

# 携帯電話通信量の削減を目指した車車間通信による道路交通情報共有の評価

Evaluation of road traffic information shared by the inter-vehicle communication for reduction of mobile phone communication

安達 佳明<sup>†1</sup>      梅津 高朗<sup>†1</sup>      山口 弘純<sup>†1</sup>      東野 輝夫<sup>†1</sup>  
Yoshiaki Adachi<sup>†1</sup>   Takaki Umedu<sup>†1</sup>   Hirozumi Yamaguchi<sup>†1</sup>   Teruo Higashino<sup>†1</sup>

## 1. ま え が き

近年、道路交通情報におけるリアルタイム性が注目され、実際の道路状況を考慮することができる高度なカーナビゲーションサービスなども実用化されている。例えば、交通量情報や事故情報、駐車場情報などの状況によって変化する情報に関しては最新情報をドライバーやナビゲーションシステムに提供することで適切な経路選択を補助し、渋滞の回避や運転時間の短縮が行えると期待が集まっている [1, 2]。そこで問題となるのはリアルタイム道路交通情報を収集し、それらを効率的にドライバーへ情報提供するための方法が必要となるということである。

既存の道路交通情報通信システムとして VICS が挙げられる。VICS では道路上に設置された車両検知器や監視カメラなどから道路情報を収集し、それらを VICS センターで集計処理、ある程度リアルタイムな道路交通情報を VICS 対応のカーナビを搭載した車に提供している。提供には FM 多重放送、光ビーコン、電波ビーコンなどがあるが、FM 多重放送では放送型通信であるため大域的な情報を扱うことや光ビーコン、電波ビーコンでは路側機が必要となるため設置コストが問題となることなどが理由となり、コスト的に見合わない細街道を網羅することが課題となっている。

一方で、ここ数年で GPS や高性能センサーを搭載したスマートフォンが広く普及し、携帯電話端末を用いたリアルタイム道路交通情報を提供するアプリケーションが登場しており、今後、利用者の増加が見込まれる。これらのアプリケーションは現在位置情報やその周辺の道路交通情報を取得し、効率的なルートをドライバーに提案する。また携帯電話通信を利用した交通情報の収集と提供が実際に行われており、カーナビゲーションシステムが GPS の位置情報や加速度センサの情報を携帯電話通信によりサーバへ送信、それらを解析することで交通情報を把握しドライバーに提供するサービスも始まっている [5-7]。携帯電話通信の利点は移動中の通信が容易であることや広く普及している既存インフラを用いるため追加の設置コストが低いことや、双方向の通信が可能であり、交通情報センターでより高精度の解析が可能なことなどである。しかし、端末の増加や高度なサービスの登場によって携帯電話通信のトラフィックは増加する一方で [8]、通信帯域の圧迫が問題となっている。これにより携帯電話キャリア各社は通信帯域の制限や定額制通信の廃止を検討しており、利用者の自由な通信が制限される可能性がある。更に、将来的に道路情報として渋滞個所のカメラ映像などを用いて、ライブ感のある情報伝達を

することも考えられるが、現在のシステムでは利用者に対し十分な性能を発揮することはできない。

また、無線アドホックネットワークを用いた車車間通信プロトコルの研究が盛んに行われている [9, 10]。車車間アドホック通信は 3G と比べて帯域的には比較的余裕があると考えられるが、一方で欲しい情報が必ずしも取得できないことや集中して情報を処理できないため情報の精度が低いことなどの問題がある。例えば、文献 [14] では、理想的な通信環境を仮定したシミュレーションを行っているが、周辺道路の情報把握率は 90%に留まっている。

そこで本研究では、車車間通信と携帯電話通信の長所を組み合わせた効率的な道路交通情報共有手法の提案を行う。同車列や同地域の車両は、似通った情報を必要とする場合が多いと考えられるため、近隣の車両間で車車間通信を用いて情報を共有することによって、同一の情報が何度も重複して携帯電話通信網経由で送信される状況を回避する。本研究で取り扱うデータは渋滞回避や旅行時間軽減に使用できる交通量を想定する。地図を 100m 四方の複数セルに分割し、車の台数や旅行時間を交通情報として既存のインフラを用いることで各セルごとに集約して、提供するものとする。各車両の車載端末が近隣の全セル内の交通情報を把握出来るようにすることを目標として定める。提案手法では、携帯電話通信から取得した情報を、車車間通信を用いて周辺車両間で共有するが、各車は交通量や情報を把握出来ているセルの割合に応じて、動的に携帯電話通信の使用率を決定することで、周辺情報の把握割合を下げないままに携帯電話通信網の使用量を減らす。本手法の特徴は、携帯電話通信を使用する範囲を設定し、その範囲を動的に設定することである。具体的には自車を中心としたある範囲内のセルのうち、その情報を取得していないセルの情報を携帯電話通信により取得するが、交通量が多く、把握率が良い場合は取得する範囲を狭め、車両数が少なく、把握率が悪い場合は取得する範囲を広げることで、携帯電話通信の使用率を変化させる。

離散事象シミュレータ Scenargie を用いて手法性能を評価した。まず、本手法を Scenargie 上に実装し、市街地を想定した 5km×5km の道路網などを作成した。次に道路網の車両モビリティとして Scenargie との連携が可能な交通シミュレータである MATES [16] を利用し、交通量を 30 分あたり 706, 1118, 1725 台の 3 段階において、本手法による情報取得のシミュレーションを行った。シミュレーション結果より、本手法が携帯電話通信のみの場合に比べ、各車の周辺情報の把握割合を下げることなく情報を取得でき、かつ携帯電話網を用いた通信を約 25-50%軽減できることを確認した。

## 2. 関連研究

現在の道路交通の情勢において、渋滞やそれに関わる遅延な

<sup>†1</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

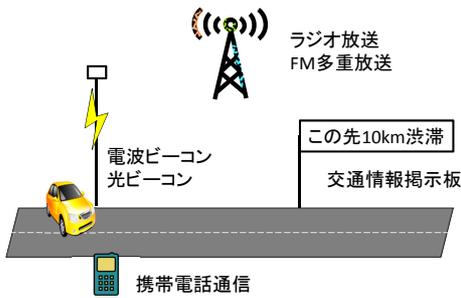


図 1 道路交通情報の配信方法

どは依然として重要な問題であり、対策が検討されている。例えば、渋滞情報や交通規制情報といった時間帯や状況に応じて変化するリアルタイムな道路交通情報をユーザに提供することで渋滞の回避や旅行時間の削減に繋げることが期待されている。このような情報は、道路上のトラフィックカウンタやカメラ、ドライバーからの通報などが道路交通センターでリアルタイムに処理され、道路交通情報としてドライバーへ提供されるものである。ここでは、道路交通情報の配信のためのいくつかの手法を示し、それに対する提案手法の意義を明らかにする。

### 2.1 道路交通情報配信の現状

現在、一般車への道路交通情報の配信にはいくつかの方法が存在し、運用されている [17]。図 1 にイメージを示す。

まず、旧来より存在するものとして道路情報掲示板やラジオ放送が挙げられる。ドライバーは道路情報掲示板やラジオ放送を確認することで視覚的、聴覚的に情報を取得するが、配信される情報は少なく、取得できるタイミングも限定的である。

次に、情報技術の発展や道路交通情報の高度化により普及してきたものとして、路側機や FM 多重放送を用いた情報のデータ配信サービスがある。日本で普及している既存のデータ配信サービスとして道路交通情報配信システム VICS (Vehicle Information and Communication System) [4] が挙げられる。VICS は FM 多重放送、電波ビーコン、光ビーコンの 3 種類の方法を用いて、渋滞情報、所要時間、交通障害情報、交通規制情報、駐車場情報をエリア別に配信している。しかし、電波ビーコンなどの路側機は基本的に主要な道路のみに設置されているため、細街路の情報の収集、配信は対応が難しい。また、路側機の設置間隔が広い場合、十分な情報の更新頻度を確保できずにリアルタイム性が失われ、実際の道路交通状況と配信された情報が一致しない状態が発生してしまう。

一方、携帯電話網の通信速度の向上や、利用料金の低下に伴い、高機能携帯電話端末 (スマートフォン) の爆発的な普及や、携帯電話網を用いた道路交通情報の配信サービスが登場など、移動体通信を取り巻く環境は大きく進歩している。携帯電話網は、広域な領域で通信が可能であり、移動中の通信、特に双方向通信を利用できるため、任意のタイミングでの任意の情報の取得が可能である。GPS の位置情報や速度を交通情報の処理サーバ上で収集し、統計処理を行いリアルタイムな交通情報として各車に配信を行うサービスもすでに実用化されており、従来のカーナビゲーション用車載器やスマートフォンのアプリケーションを介して利用が出来る [5-7]。また、注目されているのがスマートフォン上のアプリケーションとしての提供である。スマートフォンのアプリケーションとしては、各道路の交

通量のみを提供するものからカーナビゲーション機能をもつものまで様々なアプリケーションが登場しており、車載器の設置が不要なことから、より手軽にリアルタイム道路交通情報を得ることができる。このように、より高度かつ容易に利用可能な道路交通情報の配信サービスが展開されている。

### 2.2 車車間通信による情報の共有

車車間通信は車に搭載された車載器によって無線アドホック通信を行うことにより、車同士で情報の授受を行う通信である。情報を交換・共有することを目的とした車車間通信において重要となるのは、情報の送信プロトコルと情報の選択方法であり、情報の交換・共有の目的に応じた、効率的な情報の送信プロトコルや情報を選択する必要がある。

無線アドホックネットワークにおいては、様々な目的や環境に応じた、様々な通信プロトコルが提案されている [9-13, 18]。本提案手法では情報の送信方法としては電波到達範囲内ブロードキャストを用い、無線通信の通信電波が到達する範囲に存在するノードにのみ情報の送信を行う。提案手法ではネットワーク層でのマルチホップ通信は特に用いないが、各端末は近隣端末から受信した交通情報をすでに持っていた情報と合わせ、その中から周辺ノードへと情報提供する仕組みであるため、結果として 2 ホップ以上離れたノードへも情報は伝播していく。また、スマートフォンを用いた通信基盤として文献 [15] が挙げられる。一方、近年では、ITS における通信プロトコルの規格化が行われており、DSRC/WAVE (Dedicated Short Range Communications / Wireless Access in Vehicular Environments) [19, 20] という通信プロトコルが提唱されている。DSRC は車車間通信、路車間通信に用いられる無線通信のプロトコルセットの標準規格であり、その下位層 IEEE802.11p として標準化されている。今後、DSRC/WAVE は ITS において標準的な規格となることが期待されている。本研究では、下位層プロトコルとして IEEE802.11p を想定する。

他車へ向けて送信する情報を効率的に選択することで、無駄な通信の増加を避け、有効な情報を共有するための手法も提案されている。本研究では近隣車両との情報共有に近隣情報優先選択手法 [14] を用いる。この手法は自車の現在位置から一定距離内の保持している情報を優先的に他車への送信する情報として選択するものであり、その選択される範囲は交通量が多い場合、受信側から見ると情報を受け取れる機会が多いことに期待し、自車の情報選択範囲を拡大する。一方、交通量が少ない場合は、自車の選択範囲を縮小する。文献 [14] では、選択範囲の最大が自車を中心に 4km、最小が 1km の設定で、3 種類の交通量を想定したシミュレーションが行われている。シミュレーションは 20km 四方の一般的な道路網が想定され、この手法により評価範囲 7km 四方の情報について約 80% の把握率が得られることが分かっている。同文献では、通信帯域無限大という理想環境下において情報の授受を行う実験が行われており、その結果、車車間通信のみの場合、最大で約 90% の情報しか得られないことも分かっており、車車間通信のみでは実用的なサービスを提供することは難しく、何らかの方法で補完することが必要と考えられる。

### 2.3 公衆広域網を用いた交通情報サービス

公衆広域網とは、例えば、携帯電話網や WiMAX などの、インターネット接続可能な通信を意味する。2.1 節でも述べた

通り、この公衆広域網を用いた交通情報配信サービスは既に始まっており、カーナビゲーション機器が携帯電話網を使うものとしては、トヨタ自動車株式会社の G-BOOK [5]、本田技研工業株式会社のインターナビ [6]、日産自動車株式会社の CARWINGS [7] がある。各サービスともに、渋滞情報、交通規制情報などといった交通情報はもちろん、周辺店舗情報、経路上の天気情報、ニュース情報なども配信されており、提供される情報は交通情報にとどまらない。また、これらのサービスでは情報の提供だけでなく、携帯電話網を用いた情報の収集も積極的に行われている。例えば、米 Google 社が提供する Google Maps [22] では、サービスを使用しているスマートフォンが現在位置情報や加速度情報を Google 社のサーバに送信する仕組みとなっており、これらの情報から道路の交通量を推定している。

モバイルコンテンツが高度化されていく一方で、現在、モバイル通信パケットの急激な増加による通信帯域の圧迫が問題となっている。総務省が大手携帯電話キャリアの通信状況をまとめた発表によると、2011 年 9 月のモバイル通信によるトラフィック量は前年同月比の約 2 倍に増加している。更に、文献 [23] の試算によると、2007 年から 2017 年のモバイル通信パケット増加数は約 222 倍になると予測される。これに伴い、大手携帯電話キャリアは対策を求められており、通信帯域の制限やパケット通信料金の従量制導入が検討されている。同様に、米国では 2014 年の通信帯域の不足が予測されており、通信機器の増設や周波数の分配が急務となっている [24]、また、米 AT&T 社や Verizon 社では既に、パケット増加への対策としてパケット通信料金の定額制廃止が行われている。

#### 2.4 提案手法の位置付け

携帯電話網の利用状況は携帯電話の高機能化やコンテンツの高度化に伴い急激に増加しており、これを改善するためには無駄を極力排除した通信が求められている。そこで、車車間通信と携帯電話通信を併用することによって、携帯電話網を利用した通信コストの高い従来の情報取得に対して、通信コストを抑えた情報取得を実現する。尚且つ、車車間通信のみでは実現できなかった周辺道路交通情報の高い割合での把握を目指す。その上で問題となるのは、道路交通情報を高い割合で把握するために、どれだけ情報が車車間通信で取得できるかと期待できるかを正確に見積もり、携帯網の利用を適切に控えることでいかに携帯電話通信のパケット数を削減できるかである。

車車間通信は周辺の車両数が変化することによって情報の取得性能が変化する。例えば、周辺の車両数が少なければ得られる情報量は少なくなり、車両数が多ければ得られる情報量は大きくなる。これにより、周辺情報の把握率を高く保ちつつ、効率的な通信携帯電話通信を行うためには、状況ごとの車車間通信の性能を考慮した携帯電話通信の使用率の決定が必要となる。そこで本研究では、交通量などの状況に注目した、車車間通信と携帯電話通信の効率的な使用分配を決定する手法を提案する。

### 3. 道路交通情報共有の問題設定

本章では本研究で取り扱う問題の設定について説明する。まず、取り扱う機器として標準的なスマートフォンもしくはそれに準ずるものを想定する。想定機器は、携帯電話通信を行う

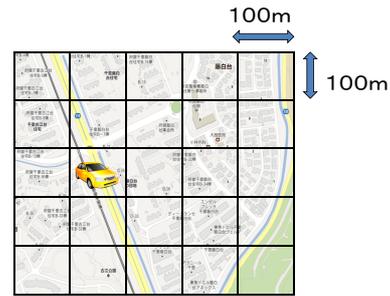


図 2 地図上のセル

ための 3G 通信もしくは 3GPP 通信機能、車車間通信を行うための WiFi 等による無線通信機能、位置情報取得のための GPS 機能を有するものである。以下に問題の設定を示す。

#### 3.1 道路交通情報の想定

本研究では、道路交通情報として、渋滞の回避や旅行時間の短縮に活用できる交通量を想定する。交通量を推定する手法としてはトラフィックカウンタや交通カメラ、2.3 節で記述した携帯電話網を利用した交通量推定が存在し、これらの方法により交通管理センターが推定した、時間ごとに最新の交通量を共有することについて考える。これらの情報は様々な方法を用いてオンラインのサーバ上に格納されており、携帯電話通信によって常時最新の交通量を取得できるものと仮定する。そのため、本研究では、情報が収集されるプロセスに関しては扱わない。

これらの交通量情報共有は、地図を 100m 四方に分割したセル単位で取り扱う。図 2 に具体例を示す。交通量はセル毎に情報を集約し管理する。交通管理センターのサーバは、例えば、セル (X,Y) というセルは交通量が 5 (サーバによって事前に処理された数字) というような形で、セルごとの交通量として車両数を保持しているものとする。各車両は、これらの情報をサーバから取得し、ある程度の情報を車載器機内にキャッシュし、必要に応じてユーザに情報を提示する。取得した情報は近隣の車両と車車間通信を用いることで共有する。必要な情報が不足している場合には、サーバから情報を取得することになるため、本提案手法においてはどれだけ情報を取得できているかが性能を考える上で重要な指標となる。ここでは各車ごとに、車車間通信などで交通量をすでに取得し、情報を保持しているセルを既取得セル、交通量が未取得のセルを未取得セルと呼ぶ。

本研究では自車を中心として半径 1km 内の情報を収集することを想定する。各車の経路上、半径 1km の未取得セルを車車間通信と携帯電話通信により収集し、未取得セルをできる限り少なくし、未取得セルを取得するための携帯電話通信の使用率を抑えることを目標とする。

#### 3.2 既存の道路交通情報取得方法

本研究では道路交通情報として交通量の取得を問題としてしているので、本節ではリアルタイムな交通量を取り扱う既存の方法を以下に挙げる。

- 路車間通信
  - － 利点：高容量、安定的な通信ができる。
  - － 欠点：設置コストが高い。
  - － 実用例：VICS の電波ビーコンや光ビーコン

- 携帯電話通信

- 利点：移動中の双方向通信が容易、また既存設備であるため新たな機器の設置コストが低い。
- 欠点：通信帯域が圧迫されており、通信コストが高い。
- 実用例：G-BOOK など携帯電話通信を用いた情報配信サービス

- 車車間通信

- 利点：通信コストが低い。
- 欠点：大体の交通量を推定できるが [25]、情報管理センターなどで情報を処理しないため、精度の高い交通量の把握が難しい。また、情報を完全に得ることができない [14]。
- 実用例：研究段階

これらより、精度の高い交通量を得るためには交通管理センターなどの一括の情報収集が必要である一方、それらをリアルタイムに配信するには設置コストや通信コストの問題があることがわかる。そこで、本研究では車車間通信と携帯電話通信を併用することで、通信コストを抑えつつ、交通管理センターなどで処理した精度の高い交通量の配信を行う。

### 3.3 車車間通信及び携帯電話通信の併用

本研究では車車間通信と携帯電話通信を併用することによって、携帯電話通信の通信量を削減することを目的としている。目的実現のために、車車間通信の利点である通信コストの低さと携帯電話通信の利点である移動中の情報取得の容易さや取得する情報の精度の高さを併せ持つ道路交通情報共有手法を提案する。本研究における車車間通信と携帯電話通信の役割を以下に示す。また、図 3 に情報共有のイメージを示す。

- 車車間通信

携帯電話通信や車車間通信によって取得した既取得セルの情報を他車と共有するために使用する。各車は一定間隔毎に複数の既取得セルの中からランダムに抽出した 1 セルの情報を送信する。受信した車はセルの情報を格納する。すでに既取得であるようなセルの情報を受信した場合は、受信した情報の方が既存の情報よりも発行時間が新しい場合にのみ書き換えを行う。また、本研究では、各車が独立した車車間通信を想定している。その為、各車は他車がどのセルの情報を取得したなどといった情報の取得状況を把握していないものとする。

- 携帯電話通信

車車間通信で拡散する交通量をオンライン上のサーバより新規取得するために使用する。携帯電話通信で新規取得したセルの情報はその時点において最新の交通量である。またこの際、いつ発行したかを示す発行時間をセルに記録する。

携帯電話通信の通信量を削減する上で、課題となるのは、車が通った経路上のセルの情報をどれほど取得できたかという周辺情報の把握率である。本稿では把握率を式 1 に示したように定義する。

$$(\text{把握率}) = \frac{\text{評価範囲内の保持しているセル数}}{\text{評価範囲内の総セル数}} \quad (1)$$

周辺情報の把握率が悪ければ、情報を活用できなくなるため、把握率は高い値を維持する必要がある。その為、把握率を維持しつつ、携帯電話通信の通信量をいかに削減できるかが問題に

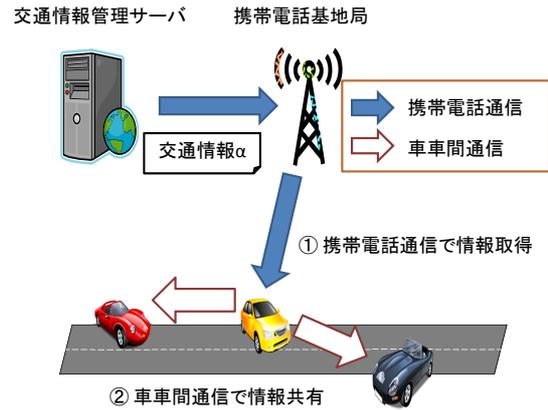


図 3 道路交通情報の共有イメージ

なる。

## 4. 提案手法

### 4.1 提案手法の概要

まず、携帯電話通信の通信量を削減するための提案手法のアプローチを以下に示す。

- 近隣の情報の類似性  
近隣に存在する車が必要とする情報は類似している場合が多く、特に道路交通情報である交通量は個々の車の目的に関係なく、情報は近隣の各車で同じである。よって、近隣の各車は携帯電話通信を用いて個々に情報を取得する必要はなく、ある車が取得した交通量を車車間通信で共有することにより交通量を把握する。
- 交通量による情報共有の期待度  
車車間通信で情報を共有することを考えた場合、周辺の交通量によって情報を得られる機会に差が生じる。例えば、周辺の交通量が多い場合、多くの車と情報の交換が見込めるため、取得できる情報数は多くなる。一方、周辺の交通量が少ない場合、情報交換の機会が少なくなり、取得できる情報数が少なくなる。このことより、周辺の交通量を考慮することで効率的な情報の取得を行う。
- 車車間通信の効率による情報共有の期待度  
車車間通信で得られる情報量は交通状況などによって大きく変化するため、どれだけデータが得られるかを数値的に考えることは難しい。そこで、本研究では各時点の把握率を考慮することで効率的な情報の取得を行う。

また、携帯電話通信による情報の取得は、同車列上に存在する各車がある程度分担して行うことによって、より効率的に通信量を削減できると考えられる。例えば、範囲内の情報を全て取得する場合、車列を考えると、情報を取得するのは主に先行する一車両のみである。この時、車車間通信による情報の共有が十分に行われない場合、先行する車以外の後続車も同様の情報を取得する必要がある。そこで、範囲内の情報を確率的に取得することで、各車の分担を実現する。これにより、効率的に通信量を削減するとともに、特定の車に負担が偏らないように公平性の実現を行う。

3.3 節で述べた目標である、高い把握率を維持しつつ、携帯電話通信の通信量を削減することを実現するためには、上記のアプローチより、効率的な携帯電話通信の使用率を決定するこ

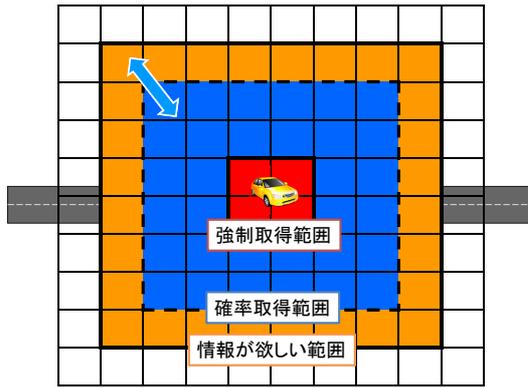


図 4 提案手法における 2 つの範囲

とが必要である。しかし、時々刻々と変化する状況の中で実際には携帯電話通信の使用量を理論的に最小化することは難しい。そこで、近隣領域の情報を確実に把握するため、ある一定距離内に未取得セルが存在した場合には、携帯網を用いて情報を取得することとする。また、その範囲よりも遠い範囲の情報に関してはある程度の確率で携帯網を用いた情報取得を行う。これらの範囲の大小により、携帯電話網の使用率の大小が影響されるため範囲変動することによって携帯電話通信の使用率を制御することを考える。

上記のことを考慮し、携帯電話通信を用いて情報を取得する範囲を 2 つ設ける。また、図 4 に、各範囲を示す。

- 確率取得範囲

確率的に未取得セルの情報を取得する動的な範囲である。その範囲は状況ごとの交通量、把握率によって決定する。範囲の決定方法の詳細は 4.4 節に示す。大まかには、交通量が多いもしくは把握率が高い場合は範囲を縮小、交通量が少ないもしくは把握率が低い場合は範囲を拡大する。これにより、情報の取得に関して車車間通信の取得に期待ができる場合は、携帯電話通信の使用率を抑えることができる。

- 強制取得範囲

確率範囲で取得していない未取得セルの情報を必ず取得する最近隣の範囲である。経路設計などでもっとも重要であると考えられる。自車を中心とした一定範囲の未取得セルを必ず取得することにより、有効な情報が欠落することを防ぐ。強制取得範囲は確率取得範囲内に設定する。

また、これら 2 つの範囲に関係なく、車車間通信を用いて一定間隔でセルの情報を交換する。車車間通信による情報の共有については 4.3.2 節に後述する。

#### 4.2 データの構造

3.1 節では地図上の道路交通情報を 100m 四方のセルごとに分割して取り扱うことを想定した。本節では、想定した道路交通情報を格納する実データの構造について説明する。

各セルは以下の情報を保持する。また、1 セルのサイズは 1kBytes の情報を想定する。

- 交通量

交通管理センターが処理した 100m 四方の混雑度。

- 取得者の ID

各セルの情報を携帯電話通信で取得した車を識別するため

のユニークな ID。

- 発行タイムスタンプ

交通管理センターから携帯電話通信で取得した時間。

各セルの情報は携帯電話通信や車車間通信により、随時、取得と共有が行われる。車車間通信により他車から共有されたセルの情報が自車にとって既取得であった場合は、発行タイムスタンプが新しいセルを保存する。

また、各車の車車間通信では以下の情報を送信する。

- 自車 ID

送信者を識別するための車ごとにユニークな ID。

- 自車位置

情報を送信した GPS による自車の位置情報。

- 送信時間

情報を送信した時刻。

- セルの情報

上記で説明した当該セルが保持する情報。

#### 4.3 情報共有の方法

本手法では情報を取得する方法として 2 つの方法がある。携帯電話通信による情報の新規取得と車車間通信による共有である。以下に各通信の説明を行う。

##### 4.3.1 携帯電話通信による取得

携帯電話通信による情報の取得は、4.1 節で説明した 2 つの範囲内に存在する未取得セルに対して行う。携帯電話通信では指定した座標の情報を取得できるが、車車間通信では各車が無作為に抽出した情報をブロードキャスト送信するため、特定の情報を選択して得ることはできない。確率取得範囲ではある確率で未取得セルの情報を取得し、強制取得範囲では強制的に未取得セルの情報を取得する。車車間通信により共有される情報は、まず携帯電話通信により情報を取得されることが必要である。情報の取得の流れは次の通りである。なお、本研究ではこのサイクルを 2 秒ごとに行うように設定した。

- (1) GPS より位置情報を取得する。
- (2) 取得した交通量より自車周辺の交通量、自車周辺の情報の把握率を計算する。
- (3) 計算した周辺の交通量、把握率より、確率取得範囲を決定する。
- (4) 確率取得範囲内の未取得セルの情報を携帯電話通信により確率的に取得する。
- (5) 強制取得範囲内の未取得セルの情報を携帯電話通信により強制的に取得する。

##### 4.3.2 車車間通信による共有

車車間通信による情報の共有は、送信プロトコルとして一定周期の電波到達範囲内ブロードキャストを、送信情報選択プロトコルとして近隣情報優先選択を用いて行う。情報の共有の流れは次の通りである。

- (1) ある車が近隣情報優先選択法を用いて既取得セルより無作為に 1 つのセルを選択する。
- (2) 無作為に抽出したセルの情報を無線通信を用いて、周囲の車へジオキャストする。
- (3) 情報を受け取った車は、そのセルが未取得セルであった場合、情報を登録する。既取得セルの場合は、発行タイムスタンプを確認し、新しい場合にその情報を登録する。本研究では、各車が独立して情報取得することを想定してい

るため、送信する情報は情報を送信する車の近隣情報である。よって、情報選択の方法として近隣情報優先選択法を用いる。文献 [14] で提案されている近隣情報優先選択法は、選択する範囲を交通量に応じ変化させているが、シミュレーション設定の都合上、本稿ではその範囲を変化させずに実験を行った。送信する情報が選択される範囲は自車を中心に半径 1.5km の矩形領域である。

#### 4.4 確率取得範囲の決定

本節では確率取得範囲の決定について説明する。確率取得範囲は上記に記した通り、動的にその大きさが決定される範囲であり、この範囲を調整することによって、間接的に携帯電話通信の使用率を決定する。確率取得範囲は交通量と周辺情報の把握率によって決定する。

ここでは周辺の交通量を車車間通信がどれだけの情報を取得できるかという情報取得の期待度として使用する。車車間通信でパケットを定周期送信により送信すると、通信帯域に余裕があれば、交換される情報数は交通量に比例する。すなわち、交通量が多ければ交換される情報数が増加し、交通量が少なければ交換される情報数が減少する。交通量が多ければ、携帯電話通信の使用率を抑制するために、確率取得範囲を縮小する。また、交通量が少なければ、車車間通信で得られる情報が不十分であると考え、確率取得範囲を拡大する。交通量は携帯電話通信による情報取得や車車間通信による情報共有によって得られた交通量を用いる。確率取得範囲の決定に用いる交通量は自車が存在するセルの交通量に加えて、電波が確実に届く範囲を考慮して、その上下左右のセルの交通量との平均値を用いる。例えば、自車が存在するセルの交通量をセルの座標を  $(i, n)$  とし  $T_{i,n}$  とすると、平均の交通量  $T_{ave(i,n)}$  は式 2 となる。

$$T_{ave(i,n)} = (T_{i,n} + T_{i-1,n} + T_{i+1,n} + T_{i,n-1} + T_{i,n+1})/5 \quad (2)$$

次に、周辺情報の把握率について説明する。本研究では、交通量のほかに現在の周辺情報の把握率を用いて確率取得範囲を決定する。周辺情報の把握率とは、評価範囲である自車を中心とした半径 1km(2km 四方の範囲) の情報保持の割合である。周辺情報の把握率が高ければ、情報を新規取得する必要が少ないため、携帯電話通信の使用率を抑えることができる。一方、把握率が低ければ、例え交通量が多く情報共有に期待が持てる状況においても、情報を新規に取得した方がよい。よって、交通量と同様に、把握率が高い場合は携帯電話通信の使用率を削減するために確率取得範囲を縮小し、把握率が低い場合は確率取得範囲を拡大する。なお、周辺情報の把握率  $G$  は半径 1km 内の既取得セル数と半径 1km 内の総セル数を用いて次の式 3 により計算する。

$$G = \frac{\text{半径 1km 内の既取得セル数}}{\text{半径 1km 内の総セル数}} \quad (3)$$

上記で求めた交通量と周辺情報の把握率より、重み  $S$  を式 4 より求める。交通量の重みを  $w_T$ 、周辺情報の把握率の重みを  $w_G$  とする。本研究では重み和は最大値が 1 となるように調節しており、 $w_T, w_G$  は共に 0.5 と設定した。更に、交通量の度合い  $T$  を簡易的に  $T = T_{ave(i,n)}/5$  として使用する。数値 5 はシミュレータに依存した経験的に得た数値である。ただし、 $T_{ave(i,n)}$  が 5 以上の時には  $T = 1$  とする。

$$S = w_T T + w_G G \quad (4)$$

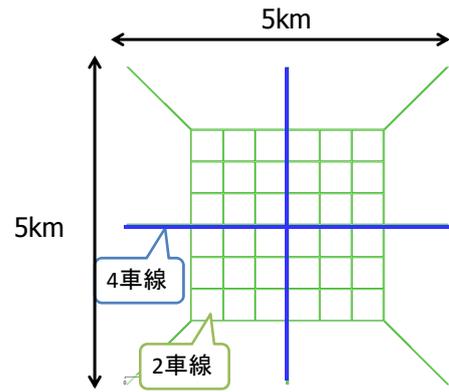


図 5 市街地マップ

最後に、上記で求めた重み和を用い範囲を決定する。確率取得範囲には予め、範囲の最大値と最小値を定めている。確率取得範囲の範囲の最大値を  $ProvArea_{max}$ 、最小値を  $ProvArea_{min}$  とすると、確率取得範囲  $ProvArea$  は式 5 により求まる。重み  $S$  は値が大きいくほど、交通量が多く、把握率が良いほど 1 になるので、範囲の縮小に使用するために式中では  $(1 - S)$  として使用する。

$$ProvArea = \frac{1}{2}(ProvArea_{max} + ProvArea_{min}) \times (1 - S) + ProvArea_{min} \quad (5)$$

以上のようにして、車両状況や情報の取得状況に応じて確率取得範囲を動的に決定する。

## 5. シミュレーション

離散事象シミュレータ Scenargie を用いて、提案手法の性能評価を行った。本章では提案手法のシミュレーション方法と性能評価結果を示す。

### 5.1 シミュレーション環境

#### 5.1.1 評価方法

はじめに、シミュレーション方法について説明する。シミュレーションは以下の市街地を想定したマップに対して行い、まず、交通流シミュレータ MATES を用いて交通流を生成した。次に、生成した交通流に対して Scenargie を用いて無線アドホック通信のシミュレーションを行った。

#### ● 市街地マップ

大きさ：5km×5km

発生車両数：706, 1118, 1725

図 5 に市街地マップの形状を示す。

シミュレーションでは携帯電話通信機器と車車間通信機器を全車装備しているものとする。また、シミュレーション内の経過時間は 30 分である。交通量の変化を想定し、交通量が 706 台、1118 台、1725 台の 3 種類に対して性能を評価した。交通量は、706 台が渋滞なし、1118 台が 100m 程度の車列ができ、1725 台が 800m ほどの渋滞が発生する量である。携帯電話通信はマップ内であればどこでも通信が可能であり、常に通信が成功となる理想的な通信であると仮定した。また、車車間通信はパケット衝突を考慮に入れたシミュレーションを行ったが、プロトコルの性能に影響するような重度のパケット衝突は発生しなかった。送信プロトコルとして定周期送信のマルチホップなしブロードキャストを、通信プロトコルとして

表 1 車車間通信の設定

設定項目	設定値
送信プロトコル	定周期ブロードキャスト
送信間隔 [ms]	250
通信プロトコル	IEEE802.11p
周波数帯域	5.9GHz
帯域幅	5MHz
最大ビットレート	3Mbps
通信範囲	300m
情報選択プロトコル	近隣情報優先選択法
選択範囲 [m]	1500

表 2 提案手法の設定

設定項目	設定値
確率取得範囲の最大値 [m]	1300
確率取得範囲の最小値 [m]	600
確率取得範囲の取得確率	0.25
強制取得範囲 [m]	300

IEEE802.11p を用いる。車車間通信の設定を表 1 に示す。

提案手法の設定を表 2 に示す。

また、電波伝搬モデルとして Scenargie 上に実装されている 2 波モデル [26] を使用した。2 波モデルは直進する波と地面による反射の波の干渉を考慮した電波伝搬モデルである。波の干渉により、ある間隔で受信電波強度が急激に減衰する距離が存在することが特徴である。本研究で取り扱う車車間通信は車同士の通信のため、地面からの反射波の影響を受ける。その為、反射波の影響を考慮した電波伝搬モデルの利用が妥当であると考える。

### 5.1.2 評価対象

本提案手法の評価として 1 シミュレーションあたりの携帯電話通信の通信パケット総数、携帯電話通信のパケット削減率、経路上の周辺情報の把握率を用いて評価を行った。ただし、ここでは自車の走行経路を中心に半径 1km 内に含まれるセルのみを評価対象とする。

#### ● 通信パケット総数

1 シミュレーションあたりに携帯電話通信により各車が取得したセル数の全車の総数である。本研究ではこの通信パケット削減を目的としており、この値を状況ごとに効率的に削減することが必要となる。よって、この通信パケット総数が、各車が携帯電話通信のみを用いて情報を取得した時の通信量に比べて、値が小さければ性能が良く、値が大きいほど性能が悪いことを示す。

#### ● 削減率

削減率は通信パケット総数の削減割合を数値化したものである。式 6 に削減率の計算式を示す。全車の評価対象の保持セル総数とは、全車が通った経路上に存在する評価対象のセルのうち、各車が情報を保持しているセルの総数である。つまり、各車が携帯電話通信と車車間通信により情報を取得した評価対象のセル数を総和した値である。削減率より携帯電話通信単独の場合に、情報を取得するために行わなければならない携帯電話通信のパケット量に対して、提案プロトコルを用いた場合にパケット量がどれだけ削減されたかがわかる。この削減率は、値が低ければ、携帯電話通信の使用数が少なかったことを表すため、提案手法の性能が良いことを示し、値が高ければ提案手法の性能

表 3 手法の説明

手法	説明
提案手法 1	自車を中心に 1 辺正方形の確率取得範囲
提案手法 2	前方よりの長方形の確率取得範囲
固定範囲 1	自車を中心に 2km 四方から情報を確率的に取得
固定範囲 2	自車を中心に 2km 四方から情報を強制的に取得

が悪いことを示す。

$$(\text{削減率}) = \frac{\text{通信パケット総数}}{\text{全車の評価対象の保持セル総数}} \quad (6)$$

#### ● 把握率

把握率は評価対象のセルの保持割合を数値化したものである。全車の評価対象のセル総数とは、全車が通った経路上に存在する評価対象のセルの総数である。これにより、評価対象である半径 1km 内のセルをどれほど取得できたかがわかる。把握率は、値が高ければ、経路周辺の情報をよく把握できていることを示すため、対案手法が性能が良いことを示す。一方、値が低ければ提案手法の性能が悪いことを示す。式 7 に把握率の計算式を示す。

$$(\text{把握率}) = \frac{\text{全車の評価対象の保持セル総数}}{\text{全車の評価対象のセル総数}} \quad (7)$$

### 5.2 シミュレーション結果

提案手法の取得確率や確率取得範囲の大きさに関するシミュレーション結果は文献 [27] に記載したためここでは省略する。本稿ではそれに加え、確率取得範囲などを、車両から前方へ延びる長方形に変化させた場合の実験を行ったため、その結果に関して考察する。変化させた形状は表 3 に示したとおりである。範囲固定方式とは、携帯電話通信を用いて取得する範囲を固定とし、その範囲に入ったセルの情報は全て携帯電話通信により取得するという方法である。また、正方形の範囲だけでなく、長方形的な範囲での評価も行った。

図 6 に各手法の削減率、把握率と交通量の関係を示す。

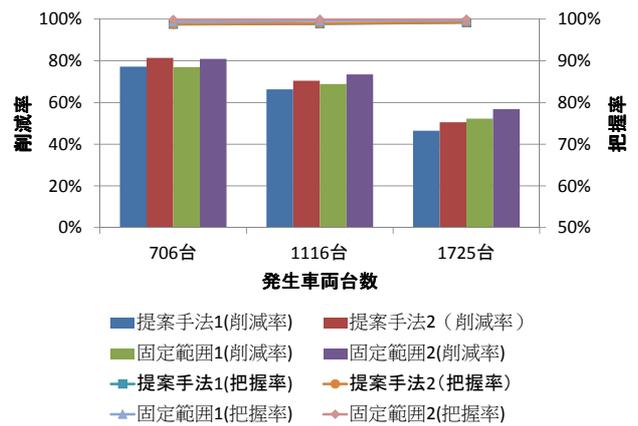


図 6 固定範囲方式と提案手法における削減率と交通量の関係

図 6 より、提案手法 1 の削減率が良いことが分かる。また、提案手法 2 より取得範囲を前方よりにすると削減率が低下した。これは、車車間通信により将来取得できる情報も先に携帯電話通信によって取得してしまうため、削減率が低下したと考えられる。また、提案手法 1、2 ともに固定範囲 2 より削減が行えているが、提案手法 2 は固定範囲 1 よりも削減率が悪い。

これは情報の取得タイミングの問題があり、固定範囲 1 では比較的遅い段階まで車車間通信によって情報の取得を期待する形となっているのでこのような結果になったと考えられる。

## 6. ま と め

本稿では、携帯電話通信の通信量削減を目標とした、車車間通信と携帯電話通信を併用した効率的な道路交通情報共有手法を提案した。提案手法では、交通量を地図上の分割されたセル単位で扱い、携帯電話通信を用いて一定範囲内に存在する情報が未取得のセルに関する情報を取得し、車車間通信を用いてセルの情報を共有することで、携帯電話通信の通信量を削減する。また、交通量やその時点での情報の把握率に応じ、携帯電話通信の利用範囲を変換することで、情報の把握率を保った状態で更なる効率化を図った。シミュレーション結果より、提案手法では、情報の把握率が高い状態を維持しつつ、単純な範囲固定方式に比べ、携帯電話通信による情報の取得数を削減でき、携帯電話通信の通信量を削減できることを確認した。

今後の課題としては、提案手法では現在の交通量や情報の把握率より携帯電話通信の利用範囲を決定していたが、取得した交通量の情報及び走行ルートを用いた予測制御は行っていないため、予測制御による情報取得の期待値を考慮した携帯電話通信の使用率制御を行うことが挙げられる。また、交通管理センターのサーバ上で各車の配置をもとに配布する情報を制御することや既存の路車間通信を用いることで更なる効率化を図ることが挙げられる。加えて、情報の取得タイミングにより情報の有用度は変化するので、取得のタイミングなど考慮することで、より実情に近い有用性の評価を行う必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) 吉井稔雄, 桑原雅夫: リアルタイム交通情報の提供効果, 土木学会論文集, No.653, pp.39-48, 2000
- 2) B.Fleischmann, S.Gnutzmann and E.Sandob: Dynamic vehicle routing based on on-line traffic information, Journal of Transportation Science Vol.38 No.4 pp.1-22, 2004
- 3) 泉隆: 安全・快適ドライブをサポートする ITS, 電気学会論文誌 D, Vol.131, No.10, pp.1, 2011
- 4) 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/index1.html>
- 5) トヨタ自動車株式会社: G-BOOK, <http://g-book.com/pc/default.asp>
- 6) 本田技研工業株式会社: INTERNAVI, <http://www.honda.co.jp/internavi/>
- 7) 日産自動車株式会社: CARWINGS, <http://drive.nissan-carwings.com/WEB/index.htm>
- 8) 総務省 総合通信基盤局: トラフィックからみた我が国の通信利用状況 (平成 21 年度), 2009
- 9) G.Korkmaz, E.Ekici, F.Ozguner and U.Ozguner: Urban Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communication System, Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad hoc Networks pp.76-85, 2004
- 10) M.Rudack, M.Meincke and M.Lott: On the Dynamics of Ad-hoc Networks for Inter Vehicle Communication, 2002
- 11) Tamer Nadeem, Sasan Dashtinezhad and Chunyuan Liao: TrafficView: Traffic Data Dissemination using Car-to-Car Communication, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol.8, No.3, pp.6-19, 2004
- 12) J.Zhao and G.Cao: VADD: Vehicle-assisted Data Delivery in Vehicular Ad-hoc Networks, IEEE Infocom vol.6, pp.1-12, 2006
- 13) Masashi Saito, Mayuko Funai, Takaaki Umedu and Teruo Higashino: Inter-Vehicle Ad-hoc Communication Protocol for Acquiring Local Traffic Information, Proc. of 11th World Congress on ITS, 2004
- 14) Takeshi Fujiki, Masayuki Kirimura, Takaaki Umedu and Teruo Higashino: Efficient Acquisition of Local Traffic Information using Inter-Vehicle Communication with Queries, Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC' 07), pp. 241-246, 2007
- 15) 澤田暖, 佐藤雅明, 植原啓介, 村井純: iDANS: スマートフォンを用いた車両間アドホックネットワークにおける位置情報に即した情報流布基盤情報処理学会研究報告, [高度交通システム研究会], vol.2011, No.9, pp.1-8, 2011
- 16) 吉村忍, 西川紘史, 守安智: 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発, 日本シミュレーション学会, 第 23 巻, 第 3 号, pp.58-67, 2004
- 17) 安達俊郎, 渡辺泰男, 川見篤史: 高速道路交通管制システムの現状とこれから, 東芝レビュー, Vol.57, No.12, pp.15-18, 2002
- 18) C.Schwingschlogl and T.Kosch: Geocast Enhancements of AODV for Vehicular Networks, Mobile Computing and Communications Review, Vol.6, No.3, pp.96-97, 2002
- 19) R Uzcategui and G.Acosta-Marum: WAVE: A Tutorial, IEEE Communications Magazine, Vol.47, No.5, pp.126-133, 2009
- 20) G.Grau, D.Pusceddu, S.Rea, O.Brickley, M.Koubek and D.Pesch: Vehicle-2-Vehicle Communication Channel Evaluation using the CVIS Platform, Communication Systems Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), Proceedings of the 7th International Symposium, pp.449-453, 2010
- 21) G.Leduc: Road Traffic Data: Collection Methods and Applications, JRC Technical Notes, pp.5-8, 2008
- 22) Google: Google Maps, <http://maps.google.co.jp>
- 23) 情報通信審議会 情報通信技術分科会: 携帯電話等周波数有効利用方策委員会報告, 2008
- 24) Federal Communications Commission: Mobile Broadband: The Benefits of Additional Spectrum, 2010
- 25) 大海健太, 西村豪, 神戸英利, 小泉寿男, 澤本潤: 車車間通信による車両情報を用いたリアルタイム交通流計測システム, 情報処理学会研究報告, No.116, pp.9-16, 2007
- 26) 高田潤一: 電波伝搬の基礎理論, マイクロウェブ・ワークショップ, 2004
- 27) 安達佳明, 梅津高朗, 山口弘純, 東野輝夫: 車車間通信を用いた情報共有により携帯電話通信量の削減を行う道路交通情報提供手法, DICOMO2012 シンポジウム, pp.524-538, 2012