

先行経路上の道路情報取得用アドホック通信プロトコルの開発

齋藤 正史[†] 塚本 淳[†] 船井 麻祐子[†]
 梅津 高朗[†] 北岡 広宣^{††}
 寺本 英二^{††} 東野 輝夫[†]

本論文では、車車間で無線 LAN のアドホック通信機能を用いて、先行経路上の道路情報を散布・伝播させていくためのアプリケーション層プロトコルを提案する。提案プロトコルでは、各車両が自身の道路情報と受信した他車両の道路情報を一定の周期で散布・中継することにより、そのデータを前後や対向車線を走る他の車両に転送している。現実的な道路状況にあわせたプロトコルを設計するため、我々は既存の交通流シミュレータと連動させて車車間での道路情報の散布・伝播やパケットの衝突の様子を詳細にシミュレートするためのアドホックネットワークシミュレータを開発した。実際の交通流をもとにパケットの衝突割合や道路情報の伝播状況などを計測し、車両の走行速度や一定時間内に受信したデータ数に依存した適切なデータ散布間隔を導出し、各車両がどの程度の時間で目的地の道路情報を取得できるかなどを評価した。

A Protocol for Acquiring Local Traffic Information Using Inter-vehicle Ad-hoc Communication

MASASHI SAITO,[†] JUN TSUKAMOTO,[†] MAYUKO FUNAI,[†]
 TAKAAKI UMEDU,[†] HIRONOBU KITAOKA,^{††} EIJI TERAMOTO^{††}
 and TERUO HIGASHINO[†]

In this paper, we propose an inter-vehicle mobile ad-hoc communication protocol in order for each vehicle to acquire its local traffic information. Our protocol is an application layer protocol, and it is based on dissemination and propagation of road information among moving vehicles. We have developed a mobile ad-hoc network simulator and combined it with a traffic simulator that decides traffic jams and vehicles' speeds/positions on a real road precisely. Based on simulation results about collision ratio and total amount of transmitted data, we have decided suitable data dissemination period that depends on vehicles' speeds and the number of received messages within a fixed period. Using the proposed inter-vehicle protocol, we also show that each vehicle can acquire its preceding local traffic information effectively.

1. はじめに

近年の無線 LAN 技術の発展や GPS (Global Positioning System) 機器の小型化・低価格化にともない、GPS 装置と IEEE802.11b^{15),16)} などの無線カードをカーナビなどに搭載し、路側の基地局との通信によって先行する経路上の渋滞情報や路面環境、駐車場の空き情報などの周辺施設情報などをリアルタイムに取得するための研究が進められている³⁾。都心の道路や高速道路など交通量が多い道路でこれらのサービス

を実現するには、かなりの経費を要しても路側に基地局を設置すればよい。しかし、幹線道路以外の道路において突発的に生じる局所的な渋滞情報や周辺施設情報、冬季の峠道での路面凍結状況などをリアルタイムに伝達するために、それらの道路に基地局を設置するのはコスト面から考えて現実的でない。

本研究では、この問題を解決するための 1 つの方法として、サーバ設備を含むインフラ整備を行うことなく、車車間で無線 LAN のアドホック通信機能を用いて先行する経路上の道路情報を必要とする車両に伝達するためのアプリケーション層プロトコルを提案する。提案するプロトコルでは、各車両は自身の現在位置・速度・進行方位・車両情報 (タイヤの滑り具合や外気温、ワイパの稼働状況など) の組を一定時間分保持するとともに、それらの情報 (以下、道路情報と呼ぶ)

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科
 Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{††} 豊田中央研究所
 Toyota Central R&D Laboratories, Inc.

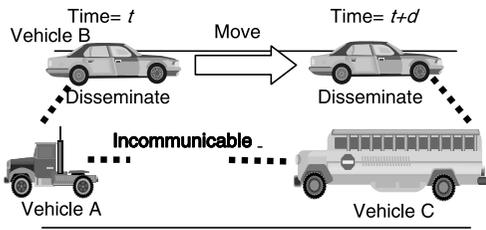


図 1 車車間通信

Fig. 1 Inter-vehicle ad-hoc communication.

を前後や対向車線を走る車に車車間アドホック通信で散布する．各車両は自身の道路情報と他車から受信した道路情報を一定個数取捨選択して保持し，一定の周期で周辺の他車に散布することで，そのデータを前後や対向車線を走る車両が順次伝播させる（図 1）．

車車間通信プロトコルの開発には，渋滞の発生や信号待ち，走行車両台数の変動，走行速度の変化，交換するデータサイズや車車間通信装置の装備率などを考慮する必要がある．そのための 1 つの手法として，ns-2 や QualNet, GloMoSIM などの既存のモバイルアドホックネットワークシミュレータを用いることが考えられるが，既存のモバイルアドホックネットワークシミュレータでは，random mobility や random way-point mobility, group mobility など，基本的にランダムに移動するモバイル端末のシミュレーションにしか対応していない¹³⁾．

そこで，我々は走行する車の位置に依存してアドホック通信の成功率やパケットの衝突率を決め，それに基づくアドホック通信をシミュレートするモバイルアドホックネットワークシミュレータを開発した．さらに現実的な交通流を再現できる交通流シミュレータ NETSTREAM¹²⁾ と連携させることで，1 秒ごとの車の位置情報から走行する車両の車車間通信を再現し，提案する車車間通信プロトコルの評価を行った．

開発したモバイルアドホックネットワークシミュレータでは，電波到達距離や通信帯域，距離に依存した受信成功率などのネットワーク情報，提案プロトコルで交換するデータサイズ，車車間通信装置の装備率，情報散布間隔などを指定できる．また，各車の受信バッファのオーバーフロー時に破棄する道路情報の選択アルゴリズムを C プログラムで与えられるようにし，各車両の送受信状況やデータの衝突・破棄状況などを再現するとともに，各車の，(1) データの送受信量，(2) 車車間通信でのデータの衝突・破棄率，(3) 指定した地点の道路情報の取得に要した時間などの統計情報を出力できる．開発したシミュレータを用いて，道路情報の伝播状況を一定期間計測し，一定速度以上で走行で

きる場合の道路情報の散布間隔を決定した．さらに，渋滞など一定速度以下の場合の計測結果に基づき，各車両の周辺を走行する車両の密度に依存した道路情報の散布間隔を導出した．また，各車両が散布する道路情報の内容や，受信バッファがオーバーフローした場合に破棄する道路情報の選択方法を考案した．

2. 車車間通信による情報伝達

現在，車両に渋滞情報などを伝える方法として，VICS²¹⁾ のように放送媒体を用いる方法と，携帯電話などを用いる方法^{22),23)} がある．一方，車車間でアドホックにデータを散布・収集するための方法として，たとえば，FleetNet Project¹⁾ では路側の基地局からある車両が取得した情報を前後の車両に車車間通信で情報伝達しようとしている．また，車車間アドホック通信によるマルチキャストプロトコルの提案⁹⁾ や交差点での衝突回避のための Peer-to-Peer 通信方法の考案⁵⁾ などの研究がある．信号や駅のキオスクなど一定の箇所にサーバを設置し，そのサーバと移動端末との間でのアドホックな通信方式の提案⁸⁾ もある．通信基地局を介さず車車間でモバイルアドホックネットワークを構築するための方法としては，データの散布に基づく手法^{2),10)} が提案されている．しかし，モバイルアドホックネットワークを構築する方法の多くは，議論の簡単化のためモバイル端末がランダムに移動することを前提にしているものが多い．車両は道路上を走行するとともに，信号のように特定の場所で一定期間停止するなどの挙動があるため，ある領域に対して一様に分布する傾向があるランダム移動では必ずしも車車間通信をシミュレートできないという問題がある．

一方，道路上を走行する車車間のモバイルアドホック通信をモニタするシステムとして TrafficView⁶⁾ や CB-AODV-Simulator⁹⁾ などが開発されている．しかし，TrafficView では複数車線の車両の走行は考慮されているが，道路形状に直線などの制限があり，典型的な道路状況を再現しているわけではない．また，時間と距離に応じた情報の伝達方法を考慮した車車間通信プロトコルも提案¹⁰⁾ されている．この研究では地図に即した車両の移動は考慮されているが，渋滞の発生や信号待ちなどは十分に考慮されていない．また，複数車両から同時に発信されたデータの衝突が考慮されず，何らかの衝突回避策を用いて各データが順に受信されると仮定している．しかし，渋滞の中で多くの車両がデータ散布を頻繁に行くと，いわゆるブロードキャストストーム⁷⁾ と呼ばれる大量データの衝突現象が起き，ほとんどのデータが他車両に伝わら

なくなってしまう．このため、渋滞時のデータ衝突などが極力起こらないよう考慮し、ブロードキャストストームが起こらないプロトコルを考案する必要がある．散布ノードの密度に応じてデータの散布割合を変え、ブロードキャストストームを回避するプロトコルの提案⁴⁾もあるが、ノードの移動はランダムと仮定しており、車両特有の移動をシミュレートできていない．

NETSTREAM¹²⁾は、渋滞低減や環境改善のためのITS導入の効果予測や事前評価を行うための交通流シミュレータである．交通流モデルは、前の車両と自車両までの距離 S に対して、 $K = 1/S$ をその道路の密度（道路密度）と定義し、 K と渋滞時の道路密度 $K_{congestion}$ 、その道路の自由走行時での最高速度 V_{max} から Greenshields の関係式（式 (1)）により各車両の走行速度 V を求めていく．

$$V = V_{max} \times \left(1 - \frac{K}{K_{congestion}} \right) \quad (1)$$

これにより、都市全体などの広域で交通流を精度高く計算することができ、長野オリンピック開催時の交通渋滞予測などに利用されている¹²⁾．

3. 道路情報取得用アドホック通信プロトコル

3.1 位置依存データの伝達

以下では、各車両が次のようなデータの組（自車両位置、現在時刻、走行速度、道路ID、進行方向、路面環境、車両状態（ワイバ稼働など））を1秒ごとに計測し、過去数十秒間の道路情報の一部を選択して自車両の道路情報として発信するものとする．1つの組は、収集した周辺施設情報を追加したとしても100 Bytes程度で表現できるとし、他の車両から取得した情報を含めて100個程度お互いに交換すると仮定すると、車車間で交換する道路情報は合計10 KBytes程度で表現できる．また、道路IDはカーナビの道路地図とGPSの位置情報をマッピングすることで得られると考える．

3.2 アドホック通信プロトコル

車車間でアドホックな通信を行う方法として、IEEE802.11¹⁵⁾のIBSS (Independent Basic Service Set) による通信がある．IEEE802.11のIBSS通信では通信範囲内の2ノード間でのアドホックな通信をサポートするとともにCSMA/CAによる衝突回避アルゴリズムが実装され、ブロードキャストサービスがサポートされている．本論文における提案プロトコルはIEEE802.11のIBSS通信上でのUDP/IPプロトコルを用いたアプリケーションプロトコルである．

シミュレーションの簡単化のために以下のような仮定を行う．まず、無線での通信範囲を100 mとし、100 m

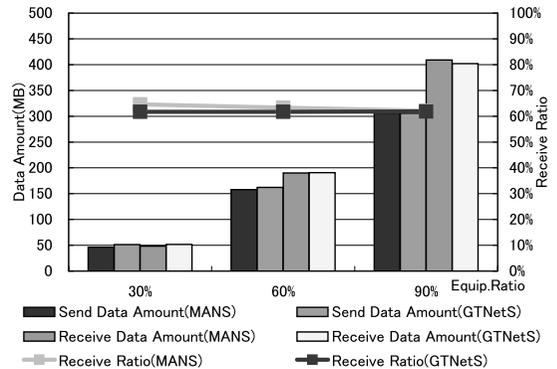


図2 MANSとGTNetSの性能比較

Fig. 2 Performance comparison of MANS with GTNetS.

圏内の車両どうしの通信が可能であると仮定する．ただし、通信距離 x が長くなるにつれて、データ転送の成功確率 y が式 (2) のように距離の2乗に比例して減少するものとする．一般に受信電波強度は2ノード間の距離の2乗から3.5乗に反比例して弱くなるが、エラー訂正による補正が働くため、ある程度の距離までは高い成功確率が維持されるためである^{11),20)}．

$$y = 1 - \left(\frac{x}{100} \right)^2 \quad (2)$$

提案プロトコルが使用可能な実質通信帯域幅を100 KBytes/secとし、車車間で交換するデータ量を10 KBytesとする．UDPパケット10 Kbytesの転送に0.1秒かかると仮定し、シミュレーションでは、1秒間を仮想的に10スロット分割し、各パケットが1つのスロットを占有すると仮定する．同一スロットで複数車両からパケットが送信された場合、それらの車両から半径100 mの円に重なる領域内にある車両は、データが衝突してともに正しく受信できなかったと見なす．

一般に数万台規模の移動端末のネットワークシミュレーションを既存のネットワークシミュレータで行おうとすると、膨大な時間を要する．また現状では、ランダムな移動以外の移動を容易に取り扱えるシミュレータもほとんど存在しない．我々は米国ジョージア工科大学のGTNetS¹⁴⁾を基に、人や車の移動を対象としたMANETアプリケーション向けのネットワークシミュレータを開発している¹⁷⁾．図2にCAMA/CAを用いたGTNetSと我々のシミュレータ(MANS)に対して、10分間という短時間かつ500台という少ない台数でのパケットの転送や衝突の評価を行った結果を示す．小規模な予備実験ではあるが、MANSとGTNetSとのシミュレーション結果は数%以内の誤差しか生じていない．一方、この簡略化により数万台規模の車車間通信のシミュレーションを効率良く行える．

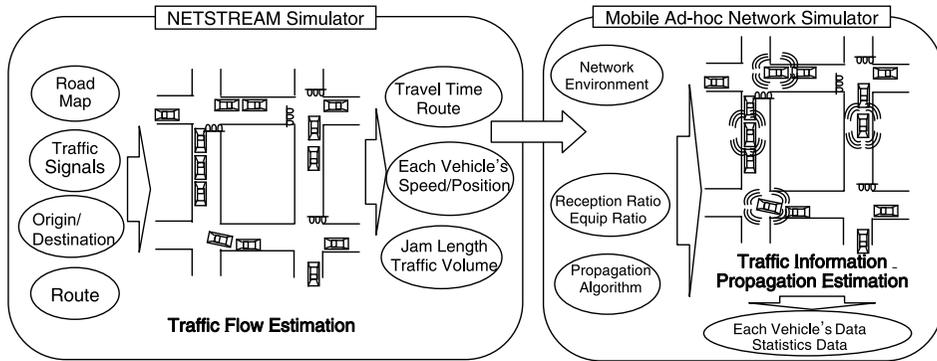


図 3 モバイルアドホックネットワークシミュレータの構成

Fig. 3 System structure of Mobile Ad-hoc Network Simulator.

3.3 道路情報散布プロトコル

道路情報散布のためのプロトコルとして、走行速度依存ランダム送受信プロトコル SDRP (Speed Dependent Random Protocol) を提案する。SDRP では、走行する車両の速度 v に応じたデータの散布間隔の上限值 $max(v)$ と下限値 $min(v)$ をあらかじめ定め、 $[min(v), max(v)]$ のランダムな時間間隔でデータの散布を行う。100 m 圏内の車両どうしの通信が可能であるとした場合、60 km/h (16.7 m/sec) ですれ違う車両どうしでは、約 6 秒間しか通信を行うことができない。一方、両方の車線に 10 m 間隔で車両が渋滞して止まっている場合、渋滞中央の車両は前後 100 m 両車線分で合計 40 台の車両から道路情報を同時に受信する可能性がある。各車両が高速に走行している場合に情報の取得確率を高めるためには、散布間隔を短くする必要がある。一方、多数の車両が渋滞している場合には、ほぼ同一のデータが多く数の車両から散布されるだけでなく、各車両が道路情報を頻繁に散布すると、パケット衝突が起こり道路情報を正しく受信できなくなってしまうため、散布間隔を長くする必要がある。

4. モバイルアドホックネットワークシミュレータの開発

4.1 シミュレータの機能と構成

モバイルアドホックネットワークでの車車間通信により、道路情報の交換がどの程度の時間内で実現可能であるかを評価するためのシミュレータ MANS を開発した (図 3)。MANS は、車車間通信装置を装備している車両間での道路情報の伝播の状況や各車両が受信した情報の内容を保持し、道路情報の伝播状況から、データの転送確率や 1~5 km 先の先行する経路上の道路情報取得に要する時間などの統計情報を収集・表示することが可能である。MANS の動作を以下に示す。

- (1) ネットワーク環境、散布プロトコルの設定。
- (2) 車車間通信装置の装備率から、装備車両を決定。
- (3) NETSTREAM 動作時間内の 1 秒ごとに実行。
 - (a) 散布プロトコルによりデータ散布する車両を決定。
 - (b) 各車車間通信装置装備車両に対して：
 - (i) 自車両の電波到達距離範囲内にいるデータ散布車両集合を検索。
 - (ii) 受信確率と衝突状況の検査結果に基づいて、データ散布車両からのデータ受信成功/失敗を決定。
 - (iii) データ受信成功の場合は受信データを次の送信のために保持。
- (4) 以下の項目に対し、データ伝播状況を計算。
 - (a) 道路情報受信成功率
 - (b) 車車間通信でのパケット衝突率
 - (c) 各車両が先行する走行経路上の道路情報を取得した車両割合の時間的变化

なお、一般には受信した道路情報に基づき各車両が経路変更を行う可能性もあるが、本論文では経路変更は考慮していない。

4.2 シミュレーション環境

以下の入力パラメータ値に対して、開発した MANS を用いて、車車間通信による道路情報の伝播についての評価した。道路環境は中央に市街地がある仮想的なものを使用した。評価環境を以下に示す

- 道路環境：20 km × 20 km，信号数 198 個 (図 4)
- シミュレーション時間：60 分 (データ評価には 10~50 分の 40 分間を使用)
- 車両の位置情報：1 秒ごと
- 車両環境：4,890 台 (60 分間での総台数)
- 車車間通信装置装備率：30%，60%，90%
- ネットワーク環境：電波到達距離 100 m，通信帯

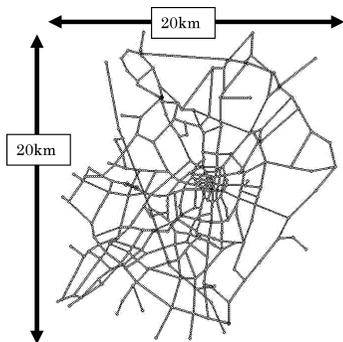


図 4 シミュレーションに用いた道路環境

Fig. 4 Road map used for network simulation.

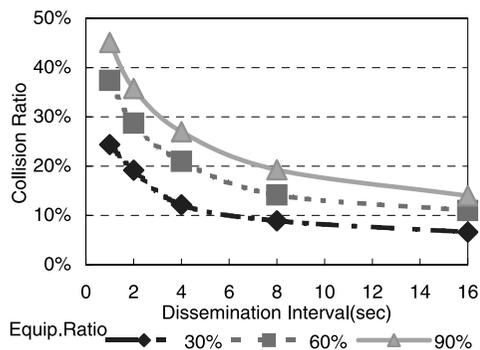


図 5 散布間隔と衝突率 (A = B = 1 ~ 16)

Fig. 5 Dissemination interval and collision ratio (A = B = 1 ~ 16).

域幅 100 KBytes/sec

- 散布プロトコル：走行速度依存ランダム送受信プロトコル (SDRP). 30 km/h を境に高速時と低速時の 2 種類の散布間隔を指定

ここで、道路公園などの渋滞状態の定義を速度の観点から見た場合の閾値として、30 km/h が多く使用されることから、高速時・低速時の閾値として採用した。

4.3 シミュレーション結果

4.3.1 衝突率と総散布データ量

SDRP における散布間隔を変化させ、各装備率における衝突率ならびに散布が成功した受信データ総量を測定した。SDRP は、速度 v での散布が $[\min(v), \max(v)]$ の間のランダム時間に行われるとしている。実際のシミュレーションでは、 $\min(v) = \max(v)/2$ 、すなわち $[\max(v)/2, \max(v)]$ として実行している。図 5、図 6 は速度により散布間隔を変化させない場合の結果である。SDRP での散布間隔を $\langle A (30 \text{ km/h 未満のとき}), B (30 \text{ km/h 以上のとき}) \rangle$ とした場合に、 $\langle A, B \rangle$ の値を $\langle 1, 1 \rangle \sim \langle 16, 16 \rangle$ で変化させた。図 7、図 8 は 30 km/h 以上の散布間隔を 1 秒に固定し、30 km/h 未満での散布

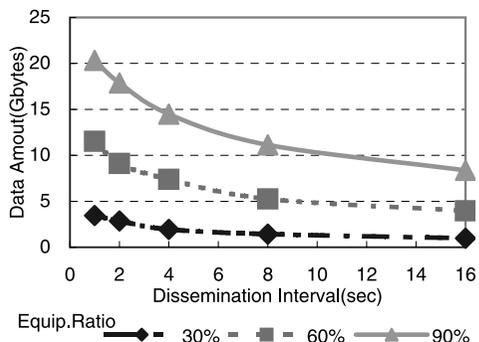


図 6 散布間隔と受信データ総量 (A = B = 1 ~ 16)

Fig. 6 Dissemination interval and total received data amount (A = B = 1 ~ 16).

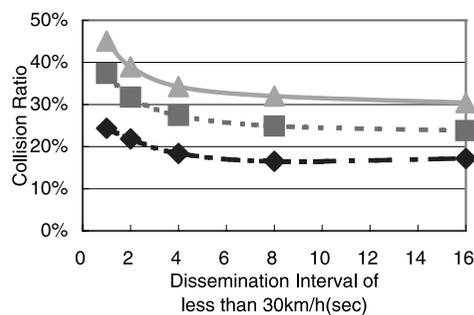


図 7 散布間隔と衝突率 (A = 1 ~ 16, B = 1)

Fig. 7 Dissemination interval and collision ratio (A = 1 ~ 16, B = 1).

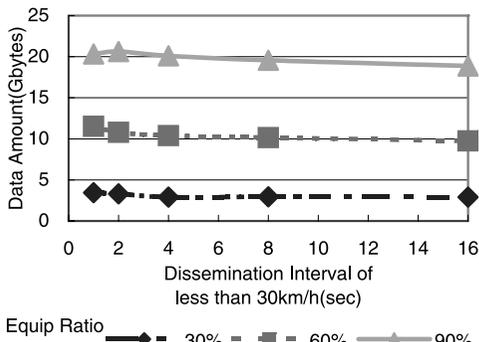


図 8 散布間隔と受信データ総量 (A = 1 ~ 16, B = 1)

Fig. 8 Dissemination interval and total received data amount (A = 1 ~ 16, B = 1).

間隔を可変としたときの結果である。

ここで、受信データ総量とはシミュレーション時間内に全車両が受信したデータの合計である。また、衝突率は受信が可能と判定した車両台数の合計に対して、他の車両からの同時送信によりパケットが衝突して受信できないと判定した車両台数の比としている。

受信データ総量は、装備率 90% の際には 30 km/h

表 1 破棄データの選択方式と散布する自車両道路情報
Table 1 Discarding/replacing algorithm and own vehicle's information.

方式	データ破棄方式	散布自車情報	他車情報
1	進行方向の中心角 120 度外データを破棄．依然不足した場合はランダムで破棄	直近の 1 秒間 1 個	99 個
2	時間的に古いデータを破棄	直近の 1 秒間 1 個	99 個
3	ランダムに破棄	直近の 1 秒間 1 個	99 個
4	ランダムに破棄	直近の 4 秒間 4 個	96 個
5	ランダムに破棄	直近の 40 秒間 10 秒間隔 4 個	96 個
6	ランダムに破棄	直近の 140 秒間 10 秒間隔 14 個	86 個

未満を 2 秒間隔としたとき最大で 20.6 GByte, 装備率 60% の際は 30 km/h 未満を 1 秒間隔としたときが最大で 11.5 GByte となり, このときの衝突率はそれぞれ 39%, 37% となっている. ここで, 衝突率は一般の無線 LAN の使用環境に比較して非常に大きな値となっている. これは, CSMA/CA など衝突回避の機能を用いず単純な UDP パケットブロードキャスト通信を仮定したことによる.

4.3.2 先行経路上の道路情報取得時間

SDRP による先行経路上の道路情報取得に関して, 1~5 km 先の先行道路情報を取得できた車両割合の時間的な変化について評価した. 以降, 先行経路上の道路情報を先行道路情報と呼ぶ. ここでの先行道路情報は, ある特定位置周辺の車両の道路情報かつ進行方向が一定角度内である道路情報としている. 本シミュレーションでは, 先行道路情報として半径 200 m 範囲内かつ進行方向の中心角 120 度以内の情報としている.

先行道路情報の取得時間を評価するにあたり, 受信バッファがオーバーフローした際に破棄するデータの選択方式と散布する自車両の道路情報内容を変更させ, できるだけ短い時間で情報取得できる方式を選定した. 評価した方式を表 1 に示す. なお, 受信バッファサイズは, 情報保持する必要のある面積 (ないしは道路長) ならびに情報が有効な価値を持つ時間, 車両密度に影響を受ける. 本シミュレーションでは数 km 四方の範囲内で 10 分前までの道路情報を有効情報と設定し, 受信バッファサイズを 300 KB (10 KB×300 個) とした. また, 1 分間に 1 回以上のデータを受信かつ目的地付近を通過する車両が 10 台以上存在する車両を対象とした. 以降, SDRP の散布間隔を $\langle A, B \rangle = \langle 4, 1 \rangle$, 車車間通信装置装備率を 90% と設定する.

図 9 に表 1 の各方式を用いた場合の 1 km 先の先行道路情報を取得した車両の割合を示す. 表 1 の 6 種の方法の中においては, 方式 6 が最も早い時間に対応す

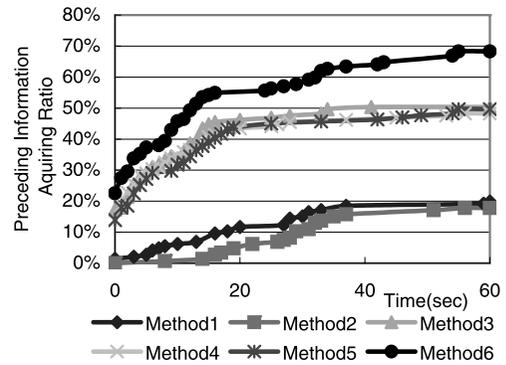


図 9 破棄方式と先行道路情報取得割合

Fig. 9 Data discarding method and preceding road information acquiring ratio.

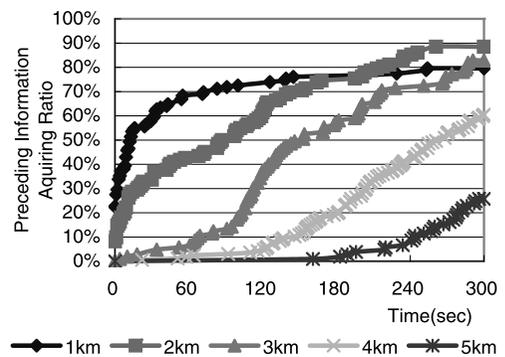


図 10 先行道路情報取得割合 (方式 6)

Fig. 10 Preceding road information acquiring ratio (Method 6).

る情報を取得することができた. 図 10 に, 方式 6 により先行道路情報を取得した車両割合を示す. 50% 程度の車両は 1 km 先の情報を 10 秒程度で取得でき, 2 km 先の情報は 80 秒程度で取得することができる.

5. シミュレーション結果の考察

5.1 サービス性評価

5.1.1 受信データ量

一般に, 衝突率はデータの散布間隔が短くなると増加し, ある程度の衝突率までは衝突が増加しても車車間で交換されるデータ量は増加していく. 一方, あまりに多くの衝突が発生すると車車間で交換されるデータ量は減少する. このため, 受信データ総量を最大とする適切な散布間隔を見つける必要がある.

図 8 より, 装備率 90%, 30 km/h 未満での散布間隔 2 秒の場合に衝突率が 39.0% となり, 4,400 台の車両が 40 分間に合計 20.6 GBytes の情報を受信している. このシミュレーションでは, 1 台の平均走行時間が 15.6 分, 1 つの道路情報が 100 Byte であることか

ら、1台あたり 308 KBytes/min、つまり毎分 3,000 個程度の情報を取得できている。現実に即した交通流シミュレーションに基づいたこの結果は、60%以上という十分な装備率の場合に、アドホック通信のみで大量の情報交換が可能であることを示している。また衝突率の増加は低速走行車両の散布間隔に依存している。そのため図 8 の受信データ総量の最大値から、衝突率の小さい散布間隔を導出することができる。

5.1.2 有効データ受信

受信バッファがオーバーフローした場合の破棄データの選択方式と散布する自車両の道路情報内容を変更したシミュレーションを実施した。図 9 より、表 1 の方式 1, 2 では、先行道路情報取得に非常に長い時間を要している。これは、自車両にとって必要な情報を優先的に残すことが、他車両にとって価値のある道路情報の破棄につながっており、サービス全体として効率の良い結果にならなかったと考えられる。また、方式 2 の結果から、古すぎる情報の破棄は必要ではあるが、必ずしも新しい情報のみの交換がサービス全体の効果をあげることにならないことを示している。

さらに、データ破棄方式を最も単純なランダム方式とし、散布する自車両の道路情報を増加させることにより、情報取得に要する時間が短くなっている。データ破棄の方式に工夫をこらすよりも、散布する自車両の道路情報数を増加させた方が、先行道路情報の取得には有効であることが分かった。

5.2 受信データ数に依存した散布プロトコル

実環境においては、本サービスを具備している車両の割合は徐々に増加していく。したがって、受信データ量を最大化する散布間隔を事前に知ることはできない。また、本シミュレーションにおいては、車線によって走行速度が大きく異なる場合や、走行車線は渋滞しているが対向車線の車両は高速走行している場合を考慮していない。そこで、車載通信装置の装備率や他の車線も含めた一定領域内での車両密度を推測し、適切な散布間隔を決定するために、一定の時間内に受信したメッセージ数に応じて散布間隔を決定することとする。上記 SDRP を基に受信メッセージ数依存送信プロトコル RMDP (Received Message Dependent Protocol) を提案する。RMDP において、散布間隔は受信メッセージ数に反比例すると仮定し、装備率に依存しない最大の受信データ量を得るための散布間隔を SDRP のシミュレーション結果を基に導出した。以下、導出方法について説明する。30 km/h 以上の散布間隔を 1 秒に固定、30 km/h 未満の散布間隔 P を

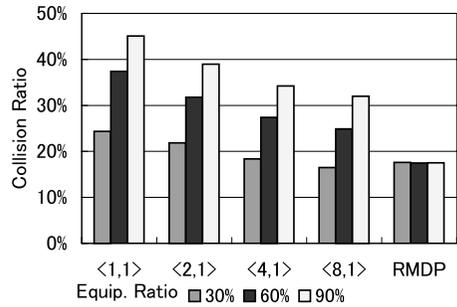


図 11 衝突率 (SDRP, RMDP)
Fig. 11 Collision ratio (SDRP, RMDP).

$$P = \frac{\alpha}{1 - \beta \cdot \gamma} \quad (\alpha, \beta > 0)$$

とし、 γ を過去の規定時間 t 内での受信メッセージ数と受信エラー数の合計値とする。ここでは $t = 30 \text{ sec}$ とする。また、 γ に受信エラー数を加えることで、渋滞路などで多数の車両がいつせいに散布を行った場合に発生する可能性があるブロードキャストストームを回避することを意図している。図 8 に示したシミュレーション結果より、

- 装備率が 60% の際には、1 秒間隔で散布した場合に受信データ量が最大。このとき $\gamma = 14.00$ である。
- 装備率が 90% の際には、2 秒間隔で散布した場合に受信データ量が最大。このとき $\gamma = 15.13$ である。

この 2 点を通る P の式を導出する。

$$1 = \frac{\alpha}{1 - \beta \cdot 14.00}, \quad 2 = \frac{\alpha}{1 - \beta \cdot 15.13}$$

この連立方程式より、 $\alpha = 0.14, \beta = 0.06$ を得る。したがって、過去 30 秒間の受信メッセージ数 γ に応じて

$$P = \frac{0.14}{1 - 0.06 \cdot \gamma} \quad (0 \leq \gamma < 17)$$

で散布間隔を計算し、前回散布時刻から P 秒以上経過していた場合に散布を行う。ここで、 $\gamma \geq 17$ では散布間隔 $P = \infty$ として散布を中止し、他車からのデータ受信のみとし、衝突の発生を抑制する。

図 4 の道路環境において SDRP と RMDP の衝突率の評価を行った結果を図 11 に示す。SDRP では車間通信装置の装備率増加にともない平均的な衝突率が増加するが、RMDP では装備率が変化しても衝突率は 18% 程度でありほとんど増加しない。これは、RMDP が受信メッセージ数と受信エラー数に応じて散布間隔を決めるプロトコルであるためである。装備率が高く受信メッセージ数が多い場合にはデータ送信

を抑制し、頻繁なパケット衝突を避ける。一方、装備率が低く受信メッセージ数が少なく受信エラーがほとんど起こらない場合にはデータ送信を積極的にを行い、空いている帯域幅を最大限利用する。このことにより、RMDPは装備率や車両密度の違いにより散布間隔を変え、結果的に車車間通信装置の装備率に依存しない衝突率を実現できている。これは、車線により車両密度が異なる道路においても同様に効果的な情報伝播が可能となることを示しており、継続的に壊滅的な状況を導くブロードキャストストームを起こさせないために、RMDPは非常に有効なプロトコルであるといえる。

6. おわりに

本研究では、車車間でのアドホック通信機能を用いて、道路情報を散布・伝播させていくためのプロトコルを提案した。提案プロトコルの有効性を確認するために、モバイルアドホックネットワークシミュレータMANSを作成し、交通流シミュレータNETSTREAMと連携させることにより、車車間アドホック通信による道路情報の取得方法を検討した。今後の課題としては、車車間通信と路車間通信の融合や伝播距離の変動に対する耐性の保持、車両密度が高い場合にも対処可能な散布間隔の再計算決定方式最適化など提案プロトコルのさらなる効率化、散布する道路情報の選択方法によるサービス性の向上を行うことなどが考えられる。

参 考 文 献

- 1) 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. 2001 ACM Int. Symp. on Mobile Ad-hoc Networking & Computing (MobiHoc)*, pp.259–262 (2001).
- 2) Heinzelman, W.R., Kulik, J. and Balakrishnan, H.: Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks, *Proc. 5th Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, pp.174–185 (1999).
- 3) Kellerer, W., Bettstetter, C., Schwingenschlogl, C., Sties, P., Steinberg, K.-E. and Vogel, H.-J.: (Auto) Mobile Communication in a Heterogeneous and Converged World, *IEEE Personal Communications*, Vol.8, No.6, pp.41–47 (2001).
- 4) Khelil, A., Becker, C., Tian, J. and Rothermel, K.: An epidemic model for information diffusion in MANETs, *Proc. 5th ACM Int. Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM'02)*, pp.54–60 (2002).
- 5) Miller, R. and Huang, Q.: An Adaptive Peer-to-Peer Collision Warning System, *Proc. IEEE Vehicle Technology Conference (VTC)*, pp.414–418 (2002).
- 6) Nadeem, T., Dashtinezhad, S., Liao, C. and Iftode, L.: Traffic View: A Scalable Traffic Monitoring System, *Proc. 2004 IEEE Int. Conf. on Mobile Data Management (MDM2004)*, pp.13–26 (2004).
- 7) Ni, S.Y., Tseng, Y.C., Chen, Y.S. and Sheu, J.P.: The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad-hoc Network, *Proc. 5th Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, pp.151–162 (1999).
- 8) Papadopouli, M. and Schulzrinne, H.: Effects of power conservation, wireless coverage and cooperation on data dissemination among mobile devices, *Proc. 2nd ACM Int. Symp. on Mobile Ad-hoc Networking & Computing (MobiHoc2001)*, pp.117–127 (2001).
- 9) 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).
- 10) Xu, B., Ouksel, A. and Wolfson, O.: Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks, *Proc. 2004 IEEE Int. Conf. on Mobile Data Management (MDM2004)*, pp.4–12 (2004).
- 11) Rappaport, T.: *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd Edition, Prentice Hall (2001).
- 12) 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 Systems*, Vol.4, pp.1801–1806 (1998).
- 13) Tracy, T., Jeff, B. and Vanessa, D.: A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research, *Wireless Comm. & Mobile Computing (WCMC): Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, Vol.2, No.5, pp.483–502 (2002).
- 14) Riley, G.F.: The Georgia Tech network simulator, *Proc. ACM SIGCOMM Workshop on Models, Methods and Tools for Reproducible Network Research*, pp.5–12 (2003).

- 15) IEEE802.11 Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, ISO/IEC 8802-11:1999 (1999).
- 16) IEEE802.11b Standard: Supplement to 802.11-1999, Wireless LAN MAC and PHY specifications: Higher speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4GHz band, ISO/IEC 8802-11:1999 (1999).
- 17) 小西一樹, 内山 彰, 廣森聡仁, 山口弘純, 安本慶一, 東野輝夫, 谷口健一: MANET アプリケーション向けのシミュレータ MobiREAL の実装に関する検討, 情報処理学会研究報告, MBL-31, pp.55-62 (2004).
- 18) 土橋健太郎, 田代裕和, 富永英義: 自律走行のための走行速度に応じたメッセージ交換プロトコル, 情報処理学会研究報告, ITS-18, pp.1-4 (2004).
- 19) 塚本 淳, 齋藤正史, 梅津高朗, 東野輝夫: 行先道路情報取得プロトコル RMDP の評価と車々間・路車間通信混在環境への適応, 情報処理学会研究報告, ITS-19, pp.149-156 (2004).
- 20) 松江英明, 守倉正博: 802.11 高速無線 LAN 教科書 (株)IDG ジャパン (2003).
- 21) 財団法人道路交通情報通信システムセンター: VICS. <http://www.vics.or.jp/english/>
- 22) トヨタ自動車株式会社: G-BOOK. <http://g-book.com/>
- 23) 本田技研工業株式会社: インターナビ・プレミアムクラブ. <http://premium-club.jp/>

(平成 16 年 12 月 27 日受付)

(平成 17 年 9 月 2 日採録)



齋藤 正史 (正会員)

昭和 58 年東京工業大学工学部情報工学科卒業。同年三菱電機 (株) 入社。平成 4 年コーネル大学コンピュータサイエンス学科修士課程修了。現在, 大阪大学情報科学研究科博士後期課程在学中。オペレーティングシステム, インターネット, 分散システム, ITS の研究開発に従事。ACM 会員。



塚本 淳 (学生会員)

平成 16 年大阪大学基礎工学部情報科学科卒業。現在, 同大学院情報科学研究科博士前期課程在学中。アドホックネットワーク, ITS に関する研究に従事。



船井麻祐子

平成 16 年大阪大学基礎工学部情報科学科卒業。現在, 日本電気 (株) 勤務。在学中, 車車間通信における通信プロトコル開発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。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。博士 (情報科学)。P2P アプリケーション用ミドルウェアの研究に従事。



北岡 広宣

平成 2 年千葉大学工学部電子工学科卒業。平成 4 年同大学院電子工学専攻修士課程修了。同年 (株) 豊田中央研究所入社。交通流シミュレーション, 交通状況予測に関する研究に従事。現在, 車両・安全・ITS センター所属。交通工学研究会会員。



寺本 英二

昭和 57 年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。平成 2 年 (株) 豊田中央研究所入社。移動通信システム, 測位システム, 交通流シミュレーションに関する研究に従事。現在, 車両・安全・ITS センター所属。交通工学研究会会員。



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 年同大学院基礎工学研究科博士課程修了。同年同大学助手。現在, 同大学院情報科学研究科教授, 工学博士。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。