

推薦論文

VANETにおける複数無線チャネルを用いた 大容量データ配信手法の提案と性能評価

川井 明^{1,a)} 柴田 直樹^{1,b)} 稲葉 健吾^{2,c)} 伊藤 実^{2,d)}

受付日 2014年12月17日, 採録日 2015年6月5日

概要: 車車間通信を利用したデータ配信についての研究がさかんに行われている。しかし、パケット衝突によるスループットの低下および対向車との通信が困難という技術的課題が残されている。本論文では、VANET (Vehicular Ad-hoc NETwork) における複数無線チャネルを用いたデータ配信手法を提案する。提案手法では、道路を無線電波の到達距離ごとの領域 (以後、セルと呼ぶ) に分け、互いに干渉しない複数のチャネルを各セルに順番に割り当てる。各車両は所属するセルのチャネルを使用して通信し、ネットワーク全体では複数のチャネルを同時に並行して使用することで、パケットの衝突を軽減し、スループットの改善を図る。これにより、連続したメッセージの送受信を可能にし、大容量データの配信を実現する。シミュレーションによる従来手法との比較の結果、提案手法は車両密度が高い混雑した状況においても高いスループット性能を発揮できることを確認した。その要因として、提案手法による帯域へのアクセス制御方式が効果的に機能したものと考えられる。

キーワード: 高度交通システム, 車車間通信, 複数無線チャネル, データ配信

A High Throughput Data Delivery Method Using Wireless Multi-channel for Vehicular Ad Hoc Networks

AKIRA KAWAI^{1,a)} NAOKI SHIBATA^{1,b)} KENGO INABA^{2,c)} MINORU ITO^{2,d)}

Received: December 17, 2014, Accepted: June 5, 2015

Abstract: Many researches addressed data dissemination utilizing inter-vehicle communication. However, there are still some technical challenges in reduced throughput by packet collision and difficulty of communication between cars heading towards opposite directions. In this paper, we propose a wireless multi-channel data delivery method for vehicular ad-hoc networks. The proposed method divides the roads into smaller areas (cells) and assigns one out of four channels to each cell to avoid interference between neighboring cells. Each car communicates with the channel assigned to the cell it is currently running on, and the whole network can use multiple channels at a time. In this way, continuous transfer of data and delivery of large data can be achieved. Through comparative simulation, we confirmed that the proposed method shows good performance even in a congested situations, since the proposed media access method is effective.

Keywords: intelligent transportation system, inter-vehicle communication, wireless multi-channel, data delivery

¹ 滋賀大学
Shiga University, Hikone, Shiga 522-0069, Japan

² 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology, Ikoma, Nara 630-0192, Japan

a) akira-kawai@biwako.shiga-u.ac.jp

b) n-sibata@is.naist.jp

c) kengo-i@is.naist.jp

d) ito@is.naist.jp

1. まえがき

近年、交通事故や渋滞などの道路交通問題を解消するために用いられる技術として車車間通信が関心を集めて

本論文の内容は2014年3月の第158回マルチメディア通信と分散処理研究会で報告され、同研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

いる。民間の通信事業者が運用・事業展開する携帯電話網や WiMAX を利用することで、車両からのインターネットアクセスが可能になり、通信カーナビなどのテレマティクスサービスや高精度・高鮮度の道路交通情報を収集するプローブカーの普及につれて、無線通信機能を備えた車載器の利用ニーズは高まるものと考えられている。今後は地図情報の更新や音楽・動画のダウンロードなどの大容量通信が必須となるサービスの実現が期待されている。しかしながら、これらのサービスはインフラの整備が不十分な場所では利用が制限され、継続的な利用が困難であるとともに、携帯電話網の帯域を圧迫するためユーザにとって気軽に利用できる料金での提供は難しいものとなる。また、インフラに依存した通信手段は大規模な災害発生時において、無線基地局へのトラフィックの集中や故障の発生などによって有効に機能しない可能性がある。これらの問題に対して、車車間通信を用いて自律的に構築される VANET (Vehicular Ad-hoc Network) では、災害の影響を受けずに被災地での通信が容易に実現可能である。

アメリカを中心に ITS 向けの通信規格として IEEE802.11p の利用が検討されている。IEEE802.11p は従来の通信規格と比べて広域での大容量通信が実現可能であるが、安全情報伝達などの即時性の高いアプリケーションのために開発されており、エンターテインメント向けの動画データの伝達などに帯域を自由に使えない可能性がある。一方で、広く一般的に利用されている無線 LAN 規格の IEEE802.11g と車車間通信を用いて大容量通信を実現するための研究が数多く行われているが、限られた帯域を複数のノードが競合して利用するため、送信端末数の増加ともなう送信遅延や、隠れ端末問題によるパケットの衝突が発生し、スループットが低下するという問題がある。また、車車間通信において通信機会の増加や進行方向の領域に関する情報の取得などの点から、対向車との通信を行う際に、車両間の相対速度が大きいために、通信可能時間が短く十分な量の情報の伝達が行えないという問題がある。したがって、車車間通信を利用した大容量通信の実現のためには、これらの問題を解決した新たなシステムが必要である。

本論文では車車間通信を用いて走行中の車両間で大容量通信を可能にするために、車両の位置情報に基づいた複数無線チャンネルを利用したデータ配信手法を提案する。IEEE802.11g は干渉しない 3 または 4 つのチャンネルが利用可能であるため、単一チャンネルのみを利用する場合と比べて混信の影響が軽減され、大容量の通信が期待できる。提案手法では、各交差点と交差点間をつなぐ道路を無線電波が到達可能な大きさの領域 (セルと呼ぶ) に区切り、隣り合うセルとの電波干渉を考慮して各セルにチャンネルを割り当てる。各車両は GPS により自身の正確な位置情報を取得して、自身が所属するセルを把握し、それぞれのセルに割り当てられたチャンネルを利用することで、チャンネル競合に

ともなう輻輳の発生を抑えることができる。また、データ通信はブロードキャストを用いて行うことで、コネクションが不要となり、車両の高速移動に対応可能である一方、セルは無線電波到達範囲に収まるサイズであるため、隠れ端末問題が発生しにくい。さらに、各車両には帯域へのアクセス待機時間に比例した優先度が設定されるため、車両数が増加した場合においても公平に送信権が得られる。

提案手法の性能評価のために、単一チャンネルを用いる従来手法との比較を行った。比較用のシミュレーション環境として、動画像広告用のビデオクリップを数種類生成し、各手法を用いて車両ネットワークへ流布した場合の性能について評価した。シミュレーションの結果、提案手法は他の手法と比べて車両密度が高い混雑した状況下でも高いスループット能力を持つことを確認した。また、シミュレーション完了時の各車両が取得できたビデオクリップ数についても、提案手法は比較手法と比べて多くのビデオクリップを高い完成度で取得できていることを確認した。

2. 関連研究

2.1 VANET の特徴

無線通信機能を有した端末 (以下、ノード) が携帯電話網のような固定インフラを利用せずに、ノード間で直接無線電波を送受信することで情報を相互にやり取りする技術として MANET (Mobile Ad hoc Network) がある。本研究が対象とする VANET は MANET の一種であり、一般的な MANET ではノードとして人が持つ携帯無線端末を想定しているのに対して、VANET では車両に搭載された無線通信機器や交差点などに設置された路側機をノードとして想定している。VANET の目的として、自動車運転の安全支援や交通流の改善、さらには運転手や同乗者向けに利便性や娯楽性を高めるための情報提供がある [1]。

VANET は道路交通網を対象としており、ノードとなる車両の特徴的な動きから、一般的な MANET と次のような点で異なる。

- 高い移動性によるネットワークトポロジの高速変化
- 道路の構造に沿った特徴的な移動パターン
- 対象となるネットワークが広範囲
- 単位面積あたりのノード数の分布が不均衡

VANET では以上の特徴から、MANET で汎用的に使用されるルーティングプロトコルや MAC プロトコルが有効に動作しない状況がある。そこで、VANET を対象とした効率的な情報伝達のための研究がさかんに行われている [2], [3]。また、上述の特性だけでなく、無線通信環境で考慮すべき問題として、隠れ端末問題がある。図 1 のように、隠れ端末問題は無線電波の到達範囲が制限されているため、両側の車両は互いの存在を認識できず、両車両が送信した無線電波が中央で干渉し合い、中央の車両は送られたデータを正しく受信できない。以下、これらの VANET



図 1 隠れ端末問題

Fig. 1 Hidden terminal problem.

の特性や無線通信の特性を考慮した情報伝達の効率化を目的とした研究を紹介する。

2.2 メディアアクセス制御

MANETにおいて一般的に用いられているMACプロトコルにCSMA/CAがある。しかし、ノードが高速に移動するVANETにおいてはメディアアクセスのための遅延時間が性能に大きく影響するため、従来のCSMA/CAでは十分に対応できていない。一方で、VANETではノードの移動経路が道路上であるという特性や、GPSなどを用いて車両の位置情報を利用することができることから、よりVANETに適したMACプロトコルの研究が進められている[4], [5], [6]。

Katragaddaらは道路を複数のセルに分割し、各セルに対して占有のタイムスロットを割り当てる手法を提案した[4]。チャンネルアクセスの遅延を軽減できるが、各車両が利用できる帯域が非常に狭くなる問題点がある。Yomoらは文献[4]のセルの分割を改良し、車両の向きに応じて複数のチャンネルを割り当てるMM-SAパケット転送方式を提案した[5]。この方式は、同じ方向を走行する車両間でデータ交換しやすくなるが、対向車や交差点付近の車両との通信機会が少なくなる可能性がある。Wuらはセンサネットワーク上のノードに対して、中心となるノードから、複数のサブツリーを形成し、各サブツリーごとにチャンネルを割り当てる方式を提案した[6]。しかし、車両のような高速移動するノード群に適していない。

2.3 メッセージ配送手法

ITS分野で車両に対して道路状況などの運転手にとって有益な情報の散布を目的としたシステムとしてVICS (Vehicle Information Communication System)がある[7]。VICSは渋滞や交通規制などの道路交通情報をリアルタイムに送信し、カーナビゲーションなどの車載機で表示するシステムである。これらのサービスを受けるためにはVICSスポットと呼ばれる全国の主要高速道路に設置された機器付近を通過する必要がある。しかし、VICSスポットがない地域では、情報を受信することができない。そこで、車両に搭載された無線通信機間でのパケット交換により、VICSスポットなどの固定基地局が利用できない環境においても上記のサービスを受けられることを目的とした

研究が行われている[8]。

メッセージの配送方法として、1対1の通信を実現するユニキャストと一対多のブロードキャストがある。VANETでは車両の高速移動による動的なトポロジの変化が大きいことから車両間の安定した通信接続が困難である。そこで、近年では無線到達範囲の車両に対してブロードキャストによるメッセージ送信を行い、受信側がメッセージを再度ブロードキャストするかどうかの判定を行うことを基本とした手法が提案されている[9], [10]。

PalazziらはVANET上で高速なマルチホップ伝送を実現するための技術を提案した[9]。車両がマルチホップでのメッセージ送信距離を予想し、送信数を削減する。しかし、この手法はすべての車両とその位置が既知であるという仮定がされているため現実的ではない。Wisitpongphanらはメッセージのブロードキャストを行うDV-CAST手法を提案した[10]。トポロジの動的な変化への対応を目的としており、緊急メッセージの流布を想定しているが、本論文で対象とする大容量データの配信に関しては言及されなかった。Akkharaらは、警告メッセージの低遅延な伝搬を目指して、ブロードキャスト手法CTRを提案した[11]。しかし、最低でも2つ以上のアンテナを備えた無線通信機器を必要としており、そのような機器を搭載した車両台数を増加させることが新たな課題として残されている。

2.4 大容量データの配信

VANETにおいて衝突回避や緊急メッセージの伝播などの安全を目的としたアプリケーションに対し、運転手や同乗者に対して快適性を提供する非安全アプリケーションがある。伝達遅延の最小化やメッセージの確実な到達性が求められる安全アプリケーションに対して、非安全アプリケーションは一般的に高いスループットが要求される。このような非安全アプリケーションのためのデータ配信手法が研究されている[12], [13]。

Biらは、VANETを対象として、無線通信機を搭載した路側機と車両間の通信のためのQoS制御を提案し[12]、緊急メッセージの配送にかかる遅延時間の短縮を目指している。しかし、路側機を使用するため、導入に必要なコストや拡張性の課題が残されている。YangらはVANETにおける車群の動きを考慮した手法V-PADAを提案した[13]。車群は他の車両からのデータをバッファし、車群内で共有する手法である。しかし、正しく伝播できない車両が中継車両として選ばれる可能性があり、データ伝播の機会が損なわれる可能性がある。

2.5 本研究の位置づけ

位置情報に基づくマルチチャンネルの利用

近年の研究より、VANETにおいて単一のチャンネルを用いた研究は散見できる一方で、マルチチャンネルの利用を考

慮した研究は少ない。しかし、マルチチャネルの利用は複数の無線通信が互いの電波に影響なく行えるようになるため、単一チャネルでの無線通信と比べて空間の効率的な利用が見込める。また、マルチチャネルを対象とした関連研究では、前提として複数のアンテナを搭載したデバイスを設定しており、システムの容易な普及の点から見てもまだ議論の余地が残されている。したがって、単一アンテナで複数のチャネルを切り替えながら使用方法が、VANETにおけるシステムの普及の点や、空間の効率的な利用の面で有効的だといえる。

大容量データ配信に適したメディアアクセス制御

従来の研究では想定するアプリケーションとして緊急メッセージなどの比較的サイズの小さなデータの流布についての研究はさかに行われている一方で、動画像などの大容量データの流布にまで考慮されているものは少ない。路側機などの固定インフラを併用して大容量データの流布を実現する手法が考えられているが、システムが実用的に動作するために必要なコストが高くなる問題が残されている。移動端末のみで構成されたネットワーク上での大容量データの配信が実現できれば、低コストでかつ拡張性の高いものとなり、多くの分野での活用が期待できる。

3. 提案手法

本章では、スループットの向上を目的としたVANETにおける大容量データ配信手法の詳細について説明する。図2に提案手法の概要図を示す。通信スループットの向上、および隠れ端末の解消を目指し、提案手法は下記のアイデアを用いた。

地理空間のセル分割：提案手法は道路を複数の区域（セル）に分割し、それぞれに異なるチャネルを割り当てる。セルの長さは100m~200mとし、車両がセル内を走行する際、そのセルに割り当てられたチャネルを利用し、同じセルにある車両と通信を行う。各車両は自身の位置情報から使用するチャネルを判断できるため、他の車両とのチャネル調整が不要となり、その分の時間をデータ通信に利用可能である。加えて、チャネル調整のための専用のチャネルも不必要となる。セルを分割する際、車両の移動特性

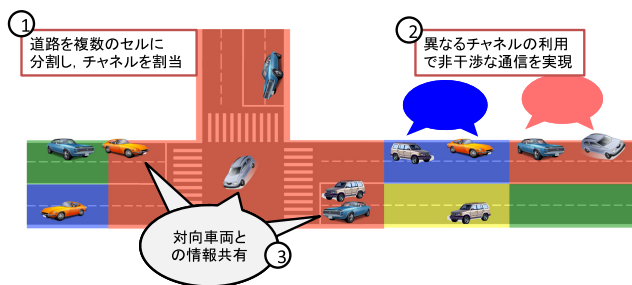


図2 提案手法の概要図

Fig. 2 Overview of the proposed method.

を考慮し、(1) 同じ進行方向の車両との通信を目的としたセル、(2) 対向車や右左折待ちの車両との通信を目的としたセル、目的や地形別に2種類のセルを用意することで、車両間の通信を円滑に行わせる。セル分割の詳細について3.2節で述べる。

チャネル割当て：隣接セルに異なるチャネルを割り当てることにより、セル間の電波干渉を抑制し、データ到達率を向上させる。また、道路を走行する複数の車両は、異なるチャネルを利用することにより、互いに干渉しない複数の通信を行うことが可能となる。なお、セルのサイズによって、隠れ端末を完全に防止することはできないが、発生する確率が低くなる。チャネル割当ての方針について3.3節で述べる。

メディアアクセス制御：スループットを最大化させるために、提案手法はCSMA/CAの代わりに、独自のメディアアクセス制御方式を利用する。セル内の各車両は一定の周期ごとに送信権の獲得を試み、獲得した車両は次の周期までに帯域を独占し、高いレートでデータを送信する。また、送信権を獲得できなかった車両の優先度を少しずつ上げていくように、公平性を保たせる。メディアアクセス制御の詳細を3.4節で述べる。

3.1 仮定

本節では、提案手法が対象とするアプリケーションの仮定、環境に関する仮定、端末に関する仮定、配送するメッセージに関する仮定について述べる。

対象とするアプリケーションの仮定

本研究が対象とするアプリケーションは、インターネット接続可能な端末によって生成されるオリジナルデータを複数の小さなメッセージに分割して、ネットワークに流布し、別の端末がメッセージを収集してオリジナルデータを取得するアプリケーションである。図3に想定するアプリケーションの概要図を示す。オリジナルデータには緊急性はなく収集にはある程度の遅延時間が許されている。各

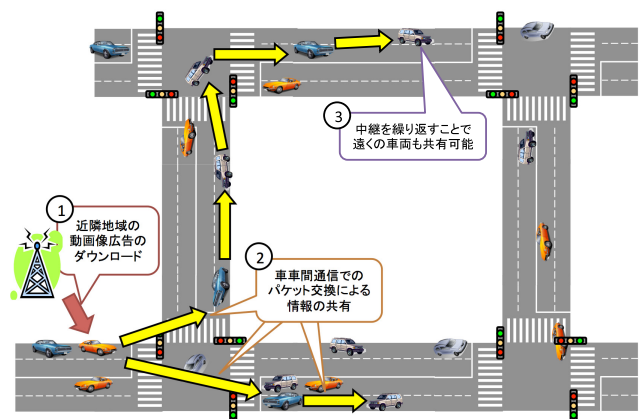


図3 想定アプリケーションの概要図

Fig. 3 Image of assumed application.

メッセージには生存時間が設定されており、生存時間が過ぎると破棄される。オリジナルデータの種類としては、ある一部の局所的な地域で主に利用価値のあるデータを対象としている。具体的には、現在地近辺の地図情報や現在の道路状況を表す動画像、近隣店舗の動画広告などを想定する。

環境に関する仮定

本研究では対象とする環境として、国道や交通量の多い県道などからなる一般的な道路網を持つ都市部を想定する。都市部の道路網は、交差点の集合 V と交差点間の道路の集合 E から構成されるグラフ $G = (V, E)$ で表され、車両はこのグラフの任意の地点を走行する。すべての交差点 $v \in V$ は緯度経度の組の情報が含まれているとする。すべての道路 $e \in E$ は、対向車線の有無と道路の形状の情報が含まれているとする。

端末に関する仮定

各車両にはアプリケーションを稼働させるための端末を搭載し、以下を仮定する。

- IEEE802.11 に準拠した無線通信機器 (単一アンテナ)
- GPS など諸センサ (車両位置情報精度 1m)
- デジタル地図を表示できる設備
- メッセージを保存するためのストレージと提案手法を実行するための計算機

ここで、以上の仮定を満たすデバイスとして iPhone や Android 端末などのスマートフォンが該当する。また、これらの高機能な端末では現在地を表示する地図アプリケーションが利用可能であるが、インターネットに接続できない場所などでは機能しない。そこで、別のストレージにデジタル地図を保存しておくことで、インターネット接続環境がない状況でも本アプリケーションを実行させることができる。また、無線通信機器では同時に 4 つまでのチャンネルが互いに干渉なく利用可能なものとする。以後、車両に搭載された、または人が車内に持ち運んだ端末のことをノードと表現する。

メッセージに関する仮定

メッセージはオリジナルデータ集合 D に属するオリジナルデータ $d \in D$ を一定のサイズで分割したデータ P_d 、 P_d のメタデータ M_{P_d} およびパケットの生存期間 t_{tl} からなる 3 項組 (P_d, M_{P_d}, t_{tl}) から構成される。ここで M_{P_d} は P_d が d のどの位置の断片であるかなどの情報である。生存期間が切れたメッセージは、ストレージから破棄されるとする。

3.2 地理空間のセル分割

提案手法では、車両の移動特性およびデータ流布の効率性を考慮して、異なる目的を持った (1) 交差点セル (2) 道路セルの 2 種類のセルを用意する。図 4 に道路セルと交差点セルの位置関係を示す。交差点セルでは、交差点にお

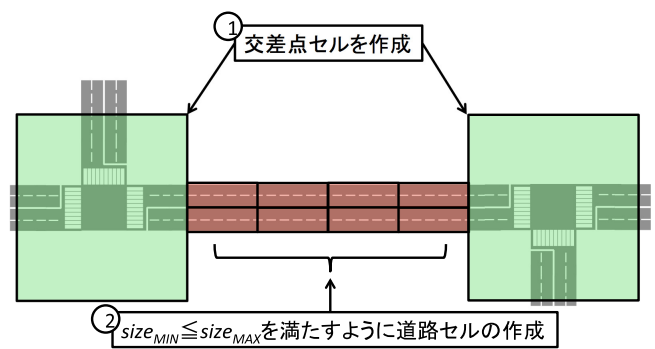


図 4 道路セル分割例

Fig. 4 An example of slicing road into cells.

ける対向車や右左折待ちの車両との通信を目的としており、現在向かっている地点に関連する情報の取得が期待できる。道路セルでは、同じ進行方向の車両とデータ共有を目的としており、相対速度が小さく信頼性のある通信が長時間行えるため、交差点セルで受信したデータに関する補完を行える。

セルに関する仮定

セルの集合を C で表現し、以下の仮定を行う。すべてのセル $c \in C$ は、作成された場所の情報として道路 $e \in E$ または交差点 $v \in V$ のどちらかを持つものとする。また、作成された場所が道路であれば道路セル、交差点であれば交差点セルとして扱う。制約条件として、各セルが割り当てられる領域は重複しない。セルは基本的に最小サイズ $cell_{MIN}$ と最大サイズ $cell_{MAX}$ を満たす大きさで作成される。

本研究では、隠れ端末問題を考慮して各セルのサイズを決定するために、周辺の環境によって伸縮する無線通信範囲の平均的な距離として 100m を想定する。道路セルの最小サイズ $size_{MIN}$ として無線通信範囲である 100m を設定することにより、チャンネルの割当て時には隣り合うセルのチャンネルのみを意識すればよい。また、同一セルの車両数を増やすために、道路セルの最大サイズ $size_{MAX}$ を無線通信範囲を最大限に利用した 200m とする。これにより、隠れ端末による影響を抑制しつつ、多数の車両との通信機会の向上を図る。一方で、車両数が多くなりやすい交差点セルは、右左折方向の車両との通信も確実に実行できるようにするために、交差点の中心から 50m の領域とする。

以下、セル分割の手順および実際の道路における例外について詳細に述べる。

道路分割アルゴリズム

道路を複数のセルに分割する手順として Algorithm 1 に擬似コードを示す。dist() 関数は与えられた交差点間の距離を計算し、その結果は L に格納される。分割手順の概略として、道路上の隣り合う任意の交差点を選び (1) 交差点セル、(2) 道路セルの順に各セルを作成し、これをすべての交差点間の道路に対して実行している。ここで、道路セル

Algorithm 1 セル分割アルゴリズム

```

入力：マップ情報  $G = (V, E)$ 
for 道路  $e \in E$  do
   $e$  の両端の交差点  $v_1, v_2 \in V$  を取得.
   $L \leftarrow dist(v_1, v_2)$ 
  if  $L \leq 200$  m then
     $v_1, v_2$  から互いに 50 m の道路を交差点セルとして分割
    残りの道路を 200 m 単位で分割する.
    if 200 m 未満の余りがある then
      道路セルの数を増やし各セルを縮小して均等のサイズに
      調整する.
    end if
  else if  $L \geq 100$  m then
    対向車線のセルと結合したセルを作成
  else
    縮小した交差点セルを作成
  end if
end for
return セル集合
    
```

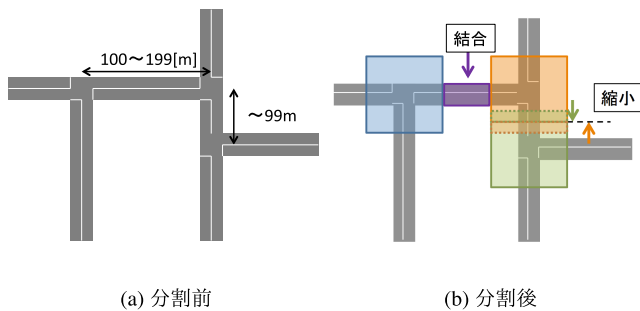


図 5 道路セル分割の例外例
Fig. 5 An exception of slicing road in cells.

の数とサイズを考慮した分割方法として次の3つがある。
 (A) $size_{MIN}$ ごとに道路セルを作成し、端数が出た場合はセルの数を減らして各セルのサイズを大きくする
 (B) $size_{MAX}$ ごとに道路セルを作成し、端数が出た場合はセルの数を増やして各セルのサイズを小さくする
 (C) $size_{MIN}$ と $size_{MAX}$ の平均のサイズ $size_{AVG}$ で道路セルを作成し、端数が $size_{AVG}/2$ よりも長ければ、セルを増やし、短ければセルを減らしサイズを調整する
 3つの手順のうち (A) は各セルのサイズが最も小さく、(B) は最も大きくなるように調整される。提案手法および Algorithm 1 では3つのうち道路セルのサイズが最大になる (B) を選び記述している。

分割の例外について

実際の環境においては、前節の条件に当てはまらない図 5(a) のような道路が存在する。この場合、次の条件に従って、セル分割を行う。(1) 交差点間が 100 m 以上で 200 m 未満の場合、対向車線の道路セルと結合し1つの道路セルを作成する (図 5(b) 左側)。これは、同一セルに所属する車両数が減少し、ほとんど通信できなくなる事態を

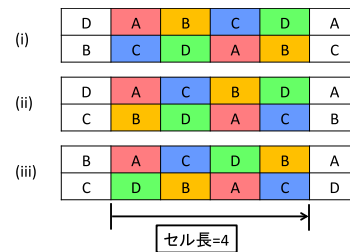


図 6 チャンネル割当てのパターン
Fig. 6 Some channel allocation patterns.

回避するために、対向車との通信も可能にしている。特に、この結合された道路セルは、交差点間が近い場所に作成されるため、対向車の速度も低下することが予想される。(2) 交差点間が 100 m 未満の場合、交差点間の中心を境に2つの交差点セルを縮小して分割する (図 5(b) 右側)。実際の環境においては、非常に短い間隔で交差点が複数設置されている状況がある。これらの交差点をすべて結合し1つの交差点セルとして扱った場合、同一セル内でも電波が到達しない状況が発生する可能性がある。特に交差点では、多くの車両が存在すると考えられるため、セル内でのパケット衝突による影響が甚大なものになる。そこで、それぞれの交差点セルを縮小し、個別にセルを作成することで、その影響を分散させるようにする。

3.3 チャンネル割当て

3.2 節で得られたセル集合に対して、隣接および斜めに位置するセルに対し異なるチャンネルを割り当てる手順について説明する。提案手法では、現在所属しているセルが使用するチャンネルとは異なるチャンネルが近隣 100 m のセルに割り当てられることで、近隣セル間のチャンネルの干渉が発生しない。これにより、隠れ端末となりうる車両が存在する領域は自身が所属するセルのみとなり、単一チャンネルのみを使用する手法と比較して隠れ端末の発生が抑制できる。また、単一チャンネルでは干渉しあう距離であっても、異なるチャンネルは干渉なく通信が可能であるため、空間的な帯域の利用効率が向上し、スループットの向上が期待できる。

格子状の道路セルに異なるチャンネルを割り当てるパターンとして図 6 に示す3つが考えられる。図において、A–D は異なるチャンネルを表しており、各パターンの左右に交差点セルが接続する形となる。なお、各パターンの一部の列の上下のチャンネルを入れ替えたパターンは同一のものとして見なす。例として、パターン (i) の左側に交差点セルが接続する場合について考える。このとき、交差点セルに接続している道路セルのチャンネルは D と B であり、チャンネルを上下で入れ替えても交差点セルに影響はない。ここで、図 6 の (iii) のように、交差点セルに進む際に進入するセルの数をセル長と呼ぶこととする。提案手法では上記の3パターンのセル長を増減させたものを用いてセルにチャンネル

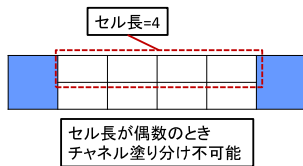


図 7 チャンネル割当ての失敗例
Fig. 7 A failed channel allocation.

を割り当てる。

以上の手順に従って各セルのチャンネル割当てを行う際、次のことがいえる。セル長が奇数であれば、接続する交差点セルに割り当てられたチャンネルに対して必ず道路セルのチャンネル割当てが成功するパターンが存在する。一方で、道路セル長が偶数の場合、両端の交差点セルに同じチャンネルが割り当てられると、どのパターンを用いても割当て不可能である(図 7)。

そこで、提案手法では、交差点セルのチャンネル割当てを最初に行い、セル長が偶数である道路の両端の交差点のチャンネルが同じチャンネルにならないようにする。交差点セルのチャンネル割当てでは、偶数セル長である道路の両端のチャンネルは異なるチャンネルになるようにすべての交差点セルのチャンネルを決定する。このとき、条件を満たすチャンネルの割当てができなかった場合、道路分割処理に戻り、割当てが困難である道路のセル数を 1 つ増やし、交差点セルのチャンネル割当てが条件を満たすように調整する。

3.4 メディアアクセス制御

本節では GPS による時刻同期のもと、一定期間の帯域占有を獲得するメディアアクセス制御方式について説明する。本方式では、時間を一定長のターンに区切り、それぞれのターン開始時に各車両がランダムな長さのビーコンを送信し、最も長いビーコンを送信した車両は自身以外にビーコンを送信している車両がないと判断することで、現在のターンの帯域占有権を獲得する。ただし、偶然同じ長さのビーコンを持つ可能性がある。しかし、セルのサイズと車両の数から、通信範囲内で同じ長さのビーコンと遭遇する確率は低いと考えられる。最悪の場合、最長ビーコンが衝突し、1 ターンの間通信行われず、次ターンから再度帯域の占有を試みる。これにより、少ない競合待ち時間で多くのメッセージを連続して送ることが可能になり、特に大容量データの配信に有効的に働くと考えられる。一方で、帯域を占有する期間が長い場合、車両間の公平性が損なわれる可能性がある。そこで、車両間での公平性を高めるために、帯域の占有権が得られていない期間が長い車両ほど、ビーコンを長く送信できるように工夫している。

具体的なメディアアクセス権の獲得およびメッセージ送信手順を図 8 に示す。図において、各ノードは長さ t_{turn} のターンの開始時にランダムな長さ t_{BB} のビーコンを送

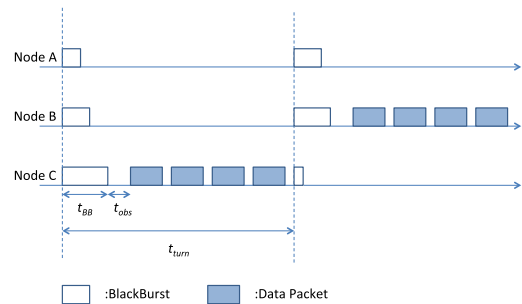


図 8 BlackBurst で送信権を獲得
Fig. 8 Acquiring communication priority by BlackBurst.

信する。自身のビーコンの送信が終わった際に他のノードからのビーコンを受信したノード A および B は、現在のターンでのアクセス権を諦めて、自身のビーコン長 t_{BB} に 1 タイムスロット (定数長, t_{BBslot} で表す) を加えて、受信待機する。自身のビーコンの送信が完了し、 t_{obs} の間他のノードからのビーコンを受信しなかったノード C はアクセス権を獲得し、現在のターンの終了時刻まで帯域を占有できる。現在のターンが終了時刻を迎えると、アクセス権を獲得したノード C は自身のビーコン長 t_{BB} を初期化 (1 タイムスロット t_{BBslot}) する。その後、次のターン開始時刻に再度ビーコンを送受信することでアクセス権の獲得とデータの送受信を繰り返し行う。

本研究では、この方式に対してマルチチャンネルを導入する。各ノードは毎ターンの開始時に現在所属しているセルに割り当てられたチャンネルを確認し、同ターンの間利用し続ける。これにより、ターン開始時に同一セルに所属していたノードらは同ターンが終了するまで通信を確立することができる。

3.5 動画広告配信アプリケーション

本節では、提案手法を用いて道路網上の車両に対して動画広告を配信するアプリケーションの詳細を述べる。アプリケーションでは、ブロードキャストストームの発生を防止するためにメッセージ受信後、一定時間経過するまで再送しない。また、渋滞などで車両の移動変化が少ない場合にも対応するために、メッセージ受信後に一定距離移動するまで再送しない。以下、本論文におけるアプリケーションの詳細について述べる。

動画広告配信アプリケーションでは、オリジナルとなる動画広告を携帯電話網などからインターネットにアクセスし、現在地付近の店舗の動画広告をダウンロードする。オリジナルデータ $d \in D$ は WiFi で扱うために複数の断片 P_d に分割する。WiFi を用いた通信では P_d に加えて、 P_d のメタデータ M_{P_d} 、およびパケットの生存期間 t_{tl} の 3 項により 1 つのメッセージを交換する。これらのメッセージは各ノードのストレージにおいて、表 1 の形式で保存される。また、ブロードキャストストームを防止するために

表 1 メッセージのフォーマット
Table 1 Format of message.

メッセージ	受信位置: pos_{rcv}	受信時刻: t_{rcv}
-------	-------------------	-----------------

メッセージ受信後、一定時間は同じメッセージを再送しない期間 t_{carry} [sec] を設ける。加えて、メッセージを受信した付近で同じメッセージを再送しないように抑制するための制限距離 d_{carry} [m] を設ける。各車両は 3.4 節で述べたメディアアクセス制御方式を用いて送信権を獲得した後、次の式に従って自身が保有するメッセージの優先度 P を計算する。

$$P_{time} = \begin{cases} 1 & T - t_{rcv} \geq 3t_{carry} \\ 0 & T - t_{rcv} < t_{carry} \\ \frac{T - t_{rcv}}{3t_{carry}} & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

$$P_{dist} = \begin{cases} 1 & dist(D, pos_{rcv}) \geq 3d_{carry} \\ 0 & dist(D, pos_{rcv}) < d_{carry} \\ \frac{dist(D, pos_{rcv})}{3d_{carry}} & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

$$P = \frac{P_{time} + P_{dist}}{2} \quad (3)$$

ここで T は現在時刻、 D は現在地をそれぞれ表す。また関数 $dist()$ は 2 点間のユークリッド距離を返す。上記の式はメッセージを受信して t_{carry} 後から時間による優先度が設定され、 t_{carry} の 3 倍以上の時間が経過すると最大値 1 が設定される。また、距離に関する優先度も同様である。各メッセージの優先度を計算した後、送信権を獲得した車両は優先度が高い順にメッセージをブロードキャストする。このとき、メッセージの t_{tl} を 1 減算する。また、メッセージテーブルの受信位置と受信時刻を現在地と現在時刻にそれぞれ更新する。ブロードキャストメッセージを受信した車両は、メッセージを現在地と現在時刻とともにテーブルに記録する。 MP_d を読み取り、同一のメッセージを受信したと判断した場合は、受信時刻と受信位置を更新する。

以上の動作を繰り返すことで、ネットワーク全体にメッセージを流布する。

4. 評価

提案手法の性能を評価するために、シミュレーションによる比較実験を行った。

4.1 実験環境

想定アプリケーション

評価を行う際のアプリケーションとして車両間での動画像広告の共有アプリケーションを設定した。本アプリケーションでは、インターネットに接続可能な数台の端末が、それぞれ異なる種類の動画像広告を携帯電話網からダウンロードし、WiFi による短距離無線通信を介したパケット交換により、ネットワーク全体に広告を伝搬させる。実験では、流布する動画像広告として一般の TVCM と同程度

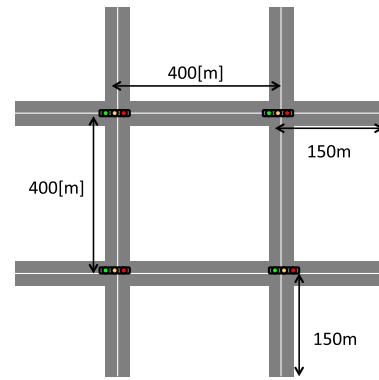


図 9 シミュレーションマップ

Fig. 9 Map used in simulation.

の長さである 15 秒間のフル HD 画質のビデオクリップを想定し、データサイズを 2 MBytes とした。なお、シミュレーションの開始 100 秒間は、ネットワークに車両を十分に引きわたらせるために、通信は開始していない。実験では、シミュレーション開始 100 秒後に 3 から 5 秒間隔で、ランダムな車両から各ビデオクリップを配信開始する。実験中では生成させるデータの種類を変化させ、各手法の結果について考察を行った。

想定環境

実験環境として、片側 3 車線 (対面 6 車線) の各交差点間が 400 m の格子状のエリアを採用した。すべての十字路には信号が設置されており、あらかじめ決められたタイミングで信号を変化させる。また、各車両は制限速度 60 km/h を超えないように移動し、交通状況や右左折を行う際には適宜減速を行う。図 9 に実験で使用する道路網を示す。シミュレーションで使用した各パラメータを表 2 に示す。

交通流ログデータの生成

車車間通信を利用するプロトコルの妥当な評価のためには、現実的な車両の挙動をもとに通信シミュレーションを行うことが必要である。そこで、本実験における交通流ログデータの生成は、SUMO (Simulation of Urban MObility) を用いた [14]。SUMO は主としてドイツ航空宇宙センターが開発している交通流生成シミュレータであり、GPL ライセンスの下でオープンソース化されている。SUMO によって生成される車両は各道路に定められた法定速度を超えないように、道路網のランダムな位置に最短経路となる交差点を經由して移動する。また、各車両は必要であれば車線変更や追い越しを行い、右折時には対向車両の合間をぬって移動するなど、現実的な車両に近い挙動をとる。各車両は道路網上にランダムに始点と終点を決定し、終点に向かって最短経路となるように移動する。実験では、SUMO で出力した交通流ログデータをネットワークシミュレータに入力として与えた。

通信シミュレーションは自作のネットワークシミュレータ上に実装した。ネットワークシミュレータでは、

表 2 シミュレーションパラメータ
Table 2 Simulation parameters.

Parameter	Value
SIFS	9 μ s
Time slot	9 μ s
DIFS	34 μ s
t_{BBslot}	20 μ s
t_{obs}	20 μ s
t_{turn}	100 ms
帯域幅	6 Mbps
ビデオクリップサイズ	2 MBytes
フィールドサイズ	700 \times 700 m ²
車線数	3
車両の最高速度	60 km/h
発生車両台数	344, 613, 732, 939 台
計測時間	500 s
$cell_{MIN}$	100 m
$cell_{MAX}$	200 m
t_{tl}	100
t_{carry}	3 s
d_{carry}	100 m
h_t	1 m
h_r	1 m

IEEE802.11g を通信規格として無線到達範囲を 120 m, 同一無線通信範囲内での利用可能帯域を 6 Mbps, チャンネル数を 4 とした. ネットワークシミュレータにおける物理層の実装として, パケットの伝送成功率に伸上 m 分布 [15] を用いた. 送信端末と受信端末の間の距離 d が CR 以下のときの伝送成功率 P_R を式 (4) で定義し, d が CR よりも離れているときは式 (5) で定義する. ここで, CR は 2 波伝播モデルにおける地上波と直接波が交差する距離であり式 (6) で表される. ここで, h_t, h_r は送信・受信端末のアンテナの高さ [m], λ は使用する帯域の波長 [m] である. 図 10 に確率分布を示す.

$$P_R(d, CR) = e^{-3\left(\frac{d}{CR}\right)^2} \left(1 + 3\left(\frac{d}{CR}\right)^2 + \frac{9}{2}\left(\frac{d}{CR}\right)^4 \right) \quad (4)$$

$$P_R(d, CR; \gamma) = e^{-3\gamma\left(\frac{d^2}{CR}\right)^2} \left(1 + 3\gamma\left(\frac{d^2}{CR}\right)^2 + \frac{9}{2}\gamma^2\left(\frac{d^2}{CR}\right)^4 \right) \quad (5)$$

where

$$\gamma = \left(\frac{\lambda}{4\pi h_t h_r} \right)^2$$

$$CR = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda} \quad (6)$$

4.2 比較手法

提案手法との比較実験の対象として, 提案手法のマルチチャンネル未導入の方式である Proposal-single と CSMA/CA

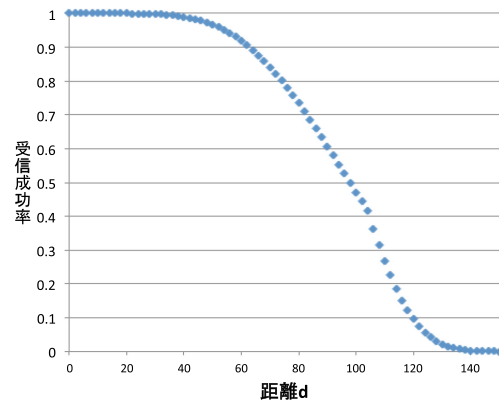


図 10 伸上 m 分布を用いた距離 d に対するパケット伝送成功率 P_R
Fig. 10 Packet transfer ratio vs. distance d based on Nakagami m distribution model.

の 2 つの手法を用いた.

Proposal-single

Proposal-single では使用可能なチャンネル数を 1 とし, 道路のセル分割を行わない. 各車両は提案手法と同一のメディアアクセス制御方式を用いて送信権を獲得する. この手法との比較により, 提案手法によるマルチチャンネルの導入による性能の変化を考察する.

CSMA/CA

CSMA/CA 方式は WLAN では一般的に使われており, プロトコルとパラメータは詳細に定められているため, 本実験では比較手法として用いる. CSMA/CA では送信権の獲得のために各ノードがランダムバックオフ時間のタイマーを起動し, タイマーが 0 になった際に, 帯域が使用されていなければ送信権を獲得する. 送信権の獲得後はパケットを 1 つだけ送信し, 再度ランダムバックオフ時間を設定し, タイマーを起動する. この手法との比較により, 送信権獲得車両に対してパケット単位ではなく, 時間単位で送信できる権利を与えたことによる性能への影響を考察する. なお, CSMA/CA には隠れ端末問題を軽減する機構として RTS/CTS が組み込まれているが, ユニキャスト通信を前提としており, 今回の実験ではブロードキャスト通信を行うため使用していない.

4.3 評価項目

本提案手法の評価項目として, 以下の 3 つをあげた.

ノードあたりの平均スループット

単位時間 [sec] あたりに全ノードが受信したメッセージの総和をノード数で割った値を示す. 値が高いほど, ノード間で多くの通信が成功している.

新規受信メッセージ数

全ノードが受信したメッセージ数の総和のうち, 重複しない断片をのぞいたものの総和を示す. 重複した断片を含むメッセージを数えないため, ビデオクリップの実効的な受信量を表している.

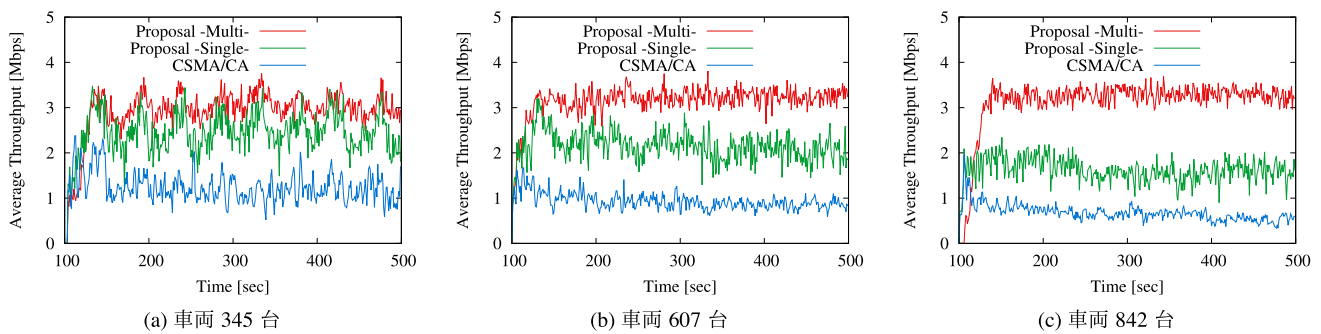


図 11 ノードあたりの平均スループット
 Fig. 11 Average throughput per node.

ビデオクリップ完成度

シミュレーション終了時の各車両が受信した断片によって構成されるビデオクリップの完成度の割合を表す。完成度が高いビデオクリップの数が多いほど性能が良い。

4.4 実験結果と考察

実験として、ネットワークに流入する車両台数を 345, 607, 842 台と変化させた場合についての比較を行った。それぞれの実験における平均的な車両密度は、1.0, 2.1, 3.8 [台/100 m/車線] である。また、ネットワークに流入する車両台数を増加していくと、流入する車両に対して流出する車両数が少なくなるため、時間経過にともないネットワーク内の車両密度は平均よりも高くなる。車両の分布は不均衡で、信号を先頭に車群が形成されるため、最大密度 3.8 [台/100 m/車線] においては、単純計算では車間距離は約 20 メートルあるが、車群内では車間距離は 10 メートル程度となる。最低限の走行を維持できる程度の混雑さである。シミュレータ上でさらに車両数を増やすと、走行が困難となり、渋滞が発生する。

ノードあたりの平均スループット

車両台数を変化させた場合のノードあたりの平均スループットについて比較を行った。本実験では 15 種類のビデオクリップを発生させた。図 11 に発生車両台数ごとのグラフを示す。

図 11 (a) より、提案手法が最も高く、CSMA/CA が最も低いスループットであることが確認できた。しかしながら、提案手法と Proposal-single は大きな差が見られない。これは、車両密度が低いために、提案手法においてはセルごとの車両数が少なくなり、1 回の送信に対して受信できた量が Proposal-single と比べて少なくなったことが原因と考えられる。しかしながら、セルごとに異なる通信を実行可能であるため、単位時間あたりの通信数を増やすことができ、結果として Proposal-single と比べてスループットの増減が小さくなったと考えられる。また、CSMA/CA の性能が低い理由として、隠れ端末問題の影響が大きいと考えられる。提案手法と Proposal-single は送信権のための

競合を 0.1 秒ごとに行いメッセージを連続して送信可能である一方で、CSMA/CA では通信ごとに不規則な時刻に競合を行うため、その結果隠れ端末によるメッセージの衝突が頻繁に発生し低いスループットになったと考えられる。

図 11 (b), (c) より、車両密度を増加させた場合でのスループットへの影響が確認できる。提案手法は車両密度が増加してもスループットに大きな増減が見られない。一方で、Proposal-single と CSMA/CA は車両密度の増加にともないスループットが低下していることが確認できる。これは、通信範囲内に存在する車両の増加によって隠れ端末問題が発生し、多くの端末でメッセージの受信が失敗していることが大きな要因として考えられる。加えて、CSMA/CA では、提案手法や Proposal-single とは異なり、時間単位ではなくメッセージ単位のメディアアクセスを行っているため、スループットが低い結果になったと考えられる。

最終的に、図 11 (c) の平均車両密度が 3.8 [台/100 m/車線] の結果では Proposal-single 手法に比べて最大で 2.1 倍、CSMA/CA と比べて 5.3 倍の性能向上が確認できた。以上のことから、提案手法のセル分割によるマルチチャネルの導入が効果的だといえる。

新規受信メッセージ数

各手法における重複しないメッセージの総和についての比較を行った。この結果から複数種類のビデオクリップの packets を効率的に受信できているかどうかを考察する。図 12 にグラフを示す。

図 12 (a) より、生成したビデオクリップ数の増加にともない、新規に受信できた packets 量が増加していることがすべての手法で確認できた。また、図 12 (b), (c) において、提案手法が最も多くの新規受信 packets を配信できており、さらに生成したビデオクリップ数の増加にともない提案手法と比較手法との差が大きくなっていることが確認できた。以上のことから、提案手法は各ノードにとって意味のあるメッセージを効率的に配信できているといえる。

ビデオクリップ完成度

シミュレーション終了時の各車両におけるビデオクリッ

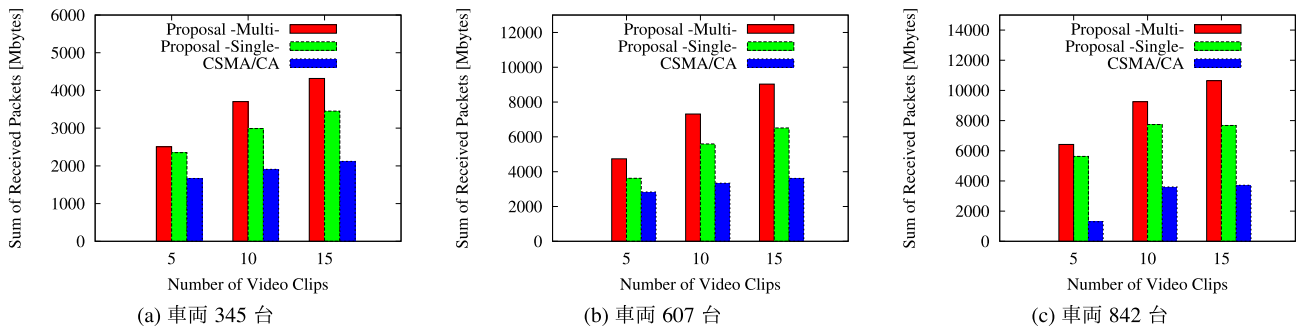


図 12 新規受信メッセージ数

Fig. 12 The number of received messages.

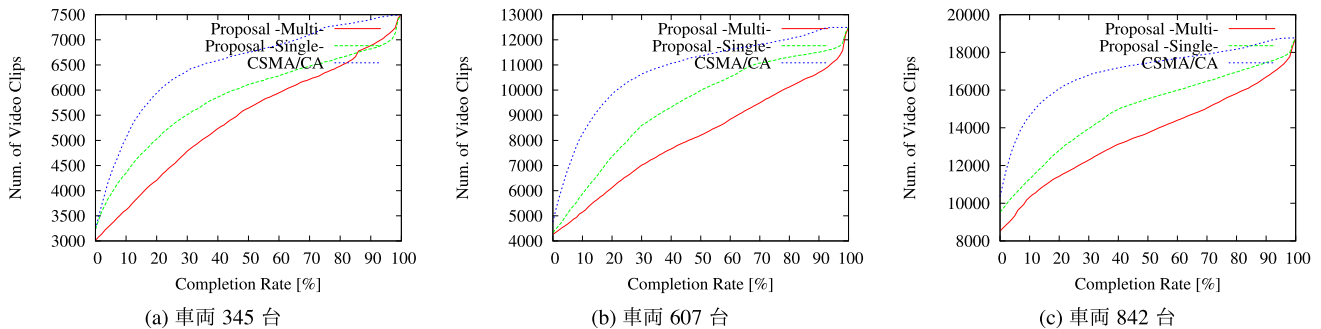


図 13 ビデオクリップ完成度

Fig. 13 Completion rate of received video clips.

プの完成度についての比較を行った。図 13 に 15 種類のビデオクリップを生成し、シミュレーション終了時に各ノードが持つビデオクリップの完成度のグラフを示す。グラフの x 軸はビデオクリップの完成度であり、y 軸はその完成度のビデオクリップの数の累計を表している。したがって、完成度が小さいときにグラフの傾きが大きいほど、多くの車両が未完成のビデオクリップを所持しており、完成度が大きいときにグラフの傾きが大きいほど、多くの車両がビデオクリップの断片をほぼすべて受信完了できていることを示す。すなわち、グラフの傾きが x 軸に比例するほど性能が良いといえる。

すべての図より、CSMA/CA がビデオクリップをほとんど完成できておらず、一方で提案手法と Proposal-single 手法は完成度の高いビデオクリップを収集できていることが確認できる。このことから、本研究で提案したメディアアクセス制御方式において時間単位のメディアアクセス権を付与することが効果的に働いたといえる。

また、すべての図より、提案手法は他の手法と比べて完成度の低いビデオクリップの数が少なく、100%に近い完成度のビデオクリップが多いことが確認できる。しかしながら、車両密度が少ない場合での結果を示す図 13(a) では、完成度の高いビデオクリップ数の割合が比較手法である Proposal-single よりも少なくなった。この現象は他の車両密度が増加した場合については見られないため、マルチチャンネルのためのセル分割によるセルあたりの車両数の低下が影響したと考えられる。

以上のことから、データ配信手法の性能へ強く影響を与えるものとしてメディアアクセス制御方式が考えられる。Proposal-single 手法では本論文で提案した一定長の帯域占有権をメディアアクセス権に対して与える方式を利用しており、メッセージ単位の帯域へのアクセス権を付与する CSMA/CA と比較すると、CSMA/CA では隠れ端末による影響が大きい。特に、CSMA/CA ではメディアアクセスのための競合の回数が多くなり、加えて競合の時刻が不定期であることが大きく影響する。一方で、隠れ端末問題の解決には時刻同期による競合時刻の同期と、時間単位の帯域へのアクセス権の付与が非常に効果的であるといえる。

5. 結論

本研究では、無線通信機器を搭載した車両に対して動画広告を配信する際のスループットの最大化を目的として、車両の位置情報をもとに複数の無線チャンネルを利用する大容量データ配信手法を提案した。提案手法では、道路を複数のセルに分割し、それぞれに異なるチャンネルを割り当て、隠れ端末の抑制が期待できる。また、大容量データの配信に適した新たなメディアアクセス制御方式を導入した。

提案手法の大容量データ配信における性能を評価するため、シミュレーション実験を行った結果、提案手法は比較手法より高いスループット性能が得られ、最大で 2.1 倍の性能向上を確認できた。また、データの配信性能に関しても、マルチチャンネルを導入する前の手法と比較して約 24% 多くのメッセージを配信できた。

位置情報によらないチャネルの割当てが行えるようになれば、本提案手法が適用可能な領域の拡大につながると考えられる。

今後は、より広範囲で車両分布の偏りが大きいネットワークにおいて、提案手法のメディアアクセス制御方式による性能への影響の評価が必要と考えている。

参考文献

- [1] Dar, K., Bakhouya, M. and Gaber, J.: Wireless communication technologies for its applications, *IEEE Communications Magazine*, Vol.48, No.5, pp.156–162 (2010).
- [2] Cheng, H., Shan, H. and Zhuang, W.: Infotainment and road safety service support in vehicular networking: From a communication perspective, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.25, No.6, pp.2020–2038 (2011).
- [3] Chen, W., Guha, R. and Kwon, T.: A survey and challenges in routing and data dissemination in vehicular ad hoc networks, *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol.11, No.7, pp.787–795 (2011).
- [4] Katragadda, S., Ganesh Murthy, C., Ranga Rao, M., Mohan Kumar, S. and Sachin, R.: A decentralized location-based channel access protocol for inter-vehicle communication, *The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC 2003-Spring)*, Vol.3, pp.1831–1835 (2003).
- [5] Yomo, H., Shagdar, O., Ohyama, T., Miyamoto, M., Kondo, Y., Hasegawa, J., Sakai, T., Miura, R. and Obana, S.: Development of a CDMA inter-vehicle communications system for driving safety support, *IEEE Wireless Communications*, Vol.16, No.6, pp.24–31 (2009).
- [6] Wu, Y., Stankovic, J., He, T. and Lin, S.: Realistic and efficient multi-channel communications in wireless sensor networks, *INFOCOM 2008, The 27th Conference on Computer Communications*, pp.1193–1201, IEEE (2008).
- [7] 財団法人道路交通情報通信システムセンター: VICS (ビックス) とは – VICS について | VICS Web Site, 入手先 <<http://www.vics.or.jp/>> (2014).
- [8] Ghafoor, K. and Bakar, K.: Inter-vehicle communication protocols for multimedia transmission, *International MultiConference of Engineering and Computer Scientists* (2010).
- [9] Palazzi, C., Ferretti, S., Rocchetti, M., Pau, G. and Gerla, M.: How do you quickly choreograph inter-vehicular communications? A fast vehicle-to-vehicle multihop broadcast algorithm, explained, *Proc. 3rd IEEE CCNC International Workshop on Networking Issues in Multimedia Entertainment (CCNC/NIME 2007)*, p.6 (2007).
- [10] Wisitpongphan, N., Tonguz, O., Parikh, J., Mudalige, P., Bai, F. and Sadekar, V.: Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks, *IEEE Wireless Communications*, Vol.14, No.6, pp.84–94 (2007).
- [11] Akkhara, P., Sekiya, Y. and Wakahara, Y.: Efficient Alarm Messaging by Multi-Channel Cut-Through Re-broadcasting based on Inter-Vehicle Communication, *Proc. IAENG Journal of Computer Science (IJCS)* (2009).
- [12] Bi, Y., Cai, L., Shen, X. and Zhao, H.: Medium Access Control for QoS Provisioning in Vehicle-to-Infrastructure Communication Networks, *Mobile Networks and Appli-*

cations, Vol.18, No.2, pp.174–185 (2013).

- [13] Yang, Z. and Cao, G.: V-PADA: Vehicle-Platoon-Aware Data Access in VANETs, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.60, No.5, pp.2326–2339 (2011).
- [14] German Aerospace Center: SUMO – Simulation of Urban MObility, available from (<http://sumo-sim.org/>) (2014).
- [15] Killat, M., Schmidt-Eisenlohr, F., Hartenstein, H., Rössel, C., Vortisch, P., Assenmacher, S. and Busch, F.: Enabling efficient and accurate large-scale simulations of VANETs for vehicular traffic management, *Proc. 4th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*, pp.29–38 (2007).

推薦文

この論文では車車間通信において無線 LAN の複数チャネルを、GPS によって得た自動車の位置に応じて切り替えることで、使用できる帯域を拡大する手法を提案している。広く普及したデバイスで実現することができ、有用性が高く、また実現可能性が高い提案である。以上より、本研究会からの推薦に値する。

(マルチメディア通信と分散処理研究会主査 重野 寛)



川井 明 (正会員)

2003年、2005年、2008年にそれぞれ大阪大学基礎工学部卒業、大学院情報科学研究科博士前期課程修了、大学院情報科学研究科博士後期課程修了。2008年より、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。2013年より、大阪大学サイバーメディアセンター特任助教。2014年より、滋賀大学経済学部准教授。現在に至る。博士(情報科学)。モバイルアドホック、車車間通信に関する研究に従事。IEEE 会員。



柴田 直樹 (正会員)

2002年大阪大学基礎工学部情報科学科卒業。2006年同大学大学院博士後期課程修了。博士(情報科学)。2005年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。2008年静岡大学若手グローバル研究リーダー育成拠点特任助教、2013年同大学大学院情報科学研究科准教授、現在に至る。主として、高度交通システム(ITS)の研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、自動車技術会各会員。

稲葉 健吾

2012年より、奈良先端科学技術大学院大学博士前期課程に入学。車車間通信やSUMO交通流シミュレータに関する研究に従事。



伊藤 実 (正会員)

1977年大阪大学基礎工学部卒業，1979年同大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．1979年より大阪大学基礎工学部助手．1986年より大阪大学基礎工学部講師．1989年より大阪大学基礎工学部助教授．1993年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授．現在に至る．工学博士．データベース理論，効率的なアルゴリズム開発等の研究に従事．ACM，IEEE，電子情報通信学会各会員．