

OFDM 方式を想定した多重送信を用いる車車間通信システムの研究開発

代表研究者 内藤 克浩 三重大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻 助教

1 はじめに

車車間通信ネットワークは高度道路交通システムを実現するためには必要不可欠な技術であり、多数の車両が自律的に一時的なネットワーク構築を行う[1, 2]。そのため、車車間通信ネットワークはモバイルアドホックネットワークの一形態として考えることも可能であるが、特性及び要求性能などは大きく異なる。具体的には、車車間通信ネットワークでは車両が高速移動しているため、車両間の位置関係が時々刻々と変化する[3, 4, 5]。また、車両は道路上を走行することから、ネットワークトポロジーも道路形状に近い直線状となり、面的に端末が存在する状況を想定したアドホックネットワークとは大きく異なる。

一般にアドホックネットワークではルーチングプロトコルを用いることにより、自律的にネットワークを構築している[6, 7]。車車間通信ネットワークの研究においても様々なルーチングプロトコルが検討されており、大別するとモバイルアドホックネットワーク用のプロトコル、位置情報を用いるプロトコル、ブロードキャストを用いるプロトコルなどがある。モバイルアドホックネットワーク用のプロトコルは車車間通信の特徴である高速移動と頻繁なトポロジー変化により、特性が大幅に劣化することが知られている[8]。一方、位置情報を用いるプロトコルでは、自車両及び近隣車両の位置と移動速度の情報を用いることにより、トポロジー変化の影響を受けにくい経路を予め推定して採用することが可能であり、比較的良好な特性が得られることも知られている[9, 10, 11, 12, 13, 14]。しかしながら、正確な推定を行うためには、頻繁に車両位置情報の交換を行う必要があるため、何らかの車両位置情報交換手段も必要不可欠である。ブロードキャストを用いるプロトコルの最も簡単な方式はフラッディングであり、経路構築の必要なしに通信を実現できることからトポロジー変化が激しい車車間通信に向いている方式である[15, 16, 17]。一方、車両数が増加した場合には、ブロードキャストストームによる特性劣化が発生することも知られており[18]、位置情報と組み合わせることでブロードキャストを行う車両を選択する手法なども提案されている[19, 20, 21]。

車車間通信ネットワークを実現するための無線通信デバイスとして、IEEE802.11p が近年着目されている[22, 23]。IEEE802.11p は無線 LAN などでも採用される IEEE802.11a と極めて近い規格を採用しており、変調方式として OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)を採用することにより、高速通信とマルチパス耐性を実現している[24]。OFDM では GI(Guard Interval)と呼ばれる信号を OFDM シンボルに付加することにより、GI 長内に到着する遅延波の影響を受けずに高精度の受信処理を行うことが可能である[25]。本研究開発では、OFDM の本特徴に着目することにより、複数車両が同期して同一 OFDM シンボルを送信する協調通信方式について研究を行う。提案する協調通信方式では、車両は異なる車両から同一 OFDM シンボルを GI 長内に受信することができるため、シンボル間干渉の影響を受けずに経路ダイバシティ効果を得ることが可能となる。

2 協調通信を行う車車間通信ネットワーク

2-1 提案方式の概要

本研究では特定領域内に存在する車両に向けて車両制御情報を通知する車車間通信ネットワークの構築を目的としている。また、提案する協調通信方式は経路制御プロトコルとの併用も可能であるが、車両走行状況を想定した場合、位置的に転送可能な車両数は数台と考えられるため、経路制御によるオーバーヘッドが発生しないブロードキャスト方式を採用するものとする。

図 1 は提案方式で想定する車車間通信ネットワーク例であり、図 2 は提案方式を採用した場合の通信手順例を示している。提案方式では、図 1 に示すように、ある車両が送信した車両制御情報を複数の近隣車両が転送することを想定している。複数車両がデータ転送を行う経路ダイバシティ方式は既に様々な研究が行われているが、既存研究では各複数車両がデータ転送処理を行うため、受信車両は同一データを複数回受信することとなり、結果としてデータ配送率を向上可能になる。一方、複数回のデータ転送

処理は無線資源の浪費につながるため、遅延の増加、規模拡張性の低下などの弊害も発生する。一方、提案方式では、図2に示すように、複数の近隣車両がほぼ同時に同一 OFDM シンボルの送信処理を行う。結果として受信車両は複数の同一 OFDM シンボルを受信することとなるが、OFDM 方式では同一 OFDM シンボルの到来時間差が GI 長内であれば、高精度の受信が可能なことから、無線資源を過剰に利用しない経路ダイバシティを実現可能となる。なお、協調通信では、送信車両間の送信時刻同期が重要となるが、提案方式で要求する同期精度は受信車両において各車両からの OFDM シンボルの到来時間差が GI 長期間内であればよいため、同期制御が比較的実現しやすい事も特徴である。

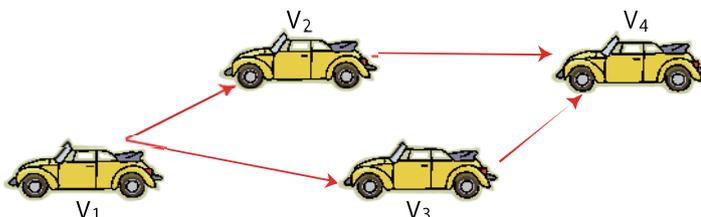


図1 車車間通信ネットワーク例

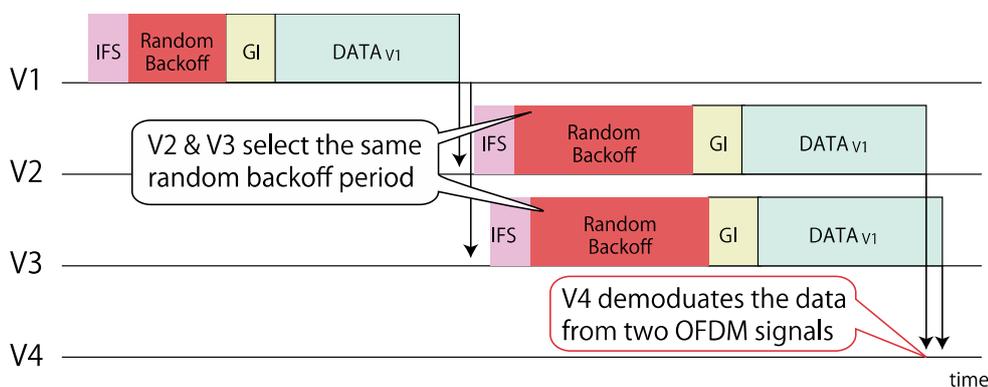


図2 協調通信概要

2-2 自律分散による送信タイミング制御

車車間通信ネットワーク内には多数の車両が存在するため、各車両が自身の車両制御情報を定期的に送信するためには、アクセス制御アルゴリズムが必要不可欠となる。IEEE 802.11p などでは CSMA (Carrier Sense Multiple Access) を用いた自律分散型のアクセス制御が実装されており、基地局などの制御局がない場合にも、各車両が信号衝突の発生を防ぐ送信タイミング選択を行う。

一方、提案方式では複数の近隣車両がほぼ同時に OFDM シンボルの送信を実施する必要があるが、既存の CSMA では複数の車両が同時に送信することを想定していない。そこで、提案方式を車車間通信ネットワークで採用するためには、各車両が信号衝突の発生を防ぐ送信タイミングの選択を行うだけではなく、同一車両情報の転送時には各車両が同時に信号を送信する送信タイミングを選択する必要がある。本研究開発では、既存の CSMA を拡張することにより、上記の要求を満たすアクセス制御手法の提案も行う。

図3は提案アクセス制御手法のフローチャートを示している。提案方式では、既存の IEEE 802.11p などのハードウェア修正を可能な限り少なくするために、CSMA/CA を拡張することで複数車両間の同期送信を実現している。一般の CSMA/CA では、各車両でランダムなバックオフ値を選択することにより、各車両の送信タイミングを分散させており、結果として信号衝突の発生を予防している。提案方式では、車両が自車両の車両制御情報を送信する際には、通常 CSMA/CA と同様にランダムなバックオフ値に基づいて送信を行うことで、自車両の車両制御情報の衝突を抑制する。一方、近隣車両は受信した車両制御情報を同時に転送する必要がある一方、信号衝突の抑制も行う必要がある。そこで、提案方式では以下の手順を用いることにより、信号衝突を抑制可能な同期送信タイミング制御を行う。

- 近隣車両からの車両制御情報を受信した場合、該当車両制御情報の転送履歴を確認することにより、転送の必要性の有無を判断する。
- バックオフインデックスを 0 で初期化することにより、バックオフ値を選択する範囲である NAV 値の初期化を行う。
- 車両制御情報に含まれる送信車両 ID、ホップ数、シーケンス番号などのパケット識別情報を用いて乱数表の初期化を行う。この初期化により、同一車両制御情報を受信した車両は同一の情報を用いて乱数初期化を実現できる。
- 初期化された乱数表に基づいてバックオフインデックス値内の値をバックオフ値として採用する。このバックオフ値は同一車両制御情報を受信した車両は同一値を獲得できる。
- CSMA/CA と同様にバックオフ値に基づいた待機時間後にチャネルセンシングを行い、チャネルがアイドルの場合には OFDM シンボルの送信を行う。一方、チャネルがビジーの場合には、バックオフインデックス値を増加させた後、再送信を試みる。

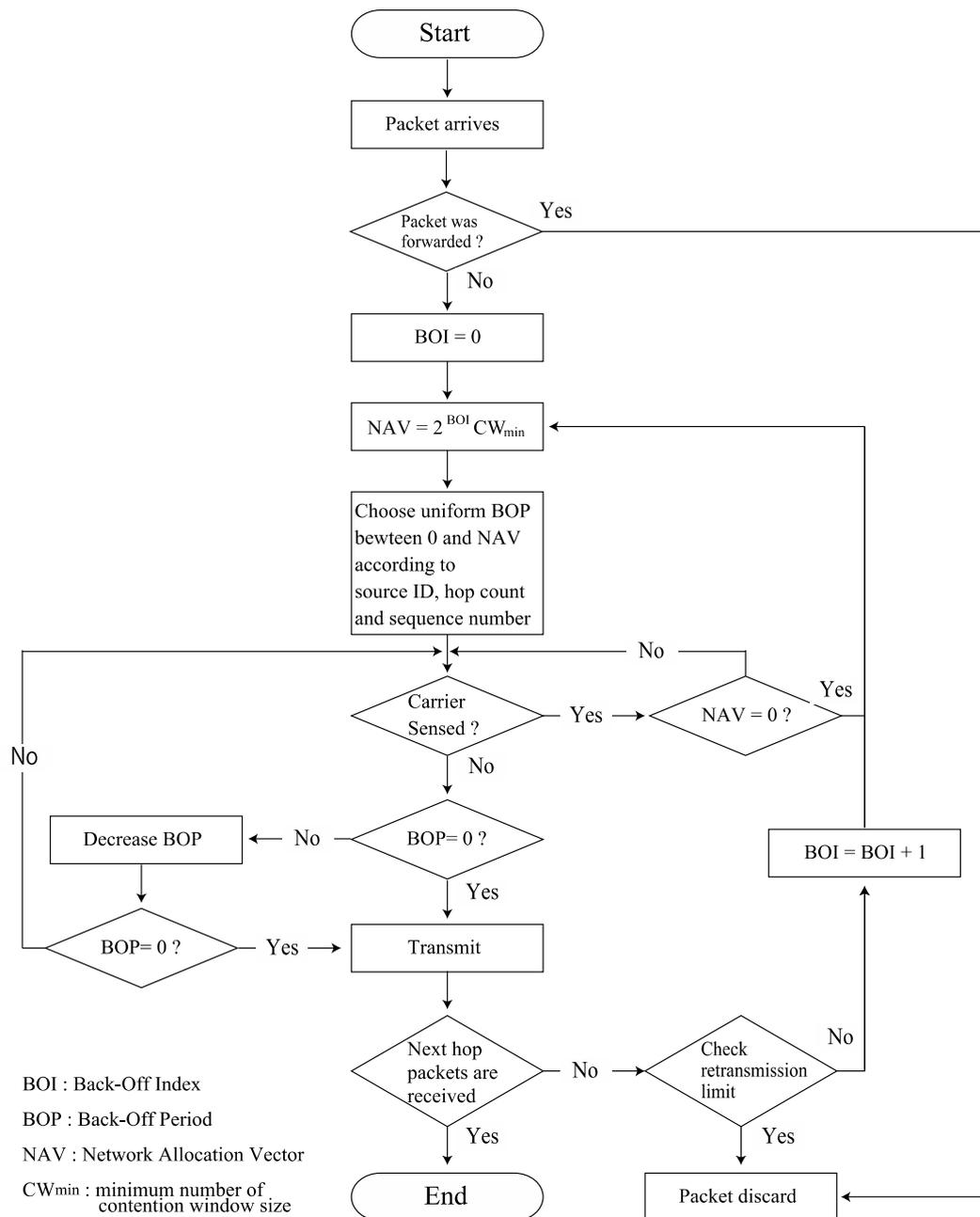


図3 提案アクセス制御アルゴリズム

2-3 協調通信例

図4は提案する協調通信例で想定する車両配置を示し、図5は車両制御情報の送信タイミングを示す。本例では、車両V1と車両V7が自身の車両制御情報を送信する場合を想定しており、7台の車両全てに車両V1と車両V7の車両制御情報を配信する必要があるとする。各通信過程を以下に示す。

- 図4 a)において車両V1と車両V7は1ホップ目の送信を行う。本例では車両V1と車両V7はともにセンシング範囲外に存在する状況を想定しているため、車両V1と車両V7は独立してOFDMシンボルを送信可能である。車両V1の近隣車両である車両V2及び車両V3は車両V1からのOFDMシンボルを受信する。同様に、車両V7の近隣車両である車両V5及び車両V6は車両V7からのOFDMシンボルを受信する。なお、車両V4は車両V1及びV7からのOFDMシンボルが衝突しているため、両車両からのOFDMシンボルの受信に失敗している。
- 図4 b)において、車両V2及び車両V3は車両V1からの車両制御情報に基づいたバックオフ値を選択しており、ほぼ同時に同一OFDMシンボルの送信を行っている。車両V4及び車両V5は車両V2及び車両V3からのOFDMシンボルを受信可能なため、経路ダイバシチ効果を得た協調通信が実現可能である。一方、車両V6は車両V2からのOFDMシンボルのみしか受信できないため、通常の通信となる。
- 図4 c)において、車両V5及び車両V6は車両V2及び車両V3と同様に車両V7からの車両制御情報に基づいたバックオフ値を選択しており、チャネルセンシングを行っている。本例では、車両V2及び車両V3が既に送信を開始しているため、車両V5及び車両V6はチャネルがアイドルになった後に、バックオフ値に基づいた待機時間後に同一OFDMシンボルの送信をほぼ同時に行っている。車両V3及び車両V4は車両V5及び車両V6からの同一OFDM信号を受信できることから、経路ダイバシチ効果を得た協調通信が実現可能である。一方、車両V2は車両V5からのOFDMシンボルのみしか受信できないことから、通常の通信となる。
- 図4 d)において、車両V2から車両V6がOFDMシンボルの送信を試みている。本例では、車両V1の車両制御情報を先に受信していることから、車両V4から車両V6が車両V1の車両制御情報の転送を行うため、同一OFDMシンボルをほぼ同時に送信している。車両V7は3車両から同一OFDMシンボルを受信できることから、経路ダイバシチ効果を得た協調通信を実現可能である。また、チャネルがアイドル状態になった後、車両V2から車両V4は車両V7の車両制御情報の転送を行うため、同一OFDMシンボルをほぼ同時に送信している。車両V1は3車両から同一OFDMシンボルを受信できることから、経路ダイバシチ効果を得た協調通信を実現可能である。

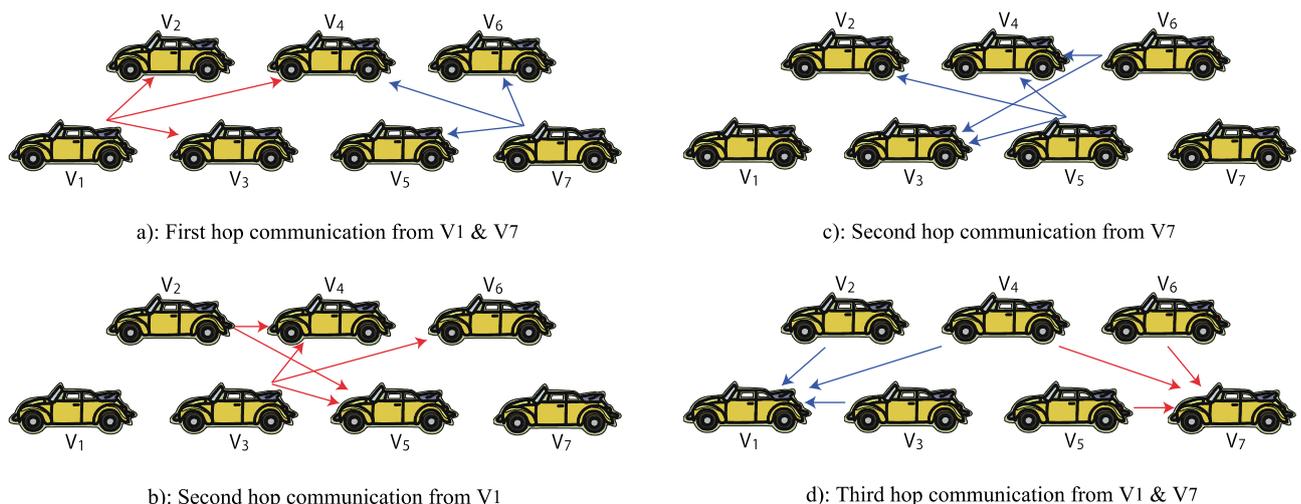


図4 協調通信例

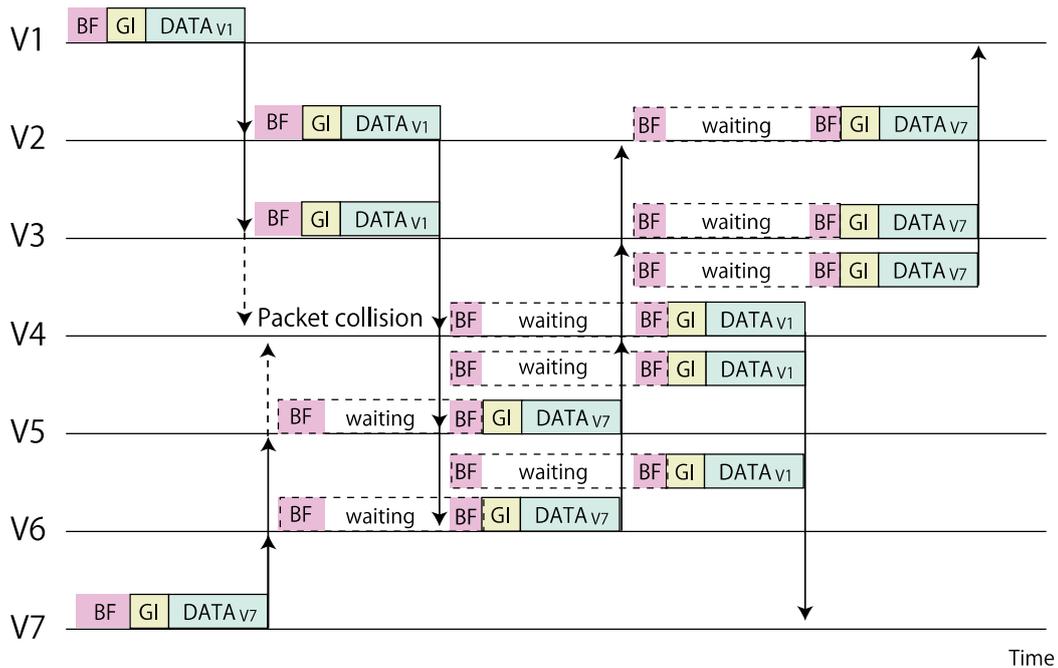


図5 協調通信時の送信タイミング例

3. 数値例

提案方式の特性を評価するために、ネットワークシミュレータ Qualnet [26] 上に提案方式の実装を行うことで評価を行った。Qualnet は無線伝送路の特性も考慮可能な商用ネットワークシミュレータであり、本研究で考慮する信号衝突の影響なども詳細に考慮したシミュレーションが可能である。そのため、シミュレーションでは、パケットの受信可否を SINR (Signal-to-interference and noise power ratio) に基づいて判定を行う。そのため、車両移動に伴うフェージング、大型車両によるブロッキングなどの影響だけではなく、雑音及び干渉の影響も考慮している。提案手法の目的は安全運転支援システムを実現するための車両制御情報の配送である。そのため、送信車両から一定範囲内に存在する車両に車両制御情報を配布するためにブロードキャスト型の通信を採用する。シミュレーションでは、送信車両から半径 1000 [m] の範囲に車両制御情報を配布することを想定している。なお、ブロードキャスト型の通信は車両数の増加に伴い信号衝突の発生頻度が高くなることが知られている。そこで、車両数が 50 台の場合と 300 台の場合について検討を行った。想定する道路は半径 1500 [m] であり 2 車線のループ状とし、各車両は車線上にランダムに配置された後、各車両は 90 [km/h] から 110 [km/h] の範囲からランダムに目的速度を選択して走行するものとする。また、車両は走行車線を原則として走行するものとし、前方車両に追いついた場合は 100 [m] の車間距離を維持するものとする。また、追越車線に車両が存在しない場合は、前方車両の追い越しを行い、追い越し後は走行車線に戻るものとする。なお、シミュレーションでは、表 2 に示す追い越しが発生した。また、表 1 にシミュレーション諸元を示す。

本研究では、より現実的な通信状況を考慮するために、大型車による遮蔽の影響も考慮している。そこで、大型車と普通車の比率を大型車両率 (Large-size Vehicle Ratio) として定義した。なお、大型車両率が 0 は全ての車両が普通車である。シミュレーションでは大型車両を直方体の物体としてモデル化し、普通車両間に大型車両が存在する場合には、信号が到達しないものとした。また、伝搬減衰は freespace を想定しており、車両移動にともなうチャネル変動を考慮するために、100 [km/h] を想定したレイリーフェージングを想定した。

提案手法は車両間で車両制御情報を交換することを想定しているが、車車間通信ネットワークではその他のアプリケーションによる通信も想定される。そのため、同一デバイスで車両制御情報の交換とネットワークアプリケーションの通信を実現できることが望まれると考えられる。そこで、本研究では車車間通信ネットワーク用の通信規格である IEEE 802.11p を想定したシミュレーションを行った。シミュレーションでは、通信距離が約 285 [m] であり、パケットエラーは受信パケットの SINR に基づいて判

断している。また、車両制御情報は 100[Byte]であり、毎秒 5 回送信されるものとした。

提案方式はブロードキャスト型の通信であることから、比較方式として確率的フラッディング手法を採用した。確率的フラッディングでは、各車両が一定確率で転送処理を行う。シミュレーションでは、0.5、0.75、1 の確率を想定した。

表 1 シミュレーション諸元

Simulator	QualNet
Simulation time	150 [s]
Simulation trial	10 [times]
Number of vehicles	50 – 300 [vehicles]
Vehicle velocity	90 – 110 [km/h]
Size of vehicle information message	100 [Bytes]
Transmission interval	200 [ms]
Communication device	IEEE 802.11p
Transmission rates	6 [Mbps]
Transmission power	19 [dBm]
Channel frequency	5.9 [GHz]
Antenna gain	0 [dB]
Antenna type	Omni directional
Antenna height	1.5 [m]
Propagation path loss model	Free Space
Wireless environment	Rayleigh fading
Road shape	Circle with radius = 1500 [m]
Number of lanes	2 [lanes]

表 2 追い越し発生数

Number of vehicles	50	100	150	200	250	300
Number of passings	23	27	36	59	185	249

図 6 は大型車両率が 0 の場合の配送エリア内の車両に対する車両制御情報の配送率を示す。結果より、提案方式の配送率が最も高く、車両数が増加した場合にも安定した配送率を維持していることが確認できる。一方、フラッディング方式に着目した場合、フラッディング確率が小さくなるにしたがって、必要な車両が転送処理を行わないことが発生するため、配送率が低下している。また、確率が 1 の特性に着目した場合、車両数の増加にともなって、配送率が徐々に下がっていることが確認できる。これは、多数の車両制御情報が転送されることにより、パケット衝突の発生頻度が高くなったためと考えられる。

図 7 は大型車両率が 0.2 の場合の配送エリア内の車両に対する車両制御情報の配送率を示す。結果より、提案方式の配送率が最も高く、大型車両率が 0 の場合と比較しても劣化が少ないことが確認できる。これは、提案方式では車両制御情報を受信した近隣車両が同時に同一 OFDM シンボルを送信していることから、大型車両による遮蔽の影響を経路ダイバシチ効果により改善しているためと考えられる。一方、フラッディング方式に着目した場合、大型車両率が 0 の場合と比較して配送率が低下していることが確認できる。これは大型車両が存在する場合、チャンネルセンシングが適切に行われず、多数の信号衝突が発生しているためと考えられる。

図 8 は大型車両率が 0 の場合のパケット誤り率を示す。結果より、提案方式は車両数が少ない場合に

特にパケット誤り率を大幅に改善していることが確認できる。これは、提案方式では複数の車両が同一 OFDM シンボルを同時に送信することから、経路ダイバシチ効果による特性改善効果を得られるためである。なお、提案方式において車両数が増加した場合、パケット誤り率が劣化している。これは、提案方式では全ての車両が転送処理を行っていることから、干渉信号量も増加し、パケット誤り率が劣化したものと考えられる。なお、フラッディング方式に着目した場合、フラッディング確率が高くなるほどパケット誤り率は高くなる。これは、多数の車両がパケット転送を行うことにより、干渉量が増加したためと考えられる。

図 9 は大型車両率が 0.2 の場合のパケット誤り率を示す。結果より、提案方式ではパケット誤り率を大幅に改善しており、車両数が増加した場合にも、フラッディング方式と比較して低い誤り率を実現していることが確認できる。これは、提案方式では同一 OFDM シンボルを同時に送信していることから、大型車両による遮蔽によりチャンネルセンシングが適切に行われなかった場合にも、受信 OFDM シンボルの到来時間差が GI 長内であれば正常に受信できているためと考えられる。一方、フラッディング方式に着目すると、大型車両率が 0 の場合と比較して変化が少ないことが確認できる。これは、フラッディング方式では各パケットは独立して転送されていることから、経路ダイバシチ効果は得られるが、各パケットの誤り率は変化していないためと考えられる。

図 10 は大型車両率が 0 の場合の配送遅延を示す。ここでの配送遅延とは、送信元車両から送信された車両制御情報が配送範囲内の車両に配送されるまでの時間の平均値である。そのため、送信元車両との距離により、各車両の配送遅延は大きく異なる。結果より、提案方式の配送遅延は車両数が増加した場合にも比較的小さい値を維持していることが確認できる。これは、提案方式では多数の車両が存在する場合にも同時に OFDM シンボルを送信することから、転送遅延の増加が少ないためと考えられる。一方、フラッディング方式に着目すると、特にフラッディング率が 1 の配送遅延が車両数の増加にともない急激に増加していることが確認できる。これは、多数の車両が転送を行うため、転送遅延が大幅に増加したためと考えられる。

図 11 は大型車両率が 0.2 の場合の配送遅延を示す。結果より、図 10 と比較すると配送遅延が全体的に小さくなっていることが確認できる。これは、大型車両が普通車両間の通信を遮蔽したことにより、周波数の再利用性が高くなり、結果として転送遅延が削減できたためと考えられる。

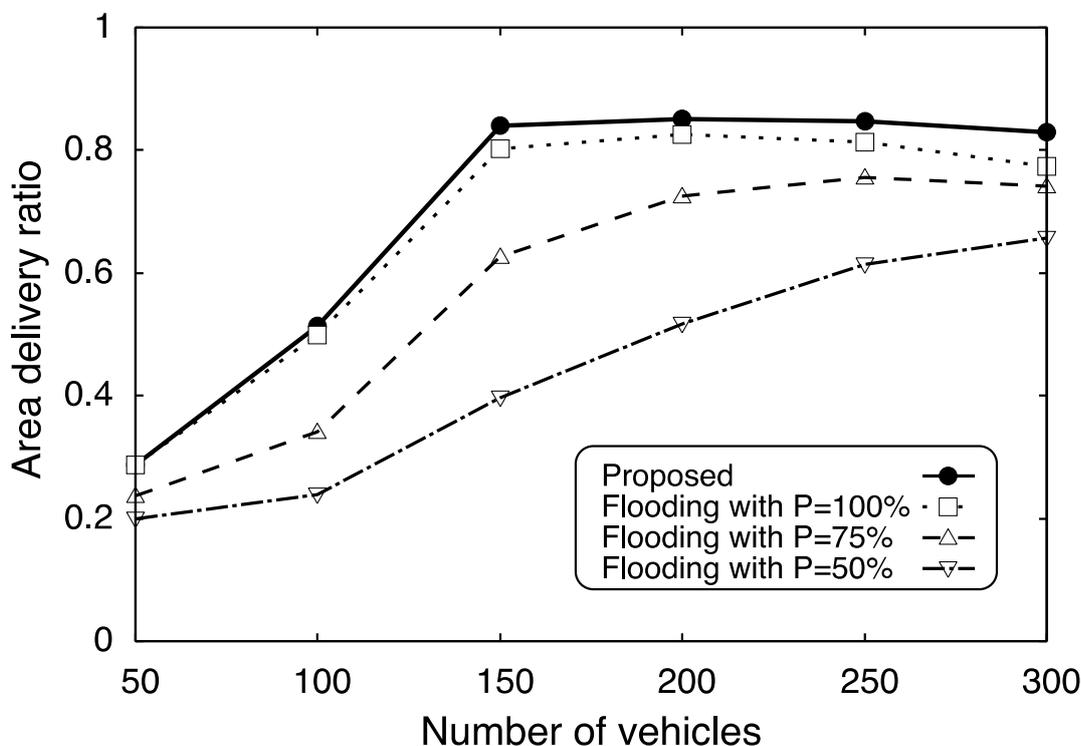


図 6 配送率 (大型車両率 : 0)

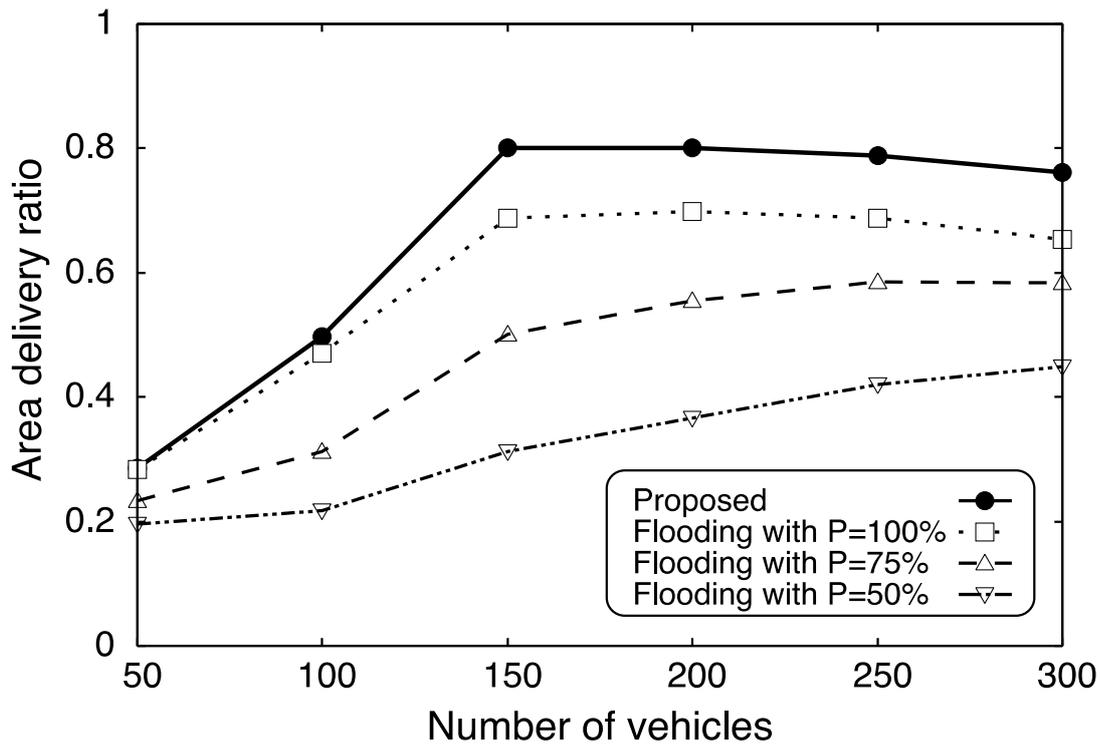


図7 配送率 (大型車両率: 0.2)

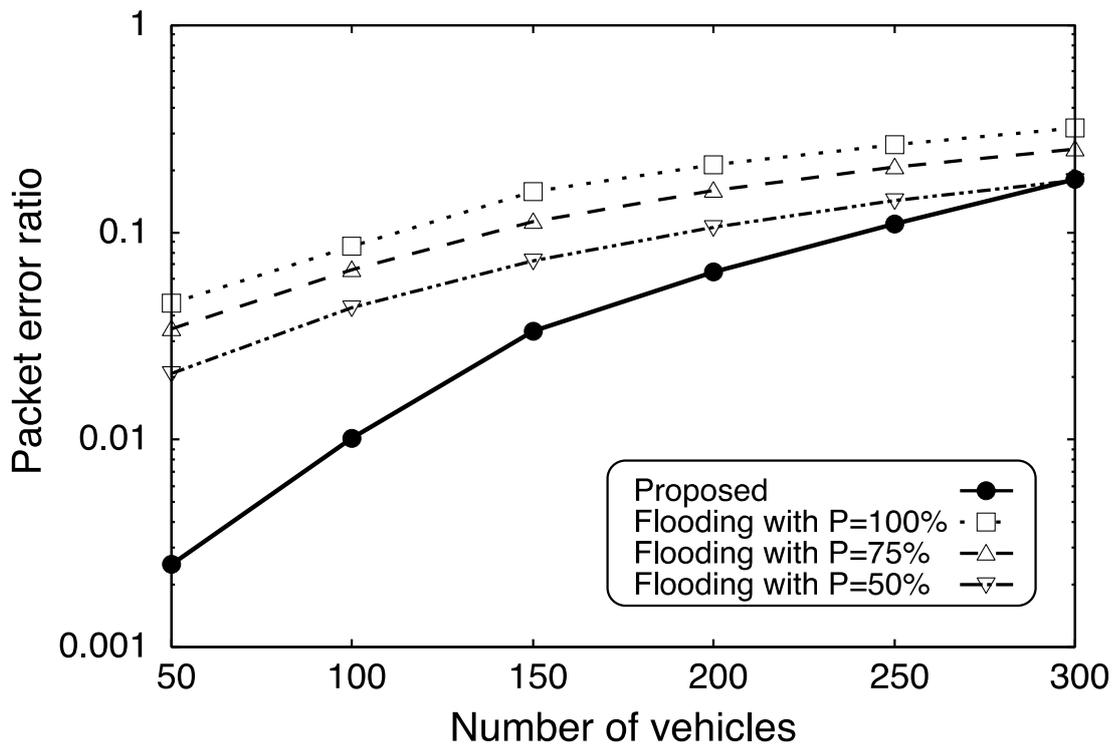


図8 パケット誤り率 (大型車両率: 0)

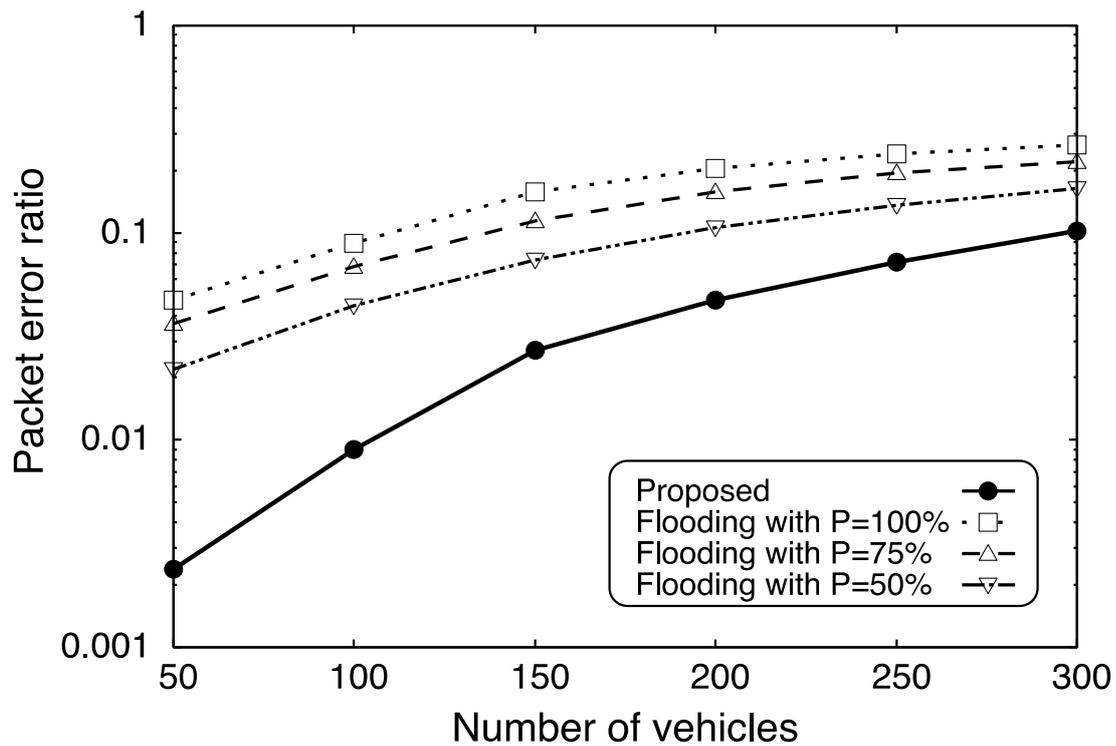


図9 パケット誤り率 (大型車両率: 0.2)

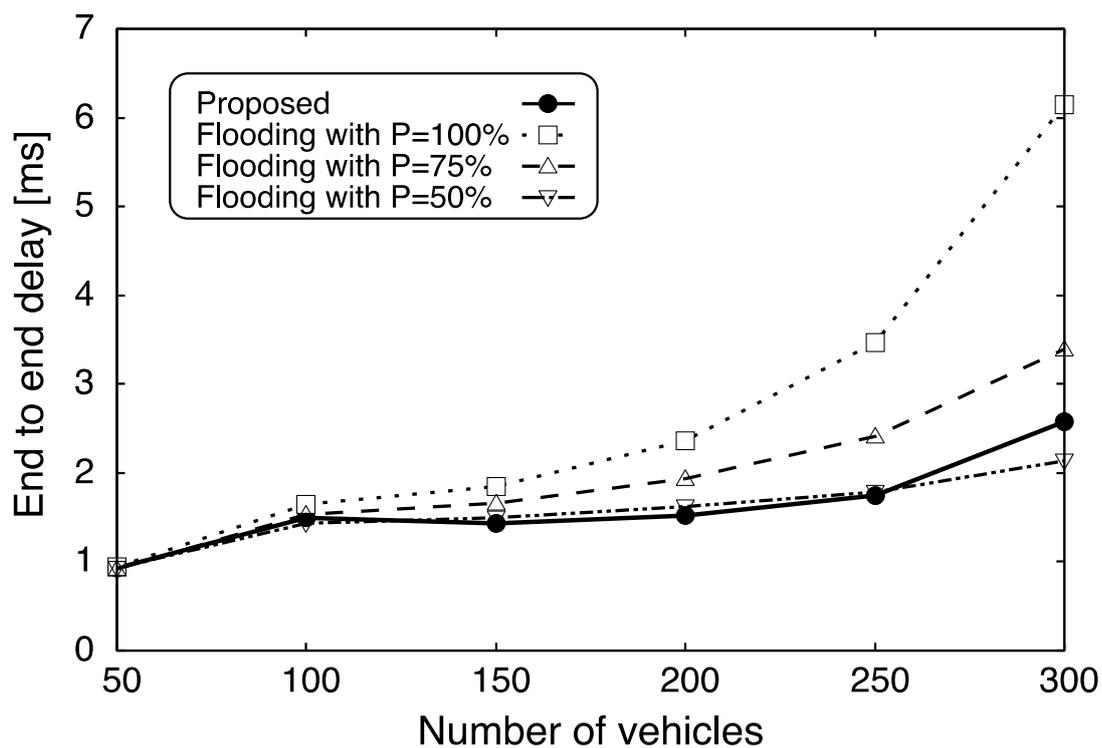


図10 配送遅延 (大型車両率: 0)

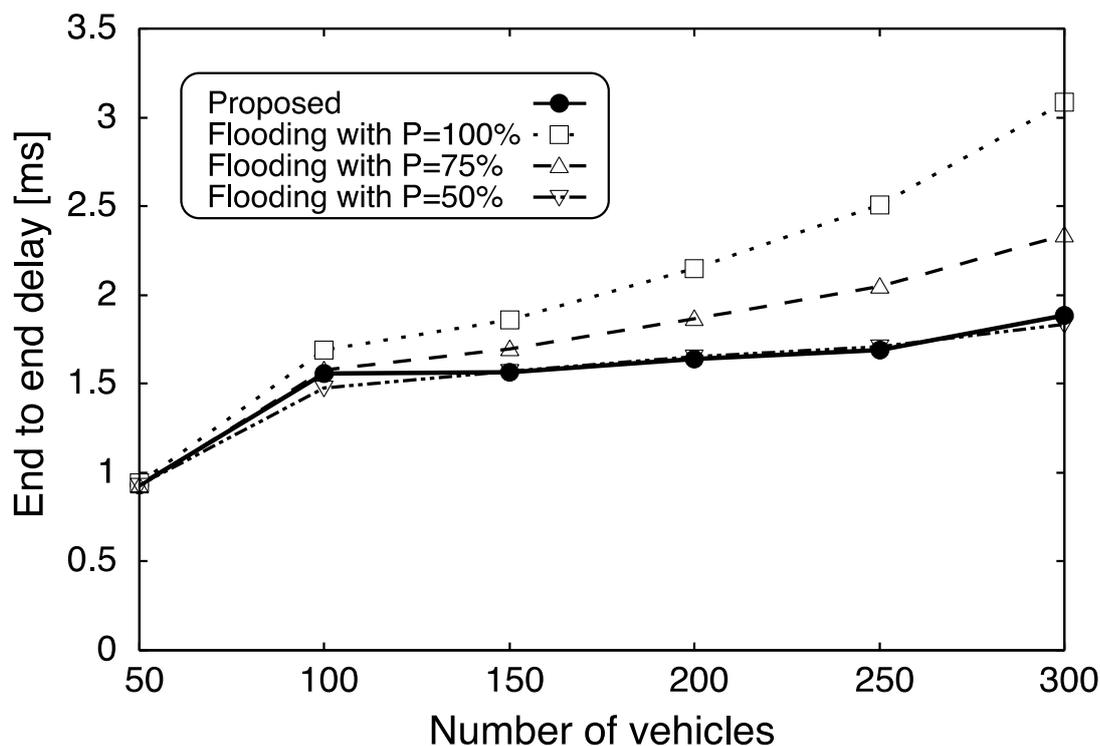


図 11 配送遅延 (大型車両率 : 0.2)

4. まとめ

本研究では OFDM 方式では複数の OFDM シンボルの到来時間差が GI 長内である場合、高精度の受信が可能である点に着目したものであり、本特性を車車間通信ネットワークで実現するための自律分散アクセス制御手法の提案を行った。提案方式の通信では、複数の近隣車両が同一 OFDM シンボルを同時に送信することにより、複数車両を経由する経路ダイバシチ効果を得ることが可能となる。さらに、提案方式では、同時に送信を行っていることから、無線資源を過剰に消費することも防ぐことができ、低遅延かつ高信頼の通信を実現可能である。結果より、提案方式を用いることにより、配送遅延の削減だけではなく、配送率の改善も実現可能であり、提案方式は車車間通信ネットワークの基礎的な研究になると考える。

- [1] V. Naumov, R. Baumann, T. Gross, "An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces," ACM MobiHoc '06, pp. 108–119, May 2006.
- [2] J. Mittag, F. Thomas, J. Harri, and H. Hartenstein, "A comparison of single- and multi-hop beaconing in VANETs," ACM VANET '09, pp. 69–78, Sep. 2009.
- [3] S. Y. Wang, "On the effectiveness of distributing information among vehicles using inter-vehicle communication," IEEE Intelligent Transportation Systems 2003, Vol. 2, No. 12–15, pp. 1521–1526, Oct. 2003.
- [4] F. Gil-Castineira, F.J. Gonzalez-Castano, and L. Franck, "Extending Vehicular CAN Fieldbuses With Delay-Tolerant Networks," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 9, pp. 3307–3314, Sep. 2008.

- [5] Y. Toor, P. Muhlethaler, A. Laouiti, and A. de La Fortelle, "Vehicle Ad Hoc networks: applications and related technical issues," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Quarter 2008, Vol. 10, No 3, pp. 74–88, 2008.
- [6] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF Request for Comments 3561, Jul. 2003.
- [7] D. Johnson, Y. Hu, and D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," IETF Request for Comments 4728, Feb. 2007.
- [8] F. Li and Y. Wang, "Routing in vehicular ad hoc networks: A survey," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, Vol. 2, No. 2, pp. 12–22, Jun. 2007.
- [9] R.A. Santos, A. Edwards, R.M. Edwards, and N.L. Seed, "Performance evaluation of routing protocols in vehicular ad-hoc networks," *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, Vol. 1, No. 1–2, pp. 80–91, 2005.
- [10] 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," *ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing (MOBIHOC 2001)*, pp. 259–262, Oct. 2001.
- [11] Z. Mo, H. Zhu, K. Makki, and N. Pissinou, "MURU: A Multi-Hop Routing Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Networks," *International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networks and Services (MOBIQUITOUS 2006)*, Jul. 2006.
- [12] F. Granelli, G. Boato, and D. Kliazovich, "MORA: a Movement-Based Routing Algorithm for Vehicle Ad Hoc Networks," *IEEE Workshop on Automotive Networking and Applications (AutoNet 2006)*, Dec. 2006.
- [13] V. Naumov and T.R. Gross, "Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad-hoc Networks," *IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2007)*, pp. 1919–1927, May 2007.
- [14] Q. Yang, A. Lim, S. Li, J. Fang and P. Agrawal, "ACAR: Adaptive Connectivity Aware Routing for Vehicular Ad Hoc Networks in City Scenarios," *MOBILE NETWORKS AND APPLICATIONS*, Vol. 15, No. 1, pp. 36–60, Feb. 2010.
- [15] T.D.C. Little and A. Agarwal, "An information propagation scheme for VANETs," *IEEE Intelligent Transportation Systems (ITSC 2005)*, pp. 155–160, Sep. 2005.
- [16] Y. Mylonas, M. Lestas, A. Pitsillides, "Speed adaptive probabilistic flooding in cooperative emergency warning," *ACM WICON '08*, No. 81, Nov. 2008.
- [17] Y. Chen, Y. Lin, S. Lee, "A Mobicast Routing Protocol in Vehicular Ad-Hoc Networks," *IEEE Globecom 2009*, pp. 1–6, Nov. 2009.
- [18] Y. C. Tseng, S. Y. Ni, Y. S. Chen, and J.-P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," *Wireless Networks*, Vol. 8, pp. 153–167, 2002.
- [19] W. Lou and J. Wu, "On reducing broadcast redundancy in ad hoc wireless networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 1, No. 2, pp. 111–122, 2002.
- [20] Y.-C. Tseng, S.-Y. Ni, E.-Y. Shih, "Adaptive approaches to relieving broadcast storms in a wireless multihop mobile ad hoc network," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 52, No. 5, pp. 545–557, May 2003.
- [21] E. Fasolo, A. Zanella, and M. Zorzi, "An Effective Broadcast Scheme for Alert Message Propagation in Vehicular Ad hoc Networks," *IEEE International Conference on Communications (ICC '06)*, pp. 3960–3965, Jun. 2006.
- [22] S. Eichler, "Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard," *IEEE VTC 2007-Fall*, pp. 2199–2203, Sep. 2007.
- [23] K. Bilstrup, E. Uhlemann, E. G. Strom, and U. Bilstrup, "Evaluation of the IEEE 802.11p MAC Method for Vehicle-to-Vehicle Communication," *IEEE VTC 2008-Fall*, pp. 1–5, Sep. 2008.
- [24] D. Lee and K. Cheun, "A new symbol timing recovery algorithm for OFDM systems," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 43No. 3, pp. 767–775, Aug. 1997.
- [25] L. Thibault and M. T. Le, "Performance evaluation of COFDM for digital audio broadcasting. I. Parametric study," *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 43, No. 1, pp. 64–75, Mar. 1997.
- [26] QualNet, URL:<http://www.scalable-networks.com>

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Proposal of traffic aware routing based on neighborhood communication for ad-hoc networks	The 8th International Conference on Cybernetics and Information Technologies, Systems and Applications: CITSA 2011	2011/7
Multicast routing protocol for ad-hoc networks with route aggregation and transmission power control	The 8th International Conference on Cybernetics and Information Technologies, Systems and Applications: CITSA 2011	2011/7
Cooperative Vehicle Information Delivery Scheme for ITS Networks with OFDM Modulation Techniques	The Tenth International Conference on Networks: ICN 2011	2011/1
直交周波数分割多重方式 (OFDM) を用いた無線マルチホップ協調通信装置及び通信方式	特願 2011-005987	2011/1