

アドホック通信に基づく行先経路の道路情報取得プロトコルの開発

齋藤 正史 船井 麻祐子 梅津 高朗 東野 輝夫

大阪大学大学院情報科学研究科

〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

E-mail: {m-saito, m-funai, umedu, higashino}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 本稿では、車車間で無線 LAN などのモバイルアドホック通信機能を用いて、道路情報を散布・伝搬させていくためのプロトコルを提案する。提案プロトコルは、各車が自身の道路情報と受信した他車の道路情報を一定の周期で散布し、そのデータを前後や対向車線を走る他の車が取得し、それらのデータを順次伝搬させていくという方針に基づいている。これらのプロトコル設計のため、我々は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・伝搬やパケットの衝突の様子を詳細にモニター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シミュレーションを行うことにより、パケットの衝突割合や道路情報の伝搬状況などを1秒ごとに計測し、各車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。これらの評価結果に基づき、各車の速度や周辺を走行する車の密度に依存した道路情報の散布間隔を決定し、できるだけ効率よく道路情報を散布・伝搬させていくためのプロトコルを考案した。

キーワード 車車間通信プロトコル, アドホックネットワーク, 交通流, シミュレーション

INTER-VEHICLE MOBILE AD-HOC COMMUNICATION PROTOCOL FOR ACQUIRING LOCAL TRAFFIC INFORMATION

Masashi SAITO Mayuko FUNAI Takaaki UMEDU and Teruo HIGASHINO

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-3 Machikaneyamacyo, Toyonaka, Osaka, 560-8531 JAPAN

E-mail: {m-saito, m-funai, umedu, higashino}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract 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 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 flow simulator that decides traffic jams and vehicles' speeds/positions precisely. Based on those simulation results, our simulator calculates packet collision ratios and success rates of mobile ad-hoc communications among vehicles per second, and evaluates how fast each vehicle can obtain its destination route information. Based on those results, we have proposed an inter-vehicle mobile ad-hoc communication protocol with suitable dissemination intervals depending on vehicles' speeds and traffic density.

Keyword inter-vehicle communication protocol, ad-hoc network, traffic flow, simulation

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・低価格化に伴い、GPS 装置と IEEE802.11b などの無線カードを車のカーナビなどに搭載し、路側の基地局との通信によって各車の現在位置や行き先に応じた渋滞情報や路面環境、周辺施設情報 (駐車場の空き情報) などをリアルタイムに取得できるように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多数の車が利用する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、そういった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。一方、居住者の立場から考えると、たとえ幹線道路周辺に居住していなくても、居住地域周辺の道路情報がリアルタイムに取得できることは様々な面でメリットがある。これらの道路情報はすべての人がどこからでもアクセスできる必要はなく各車はその車

の周辺の道路情報をリアルタイムで取得できればよい。

これらの問題を解決する一つの方法として、車車間で無線 LAN などのモバイルアドホック通信機能を用いて道路情報を散布・伝搬させていくという方法が考えられる。例えば、先行する自動車 A が過去数分（あるいは数十分）間の自身の位置情報と進行方向、走行速度、路面環境、周辺施設情報などを組（「自動車 A の走行情報」と呼ぶ）にして一定間隔で周りにブロードキャスト（散布）し、この情報を受信した対向車線の自動車 B が自身の走行情報と共に自動車 A の走行情報（「対向車線情報」と呼ぶ）も再散布すれば、自動車 A の後ろを走る別の自動車 C に自動車 A と自動車 B の走行情報を伝えることができる。その結果、若干のタイムラグは生じるが、自動車 C は先行して走る自動車 A の現在地までの経路の渋滞状況や路面状況、周辺施設情報などを取得することができる。また、自動車 B がそれまでに走行してきた道路の天候や路面状況なども取得できる（図 1）。

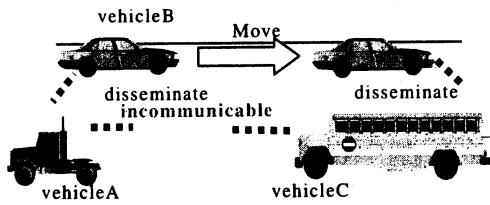


Fig. 1 Inter-vehicle Ad-hoc Communication

各車が一定個数の対向車線情報を蓄積し、それらをお互い対向車線の車と交換・中継しあうことで、各車が数キロ先までの複数経路の道路情報をかなりの確率で取得できるようになる。この際、各車が高速に走行している時は対向の車同士のデータ交換の成功確率が小さくなるので、道路情報の取得確率を高めるためには、走行情報の送信間隔を短くする必要がある。一方、多数の車が渋滞している際に各車が走行情報を頻繁に発信すると、それらの走行情報同士の衝突が起こり、周りの車がこれらの情報を正しく受信できなくなってしまう。また、各車がどのような対向車線情報を中継すべきかや、各車の受信バッファがオーバーフローした際に破棄すべき走行情報の選択法などもうまく定める必要がある。さらに、車車間通信による情報交換は、一般的なモバイルアドホックネットワークやセンサーネットワークと異なり、渋滞の発生や信号待ち、走行する車の台数の変動、走行速度の変化などの要因があり、これらの状況を考慮して、適切な車車間通信のためのプロトコルを開発する必要がある。

本研究では、無線 LAN (IEEE802.11b) の電波の到達距離、通信帯域幅、(距離に依存した) 受信確率、データサイズ、データ散布間隔、各車のデータ保持法 (バ

ッファサイズや過剰データの破棄法)、カーナビ装備率、などを入力パラメータとして、各車の 1 秒毎の位置・速度・方位をもとに走行情報の伝搬状況をできるだけ忠実に再現するモバイルアドホックネットワークシミュレータを作成し、交通流シミュレータと連携させることにより現実に近い交通流を再現し、その 1 秒毎の全車の位置情報などから、車車間での走行情報の伝搬状況を再現・各種の統計情報を取得できるようにした。開発したシミュレータを用いて、様々な入力パラメータ値に対する目的地情報の取得率や取得に要する時間、送信データの衝突確率などを計測することで、現実の交通流に即した車車間通信プロトコルを開発しようとしている。また、交通流シミュレータに対して様々な都市の交通流を与えてネットワークシミュレーションすることで、各都市の実情に応じた車車間通信プロトコルを開発したり、特定の都市に依存しない車車間通信プロトコルを開発したりできるようにする。

本稿では、日本の典型的な道路と交通流を再現し、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を用いて、それらの環境にふさわしい車車間通信プロトコルと散布データの発信間隔、各車のデータ保持法などを求め、提案プロトコルを用いて車車間通信により先行経路の道路情報を効率よく取得できることを示している。

2. 車車間通信のためのモバイルアドホックネットワーク

現在、車に渋滞情報などを伝える方法として、VICS [12] のように FM 多重放送 (FM multiplex broadcasts) やビーコン (radio-wave beacons)、Digital Radio などの放送媒体を用いる方法と、カーナビと携帯電話などを繋いでサーバに問い合わせを行う方法などが実用化されている。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なども研究されており、例えば、FleetNet Project [1] では、路側の基地局からある車が取得した情報を前後に走行している車に車車間通信で情報伝達しようとしている。[9] では、車車間でのアドホック通信によるマルチキャストプロトコルを提案しており、[5] では、交差点での衝突回避のための Peer-to-Peer 通信の方法が考案されている。[8] では、信号や駅のキオスク、空港のラウンジなど一定の箇所にサーバを設置し、そのサーバとアドホックな移動端末との間での通信方式を提案している。また、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 (例えば、[2] や [13] など) 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

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。また、各地点の道路情報は、時間と距離が増えるにつれて情報の重要度が低下するが、それらの重要度の変化を考慮していないものも多い。

近年、[13]のように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されているが、これらの研究でも地図に即した車の移動について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、2つの車から同時に発信されたデータの衝突も考慮されていない（何らかの衝突回避策を用いて2つのデータが順に受信されるものと仮定している）。しかし、渋滞の中でたくさんの車がデータの散布（ブロードキャスト）を頻繁に行うと、いわゆる broadcast storm [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に伝わらなくなってしまうので、渋滞時のデータの衝突などを考慮したプロトコルを考える必要がある。一方、[4]では送信ノードの密度（density）に応じてデータの散布の割合を変えようとするプロトコルを考えているが、本稿ではモバイルノードはランダムに移動すると仮定している。このため、本稿では典型的な道路と交通流を再現し、2つの車から発信されたデータの衝突も考慮した車車間通信プロトコルを提案する。その際、データの衝突を回避するため、道路上の車の走行密度（density）に応じたデータの散布方法を考案する。

また、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ーするシステムとして TrafficView [6] や CB-AODV-Simulator [9] などが開発されている。しかし、TrafficView では複数車線の車の走行は考慮されているが、道路自身は直線などの制限を設けており、典型的な道路状況を再現しているわけではない。一方、本研究で開発するモバイルアドホックネットワークシミュレータでは、交通流シミュレータ NETSTREAM II と連携させて、現実の道路環境と車の通行量に基づくシミュレーションが行えるような設計になっている（4章参照）。

3. 道路情報サービス用アドホック通信プロトコル

3.1. 位置依存サービスの伝達

GPSシステムの小型化・低価格化により位置情報の取得が簡便になったこと、カーナビの計算能力の向上・記憶領域の拡大などに伴い、地図情報と連動させた様々な道路情報サービスが考えられている。これらの道路情報サービスは、大きく二つに分類される。

1) 大域型の道路情報サービス: 主要道路の混雑状況や事故情報、道路工事情報などの情報提供をラジオや携帯電話などを介して行うサービス。

2) 局所型の道路情報サービス: 狭い領域において利用される道路情報サービスであり、他の領域においては価値が少なくなる道路情報で、たとえば、交差点である方向からの車の接近を他方向から交差点に近づく車や人に通知するサービスや、生活道路における渋滞情報、周辺駐車場の空き情報の提供などがこれに相当する。

車には多数のセンサーが装備されており、速度情報から局所的な渋滞情報の通知が可能となる。同一方向に進行している複数の車が非常に遅い速度で移動している場合は、渋滞が発生していると考えられる。この情報は反対車線を走る車により渋滞区間の終端の車まで伝播させることができ、ドライバーは渋滞区間の長さを認知したり、他の経路を選択するなどの回避行動をとることが可能となる。また、冬季における路面の凍結状態や天候についても、タイヤのすべり具合や外気温、ワイパーの稼働状況などから機械的に判定することが可能である。これらの情報を伝播させることにより、他の車が事前に減速するなどの回避行動をとることができるようになる。このような局所情報を大域的な道路情報と合わせて利用することで、運転の安全性を向上させることが可能となる。

以下では、各車が次のような内容のデータの組（自車位置、現在時刻、走行速度、道路ID、進行方向（東西南北））を、1秒ごとに計測し、直近数秒間のデータをひとまとめでして自車のデータとして発信するものとする。各データは1秒前のデータとの差分で表現するなどの工夫をすることにより、各データの組を10Byte以内（7~8Byte程度）で表現できると考えられ、数分間のデータであっても100Byte以内で表現できる。いま、車車間で他の車から取得した道路情報を高々100個お互いに交換すると仮定すると、車車間で考案するデータは合計で $100\text{Byte} \times 100\text{個} = 10\text{KByte}$ 以内（7~8KByte程度）で表現できる。これらの期間に収集した周辺施設情報なども加えても、おおむね各車の道路情報は合計で10KByte以内で表現できるものと考えられる。また、道路IDはカーナビに搭載している道路地図とGPSから得られた現在地をマッピングすることにより取得できるものとする。無線LAN（IEEE 802.11）のバンド幅が100KByte/sec以上であると仮定すると、これらのデータ送信に要する時間はおおむね0.1秒程度と考えられる。

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、IEEE 802.11のIBSS (Independent Basic Service Set) による通信がある。IEEE 802.11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共に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。本稿では、IBSS 通信において以下のような仮定を行う。

まず、IBSS 通信の通信範囲を 100m とし、100m 圏内の車同士の通信が可能であると仮定した。ただし、通信距離が長くなるにつれて、データ転送の成功確率が図 2 のように線形に減少するものとする。これは 2 ノード間の距離が大きくなると、受信電波が弱くなり、受信データのエラー確率が大きくなるためである。図 2 のグラフから、例えば 30m、50m、70m 離れた車同士の受信確率はそれぞれ約 0.69、0.49、0.29 であるとしている。

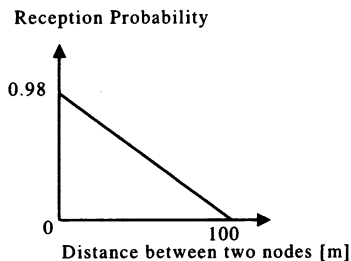


Fig. 2 Success Ratio of Data Transmission

100m 圏内の車同士の通信が可能であるとした場合、時速 60km (16.7m/sec) ですれ違う車同士では、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 10m 間隔で車が渋滞して止まっている場合、渋滞の真ん中の車は前後 100m 両車線分で合計 40 台の車から道路情報を同時に受け取る可能性がある。ここで、IEEE802.11 でのデータ転送量を 100KByte/sec とし、車車間で交換するデータの量を最大で 10KByte と仮定する。また、1 秒間を 10 個のスロットに分割し、各データが 1 つのスロットを占有するものと仮定する。このため、2 つの車からのデータが同一スロットで発信された場合、それらの車から半径 100m の円を描いた際

に重なる領域内にある車は、それらのデータが衝突して共に正しく受信できなかったものとみなす。

3.3. 各車の道路情報の散布プロトコル

本稿では、各車からの道路情報の散布プロトコルとして、走行速度依存ランダム送受信プロトコル (SDRP: Speed Dependent Random Protocol) を用いることにする。SDRP では、走行する車の速度 v に応じたデータの送信間隔の上限値 $max(v)$ と下限値 $min(v)$ をあらかじめ定め、 $max(v)$ と $min(v)$ の範囲内のランダムな時間間隔でデータの送信を行う。渋滞時は周辺に多数の車がいるので送信間隔を長くし、高速走行時にはデータの転送確率を高めるため送信間隔を短くしたい場合、例えば、速度 v が 30km/h 以上の場合には 3.5 秒に一度送信し、30km/h 以下の場合には 1.2 秒に一度送信すると決めればよい。

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. モバイルアドホックネットワーク

シミュレータの構成と機能

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、どの程度の道路情報の交換がリアルタイムで実現可能であるかを評価するためのシミュレータを開発した。シミュレータの構成を図 3 に示す。

NETSTREAM II シミュレータ [11] 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シミュレータである。交通流モデルとしては、道路リンクごとに交通流特性や信号の長さなどを定義し、個々の車両の挙動について 1 秒ごとに計算を行う。各道路では、前の車両と自車までの距離 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 $K_{congestion}$ との割合に応じて図 4 のような関数で各車の走行速度 V を求めていく。これに

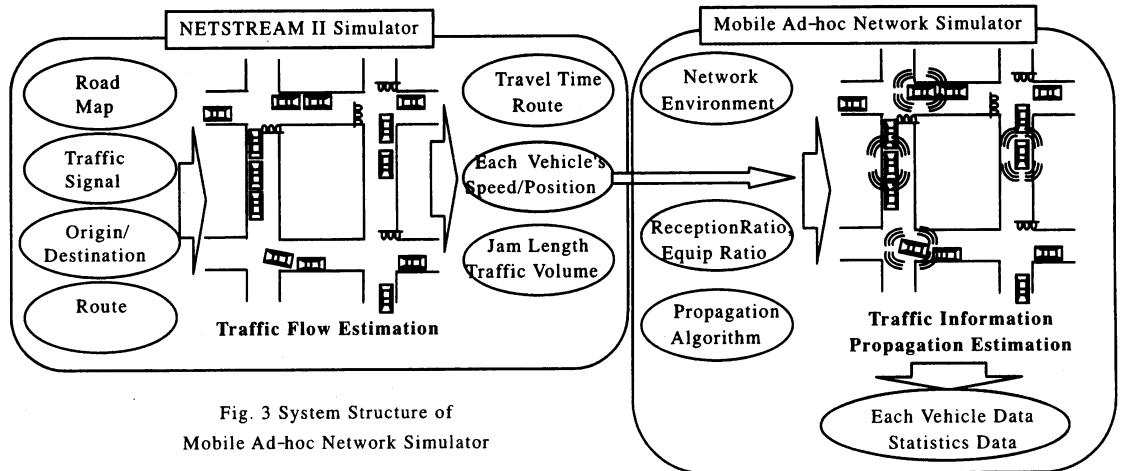


Fig. 3 System Structure of Mobile Ad-hoc Network Simulator

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 [11]などに利用され、その有効性が確認されている。

S : 全車との間隔, $K=1/S$: 道路密度 V_{max} : 自由走行時の最高速度 $K_{congestion}$: 渋滞時の道路密度 $V_{max}(1-K/K_{congestion})$
--

Fig. 4 Calculation of Each Vehicle's Speed

モバイルアドホックネットワークシミュレータは、ネットワーク環境（無線 LAN の到達距離、通信バンド幅）、受信確率、伝播データサイズ、カーナビ装備率、伝播アルゴリズム、ならびに NETSTREAM II の出力である各車の 1 秒毎の全車の位置・速度・方位を入力として、カーナビを装備している車間での道路情報の伝播の状況や各車が受信した情報の内容を保持するためのシミュレータであり、収集したデータから、データの転送確率や送信パケット同士の衝突の確率などについての統計情報を収集・表示することが可能である。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の動作を以下に示す。

- 1) 与えられたネットワーク環境（到達距離、通信バンド幅）の設定を行う。
 - 2) 与えられたカーナビ装備率から、装備している車両を決定する。
 - 3) NETSTREAM II シミュレータの動作時間内の 1 秒毎に以下の操作を実行する。
 - a) 散布アルゴリズムによりデータ送信を実施する車両を決定する。
 - b) 各送信車両に対して：
 - (i) 送信車両と到達距離範囲内にある車両集合を検索し、受信確率に基づいて受信車両を決定する。
 - (ii) 受信車両は受信データを次の送信のために保持する。
 - 4) 次のような項目に対し、データ伝播状況の評価を行う。
 - a) 散布アルゴリズムでデータを伝搬させていた場合に、各車が目的地情報を受信する確率の時間的な変化
 - b) 各車が目的地情報を取得した割合
 - c) 各車の受信情報量の総量、など
- なお、一般には受信した道路情報に基づき各車がルートの変更を行う可能性もあるが、本稿の評価ではルートの変更は考慮していない。

4.2. シミュレーション環境

次のような入力パラメータ値に対して、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を用いて、

車車間通信を用いた道路情報の伝搬についての評価を行った。評価環境を以下に示す。

- 道路環境： 20Km x 20Km, 信号数 198 個 (図 5)
- シミュレーション時間： 60 分
(データ評価には 10 分から 50 分の 40 分間を使用)
- 車両の位置情報： 1 秒ごと
- 車両環境： 8570 台 (60 分間での総台数)
- 装備率： 30%, 60%, 90%
- ネットワーク環境： 到達距離 100m,
バンド幅 100KByte/sec

伝播アルゴリズム： 走行速度依存ランダム送受信プロトコル (SDRP). 時速 30Km を境に高速時と低速時の 2 種類の送信間隔を指定
 受信確率： 図 2 のような距離依存で受信確率が変動すると仮定。

IEEE802.11 MAC 層のシミュレーションの方式とし、以下のような簡易方式を使用している。

- 1) 100KByte/sec のバンド幅に対して、10KByte のデータを送信するため、1 秒を 10 個のスロットに分割する。
- 2) 各車の送信間隔に応じて、送信するスロットを乱数を用いて独立に選定する。
- 3) 100m の半径の中に、送信を実施しようとする車両を検索し、その車が同一スロットでの送信を実行する場合には、両方の車の送信を collision とする。

無線 LAN におけるいわゆる隠れホスト問題 [10] と呼ばれる複数のアドホックネットワークによる collision の影響や道路上の物体・周辺建物の影響については、受信確率の近似の範囲内であるとした。

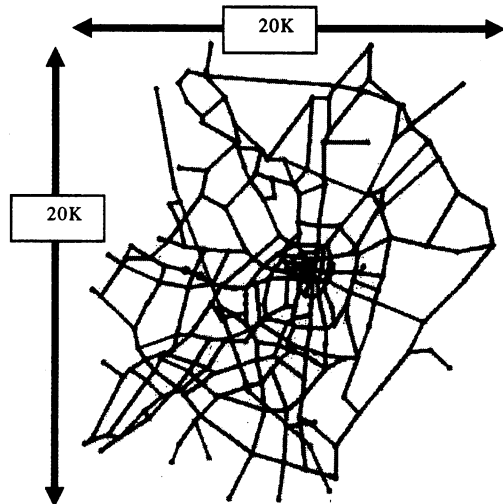


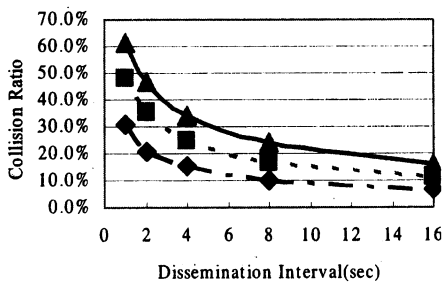
Fig.5 Road Map for Mobile Ad-hoc Network Simulation

4.3. シミュレーション結果

4.3.1. データ通信量

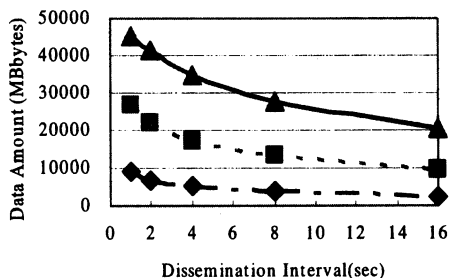
シミュレーションは、まず SDRP プロトコルにおける送信間隔を変化させ、各装備率における collision rate ならびに送信データ量を測定した。SDRP プロトコルは、速度 v での送信間隔を $[\min(v), \max(v)]$ と定義しており、以下では $\min(v) = \max(v)/2$ 、すなわち $[\max(v)/2, \max(v)]$ とし、速度 v での送信間隔 $[\max(v)/2, \max(x)]$ を $\max(v)$ と省略して表記する。図 6、図 7 は速度により送信間隔を変化させない場合の結果である。SDRP での送信間隔を $\langle A (30\text{km/h 未満の時}), B (30\text{km/h 以上の時}) \rangle$ とした場合に、 $\langle A, B \rangle$ の値を $\langle 1, 1 \rangle$ から $\langle 16, 16 \rangle$ に変化させて実験した。

図 8、図 9 は 30km/h 以上の場合の送信間隔を 1 秒に固定し、30km/h 以下の場合の送信間隔を可変とした時の結果である。総データ送信量は、装備率が 90% の際には 30km/h 以下を 4 秒間隔としたときがピークとなる。同様に、装備率が 60% の際は 30km/h 以下を 2 秒間隔としたときがピークとなる。この時の collision rate はそれぞれ 52%, 48% となっており、総データ送信量は 46GByte, 26GByte となっている。



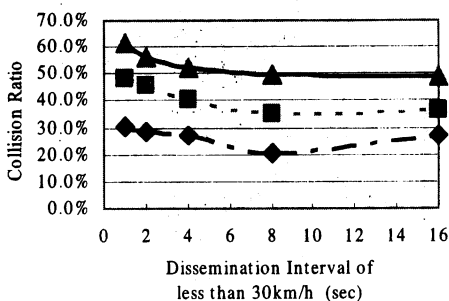
◆ - 30.0% - ■ - 60.0% - ▲ - 90.0%

Fig. 6 Dissemination Interval and Collision Ratio (A=B=16)



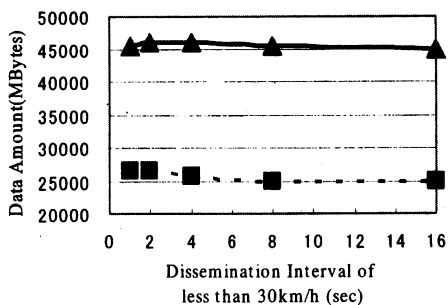
◆ - 30% - ■ - 60% - ▲ - 90%

Fig. 7 Dissemination Interval and Total Data Amount (A=B=16)



◆ - 30.0% - ■ - 60.0% - ▲ - 90.0%

Fig. 8 Dissemination Interval and Collision Ratio (A=16, B=1)



◆ - 30% - ■ - 60% - ▲ - 90%

Fig. 9 Dissemination Interval and Total Data Amount (A=16, B=1)

4.3.2. 道路データ取得時間

SDRP により、直接または間接的に経路上の情報が取得できるまでの時間についても測定を行った。先行する位置の情報は、ある車の目的地周辺の道路情報であり、かつ進行方向が一定角度内である情報として近似している。ここでは、目的地周辺のデータとして半径 500m 範囲内の情報であり、120 度以内の進行方向のデータを指している。

図 10 に、SDRP により目的地周辺データを取得した車両割合を示す。65% 程度の車両は 1km 先の道路情報を 8 秒以内に取得でき、50% 程度の車両は 2km 先の道路情報を 30 秒以内に取得することができる。このシミュレーションは、以下の条件を満たす車両でのデータである。

- 1) 1 時間に、80 台以上の車両が目的地周辺の道路を通過する
- 2) 走行中に少なくとも 5 台/min の車両と対向車線ですれ違う

都市においては、この仮定は十分なものであると考えている。2km の結果では、車両が移動すればするほど有効な情報を獲得していることを示している。平均時速が 41.5km/h なので 90 秒で約 1km 走行しており、その時約 70% の車両がさらに 1km 先の道路情報を取得し

ている。3km, 4km, 5km 先の情報を取得するには, 1km, 2km に比べるとやや時間を要する。

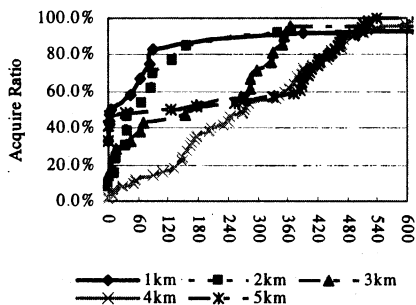


Fig. 10 Preceding Road Information Acquire Ratio

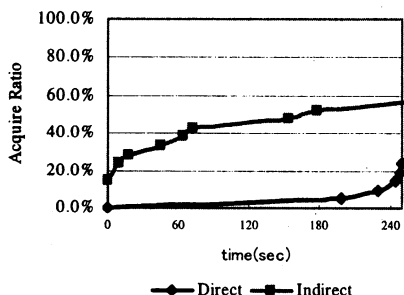


Fig. 11 Direct/Indirect Acquiring

なお, 図 11 に 3km 先のデータを獲得する際に, 複数の車により間接的なデータ散布が実施された場合と, ある車から直接 (2 ホップ) 散布された場合での先道路情報獲得率を示す。SDRP プロトコルを用いると, 間接的な散布は直接での散布よりも約 4 分早くデータを取得できる。渋滞していなければ 1~2km 進むのに十分な時間であるので, 間接的な散布を用いることで目的地に到着する前に 1~2km 先の情報を前もって認識できる。この結果は, 走行車両が前もって先道路状況や駐車場の空き情報を取得できることを示している。これにより安全で効率のよい運転ができる。また, 常に 40% 程度の車が先道路状況を保持しており, SDRP によるデータ散布が有効であることを示している。

5. 考察

5.1. サービス性評価

5.1.1. 散布データ量

従来研究の多くは, 例えば [13] のように, 無線通信における collision については十分に考慮していない場合が多いが, 本シミュレーションでは, より現実的

なネットワーク環境を考慮するため, 複数の車の距離に基づいて collision が起こる可能性を判定し, その結果に基づいてシミュレーションを行っている。

一般に高速に車が走行している場合には, 頻繁にデータを送信することにより, 情報を高い確率で伝播させていくことができる。しかし, 渋滞した場所では, ほぼ同一のデータが多く車の車から送信されるために, データ送信の間隔を広げても十分である。さらに, 渋滞時の頻繁なデータ送信は無線通信の collision を引き起こしてしまう。Collision rate はデータの送信間隔が短くなると増加するが, ある程度の collision rate までは collision rate 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 collision 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, 適切な collision rate を見つける必要がある。実際, collision rate が 61.2% となった場合でも 7700 台の車で 40 分間に車車間で合計 45GByte のデータが交換される。この実験では, 1 台の車の平均走行時間が 15.6 分であることから, 1 台の車両で 378KByte/min のデータ交換を行っていることになる。1 台 1 回分の車両データを 100Byte としていることから, 4000 個/min 程度のデータを取得することが可能であり, 数 Km 程度の局所的な交通情報を得るためには十分なデータ量であるといえる。

Collision の増加は, 低速走行車のデータ送信間隔に依存する。シミュレーション結果から, データ送信間隔をどのようにすれば効率の良い車々間通信が行えるかを導出できる。

5.1.2. 有効データ受信

本シミュレーションでは, 他車からのデータにより保存領域が Full となった場合には, 保存領域の 50% が空になるようにランダムにデータを選択し, 破棄する。このような簡単な手法でも効果があるが, 走行方位それぞれに他車のデータを一定個数保持することなどにより, より一層の効果を得ることが可能となる。

実際, 図 10 に示したように 4km, 5km 先のデータ獲得割合は 1km, 2km に比べて高くない。散布データのランダム選択により, 遠くのデータを取得するのは難しくなっていると考えている。

また, 実環境においては, 本サービスを具備している車の装備率は徐々に変化していく。したがって, 散布データ量を極大化するための送信間隔を事前に知ることはできない。しかし, 一定の時間内に受信したメッセージ数に応じて送信間隔を決定することが可能となれば, 装備率に依存しないデータ散布が可能となる。本プロトコルを RMDP (Received Message Dependent Protocol) と呼ぶ。

RMDPにおいて、送信間隔は受信メッセージに反比例すると仮定し、結果として装備率に依存しない最大の散布データ量を得るためのパラメータを、シミュレーション結果を元に導出した。以下では、導出方法について説明する。送信間隔 P を

$$P = \frac{\alpha}{1 - \beta \cdot r} \quad (\alpha, \beta > 0) \text{ とし, } r \text{ を規定時間での受信}$$

メッセージ数とする。ここでは r を 30 秒間での受信メッセージ数とする。シミュレーション結果により、

- a) 装備率が 60% の際には、低速の場合に 2 秒間隔で送信した場合にデータ送信量が極大となる。この時 $r = 7.74$ である。
- b) 装備率が 90% の際には、低速の場合に 4 秒間隔で送信した場合にデータ送信量が極大となる。この時 $r = 8.80$ である。

この 2 点を通る P の式を導出する。

$$2 = \frac{\alpha}{1 - \beta \cdot 7.74}, \quad 4 = \frac{\alpha}{1 - \beta \cdot 8.80}$$

この連立方程式より、 $\alpha = 0.45$ $\beta = 0.10$ を得る。したがって、30 秒間の受信メッセージ数 r に応じて

$$P = \frac{0.45}{1 - 0.1 \cdot r}$$

の間隔でメッセージ送信を行うことで RMDP は適切なデータ散布を行うことができる。ここで、 $r \geq 10$ の場合にはある固定値にする必要がある。 $r=9$ の場合の倍である 9 秒とすることで十分であろう。また、本パラメータはアドホックネットワークの到達距離、バンド幅に依存するものであるが、その場合でも同様の手法で計算可能である。これにより、装備率に依存しない送信間隔を導出できる。

6. おわりに

本稿では、各車の 1 秒毎の位置・速度・方位をもとに走行情報の伝搬状況をできるだけ忠実に再現するモバイルアドホックネットワークシミュレータを作成し、交通流シミュレータ NETSTREAM II と連携させることにより現実に近い交通流を再現し、それらの環境にふさわしい車車間通信プロトコルを考案した。また、提案プロトコルを用いて車車間通信により行先経路の道路情報を効率よく取得できることを示した。今後の課題としては、提案プロトコルのさらなる効率化を検討すること、ならびに、実際に車車間で交換する道路情報などの詳細を定めてシミュレーションを行うことにより、各車がどの程度の時間でどのような行き先情報や周辺施設情報などを取得できるかを詳細に検討すること、などが考えられる。また、提案プロトコルをカーナビに装備することで、現実世界でのシミュレーションを行いたいと考えている。

7. 謝辞

本研究を実施するにあたり、交通流シミュレータ NETSTREAM II の使用を許諾いただいた(株)豊田中央研究所、ならびに、本研究を進める上でさまざまなご助言を頂戴した同研究所の寺本 英二、北岡 広宣の両氏に深謝します。

文 献

- [1] H. Hartenstein, B. Bochow, A. Ebner, M. Lott, M. Radimirsch and D. Vollmer : "Position-Aware Ad-hoc Wireless Networks for Inter-Vehicle Communications: the Fleetnet Project", *Proc. of 2001 ACM Int. Symp. on Mobile Ad-hoc Networking & Computing (MobiHoc)*, pp.259-262, 2001.
- [2] W. R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan : "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks", *Proc. of 5th Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, pp.174 - 185, 1999.
- [3] W. Kellerer, C. Bettstetter, C. Schwingschlogl, P. Sties, K-E Steinberg and H-J Vogel : "(Auto) Mobile Communication in a Heterogeneous and Converged World", *IEEE Personal Communications*, Vol. 8, No. 6, pp.41-47, 2001.
- [4] A. Khelil, C. Becker, J. Tian, K. Rothermel : "An epidemic model for information diffusion in MANETs", *Proc. of 5th ACM Int. Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM'02)*, pp.54-60, 2002.
- [5] R. Miller, Q. Huang : "An Adaptive Peer-to-Peer Collision Warning System", *Proc. of IEEE Vehicle Technology Conference (VTC)*, pp.414-418, 2002.
- [6] T. Nadeem, S. Dashtinezhad, C. Liao, and L. Iftode : "Traffic View: A Scalable Traffic Monitoring System", *Proc. of 2004 IEEE Int. Conf. on Mobile Data Management (MDM2004)*, pp.13-26, 2004.
- [7] S.Y. Ni, Y.C. Tseng, Y.S. Chen, and J.P. Sheu : "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad-hoc Network", *Proc. of 5th Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99)*, pp.151-162, 1999.
- [8] M. Papadopouli, and H. Schulzrinne : "Effects of power conservation, wireless coverage and cooperation on data dissemination among mobile devices", *Proc. of 2nd ACM Int. Symp. on Mobile Ad-hoc Networking & Computing (MobiHoc2001)*, pp.117-127, 2001.
- [9] C. Schwingschlogl and T. Kosch : "Geocast Enhancements of AODV for Vehicular Networks", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol.6, No.3, pp.96-97, 2002.
- [10] A. S. Tanenbaum : "Computer Networks Forth Edition", *Pearson Education Inc.*, 2003.
- [11] E. Teramoto, M. Baba, H. Mori, H. Kitaoka, I.Tanahashi, Y. Nishimura, et. al. : "Prediction of Traffic Conditions for the Nagano Olympic Winter Games Using Traffic Simulator : NETSTREAM", *Proc. of 5th World Congress on Intelligent Transport Systems*, Vol.4, pp.1801-1806, 1998.
- [12] <http://www.vics.or.jp/eng/>
- [13] B. Xu, A. Ouksel and O. Wolfson : "Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks", *Proc. of 2004 IEEE Int. Conf. on Mobile Data Management (MDM2004)*, pp.4-12, 2004.