

車車間通信とクエリを併用した効率的な 道路情報取得手法の提案とその評価

藤木 健之[†] 桐村 昌行^{††} 梅津 高朗[†] 東野 輝夫[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科

^{††} 三菱電機株式会社情報技術総合研究所

本稿では、道路情報伝播のための車々間アドホック通信プロトコル CRCP (Collision Ratio Control Protocol) とクエリを併用した効率的な道路情報取得手法を提案する。提案プロトコルでは、各車両は過去に計測したパケット衝突を基にネットワーク状況を推定し、パケット衝突を制御することで効率的な情報交換を実現する。各車両が数 km 圏内の近隣道路情報を優先的に散布することで、各車両は走行位置周辺の道路状況が詳細に把握可能となる。一方、遠方の特定道路情報に関しては、各車両が当該領域の車両群にクエリを発行し、その情報を保持する車両が発行元の車両に向けて情報を返送することで遠方の情報を効率的に伝播させている。提案手法を用いることで、各車両は周辺道路の状況を迅速に把握できると共に、遠方の情報もクエリを用いない方式より迅速に取得可能であることをシミュレーション実験により確認した。

Efficient Data Exchange Method using Queries and Inter-Vehicle Ad-hoc Communication for Acquiring Local Traffic Information

Takeshi Fujiki[†], Masayuki Kirimura^{††}, Takaaki Umedu[†] and Teruo Higashino[†]

[†] Graduate School of Information Science & Technology, Osaka University

^{††} Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electronic Corporation

In this paper, we propose an efficient data exchange method for acquiring local traffic information where we use inter-vehicle ad-hoc communication with queries. In the proposed data dissemination protocol CRCP, an efficient packet collision avoidance mechanism is considered for efficient data propagation. Our method gives priority to nearer information for data dissemination from each vehicle, since vehicles may want to know detailed traffic conditions around themselves. Also in our method, vehicles send queries to get the traffic information far from themselves. Our simulation results show that using these two methods, a lot of vehicles can acquire the information around themselves and distant preceding traffic information within short periods.

1 はじめに

近年の携帯電話網の発展や GPS (Global Positioning System) 機器の小型化・低価格化・高性能化に伴い、GPS 装置と携帯電話によるデータ通信を利用し、各車両の現在位置や行き先に応じた渋滞情報や路面環境情報、駐車場の空き情報等の周辺施設情報等を提供するサービスが実用化されている。また、無線 LAN 技術の発展に伴い、GPS 装置と IEEE802.11p などの無線カードを車のカーナビ等に搭載し、道路情報等をリアルタイムに取得することを目指す研究も進められている。

本稿では、高いコストを伴うサーバ設備などのインフラ整備を行わず、無線 LAN などを利用した車々間でのモバイルアドホック通信機能を用いて近隣の道路情報を伝達するためのアプリケーション層プロトコルを考案する。考案プロトコルは、各車両が収集した道路情報と他車両から受信した道路情報を適宜取捨選択しながら周囲にブロードキャスト (散布) し、周辺を走行する車両がその道路情報を受信して順次伝搬させていくという方針に基づいている。

車車間通信に関する研究では、車両の移動をランダムに仮定していたり、パケットの衝突を考慮に入れていないものが多い。そのような想定の下では送信されるパケットは遠方の車両まで効率よく伝播され得る。しかし、実環境においては車両はたいてい複数台でまとまって走行しており、道路上には車両密度が低い区間、高い区間が存在する。車両密度が低い区間では走行

している車両が少ないために、逆に車両密度が高い区間では通常より頻繁にパケット衝突が起こるために、情報が伝播されにくい。

本稿では車両密度が低い場合にも道路情報を伝播させるために、情報散布プロトコル CRCP (Collision Ratio Control Protocol) を考案した。CRCP では、パケット衝突を抑制するため、計測したパケット衝突量を基にネットワーク状況を推定し、各車からのパケットの散布間隔を制御している。なお、本稿で用いる散布プロトコル CRCP は、筆者らが従来考案した受信メッセージ数依存道路情報散布プロトコル RMDP [16] を発展させたものである。また、CRCP において送受信する道路情報の取捨選択アルゴリズムとして、ランダム選択法とグリッド分割選択法、クエリ併用グリッド選択法の 3 つを比較、評価した。我々は文献 [16] において、受信バッファの道路情報をランダムに取捨選択しながら道路情報を伝播させていく方式 (ランダム選択法) が最も効率的に道路情報を伝播できることを確認している。しかし、ランダム選択法で広範囲の道路情報を伝播させるには、多くの道路情報を伝播させる必要があり、かなりの帯域が必要となり、利用可能帯域が小さい場合、遠方の道路情報の取得割合が低下するなどの問題が生じる。そこで、道路全体を一定サイズのグリッドに分割し、提案手法では自転車からの距離が一定範囲 (数 km 圏内) のグリッド内の道路情報を優先的に散布しながら (グリッド分割選択法)、それより遠方の道路情報に対しては、散布するデータにクエリの機能を付加し、

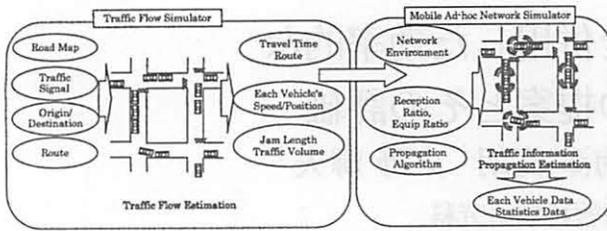


図 1: Structure of our Mobile Ad Hoc ITS Network Simulator

当該地域宛にクエリを発行することで特定の道路情報を効率的に取得できるように改良した(クエリ併用グリッド選択法)。筆者らが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[15]と交通流シミュレータ NETSTREAM[12]を用いて、各車両の行先経路の情報取得状況や周辺道路情報の把握状況について評価し、クエリ併用グリッド選択法がランダム選択法などに比較して周辺状況を把握するのに効果的な手法であることを確認した。

2 関連研究

インフラに依存しないアドホック通信方式としては、車々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の提案[7]、交差点での衝突回避のための Peer-to-Peer 通信方法の考案[8]、通信基地局を介さず車々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センサーネットワークにおいて効率的に情報散布を行うプロトコルの提案[9]などがある。高速道路での車々間通信の性能評価[10]なども行われている。また、マルチホップを用いた情報取得通信プロトコル[1][2]の提案もされている。

しかし、上記で述べた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、モデルの単純化のために端末がランダムに移動することを仮定しているものが多く、現実的な交通流の下で最大限の効率が得られるかどうかは不明である。我々は現実により忠実な交通流に基づく評価を行うために、車両の密度と行動モデルに着目し、歩行者と車両の現実的な行動モデルを再現するモバイルアドホックシミュレータ MobiREAL を開発し[3][4]、MobiREAL を用いて様々な MANET のアプリケーションとプロトコルを評価した。文献[5]、[6]において、著者らは車両密度に基づく効率的な情報散布のための適応型プロトコルを提案した。また、道路上を想定した車々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[11]や CB-AODV-Simulator[7]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、道路を直線に限定するなどの制限を設けており、典型的な道路状況を十分再現できていない。また、時間と距離に応じた情報の伝達方法を考慮した車々間通信プロトコル[10]も提案されており、道路地図に即した車両の移動も考慮されているが、パケットの衝突については考慮されておらず、渋滞の発生や信号待ち等への対応はまだ不十分である。

本研究では、より現実的な交通流を再現するために交通流シミュレータ NETSTREAM[12]を利用した。本研究で利用した車々間通信状況の評価するためのシミュレータ(図1)は、交通流シミュレータ NETSTREAM と連携させることにより、現実に近い道路環境と車両の通行量に基づくシミュレーションを行っている。

3 道路情報サービス用

アドホック通信プロトコル

車両は多くのセンサーを装備している。例えば、センサーがタイヤの滑りを検出することで路面の凍結を感知し、ワイパー

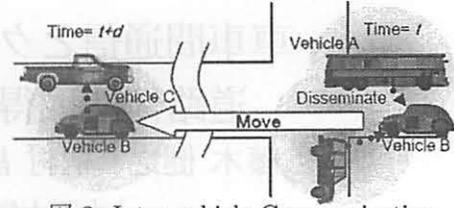


図 2: Inter-vehicle Communication

の稼動状況から局所的な地域の天気を知ることができる。ここで、本提案手法の基本的な動作を示す。先行する車両 A が自身の位置情報と進行方向、路面環境など(「車両 A の道路情報」と呼ぶ)を組にして周辺にブロードキャスト(散布)する(図2)。この情報を受信した対向車線の車両 B が自身の道路情報と共に車両 A の道路情報も再散布すれば、車両 A の後ろを走る別の車両 C に車両 A と車両 B の道路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、車両 C は先行して走行する車両 A の現在地までの経路の渋滞状況や路面状況などを取得できる。

3.1 車々間通信アドホック通信プロトコル

各車両は車両に装備されているセンサー等から得られる情報を次のような内容のデータの組(自車両位置、現在時刻、走行速度、道路 ID、進行方向(東西南北)、路面環境、車両状態(ワイパー稼働等))にまとめて道路情報として一秒ごとに計測し蓄積する。各車両は過去数十秒間の道路情報から一部を選択して自車両の道路情報として発信する。ひとつの道路情報のサイズは、これに収集した周辺施設情報を追加したとしても 30Bytes 以内で表現できる。道路情報を車々間で一回の送信あたり高々 300 個送信できると仮定し、交換する道路情報は合計 10KBytes 以内で表現できるとする。

本稿では、通信媒体として 802.11 上の UDP/IP のようなメディアを想定する。電波は距離の 2 乗から 3.5 乗で減衰していくがアンテナの特性や誤り訂正によってある距離までは十分な受信成功率を保持する。しかし、ある距離を越えると受信成功率は急速に落ち込む[13]。我々は、各車両が持つ無線での通信範囲を 100m とし、100m 圏内の車両同士の通信が可能であるとして、文献[14]を参考に、2 ノード間でのパケット受信成功率 P を距離を x として次のように定義する。

$$P = \text{if } x < 100 \text{ then } 1 - \left(\frac{x}{100}\right)^2 \text{ else } 0 \quad (1)$$

車々間通信が使用可能な実質通信帯域幅を 100KBytes/sec とし、300 個の道路情報は、10KBytes の UDP パケットとして近隣に散布する。各車両は受け取ったパケットを受信バッファに保持する。受信バッファには 1000 個まで情報を保持できるとし、各車両が散布を行う際には後述するアルゴリズムに従って受信バッファから散布データを決定し、散布する。受信バッファが一杯になった場合、もっとも過去に受信したデータから破棄する。1 秒間を 100 個のスロットに分割し、前述の 10KBytes のデータの集合を 1KBytes のパケット 10 個に分割し送信する。また、各車両の MAC 層でパケットの衝突をフレームエラーとして検知できると仮定した。

3.2 道路情報散布プロトコル～CRCP～

本道路情報取得サービスにおいて走行車両が効率的な情報取得を実現するためには、(1)パケットの衝突を考慮に入れた上で各車両が受信するデータ量の最大化を実現するための散布間隔の決定アルゴリズム、(2)散布車両には周辺車両が必要とする情報が事前には分からないため、受信車両が必要とする可能性の高い情報を予測し選択するための散布データの選択アルゴリズム、これらが必要不可欠である。

3.2.1 散布間隔決定法

一般に、効率良く情報共有を行うためには、パケットの散布間隔を周辺の車両密度に従って最適値に調整する必要がある。しかし、周辺車両密度を正しく測定することは難しい。我々は先行研究 [16] の結果を考慮し、様々な車両密度に対して最も効率良く情報共有が行える散布間隔に調整し実験を行った結果、その時のパケット衝突率が車両密度、散布間隔によらず一定値約 60% になることが分かった。そこで、本稿で我々が提案するパケット衝突率制御プロトコル CRCP (Collision Ratio Control Protocol) では、車両が受信するデータ量を最大にするために一定期間に受信したパケット数と観測したパケット衝突回数から周辺のパケット衝突率と帯域利用率を推定し、その推定値とデータ受信量が最大となるとされるパケット衝突率の目標値と比較し、パケット衝突率が目標値に近づくように散布間隔を決定している。具体的な散布間隔決定方法は以下に述べる。

推定パケット衝突率 $EstCR$ (Estimated Collision Ratio) 推定パケット衝突率は、受信パケット数と検知パケット衝突数の割合からある程度推定できると仮定した。推定パケット衝突率 $EstCR$ を自身の周辺を対象にした局所的なパケット衝突率の推定値と定義する。 $EstCR$ の計算は、過去 T_{past} 秒間の受信パケット数 $RecPC$ (Reception Packet Count) と検知パケット衝突数 $DetCC$ (Detected Collision Count) から推定できると仮定し、式 2 で推定する。

$$EstCR = \frac{\sum_{t=NOW-T_{past}}^{NOW} DetCC_t}{\sum_{t=NOW-T_{past}}^{NOW} (RecPC_t + DetCC_t)} \quad (2)$$

推定帯域利用率 $EstBWeff$ (Estimated Bandwidth efficiency) 推定帯域利用率は、自身の周辺を対象にした局所的な帯域利用効率の推定値とし、帯域幅に対する送信されたパケットの割合と定義する。例えば、帯域幅 100KB/sec に対して 1 秒間に 1KB パケットを 20 個受信し、1KB パケットの衝突を 10 回検知したとき、帯域利用率は $\frac{1KB \times 20 \text{ packets} + 1KB \times 10 \text{ packets}}{100KB} \times 100 = 30\%$ であるとする。ここで送信されたパケット数は、受信パケット数 $RecPC$ と検知パケット衝突数 $DetCC$ の和からある程度推定できると仮定し、過去 T_{past} 秒間に送信されたパケットの平均値 $SentP$ (Sent Packet) として式 3 で推定する。

$$SentP = \frac{\sum_{t=NOW-T_{past}}^{NOW} (RecPC_t + DetCC_t)}{T_{past}} \quad (3)$$

一般的に利用可能な帯域幅は環境によって変化する。そのためある地域についてその時点での利用可能な帯域幅を推定する必要がある。ここで利用可能な帯域幅 $EstBW$ (Estimated Bandwidth) は、受信パケット数 $RecPC$ と検知パケット衝突数 $DetCC$ の和からある程度推定できると仮定し、過去 T_{past} 秒間における受信パケット数 $RecPC$ と検知パケット衝突数 $DetCC$ の和の最大値を用いて式 4 で計算する。

$$EstBW = \text{Max}(RecPC_t + DetCC_t) \quad (4)$$

$$(NOW - T_{past} \leq t \leq NOW)$$

そして、推定帯域利用率 $EstBWeff$ (Estimated Bandwidth efficiency) を式 5 で計算する。

$$EstBWeff = \frac{SentP}{EstBW} \quad (5)$$

また、目標とするパケット衝突率、十分帯域を利用しているとする帯域利用率をそれぞれ CRT (Collision Ratio Target), BWB (Bandwidth Benchmark) として、CRCP は以下に示すアルゴリズムに従って散布間隔を決定する。

```
if (EstCR > CRT) and (EstBWeff > BWB){
    extend dissemination interval twice;
```

```
}else{
    shorten dissemination interval one second;
}
```

上記のアルゴリズムの基本概念は TCP/IP の輻輳制御メカニズムから着想を得たものである。各車両は $EstCR$ を CRT と、 $EstBWeff$ を BWB とそれぞれ比較し、 $EstCR$ が CRT を超えていて、かつ $EstBWeff$ が BWB を超えている場合は自車の周辺の帯域が十分に利用され、かつパケット衝突が頻繁に起きている状態であるので散布間隔を長くし、散布頻度を減らす。本シミュレーションでは $T_{past} = 30[\text{sec}]$ とし、各パラメータは実験より総受信数が最大になるとされる $CRT = 60\%$ 、 $BWB = 60\%$ としてシミュレーションを行った。

3.2.2 散布データ選択法

ここではランダム選択法、グリッド分割選択法、クエリ併用グリッド選択法それぞれの散布データ選択法について説明する。

(1) **周辺情報の取得法** 文献 [16] において筆者らは各車両の受信バッファからデータが生成された時間を基準に散布データを選択した場合、車両が過去走行した経路付近の情報を主に散布するなど、散布するデータに偏りが生じ、ランダムに選択する (ランダム選択法) よりも性能が向上することはなかった。そこで、本稿で提案するクエリ併用グリッド選択法では、散布データ決定基準に時間ではなく自車とデータの位置を採用した。本手法は、道路地図を一辺 D のグリッドに区切って自車の位置から一定距離圏内までの各グリッド内のデータをそれぞれ一定個数 K_{send} 個まで散布するデータとして優先的に選択する選択法である。走行する車両は自車位置から遠方の情報より近隣の情報を高確率で必要とするため、近隣の道路情報に遠方の道路情報より高い優先度を設定した。また、各グリッドから選択するデータの個数を一定個数に制限することで散布するデータを分散化し、バッファの余剰部分に数 km 圏外の情報を選択することで遠方の情報も含める。また、各車両が保持する情報も分散させるため、一定範囲内の情報の個数が一定個数 $K_{receive}$ 個以内と制限する (グリッド分割選択法)。

(2) **特定情報の取得法** 前述の選択アルゴリズムのみでは遠方の情報を取得するにはその地点から数 km 圏内に近づかなければ高確率での取得は望めない。そのため、遠方情報取得のための機能として、グリッド分割選択法に散布するデータの中にある地点の情報を要求する機能を含めることにした。本手法において散布されるデータは、(a) 道路情報、(b) クエリフラッグ付き道路情報、(c) リプライフラッグ付き道路情報の三つとなる。以降では (b) をクエリ、(c) をリプライと表記する。クエリ・リプライの伝播アルゴリズムは以下のとおりである。(1) ある遠方地点の情報を取得したい車両は、散布する自車走行データの中にその地点の座標を記したクエリフラッグを加え、クエリとして散布する。(2) クエリを受信した車両は、自身がクエリに記された地点により近い場合はクエリを伝播する。近づかない場合はクエリフラッグを解除し、データに含まれる道路情報の収集のみを行う。(3) クエリを受信した車両がクエリに記された地点の道路情報を保持していればクエリの伝播を止め、要求された地点の道路情報をリプライとして返す。クエリにはクエリを生成した車両の走行データが含まれており、そこからクエリ発行車両の座標が分かる。リプライはクエリが保持するクエリ発行車両の座標を宛先として、クエリと同様のアルゴリズムでクエリを生成した車両へ返される (クエリ併用グリッド選択法)。

実際の交通環境では、車両は複数台まとまって走行しており道路上に車両 (ノード) の疎密が混在する。よって情報の伝播を繰り返して遠方の地点まで伝達させようとしても伝播させたい方向の通信範囲内に車両が存在しないことが多々ある。また、パケット衝突も考慮に入ると、高い信頼性を保証して情報を伝

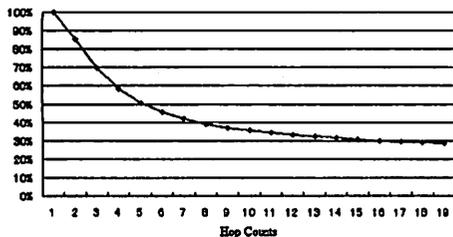


図 3: Propagation Counts of Packets

達させることは難しい。図 3 にランダム選択法を用いたシミュレーションにおいて、一度伝播されたパケット数を 100%とした時のパケットの伝播回数の割合を計測したグラフを示す。受信したデータを一定期間繰り返し散布する手法を用いても、伝播距離は長くなく、図 3 より平均伝播回数は 8 回程度に留まる。無線範囲が 100m の場合において、伝播により伝わる距離は 600-700m 程度であり、伝播中の中継車両による移動を考慮に入れても 1km 程度が情報の伝達限界であると考えられる。そのため、提案手法においては、各車両が必要とする可能性の高い道路情報を選択、高確率で伝播させるために自車付近の道路情報に高い優先度を与える。また、クエリ・リプライはそれぞれを受信した車両でさらに優先的に散布データとして選択されるものとし、クエリ・リプライが十分に散布されるようにした。

4 シミュレーション環境

筆者らは車々間通信を用いた道路情報の伝播をモニターするアドホックネットワークシミュレータ [15] を開発している。本シミュレータを用いて、各環境下で、ランダム選択法、近隣情報を優先的に散布するクエリを用いないグリッド分割選択法、提案手法であるクエリ併用グリッド選択法の三つの選択法の評価を行った。道路は中央に市街地がある道路網を再現し評価を行った。

シミュレーションでは自車位置から 2km 圏内の一辺 $D=200m$ の各グリッドから $K_{send} = 3$ 個まで優先的に選択する。

受信データ選択において、各車両が持つ道路情報の個数を 100m 以内の情報が、 $K_{receive} = 7$ 個までとした。また、各車両がクエリを用いて取得する情報は道路を 200m ごとに区切り、各車両の先行経路において、区切った道路のうち、まだその区間の道路情報を取得していない道路の情報とした。

道路 ● 中央に市街地がある道路網

- 道路環境：20Km × 20Km, 信号数 198 個
- 評価領域は市街地中心 7Km × 7Km

環境 1 : 円滑に車両が流れる交通状況 (60 分間に 4206 台)

環境 2 : 円滑に車両が流れる交通状況 (60 分間に 8568 台)

環境 3 : 円滑に車両が流れない交通状況 (60 分間に 12718 台)

環境 1・2・3 共通 ● 車載通信装置装備率：100%

- 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)
- 自車走行情報：過去 12 分の 30 秒毎の道路情報 (24 個)
- ネットワーク環境：無線パケット到達距離 100m, 通信帯域幅 100KBytes/sec
- 散布データ選択アルゴリズム：ランダム選択法, グリッド分割選択法, クエリ併用グリッド選択法
- 受信データ選択アルゴリズム：一定範囲内個数制限
- 受信確率：距離依存で受信確率が変動 (式 1)
- データ保持法：受信バッファが満杯になると、もっとも過去に受信したデータを消去
- 一度に送信可能なデータ数：300 個
- 受信バッファサイズ：データ 1000 個分

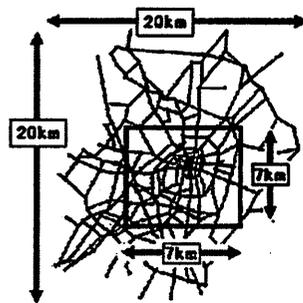


図 4: 中央に市街地がある道路網

5 シミュレーション結果

5.1 評価項目

(A) 先行経路取得割合とその時間的变化 先行道路の情報を取得できた割合とその時間的变化を評価した。先行道路の情報が取得できた状態とは、自車が先行道路に入る前にその道路の情報を車々間通信によって取得した状態を指す。先行経路の対象は、出発地点から車両が走行する 0~4km 先までの道路とし、道路を 200m ごとに区切り、ある地点の道路情報を取得した場合にその地点を含む区間道路において情報を取得したとする。評価対象となるのは将来通過する車線を通じた車両の情報であり、対向車線の道路情報は対象外とする。評価項目は、各車両の先行地域の道路情報を取得できた割合の時間的变化とした。

(B) 周辺道路把握率とその時間的变化 次に、周辺道路情報を把握できた割合とその時間的变化を評価した。周辺道路情報を把握できた状態とは、自車の位置から東西南北 1km を一辺 100m のグリッドに分割し、範囲内のある道路の情報を取得すればその道路を含むグリッドを把握したとする。周辺道路把握率を以下のように定義する。

$$\text{周辺道路把握率} = \frac{\text{情報を取得しているグリッドの数}}{\text{道路が存在するグリッドの総数}} \quad (6)$$

5.2 環境 1：円滑に車両が流れる交通状況 (車両少数)

(A) 図 5 に車両が少ない場合の各経路距離ごとの先行経路の情報取得割合と時間的变化を示す。出発地点から (a)0-1km 先までの道路情報の取得成功率が他と比べて低い原因は車両が出発してからその道路に到達するまでの時間が短く、十分に通信を行えないまま道路に到達してしまう事態が起こるからと考えられる。また、車両数が少ないため、通信可能な車両が少ない。しかし、提案手法はそういった状況の中でも数少ない通信機会だけで 70% の取得率を達成しており、効率よく必要な情報が得られている。

出発地点から (c)2-3km 先、(d)3-4km 先の道路においては、出発してから数分間はランダム選択法の方がグリッド分割選択法と比較して取得率が高いが、これは、付近を走行する車両がこれらの道路情報を優先的に散布していないためであり、車両が走行して、必要とする情報が高頻度で散布されている圏内に入ると、ランダム選択法と比較して情報取得率が高くなる。これに対し、クエリ併用グリッド選択法は 2km 圏外情報 (クエリ・リプライ) も散布されるため、結果的に先行経路の情報取得率も向上する。(c)2-3km 先の道路においてはランダム選択法より効率的に、(d)3-4km 先でもグリッド分割選択法よりも早期にランダム選択法以上の情報の取得が可能となっている。

先行経路に到達する前により早く情報を取得することは重要であるが、早期に情報を取得してしまっても到達するまでに状況が変わることも考えられるため、情報取得するのはある道路を通過する一定時間以内前であることが望ましいと考えられる。車両がある地点の情報が優先的に散布される圏内に入れば、常

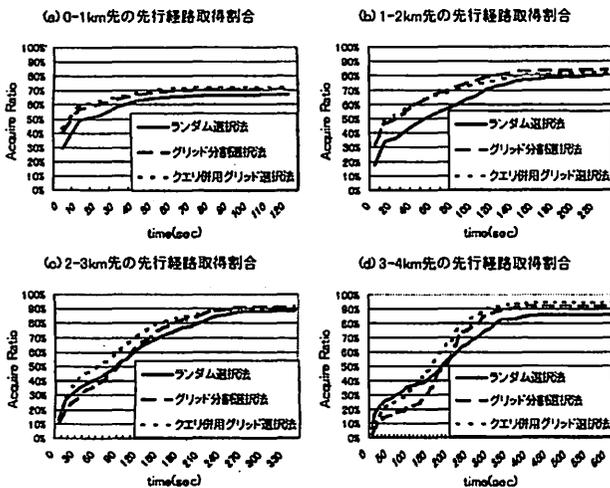


図 5: 環境 1 : 先行経路情報取得割合

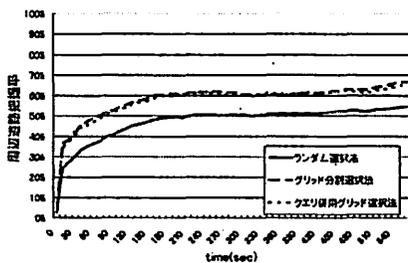


図 6: 環境 1 : 周辺道路把握率

に数 km 手前でその地点の情報が高確率で得られる本手法はその観点からも有用であると考えられる。

(B) 図 6 に周辺道路把握率とその時間的変化を示す。グリッド選択法は周辺道路把握に効果があった。また、クエリを用いた場合はクエリ・リプライにより 2km 圏外の道路情報を優先して伝播しているにもかかわらず、グリッド分割選択法とほぼ同等の把握率を保持しており、クエリ・リプライが車車間ネットワーク全体の情報共有における障害になっていないことが分かる。しかし、提案手法も 60%~70%程度の取得率にとどまる。これは走行車両が少ないため、道路情報の散布される量が少ないことが影響していると考えられる。

5.3 環境 2 : 円滑に車両が流れる交通状況 (車両多数)

(A) 次に、環境 2、中程度の車両数における先行経路の情報取得割合とその時間的変化を図 7 に示す。環境 1 と比較して走行車両数が多いため、通信機会も多く、全体的に情報取得成功率が向上している。出発地点から (a)0-1km の経路において提案手法では出発して 20 秒で 80%近くの情報を取得できている。出発地点から (d)3-4km 先の道路においても環境 1 と同様に、対象道路の情報が優先的に散布されている圏内付近に入ることによって高確率で情報を取得できている。

(B) 環境 2 における周辺道路把握率とその時間的変化を図 8 に示す。提案手法はランダム選択法と比較して常に 10%程度高い道路把握率を示している。しかし、この環境においても 75%程度の把握率にとどまっている。これは交通量の少ない道路も評価対象に入っているため、それらの道路の情報を散布する車両が少ないことから散布データに偏りが残っていることが影響していると考えられる。1 グリッド内から選択するデータの個数、散布データの優先度の詳細な設定などさらなるパラメータの調整が必要である。

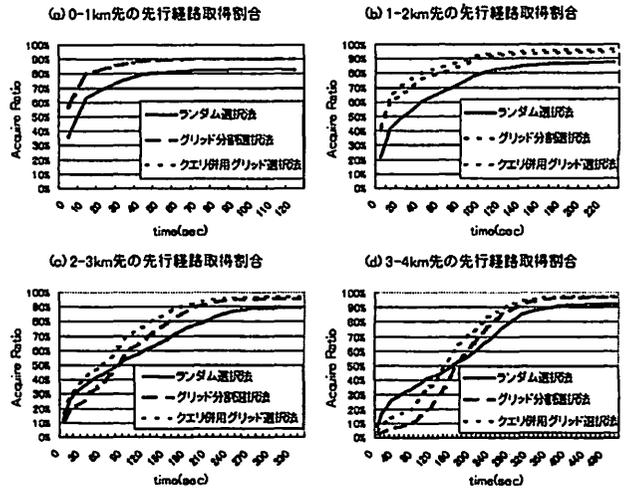


図 7: 環境 2 : 先行経路情報取得割合

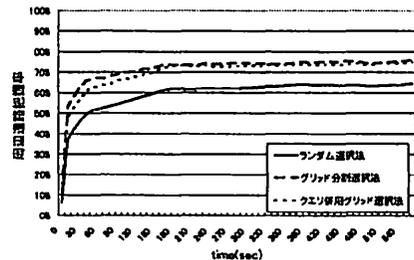


図 8: 環境 2 : 周辺道路把握率

5.4 環境 3 : 円滑に車両が流れない交通状況

(A) 図 9 に渋滞下での先行経路取得割合とその時間的変化を示す。渋滞が起きている環境では各車両が通信を行える車両数が増加し、受信できるデータ量が環境 2 と比べてさらに増加するため、最終的な差は小さいが、出発地点から (a)0-1km, (b)1-2km 先の経路においての到達するまでに時間が短い道路の情報などは特に本手法の効果が高いことが分かる。

(B) 次に、渋滞状況における周辺道路把握率とその時間的変化を図 10 に示す。渋滞状況で通信可能な車両数、通信可能な時間が増えるにも関わらずランダム選択法は 70%~75%に留まっている。提案手法は 80%前後の把握率を維持し、周囲を詳細に把握することで渋滞時の新たな経路決定などに効果的であることが見て取れる。これらからも渋滞環境においても本手法が有効であることが分かる。

6 まとめ

本稿では、車々間アドホック通信プロトコルにおける散布データ選択法として、周辺情報の取得に走行位置の数 km 圏内の道路情報を優先的に選択し、遠方の情報においてクエリを用いて取得を行うデータ選択法の評価を行った。シミュレーションの結果、クエリ併用グリッド選択法は先行経路を含む周辺道路の情報取得に有効なデータ交換法であることが分かった。先行経路以外の道路も含む走行位置周辺の道路状況を詳細に把握することで走行中の経路変更時などの新たな経路決定における有効な情報の提供をできると考えられる。各車両が散布するデータに偏りを抑えることで道路全体で散布されるデータも偏りを抑え、常に走行位置周辺の道路状況を把握できることを示した。このことから道路状況に依存することのない実用的な選択法であることを示した。環境 1 ~ 3 の結果から本手法は幅広い道路環境でも適応でき、走行車両数が少ない環境ほど性能改善が見

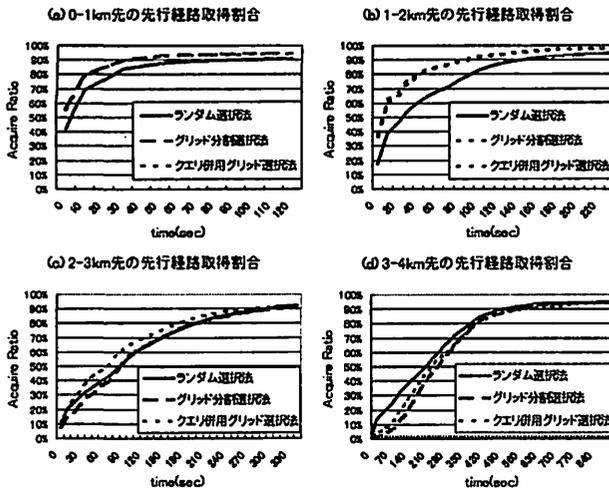


図 9: 環境 3 : 先行経路情報取得割合

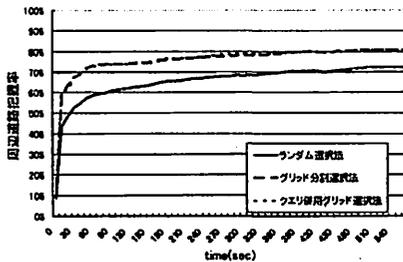


図 10: 環境 3 : 周辺道路把握率

られるという結果が得られた。しかし特定の道路情報取得に関しては従来手法に及ばない点もあった。今後は交通状況によってクエリ併用グリッド選択法における優先的に選択する範囲の動的な変更を行い、効率的な遠方情報の取得、また、さらなる遠方情報の取得率の向上を目指して、クエリ・リプライの伝播アルゴリズムを改良する必要がある。

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 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北岡広宣、森博子の両氏に深謝します。

参考文献

- [1] M. D. Dikaiakos, S. Iqbal, T. Nadeem and L. Iftode : "VITP : An Information Transfer Protocol for Vehicular Computing", *Proc. of 2nd ACM Int. Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2005)*, pp.30-39, 2005.
- [2] 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 2nd ACM Int. Symp. on Mobile Ad-hoc Networking & Computing (MobiHoc 2001)*, pp.259-262, 2001.
- [3] K. Konishi, K. Maeda, K. Sato, A. Yamasaki, H. Yamaguchi, K. Yasumoto and T. Higashino : "MobiREAL Simulator - Evaluating MANET Applications in Real Environments -", *Proc. of 13th IEEE Int. Sympo. on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer*

and Telecommunication Systems (MASCOTS 2005), pp.499-502, 2005.

- [4] K. Maeda, K. Sato, K. Konishi, A. Yamasaki, A. Uchiyama, H. Yamaguchi, K. Yasumoto and T. Higashino : "Getting Urban Pedestrian Flow from Simple Observation : Realistic Mobility Generation in Wireless Network Simulation", *Proc. of 8th ACM/IEEE Int. Sympo. on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2005)*, pp.151-158, 2005.
- [5] A. Khelil, C. Becker, J. Tian and 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 2002)*, pp.54-60, 2002.
- [6] M. Saito, J. Tsukamoto, T. Umedu and T. Higashino : "Evaluation of Inter-Vehicle Ad-hoc Communication Protocol", *Proc. of IEEE 19th Int. Conf. on Advanced Info. Networking and Applications (AINA 2005)*, pp.78-83, 2005.
- [7] 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.
- [8] R. Miller, Q. Huang : "An Adaptive Peer-to-Peer Collision Warning System", *Proc. of IEEE Vehicle Technology Conference(VTC)*, pp.414-418, 2002.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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 ITS*, Vol.4, pp.1801-1806, 1998.
- [13] M. Torrent-Moreno, D. Jiang and H. Hartenstein : "Broadcast Reception Rates and Effects of Priority Access in 802.11-based Vehicular Ad-Hoc Networks", *Proc. of 1st ACM Int. Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*, pp.10-18, 2004.
- [14] T. Rappaport : "Wireless Communications: Principles and Practice, Second Edition", *Prentice Hall*, 2001.
- [15] 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 : "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", *情報処理学会論文誌*, Vol.46, No.11, pp.2695-2703, 2005.
- [16] 塚本 淳, 齋藤 正史, 梅津 高朗, 東野 輝夫 : "先行道路情報取得プロトコル RMDP の設計と評価", *情報処理学会論文誌*, Vol.47, No.4, pp.1248-1257, 2006.