

車車間通信によるインシデント情報の伝達評価 —交通量、通信装置普及率とパケット衝突率の関係—

水野 佳幸[†] 津川 定之[‡]

[†]名城大学大学院理工学研究科情報科学専攻 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501

[‡]名城大学理工学部情報工学科 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501

E-mail: [†]m0432040@ccmailg.meijo-u.ac.jp, [‡]tsugawa@ccmfs.meijo-u.ac.jp

あらまし この論文は、ハイウェイ上においてインシデント情報を車車間通信で後方にリレーして伝達するシステムにおいて、通信装置普及率と情報伝達距離の関係を静的なモデルを用いてモンテカルロシミュレーションで考察している。まず、情報伝達距離は、交通流モデルとハイウェイ車線数にはよらず、通信範囲内の交通量と通信装置普及率によることをシミュレーションで確認し、つぎに、交通流モデルをアラン分布、車線数を1としたシミュレーションで通信装置普及率と情報伝達距離の関係を交通量をパラメータとして求め、さらに実用的な情報伝達距離を通信範囲の約3倍としたときのパケット衝突率を求めた。実用的な情報伝達システムでは、交通量にもよるが、通信装置普及率は10%から20%必要であり、そのときのパケット衝突率は、約0.6である。

キーワード ITS/ 車車間通信, 車両安全通信

Evaluation of Incident Information Transmission on Highways over Inter-Vehicle Communications: Relationship among the Traffic Volume, the Penetration Rate of the Communication Unit and the Packet Collision Rate

Yoshiyuki MIZUNO[†] Sadayuki TSUGAWA[‡]

[†]Meijo University, Graduate School, Shiogamaguchi 1-501, Tempaku-ku, Nagoya, 468-8502 Japan

[‡]Meijo University, Shiogamaguchi 1-501, Tempaku-ku, Nagoya, 468-8502 Japan

E-mail: [†]m0432040@ccmailg.meijo-u.ac.jp, [‡]tsugawa@ccmfs.meijo-u.ac.jp

Abstract This paper presents the evaluation of the incident information transmission range on highways from a vehicle detecting an incident to following vehicles over the inter-vehicle communications by relaying the information with the Monte Carlo simulation. Preliminary simulation results show that the transmission range of the incident information is less influenced by the traffic models and the number of lanes, but depends on the traffic volume and the penetration rate of the communication unit. The simulation studies have been, thus, conducted with a traffic flow model described with an Erlang distribution on a single lane highway to find the relationship among the penetration rate of the communication unit, the transmission range under various traffic volumes, and the packet collision rate. The results show that the penetration rate must be 10 to 20 % depending on the traffic volume for the feasible system, and the packet collision rate is about 0.6 in the feasible system.

Keyword ITS/ Inter-vehicle communications, Vehicle safety communications

1. まえがき

車車間通信システムは、日米の ITS システムアーキテクチャ[1]に定義されている四つの通信システムの一つであり、その特徴は、各車両が、車上センサでは測定が困難な、または不可能なデータを取得することを可能し、車載センシングシステムの限界を拡張することができる。したがって、車車間通信は、自動車交通の安全と効率の両面に大きく寄与する技術であり、すでに多くの車車間通信応用システムの研究が世界各

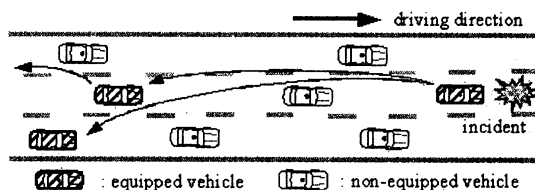


図1 車車間通信を用いたインシデント情報伝達システム

国で行われている[2]が、多くの研究に共通するのは、すべての車両が車車間通信装置をもつことを前提としている点である。しかし、この前提は、車車間通信応用システムの展開を考えると、必ずしも現実的ではなく、むしろ、通信装置の普及率が低くても機能するシステムを考える必要がある。

この論文は、車車間通信応用システムとして、ハイウェイ上におけるインシデント情報伝達システムを扱う。インシデント情報は、図1に示すように、インシデントを検出した、あるいはインシデントに遭遇した通信装置を装着した車両（装着車両）から車車間通信で後続の装着車両に伝達され、さらに次々と後続の装着車両にリレーされる。インシデント情報伝達システムは、車車間通信装置の普及率が低くても、実行可能なシステムとなる可能性がある。このシステムは、全車が通信装置を装着していることを前提とせず、装着車両は便益を得ることができ、通信装置を装着していない車両（非装着車両）は便益を得ることはないが不利益を被ることもないという特徴がある。この論文では、(1)有効なインシデント情報伝達距離を得るために必要な車車間通信装置の普及率、(2)そのときのパケット衝突率の2点に焦点をあてる。

すでに筆者らは、1車線のハイウェイ上で交通流がアーラン分布に従うときのインシデント情報伝達システムのシミュレーションを行い、通信装置普及率が10%ないし20%のときにシステムが有効であることを示した[3][4]。本論文では、まず、3種類の交通流モデルと車線数1ないし3のハイウェイを対象にシミュレーションを行い、交通流モデルと車線数はインシデント情報伝達範囲にほとんど影響を与えないことを示す。次に、ヘッドウェイがアーラン分布に従う交通流モデルと1車線のハイウェイを対象にシミュレーションを行い、車車間通信装置の普及率と情報伝達距離の関係を求め、さらに情報伝達距離とパケットの衝突率の関係を求める。

2. 問題の設定

ここで対象とするインシデント情報伝達システムでは、インシデント情報は実質的に後方にだけ伝達されるものとする。これは、インシデント情報に位置情報を含ませ、各車両がGPSとカーナビゲーションシステムのマップマッチング機能などの自車位置測定機能を持たず、受信データを取捨選択することによって可能となる。情報が伝達されるためには、1台の装着車両の通信範囲内に他の装着車両が存在することが必要である。しかし、通信範囲内に、情報を送信する装着車両以外に情報を受信する車両が2台以上存在すると、これらの車両が情報をリレーして送信するときにパケ

ットの衝突が発生する。ここで、通信範囲とは1台の車車間通信装置が情報を伝達することが可能な距離であり、伝達範囲とは情報を装着車両から装着車両に、次々とリレーしたときに最終的に情報が伝達される距離である。パケットの衝突率は、インシデント情報をリレーして（ホッピングによって）後方に伝達するときに、最後部の車両に情報を伝達するときのホッピングの回数を分母、そのときの衝突の回数、すなわち通信範囲内に2台以上の受信車両が存在する場合の数を分子として定義する。

同じ車車間通信装置普及率であっても、装着車両のハイウェイ上での分布によって、伝達範囲やパケット衝突率は変動する。したがって、ここでは伝達範囲の期待値（平均値）を単に伝達範囲とよび、同様に、パケット衝突率の期待値（平均値）を単にパケット衝突率とよぶ。この研究で求めるのは、インシデント情報伝達システムが実用的なレベルにあるときの、車車間通信装置普及率とそのときのパケット衝突率である。パケット衝突率を求めるのは、インシデント情報伝達システムのための車車間通信プロトコルの要件を明らかにするためである。

3. シミュレーション

今回のシミュレーションはモンテカルロ法に基づいて行う。交通流内の各車両の位置と装着車両は乱数を用いて与え、シミュレーションを多数回繰り返すことによって、交通量、通信装置普及率、情報伝達範囲、パケット衝突率の関係を求める。

3.1. シミュレーションモデル

3.1.1. 交通流モデル

交通流のモデルとして、スペースヘッドウェイ x の分布が、一様分布 $f_1(x)$ 、指数分布 $f_2(x)$ 、アーラン分布（位相 p を5ないし7とする） $f_3(x)$ に従う3種類のモデルを用いる。すべての車両は同一の速度で走行するものとし、したがってスペースヘッドウェイの分布は、時間ヘッドウェイの分布と同一である。比較のためにそれぞれの分布の平均スペースヘッドウェイ x_m は同一で $x_m=1$ とする。各分布は次式で与えられる。

一様分布 $f_1(x)=0.5$, $0.25 \leq x \leq 1.75$

指数分布 $f_2(x)=\lambda \exp(-\lambda x)$

アーラン分布 $g(x)=\frac{(p\lambda)^p x^{p-1} \exp(-\lambda px)}{(p-1)!}$

ここで $\lambda=1/x_m$ であり、 p はアーラン分布の位相で $p=1$ のときアーラン分布は指数分布となる。

いっぽう車線数は、1ないし3とする。交通流モデルが伝達距離に与える影響は、車線数を1として調べ、車線数が伝達距離に与える影響は、ヘッドウェイの分

布がアーラン分布（位相 p を 5 ないし 7 とする）で記述される場合について調べる。複数車線における車両の配置は、車線間で独立とし、基準となる車線における平均スペースヘッドウェイを正規化して 1 とし、他の車線はより高速で走行することとして平均スペースヘッドウェイは 1 よりも大きくする。

3.1.2. 車車間通信モデル

車車間通信では、情報の伝達は静的に行われ、したがって時間遅れは考えない。また、各車両は点とみなす。インシデント情報を送信した車両の通信範囲内に 2 台以上の装着車両が存在する場合には、最遠方の装着車両 1 台が情報をリレーするものとする。

3.1.3. パケット衝突のモデル

パケット衝突のモデルとして、通信範囲内に情報を送信する車両以外に 2 台以上の装着車両が存在するときにパケットの衝突が発生するものとする。シミュレーションでは、通信範囲内の最遠装着車両が情報をリレーしているため、パケットの衝突は発生しない。

3.2. シミュレーションのアルゴリズム

シミュレーションは、普及率と交通量をパラメタとしてモンテカルロ法で行う。この 1 組のパラメタに対してシミュレーションを 2000 回繰り返し、平均情報伝達範囲とパケットの衝突率を求める。シミュレーションの手順を以下に示す。

Step 1: 普及率と通信範囲内の交通量 n を設定する。

Step 2: 各交通流モデルにおけるヘッドウェイの分布に従う乱数を発生し、各車両のスペースヘッドウェイを求め、スペースヘッドウェイを加算していくことによって各車両の位置を求める。

Step 3: 通信装置普及率に基づいて装着車両の台数とその位置を乱数で決定する。

Step 4: 通信範囲内の装着車両の台数からパケット衝突の判定をする。

Step 5: 通信範囲から情報の伝達可能性を調べ、情報伝達範囲を求める。

4. シミュレーション結果

4.1. 交通流モデルが伝達範囲に与える影響

交通流のスペースヘッドウェイが一様分布、アーラン分布（位相 5）、アーラン分布（位相 6）、アーラン分布（位相 7）、指数分布に従い、通信装置普及率が 5% と 10% の場合の情報伝達範囲を図 2 に示す。この図からわかるように、交通流モデルが異なっても、平均スペースヘッドウェイが同一ならば、情報伝達範囲はほぼ同一であることがわかる。

4.2. 車線数が伝達範囲に与える影響

車線数を 1 ないし 3 とし、交通流のスペースヘッドウェイがアーラン分布（位相 6）に従う場合について

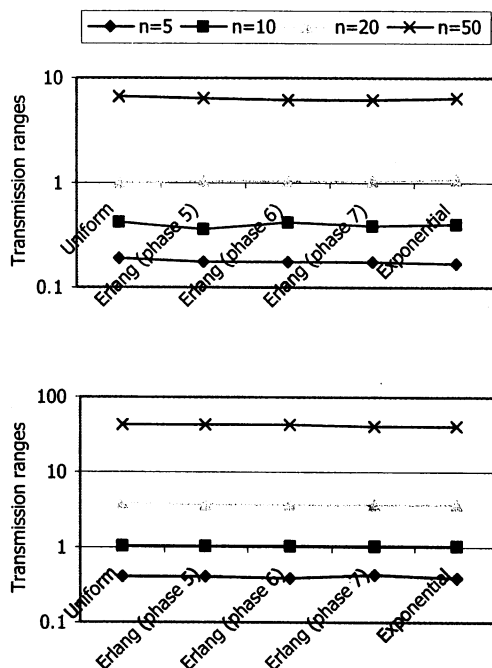


図 2 普及率が 5% (上) と 10% (下) の時の伝達範囲における交通モデルの効果 (n は通信範囲内の車両台数)

シミュレーションを行った。車線ごとの平均スペースヘッドウェイは、

車線数が 1 のとき: 1

車線数が 2 のとき: 1, 1.25

車線数が 3 のとき: 1, 1.25, 1.5

とした。車線数を i とし通信範囲内の交通量 n_i をパラメタとしたシミュレーションの結果を図 3 に示す。この図では情報伝達範囲は、通信範囲によって正規化されている。この図からわかるように、車線数が増加しても普及率と伝達範囲の関係はほとんど変化しない。すなわち、通信範囲内の全交通量が等しい場合、車線間の相乗効果はみられず、車線数は伝達範囲に影響しないことがわかる。このことは 1 車線に対するシミュレーション結果を複数車線に拡張できることを示す。

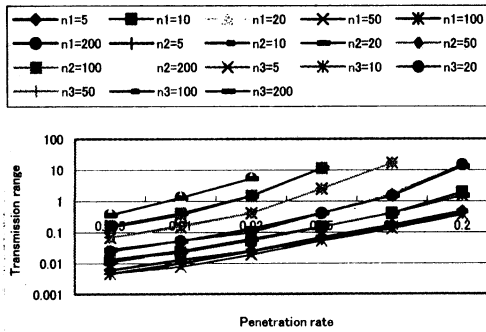


図3 多車線での通信範囲と普及率(n_i : i 車線のハイウェイにおける各車線ごとの通信範囲内の車両台数)

4.3. 通信装置普及率と情報伝達範囲の関係

スペースヘッドウェイが、位相が5, 6, 7のアーラン分布に従う場合のシミュレーションの結果を図4, 図5, 図6に示す。これらの図では情報伝達範囲は、通信範囲によって正規化されている。これらの図において、伝達距離が通信範囲以下(図内で1以下)であることは、インシデント情報が通信範囲内から出ることなく、後方に伝達されないことを意味する。インシデント情報が有効に伝達されるためには、少なくとも伝達距離が1以上であることが必要である。これらの結果から、交通密度が低いときは情報伝達範囲は小さく、交通密度が高いときは情報伝達範囲は大きくなるのがわかる。これはインシデント情報伝達の目的に適った特性である。すなわち、渋滞時など交通密度の高いときはインシデント情報が伝達されやすく、したがって多重衝突などの事故を防ぐ可能性が高くなる。逆に、道路上に車両が少ない場合は、インシデントの影響は必ずしも大きくはないため、インシデント情報を後方に伝達する必要性は小さくなる。

図3から図6までの結果をまとめて情報伝達範囲が通信範囲の3倍となる場合の通信装置の普及率を図7に示す。通信範囲内に平均10台の車両がある場合の必要な普及率は18%、平均20台の車両がある場合は9%、50台の車両がある場合は4%である。筆者らの測定によれば、5.8GHz, DSRC(出力10mW以下)では、試走路の直線部分で通信範囲はほぼ500mである[3]。この通信範囲をシミュレーション結果に適用すると、1車線のハイウェイ上でインシデント情報を後方1500m(通信範囲の3倍)まで伝達させるために必要な車間通信装置普及率は、通信範囲内の平均交通量が10台(平均ヘッドウェイは50m)のとき18%、20台(平均ヘッドウェイは25m)のとき9%、50台(平均ヘッドウェイは10m)のとき4%となる。

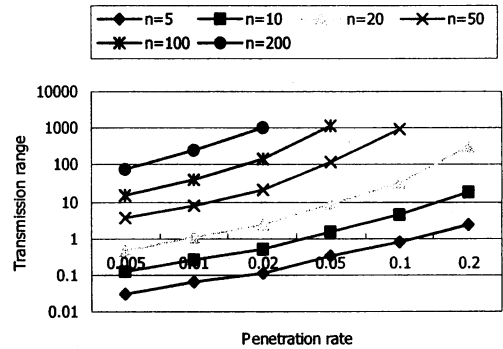


図4 ヘッドウェイが位相5のアーラン分布に従うときの普及率と伝達範囲の関係(n は通信範囲内の車両台数)

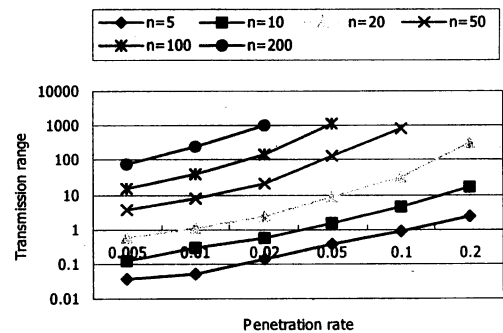


図5 ヘッドウェイが位相6のアーラン分布に従うときの普及率と伝達範囲の関係(n は通信範囲内の車両台数)

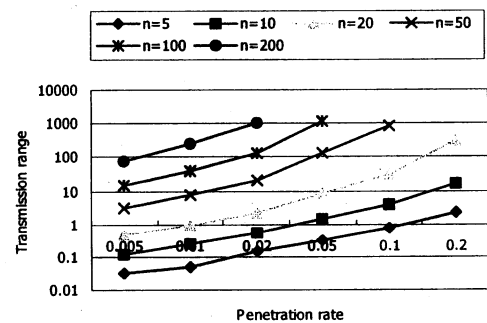


図6 ヘッドウェイが位相7のアーラン分布に従うときの普及率と伝達範囲の関係(n は通信範囲内の車両台数)

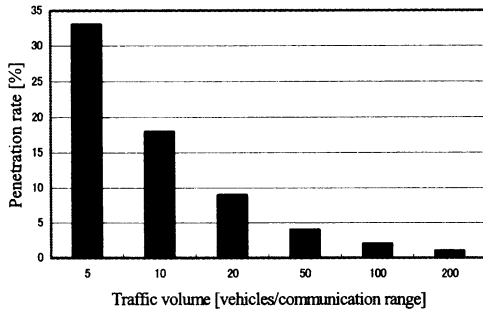


図 7 通信範囲内の交通量と実用的なシステムに必要な通信装置普及率の関係

4.4. 情報伝達範囲とパケットの衝突率の関係

車線数を 1 とし、交通流のスペースヘッドウェイが位相 5 のアーラン分布に従う場合について、通信範囲内の車両台数をパラメタとして、普及率と伝達範囲およびパケット衝突率の関係を求めたシミュレーション結果を図 8 に示す。この図から、たとえば、通信範囲内の車両台数が 20 台、通信装置普及率が 10% のとき、情報伝達範囲は通信範囲の約 3 倍（線グラフ）で、そのときのパケット衝突率は約 0.7（棒グラフ）であることがわかる。

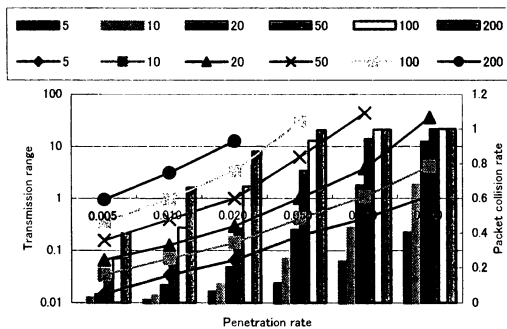


図 8 情報伝達範囲とパケットの衝突率

図 9、図 10、図 11 は情報伝達範囲を、通信範囲と等しい場合、通信範囲の 2 倍、3 倍とした場合のパケット衝突率を示したグラフで、パラメタはそれぞれの伝達範囲を与える通信範囲内の交通量である。これらの図から、たとえ情報伝達範囲が通信範囲と等しい場合（インシデント情報伝達システムの実用性からは、実用的とはいえないレベル）でも、パケット衝突率はほぼ 0.4 であり、情報伝達距離が、実用的なレベルにある、通信範囲の 3 倍の場合は、パケット衝突率はほぼ 0.6 である。

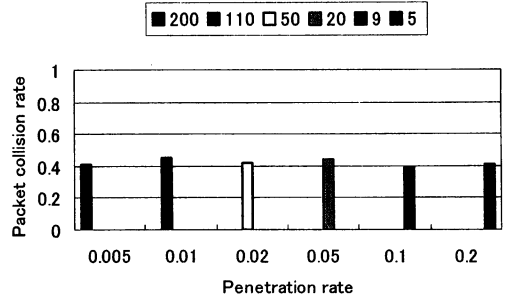


図 9 情報伝達範囲が通信範囲と等しい場合の通信範囲内の車両台数をパラメタとした普及率とパケット衝突率の関係

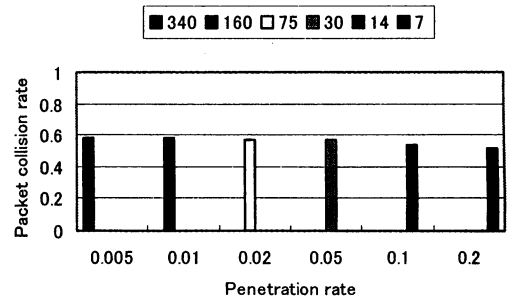


図 10 情報伝達範囲が通信範囲の 2 倍の場合の、通信範囲内の車両台数をパラメタとした普及率とパケット衝突率の関係

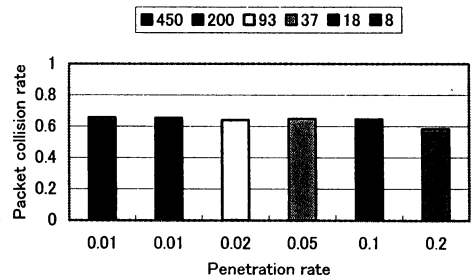


図 11 情報伝達範囲が通信範囲の 3 倍の場合の、通信範囲内の車両台数をパラメタとした普及率とパケット衝突率の関係

5. 考察

今回のシミュレーションで求めた、交通量、通信装置普及率と情報伝達範囲、パケット衝突率の関係に関する結果は、通信装置装着車両のハイウェイ上における配置によつ

で情報伝達範囲とパケット衝突率が決定されると要約できる。通信装置装着車両の配置は、交通量と通信装置普及率の積によって決定されるため、情報伝達範囲も交通量と通信装置普及率の積によって決定される。このことは図7に数値実験的に示されている。すなわち、情報伝達範囲を固定したとき、交通量と必要な通信装置普及率はほぼ反比例の関係にある。

パケット衝突率も通信装置装着車両の配置によって決定されるため、情報伝達範囲を固定したとき、パケット衝突率は一定となる。このことは図9、図10、図11に数値実験的に示されている。情報伝達範囲が固定されれば、パケット衝突率はほぼ一定である。

6. あとがき

この研究では、ハイウェイ上で車車間通信によってインシデント情報を後方に伝達するシステムについてモンテカルロシミュレーションを行い、車車間通信装置普及率、情報伝達範囲、パケット衝突率の関係を明らかにした。インシデント情報伝達システムが機能するためには、交通量にもよるが、1車線を想定した場合、通信装置の普及率が10%（通信範囲内の交通量が約20台）ないし20%（通信範囲内の交通量が約10台）程度必要である。複数車線の場合に必要な普及率は、2車線の場合は1車線の場合の1/2、3車線の場合は1/3となる。すなわち、ここで提案したインシデント情報伝達システムは、車車間通信装置普及率が低い場合でも機能し、実システムとして社会に導入、展開する場合、装着車両は利益を得、非装着車両は利益を得ることも不利益を被ることもないという必須要件を満たしている。

パケット衝突率は、実用的な情報伝達範囲を通信範囲の3倍とした場合、約0.6となり、このことは、ここで提案したインシデント情報伝達システムにおいてパケット衝突を回避するプロトコルが必要であることを示している。

残された課題は、パケットの衝突を回避するプロトコルの設計、動的なシミュレーションによる情報伝達評価などである。

文 献

- [1] U.S.DOT: "The National ITS Architecture Version 3.0 (CD-ROM)," 1999.
- [2] 津川定之, "車車間通信とその応用," 自動車技術, Vol. 58, No.2, pp. 26-31, 2004.
- [3] Kato, S. et al, "Evaluation of Information Transmission over Inter-Vehicle Communications with Simulation Studies," Proc. IEEE ITS Conference 2002, CD-ROM, 2002.
- [4] 津川, ほか, "車車間通信によるインシデント情報の伝達評価", 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2003-1, 2003.