

高スループット無線MACプロトコルの提案 と検討

河合良哉[†] 田学軍[†] 井手口哲夫[†] 奥田隆史[†]

現在、交通システムにおける渋滞や交通事故などの問題が深刻になっている。情報化社会において情報通信技術を生かして車車間通信により、このような問題を改善することが期待されている。車車間通信では、車両走行に分散型通信方式が好都合であるが、事故を未然に防ぐため情報をいち早く伝達するのは重要である。従来の分散型通信方式には高トラフィックの場合に遅延が増大するという欠点が存在している。本論文は情報の信頼性とリアルタイム性に着目して新しい無線ネットワークのMACプロトコルを提案する。ランダムアクセス方式にスケジューリングを導入して高トラフィックな状況においても信頼性とリアルタイム性を実現する。

A Proposal of MAC Protocol with High Throughput for Wireless LAN and Its Evaluations

Yoshiya Kawai[†], Xuejun Tian[†]
Tetsuo Ideguchi[†], Takashi Okuda[†]

In this paper, we propose a new MAC scheme used for DCF (with no control node) that dynamically adapts to traffic changes without degradation of delay in the case of low traffic load and achieves high throughput which is close to transmission capacity in saturated case. The key idea is to divide the virtual frame into two parts, i.e., schedule part and contention part, and to enable each node to reserve a slot in schedule part. Unlike conventional hybrid protocols, every node does not have to intentionally reset any parameter according to the changing traffic load except its queue length. A distinguishing feature of this scheme is the novel way of allowing WLANs to work with low delay as in the contention-based mode and achieve high throughput as in the schedule-based mode. Through an analysis of simulation results, we show that our scheme can greatly improve the throughput with low delay.

1. はじめに

近年、自動車は欠かすことのできない移動手段となり、それに伴い、交通集中による渋滞、交通事故などさまざまな問題が発生している。こういった問題を解決するためにITSの研究が盛んに行われている。ITSの根本的な目的は、現代社会において交通事故の大幅な減少である。それを実現するためには、無線通信技術を利用して車の運転者に渋滞などの情報提供をすることで、目的地までの先の情報を認識させることである。現在では、一部の車両にレーダやセンサが搭載されているが、コストがかかり、そのセンシング能力は限られている。このため、周囲の車の情報を無線通信によって取得し、周辺車両との協調能力を高めることができる。

1.1 路車間通信

ITSにおける通信は大きく分けて、路車間通信(a)と車車間通信(b)の2つである。現在、路車間通信のITSの代表とされるものにETC:Electric Toll Collection System:自動料金収受システムやVICS:Vehicle Information and Communication System:道路交通情報システムなどがある。これら2つは既に実用化されているもので普及率は増加傾向をたどっている。特にETCに関しては、料金の時間帯割引制度や土日祝日上限1000円といったことから2010年10月9日現在、約3250万台の車に搭載されている。日本国内で登録されている自動車の約50%に当たる。こういった路車間通信を用いたものは、双方向の無線通信技術DSRC:Dedicated Short Range Communication Systemによって提供されるものである。具体的に、ある範囲内での特定の高速な通信や路側機と車載機の間での通信が実現する。

1.2 車車間通信

車車間通信は路車間通信とは異なり、車両の車載機同士が通信を行い、情報交換を行うものである。路車間通信では双方向の無線技術によって路側機と車載機の通信であったが、インフラの制限、n-n通信における負荷の集中などの問題がある。車車間通信は路側機を必要としないものであり、基地局を必要とせず、自立分散的なネットワークを構築することが可能である。この利点は、基地局を必要としないことからインフラ整備を必要としないことや、基地局を介さないことからデータの送受信の遅延が路車間通信よりも低減することができる。これにより、車の運転者は渋滞情報や車両情報などの先の情報を路車間通信で得る情報よりも早く知ることができ、ローカル車両間での協調などができる。これが結果的に交通事故防止などにつながると考えられ、情報のリアルタイム性に適していると思われる。しかし、問題点として挙げられ

[†]愛知県立大学情報科学部
Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

るのは高負荷の場合、衝突が起き、遅延増大につながることである。路車間通信では基地局は固定であるため、集中制御でデータの衝突が起きない。一方、車車間通信では高負荷によるデータの衝突が起きやすくなる。車は信号待ちなどを除き、基本的には常に動いている。その為、交通集中している場所においてはデータのやり取りが頻繁になり、データの衝突が発生することが考えられる。こういったことから情報の信頼性は車車間通信では低くなってしまふ。

表 1: 路車間通信と車車間通信の比較

	方式	利点・欠点	課題
(a) 路車間通信	路側機と車両の車載機が無線通信を行うことにより、渋滞などの情報を得る。車の運転者は必要に応じ、情報を活用する。	情報はリアルタイムではないものの、路側機がある場所においては情報を得ることができる。情報の信頼性はリアルタイム性を除き、高い。	路側機を設置するというインフラ整備が必要。交通量の少ない山間部では整備されることが見込まれない。
(b) 車車間通信	車両同士が無線通信を行うことにより、渋滞情報や車両の情報を得る。車の運転者は必要に応じ、情報を活用する。	情報はリアルタイムであり、路側機のない場所においても情報を得ることができる。しかし、状況によっては情報の信頼性に欠ける。	路車間通信にある ETC や VICS のように既に登録されている車両への普及が難しい。前車両が搭載することで車車間通信を發揮することができる。

現在、路車間通信は実用化されているが、車車間通信は普及には至っていない。実用化に向けて、高スループット、低遅延、信頼性の高い通信方式の研究・開発が重要となる。

2. 従来 MAC 制御方式

IEEE802.11 の無線 LAN 規格では、無線媒体へのアクセスには、コーディネーション機能と呼ばれる制御方式によって行われる。基本となるアクセス制御方式では、分散コーディネーション機能:DCF があり、その上に構築され、オプションとして提供され

るポイントコーディネーション機能:PCF、そしてこれら 2 つを組み合わせたハイブリッドコーディネーション機能:HCF がある。

2.1 従来の MAC プロトコル

従来の MAC プロトコルはコンテンション型 MAC プロトコルと予約型 MAC プロトコルがある。

コンテンション型 MAC プロトコルは CSMA/CA や ALOHA などが該当する。これらは、分散コーディネーション機能:DCF のように基地局が存在せず、送信要求端末が自局のみにより可否判断を行い、自律的にパケットを送信するものである。この利点は、基地局が存在しないため、アドホックネットワークに適用できる。欠点は、自律的にパケットを送信するため、情報の信頼性やリアルタイム性に欠けることである。

予約型 MAC プロトコルは TDMA やポーリングなどが該当する。これらは、データの送信前に基地局に送信予約を行い、その予約が受け付けられれば、基地局の指示に従ってパケットの送信をする。この利点は、送信予約により、送信の機会が保証されるので情報の信頼性がある。欠点は、基地局を必要とすることから、基地局が管理する範囲内の端末のみしか送信をすることができないことである。

2.2 各アクセス制御方式

・DCF 方式

データ信号のパケット衝突を前提とした制御方式である。基地局は必要としないため、分散制御によって送信端末の通信アクセスを制御するものである。IEEE802.11 の無線 LAN 規格ではいずれも CSMA/CA による媒体アクセスを用いる。CSMA/CA とは、搬送波感知多重アクセス方式と呼ばれるものであり、無線 LAN では、コリジョンを検出していないため、フレーム間隔を空けてからランダムバックオフを行う。そのバックオフが終わった最初の送信端末がチャンネルの使用権を取得し、通信することができる。このような通信方式により、複数端末が一斉送信することを回避することができる。

・PCF 方式

パケット伝送において、媒体上での競合が起こらないアクセス制御である。アクセスポイントに存在するポイントコーディネータと呼ばれる特殊端末を複数使うことにより、競合を避けることができる。つまり、インフラストラクチャネットワークである。フレーム間隔は短いため、DCF 方式よりも信頼性は高い。しかし、基地局を必要とするため、リアルタイム性には欠けてしまう。アクセスポイントを介すということから通信の公平性ということが主な利点となる。

・HCF 方式

DCF 方式と PCF 方式を組み合わせたアクセス制御方式である。DCF の CSMA/CA 方式による自律分散型アクセス制御と PCF のポーリング方式による集中アクセス制御の 2 つを行う部分がある。しかし、基地局が PCF と同様に必要となるため、基地局の設置が多く必要となり、リアルタイム性という面に欠けてしまう。

3. MAC プロトコルの提案と検討

3.1 概要

ここでは、既存の方式である DCF の CSMA/CA 方式を改善した、SRAP(Scheduled Random Access Protocol)を提案する。ある端末が特定の端末の通信可能距離に存在する際の通信に関して、通信を行う全ての端末同士は互いの通信範囲に存在することを前提としたプロトコルである。局所的な高トラフィック状態での衝突を回避することができ、高スループットを実現する。提案する SRAP はスケジューリングベースの Schedule period(SP)とコンテンションベースの Contention period(CP)から形成される。基地局は必要とせず、ある一定の条件を満たす端末が、親である head になることができ、周辺端末を管理する。この管理の際に、スケジューリングを行うことで衝突を回避することができる。従来の方式では基地局を必要とし、送信ごとにビーコン送信などといった基地局に負荷が集中するのに対し、提案の方式では基地局を必要とせず、誰もが head になることができ、SP と CP の区別を行う Beacon を送信するだけで良いため負荷が少ない。

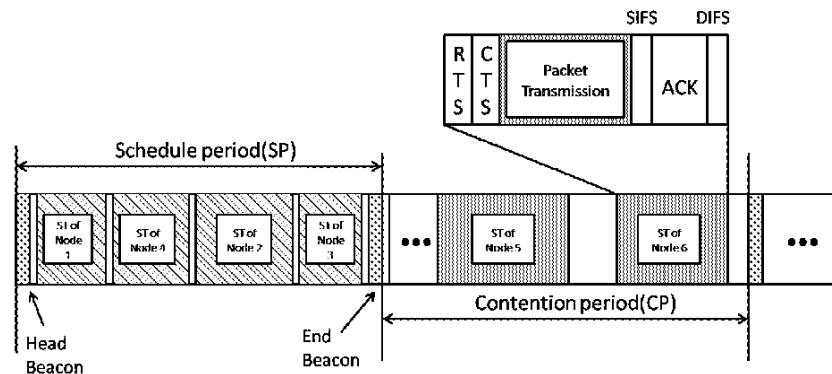


図 1: SRAP の構成

・3.2 フレーム内での動き

SRAP では、ある一定の条件を満たすものが head となる。条件とは、衝突回数、キューサイズなどといったパラメータの閾値を超えるというものである。head の送信可能範囲にいる端末は、head から送られてくるビーコンにより SP が CP を判断する。Head Beacon ならば SP 期間開始、End Beacon ならば CP 期間開始といったものである。図 2 は、フレーム内での動きを示すフローチャートである。

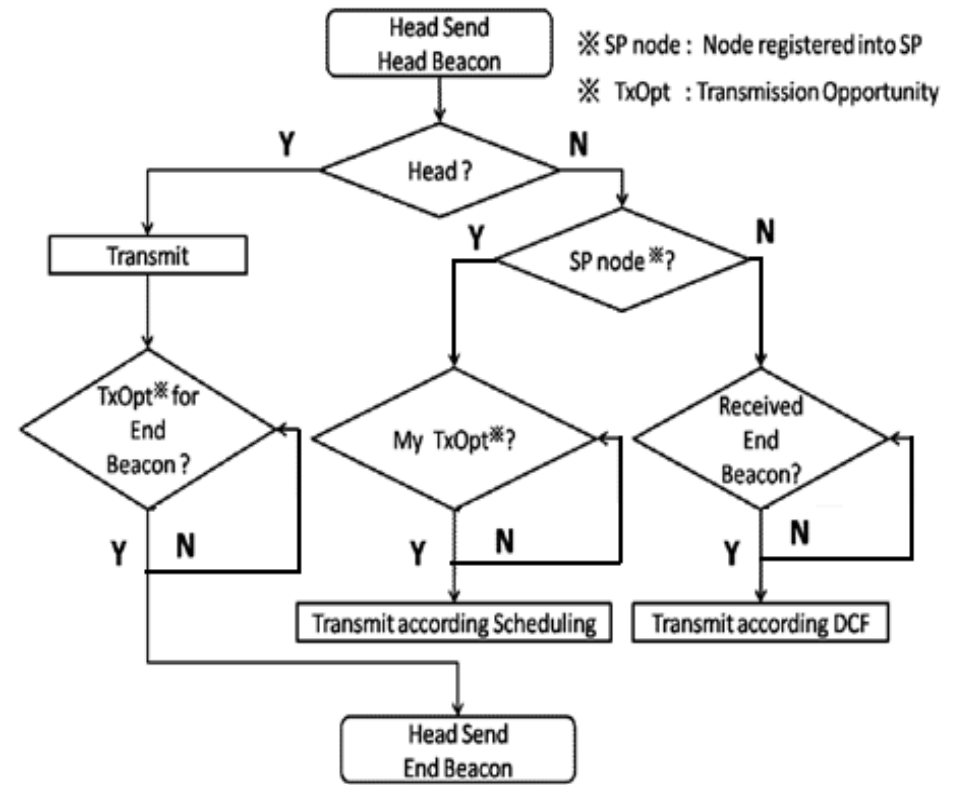


図 2: SRAP フローチャート

・3.3 スケジューリングアルゴリズム

スケジューリングとは、送信する機会を計画、つまり保証するというものである。SP はスケジューリングされた端末は、一回の送信機会が保証される。CP はスケジューリングされていない端末で、CP に競争で送信権の獲得を試みる。

スケジューリングされた端末の送信が Head Beacon 送信後に行われる。SP 内の端末の送信が終了すると、End Beacon が送信され CP が開始される。前述の Beacon により SP と CP の区別をすることができるというのは、この 2 つの Beacon のことである。CP が開始されると、DCF により、端末が通信成功した場合に SP に登録される。図 3 に示すように、送信に成功した端末 5 はスケジューリングされるための候補として candidate-id1 を取得する。そして、送信に成功した端末 6 は同様に candidate-id1 を取得するのだが、端末 5, 6 が共に candidate-id1 では衝突が発生してしまう。この衝突を回避するために、端末 5 は端末 6 の通信可能範囲にいるため、キャリアセンスにより、端末 6 のデータを受信することができることを用いる。端末 5 は端末 6 の存在を知ることができるので candidate-id を +1 とし、candidate-id2 とする。つまり端末 5 が先に candidate-id1 を取得したが、後に取得した端末 6 がいたため、衝突回避のため、candidate-id1 は端末 6 に譲り、candidate-id2 としたわけである。

CP 内での通信が成功した後は、SP 内に既に存在する端末の送信後に送信機会が与えられる。head はこの端末 5, 6 の送信成功をキャリアセンスにより把握することで、送信機会を別に与えるために Beacon を増やさなければならない。SP の送信終了後に End Beacon ではなく First End Beacon を送信する。これは candidate-id を取得している端末に送信機会を与えるための Beacon である。この Beacon を受信した candidate-id を持っている端末は順に送信を行う。candidate-id を取得した端末は、スケジューリングされている端末の後ろに入るように新たにスケジューリングの順番を待つわけである。前述の端末 5, 6 に当てはめると、candidate-id1 を持った端末 6 が先に送信を行い、後に端末 5 が送信をする。送信終了後は Second End Beacon を送信する。この Second End Beacon は前節の End Beacon と同じ意味を持ち、CP 開始の合図をする。この後の動作は前述と同様である。

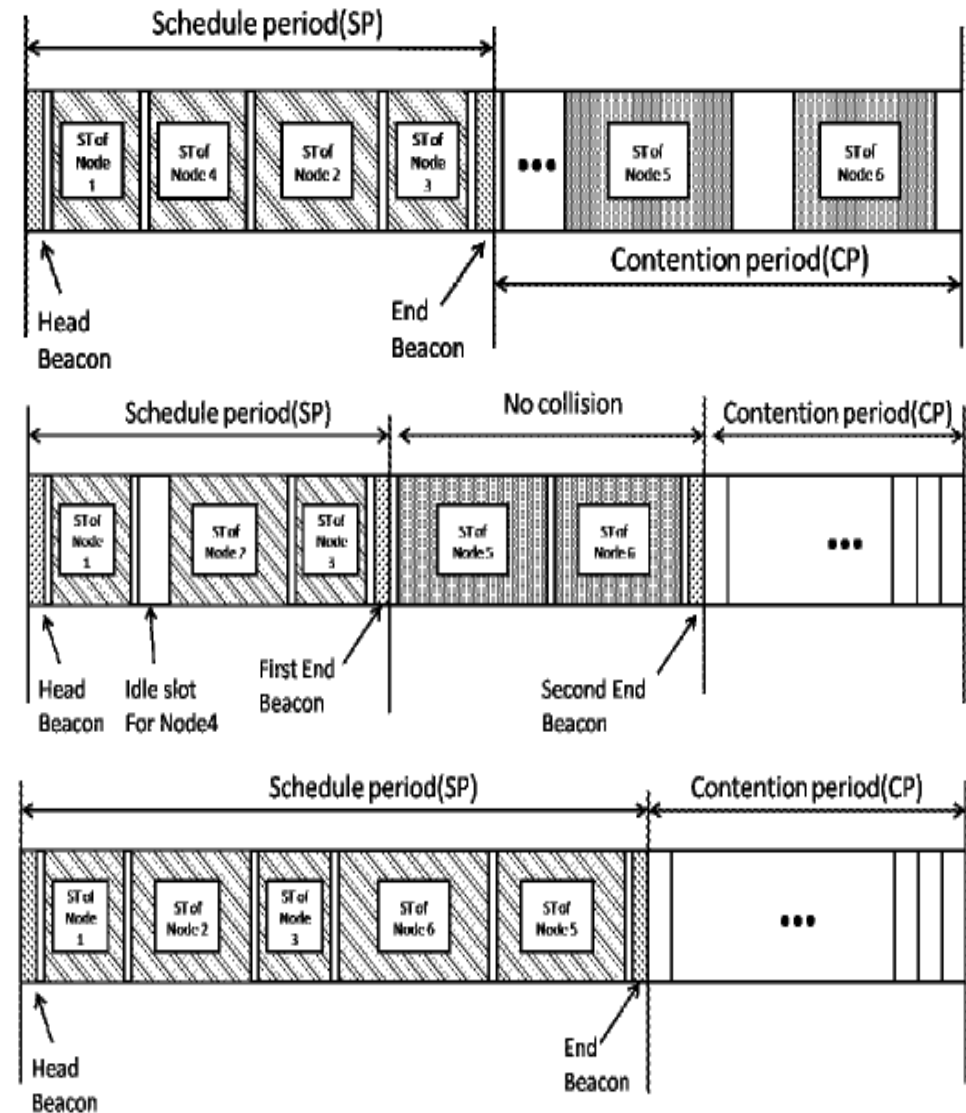


図 3: スケジューリング動作

4 評価

4.1 評価方法

提案方式による高スループットを実現するために、ネットワークシミュレータ OPNET を用いて評価を行った。パラメータは表 2 に示す。

表 2: シミュレーション諸元

SIFS	10 μ S
DIFS	50 μ S
Slottime	20 μ S
MaxCW	1024
MinCW	15
Dara Rate	11Mbps

すべての端末は互いに送信可能範囲に存在し、パケットの発生間隔はポアソン分布に従うものとする。端末数は 25 台とし、等間隔に 5m ごとに配置をする。



図 4: 端末配置

4.2 結果

図 5, 6 に、端末数 25 台の SRAP と従来の方式を比較したトラフィックの変化によるスループット特性と遅延特性を示す。

フレーム長は 1000byte と 500byte の 2 種類の場合を行い、比較をした。従来の方式の CSMA/CA との比較で提案の SRAP のスループットとの比較を行う。

スループットの向上の原因として衝突が減ったと推測することができるので、遅延特性についても従来の方式の CSMA/CA と提案の SRAP との比較を行う。

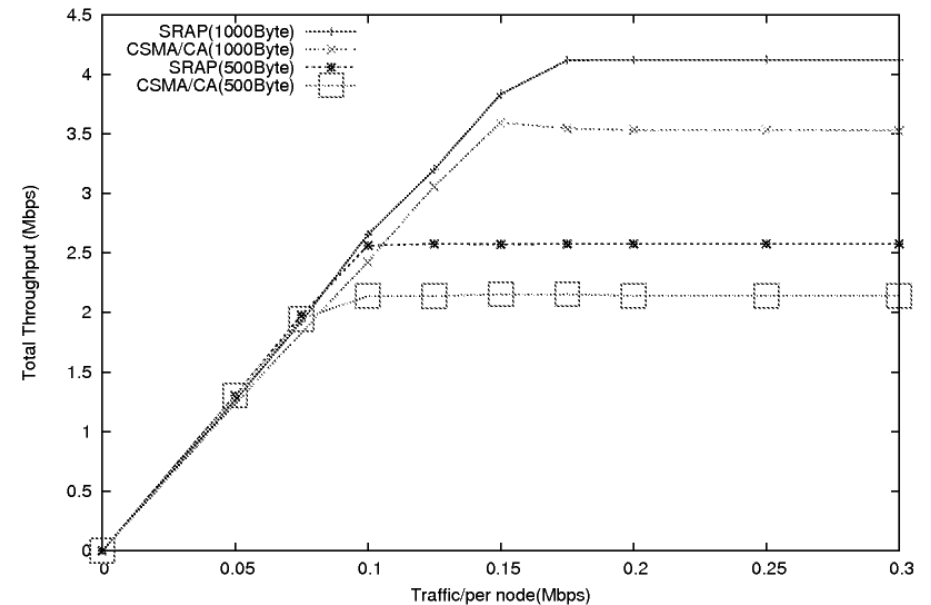


図 5: スループット

4.3 考察

SRAP において、25 台でのシミュレーションによる結果は有効性が高いことがわかった。25 台でのスループットは従来方式と比べ約 20% 改善することができていることが分かる。スループットに比べ、遅延特性に関して差がほとんどないのは、すべての端末が互いに送信可能範囲に存在するために、DCF によるアクセス制御によって、ある端末が RTS を送信した場合にすべての端末がそれを受信することが出来、NAV をセットするために、NAV がセットされている間では送信を控える。そのため、遅延が最

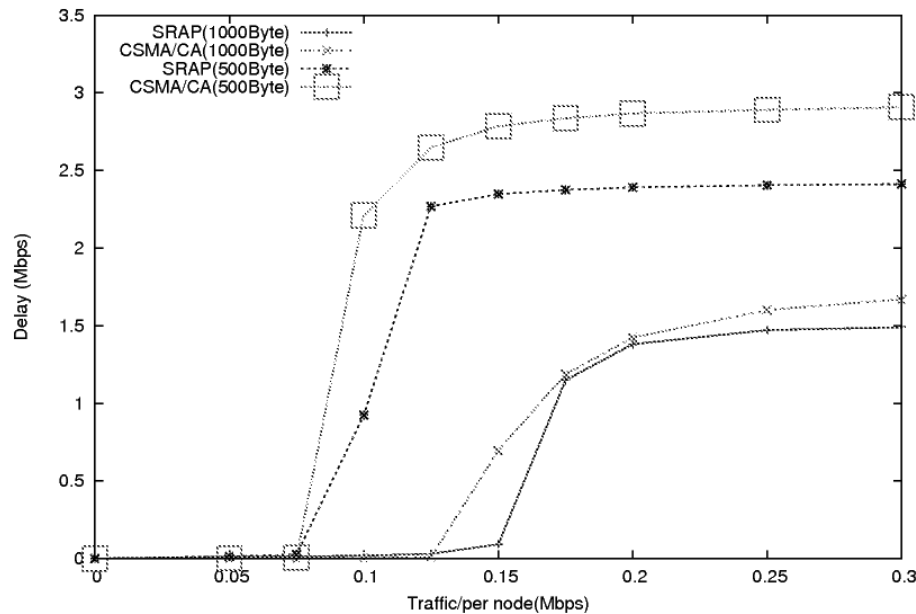


図 6: 遅延特性

も発生する要因である衝突が起きないために、連続的な衝突によるバックオフスロットの指数関数的な増加がなく、特に大きな遅延が発生することなく送信することができると思われる。また、SRAP の遅延が大きくなる部分があるが、これは遅延が飽和する手前であり、SRAP の場合、順番に送信を行うために端末ごとに送信順番を持っているが、スケジューリングされたけれども、キューにパケットが存在する場合と存在しない場合があり、自分の送信順番のタイミングでキューにパケットがなければ送信を行わない。また、パケットサイズによる結果の違いに関しては、同じトラフィック量で送信を行っていたとしても、パケットサイズが大きいものを少なく送信する場合と、パケットサイズが小さいものを多く送信する場合ではトラフィック量は同じであるが、送信にかかるオーバーヘッド (RTS/CTS の交換回数や各パケットのヘッダサイズなど) が多くかかるために、パケットサイズによって結果は大きく異なることが言える。SRAP では、台数が多い方が Head Beacon や End Beacon の送信回数が減り、かつ CSMA ではすべての端末が送信可能範囲で NAV をセット出来る場合であっても同じタイミング (バックオフ) での送信が行われることで衝突が発生するが、SRAP ではスケジュールによる衝突回避をすることが出来るため、従来方式と比べて効果が

大きく表れる結果となった。

・5 おわりに

本論文では、ITS 車車間裕新に向けて、スケジューリングによる新しい MAC プロトコルを提案した。ここでは、スループットの向上を実現するために遅延を従来の方式よりも減らした。スケジューリングにより、無駄な遅延を減らし、パケット衝突を回避することができた。これにより、信頼性とリアルタイム性が従来の方式よりもあることを確認した。

実環境に適用するには、SRAP の拡張や複数チャネル利用などの問題点がある。今後は、単一チャネルではなく、複数チャネル利用することでさらなる高スループットを実現する予定である。

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究補助金基盤 (B) 課題番号 (20300030) の支援を受けて行った。

参考文献

- 1) 国土交通省, "http://www.mlit.go.jp".
- 2) 総務省, "http://www.soumu.go.jp".
- 3) 警察庁, "http://www.npa.go.jp".
- 4) 河合功介, 車車間通信における複数チャネル利用 MAC プロトコル, 愛知県立大学.
- 5) Xuejun Tian, Xiang Chen, Tetsuo Ideguchi, Takashi Okuda, "Improving protocol capacity by scheduling random access on WLANs", 2008.
- 6) IEEE802.11, http://www.ieee802.org/11/.
- 7) 通信状態を考慮したアドホックルーティングプロトコルの検討, 森崎明, 渡辺晃, 名城大学, DICOMO2010, pp.645-651.
- 8) 財団法人 日本道路交通情報センター, "http://www.vics.or.jp".
- 9) 総務省, ITS 無線通信システムの高度化に関する研究会報告書, 2009 June.