アドホック通信の規格として，IEEE802.11 IBSS (Independent Basic Service Set) ⁷⁾ を用いた．提案するプロトコルは，IEEE802.11 の上位層にある UDP/IP プロトコル上のアプリケーションプロトコルである．警戒情報パケットの電波到達距離 D を 200 m とし，車両 ID の伝播距離 R を 40 m とした．このとき，警戒情報と車両 ID の伝播に使用する帯域は異なるものとした．また，警戒情報の受信確率は，車車間の距離 x に依存するものとし， $1 - (x/D)^2$ の式で表すこととする ($x \geq D$ の場合は 0 とする)．また一方で，議論の簡単化のために，無線伝播距離内にいる車両の車両 ID は，すべて一定の確率 = 60% で受信できると仮定した．ここで，各車両は，1 秒ごとに車両 ID を散布しているものとする．通常車両と危険車両の速度の差が時速 100 km (秒速 28 m) であった場合でも，ID の散布間隔は車両 ID の伝播距離 (40 m) よりも短い．そのため，各車両は，すべての追い越される車両の車両 ID をその速度が速い場合でも受信することができる．また，通常車両は提案する検出プロトコルを実行するが，危険車両については，車両 ID は発信しているが，警戒情報の伝播は行わないとした．

3.3 最小伝播距離と警戒値

まず，監視対象車両の速度を推測するための監視車両間の最小距離 D_{min} の影響について評価する．以下の環境で評価を行った．

- (1) 車両密度：9.5 vehicles/km

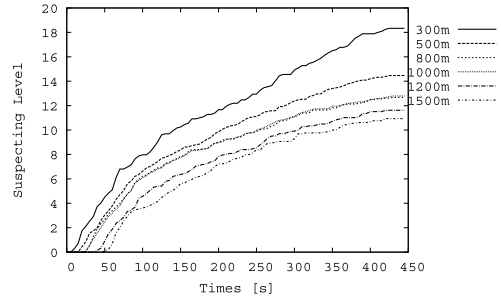


図 5 D_{min} の値による警戒値の変化
Fig. 5 Time variation of suspecting level for several D_{min} .

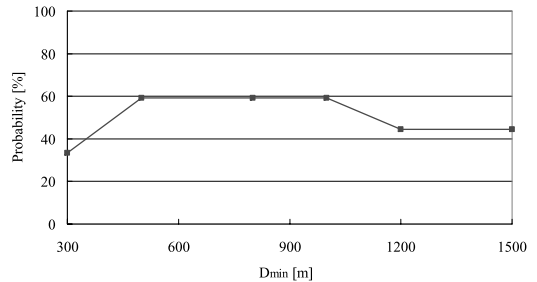


図 6 D_{min} を変化させた場合の検出確率
Fig. 6 Correlation between D_{min} and detection ratio.

- (2) 危険車両の速度：150 km/h

図 5 は， D_{min} の値を変化させた場合の警戒値の変化を示したグラフである． D_{min} の値が小さくなると，警戒値の上がり方が速くなり， D_{min} の値が大きくなると，警戒値の上がり方が遅くなるため，警戒値が上がるまでの時間が長くなる．

一方，図 6 は， D_{min} を変化させた場合の検出確率である．検出確率とは，1 回のシミュレーションにおいて，走行している危険車両のうち，危険車両として検出できた車両台数の割合を示した値である．ここで，危険車両として検出できた車両とは，複数の監視車両が速度推測を行い，その監視対象車両の警戒値が閾値を超えた車両である．

$$\text{検出確率} = \frac{\text{検出した危険車両の台数}}{\text{走行している危険車両の台数}}$$

D_{min} が短ければ，速度推測における誤差が大きくなり，検出確率が低くなる．また， D_{min} が長くなるにつれて，検出確率は高くなるが， D_{min} が一定以上の距離になると検出確率は上昇しなくなる． D_{min} が 1,000 m 以上になると，逆に検出確率が下がってしまう．これは，伝播距離が D_{min} に達する前に，伝播車両が高速道路からいなくなってしまうためであると考えられる．

D_{min} の値を決定するため、予備実験として、単純な道路におけるシミュレーションを行った。ここで用いた単純な道路とは、1 周約 39km の分岐のない環状の高速道路である。このシミュレーション結果から、警戒情報を伝播させる距離が短いほど、速度推測精度が低くなり、検出が難しくなることが分かった。これらの結果から、以降のプロトコル評価では $D_{min} = 800$ [m] を用いる。

位置精度誤差、時刻誤差による推測速度への誤差を考える。2.1 節の仮定より、位置精度誤差を $-10 < d_x < 10$ [m]、時刻誤差を $-0.5 < t_x < 0.5$ [s] とする。正確な距離 X 、時刻 T に対して、それぞれ後方、前方車両での計測誤差が含まれるため、誤差を含む推測値 V' は、 $V' = (X + 2d_x - 2R)/(T + 2t_x)$ とできるため、ここに仮定から d_x, t_x の範囲を代入し、 $(X - 20 - 2R)/(T + 1) < V' < (X + 20 - 2R)/(T - 1)$ となる。正確な距離、時刻をから求まる速度 V は、 $V = X/T$ である。

次に、走行時間 T 、測定距離 X の範囲について考える。警戒情報を受信し、周辺車両の監視・速度推測を行う車両は、警戒情報の送信車両と最低でも D_{min} 離れた場所を走行している。そのため、速度推測を行うまでには、危険車両が速度推測を行う車両に追いつく必要があるため、警戒情報を送信開始してから最短で、 $T_{min} = D_{min}/(V_{danger} - V_{normal})$ [s] かかる。ここで、 V_{danger} は危険車両の速度を表し、 V_{normal} は速度推測を行う車両の速度を表す。このとき、危険車両の走行した距離 X_{danger} は、以下の式 (2) で表せる。

$$X_{danger} = \frac{D_{min}}{V_{danger} - V_{normal}} \times V_{danger} \quad (2)$$

$T > T_{min}$ 、 $X > X_{danger}$ より、最大誤差 $error_{max}$ は、 $T = T_{min}$ 、 $X = X_{danger}$ のときである。ここで、 $V_{danger} = 180$ [km/h]、 $V_{normal} = 100$ [km/h]、 $D_{min} = 300$ [m] とすると、 $177.1 < V' < 142.1$ [km/h] となり、 $2.9 < error_{max} < 37.1$ [km/h] より、 180 [km/h] に対して非常に大きな誤差を含むことが分かる。一方、 $V_{danger} = 180$ [km/h]、 $V_{normal} = 100$ [km/h]、 $D_{min} = 800$ [m] とすると、 $178.9 < V' < 164.9$ [km/h] となり、最大誤差 $1.1 < error_{max} < 15.1$ [km/h] より、許容範囲であると考えられる。また、本プロトコルでは、走行距離を電波到達範囲を引いた最低車間距離として求めているため、測定値が実際の速度には到達していない。ゆえに、 D_{min} が大きいほど、位置精度誤差、時刻誤差による影響は少なくなる。また、速度推測では、受信し

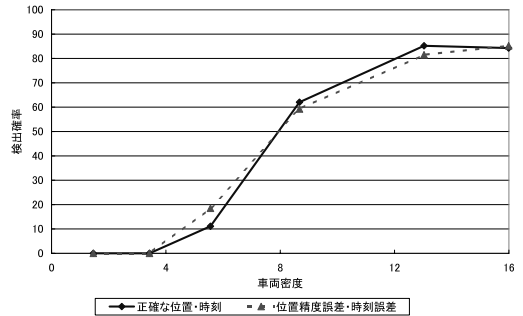


図 7 位置精度誤差と時間誤差を含む場合の検出確率
Fig. 7 Detection ratio with locational error and time error.

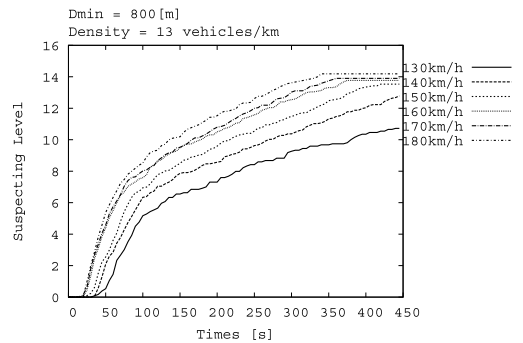


図 8 危険車両の速度と警戒値
Fig. 8 Detection vs. suspecting level and vehicular speed.

た警戒情報の中から最も古い位置情報との比較を行うため、距離 X 、 T は X_{danger} 、 T_{min} より十分大きくなり、誤差を無視することができる。

図 7 は、位置精度誤差と時刻誤差を含む場合の検出確率と位置と時刻を正確な値で行った場合の検出確率を比較したグラフである。危険車両の速度を 150 km/h、 $D_{min} = 800$ [m] としてシミュレーションを行った。図 7 から、位置精度誤差や時刻誤差を加えた場合と、正確な値で行った場合とでは、大きな違いは見られなかった。

3.4 危険車両の速度と警戒値の変化

図 8 は、警戒値が上がるのにかかる時間を示したグラフである。各車両は、周辺車両からの警戒情報を受け取るものと仮定する。警戒情報の伝播距離が D_{min} 以下ならば情報を前方車両へと伝播する。車両の推測速度が危険速度以上であれば、その車両の警戒値を 1 上げる。各車両の速度は、 ± 5 km のばらつきがあるため、 130 km/h で走行している車両を危険車両として検出することが難しい。そのため、検出するのにかかる時間が長くなった。 140 km/h 以上で走行する危険車両については、車両の速度が速くなるほど警戒値

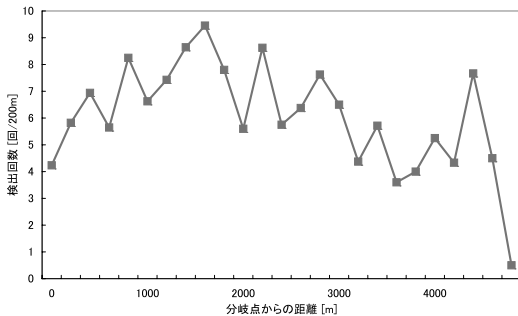


図 9 分岐からの距離と検出回数

Fig. 9 Detection vs. distance from fork in a road.

の上がり方が速く、検出にかかる時間が短かった（時速 130 km の車両も危険車両と検出したい場合は、危険速度 V_{limit} を 120 km/h に設定すればよい）。

図 9 は、監視対象車両の推測速度が危険速度を超えたと初めて判定された回数とその位置との関係を示したグラフである。x 軸は、分岐点から検出された地点までの距離を表してしており、y 軸は距離ごとの検出回数を道路 200 m あたりの回数で示している。この図から分かるように、分岐直後（分岐点からの距離 0–1,000 [m]）における検出数は減っている。これは、分岐により監視対象車両と異なる方向へ進んだなどの理由で、監視の継続に失敗したためと考えられる。そのため、分岐地点に情報伝達を補助する端末を設置するなどの改良でさらなる性能向上を図ることもできると考えられる。

3.5 車両密度と検出確率

図 10 は、各車両密度における危険車両の検出確率を示したグラフである。この図から分かるように、危険車両の検出確率は道路上の車両密度に大きく依存する。危険車両の速度が 140–180 km/h であり、車両密度が 12–16 台/km である場合には、危険車両の検出確率は、80–90% に達する。しかし、車両密度が 8–10 台/km では、検出確率が 60–65% に落ち、車両密度が 3–5 台/km になると検出確率は、危険車両の速度に関係なく 10% となる。車両の速度が 130 km/h である場合、速度推測により危険車両として扱われないことがあるため、車両密度が 8–16 台/km であっても検出確率は 30–50% にまで落ちる。

基本的に車両の速度が 140 km/h 以上であれば、車両密度が高くなると危険車両の検出確率は高くなる。車両密度が 3 台/km 以下の場合には、検出確率はほぼ 0 になる。これにより、本プロトコルが正しく動作するためには、ある程度の数の車両が走行していることが必要である。また、図 10 では、危険車両の速度

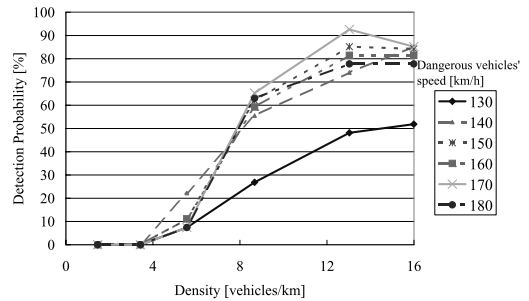


図 10 車両密度と検出確率

Fig. 10 Time variation of suspecting level for several vehicles' speed.

が速くなるに従い、検出確率も高くなることが示されている。

さらに、車両の動きを random walk として仮定した場合、ノード密度はほぼ一定となるため、検出確率はより高くなると考えられる。しかし、現実には、車両は 5 から 10 台ほどの車群で走行車線を走行しており、危険車両はその隣の追い越し車線を走行する。そのため、走行車線には車両のいない空白部分ができ、警戒情報を伝播できなくなる。また、東京の首都高速では、出入り口や分岐があるため、危険車両の情報を持ったまま車両が高速道路を下りたり、異なる方向に向かったりすることが起こる。これらの理由から、図 10 のように、検出確率が 95–100% に到達しないと考えられる。しかし、1 km ごとに中継機を設置し、警戒情報を前方の中継機へと伝播し、前方の中継機が受信した警戒情報を周辺車両へ散布するなどの工夫を行えば、現在の車両間での情報伝播の場合より、もっと高い検出確率となると考えられる。

4. まとめと今後の課題

本論文では、高速道路上の危険車両の検出に焦点を当てた。危険車両を検出するために、アドホック通信を用いて、警戒情報を前方の車両へと伝播し、速度推測を行った。そして、提案した検出プロトコルの性能を豊田中央研究所の作成した現実的な交通流シミュレータを用いて評価を行った。シミュレーションでは、提案したプロトコルを監視する車両間の距離、危険車両の速度、車両密度を変化させて評価した。その結果、80–90% の検出確率を得ることができた。また、現在の検出システムに提案プロトコルを加えることで、より検出精度を上げることができると考えられる。また、本論文で議論の対象としている速度超過車両以外にも、提案プロトコルを複数の車載センサ技術と組み合わせることにより、蛇行走行を行う車両や、無理な割り込み

を繰り返す車両などの危険運転も監視できると考えられる。今後の課題として、これらの危険車両についての検出を行うことなどがあげられる。

謝辞 本研究を行うにあたり、交通流シミュレータ NETSTREAM¹⁸⁾ の使用許可を快く与えてくださいました株式会社豊田中央研究所に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Artimy, M.M., Robertson, W. and Phillips, W.J.: Assignment of Dynamic Transmission Range Based on Estimation of Vehicle Density, *Proc. 2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2005)*, pp.40–48 (2005).
- 2) Camp, T., Boleng, J. and Davies, V.: A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research, *Wireless Communication and Mobile Computing*, Vol.2, No.5, pp.483–502 (2002).
- 3) Choffnes, R. and Bustamante, F.E.: An Integrated Mobility and Traffic Model for Vehicular Wireless Networks, *Proc. 2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2005)*, pp.69–78 (2005).
- 4) Festag, A., Fussler, H., Hartenstein, H., Sarma, A. and Schmitz, R.: FleetNet: Bringing Car-to-Car Communication into the Real World, *Proc. 11th World Congress on Intelligent Transport System*, CD-ROM, 2063.pdf (2004).
- 5) Hartenstein, H., Bochow, B., Ebner, A., Lott, M., Radimirsch, M. and Vollmer, D.: Position-Aware Ad-Hoc Wireless Networks for Inter-Vehicle Communications: The Fleetnet Project, *Proc. 2nd ACM International Symposium on Mobile Ad-hoc Networking & Computing (MobiHoc 2001)*, pp.259–262 (2001).
- 6) Heinzelman, W.R., Kulik, J. and Balakrishnan, H.: Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks, *Proc. 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, pp.174–185 (1999).
- 7) IEEE802.11 Standard, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ISO/IEC 8802-11:1999 (1999).
- 8) Khelil, A., Becker, C., Tian, J. and Rothmel, K.: An Epidemic Model for Information Diffusion in MANETs, *Proc. 5th ACM International Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM'02)*, pp.54–60 (2002).
- 9) Korkmaz, G., Ekici, E., Ozguner, F. and Ozguner, U.: Urban Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems, *Proc. 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2004)*, pp.76–85 (2004).
- 10) Mangharam, R., Weller, D., Rajkumar, R., Mudalige, P. and Bai, F.: GrooveNet: A Hybrid Simulator for Vehicle-to-Vehicle Networks, *Proc. 2nd International Workshop on Vehicles-to-Vehicle Communications (V2VCOM 2006)*, CD-ROM, 71.pdf (2006).
- 11) Miller, R. and Huang, Q.: An Adaptive Peer-to-Peer Collision Warning System, *Proc. IEEE Vehicle Technology Conference (VTC)*, pp.414–418 (2002).
- 12) Nadeem, T., Dashtinezhad, S., Liao, C. and Iftode, L.: Traffic View: A Scalable Traffic Monitoring System, *Proc. 5th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM2004)*, pp.13–26 (2004).
- 13) Ni, S., Tseng, Y., Chen, Y. and Sheu, J.: The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network, *Proc. 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, pp.151–162 (1999).
- 14) Panwai, S. and Dia, H.: Comparative Evaluation of Microscopic Car-Following Behavior, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol.6, No.3, pp.314–325 (2005).
- 15) Saito, M., Tsukamoto, J., Umedu, T. and Higashino, T.: Design and Evaluation of Inter-Vehicle Dissemination Protocol for Propagation of Preceding Traffic Information, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems* (to appear).
- 16) Scalable Network Technologies, Inc.: QualNet network simulation software.
<http://www.scalable-networks.com/>
- 17) Schwingenschlogl, C. and Kosch, T.: Geocast Enhancements of AODV for Vehicular Networks, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol.6, No.3, pp.96–97 (2002).
- 18) Teramoto, E., Baba, M., Mori, H., Kitaoka, H., Tanahashi, I., Nishimura, Y., et al.: Prediction of Traffic Conditions for the Nagano Olympic Winter Games Using Traffic Simulator: NETSTREAM, *Proc. 5th World Congress on Intelligent Transport System*, Vol.4, pp.1801–1806 (1998).
- 19) USC/ISI: The network simulator ns-2.
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- 20) Xu, B., Ouksel, A. and Wolfson, O.: Opportunistic Resource Exchange in Inter-Vehicle

Ad-Hoc Networks, *Proc. 5th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM2004)*, pp.4-12 (2004).

- 21) Yoon, J., Liu, M. and Noble, B.: Sound Mobility Models, *Proc. 9th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'03)*, pp.205-216 (2003).

(平成 19 年 4 月 10 日受付)

(平成 19 年 10 月 2 日採録)



井須久美子 (学生会員)

平成 18 年大阪大学基礎工学部情報科学科卒業。同年同大学大学院情報科学研究科情報ネットワーク学専攻博士前期課程進学。アドホックネットワークに関する研究に従事。



藤木 健之 (学生会員)

平成 15 年大阪大学基礎工学部情報科学科入学。平成 18 年同大学飛び級中退後、同大学大学院情報科学研究科情報ネットワーク学専攻博士前期課程進学。アドホックネットワークに関する研究に従事。



梅津 高朗 (正会員)

平成 13 年大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理系専攻博士前期課程修了。同年同大学院博士後期課程進学。平成 14 年同大学院博士後期課程退学後、同大学院情報科学研究科助手。平成 19 年より同大学院情報科学研究科助教。博士 (情報科学)。アドホックネットワーク用ミドルウェアや開発環境の研究に従事。



中 伊佐雄

昭和 49 年同志社大学文学部社会科学科社会学専攻卒業。昭和 52 年ミシガン州ノースウッド学院ホテル・レストラン経営学卒業。昭和 52 年大阪成蹊女子短期大学観光学科非常勤講師。昭和 53 年同短期大学観光学科講師。昭和 58 年同短期大学観光学科助教授。平成 7 年同短期大学入試部主幹。平成 9 年同短期大学学生部学生課長。平成 14 年同短期大学教育支援センター長補佐。平成 15 年同短期大学経営会計学科助教授。平成 16 年同短期大学経営会計学科教授。現在、大阪成蹊短期大学観光学科教授。マーケティング、サービス、ホスピタリティ等の教育研究に従事。日本観光学会会員、日本マーケティング協会学術会員。



東野 輝夫 (正会員)

昭和 54 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。昭和 59 年同大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年同大学助手。現在、同大学大学院情報科学研究科教授、博士 (工学)。分散システム、通信プロトコル、モバイルコンピューティング等の研究に従事。電子情報通信学会、ACM 各会員、IEEE Senior Member。