

平成21年 3月31日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18206043
 研究課題名（和文） 車々間マルチホップアドホックネットワーク基盤技術の研究開発
 研究課題名（英文） Research and Development on Inter-Vehicular Multihop Ad Hoc Networks
 研究代表者
 間瀬 憲一（MASE KENICHI）
 新潟大学・自然科学系・教授
 研究者番号：90313501

研究成果の概要：

本研究ではアドホックネットワークの有望な利用分野として車々間通信を取り上げ、空間・周波数を高度利用する車々間マルチホップアドホック通信の理論と基盤技術を確立する。具体的には、位置情報を利用したルーティングプロトコル、IPアドレス自動割当プロトコル、複数インタフェースにおけるチャンネル割当プロトコル、ネットワークトポロジを考慮した高信頼性MACプロトコル、複数経路を利用した時空間符号化を研究開発した。これにより、従来技術では不可能な車々間通信の高性能化を達成した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	26,200,000	7,860,000	34,060,000
2007年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2008年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
年度			
年度			
総計	35,800,000	10,740,000	46,540,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、通信・ネットワーク工学

キーワード：アドホックネットワーク、車々間通信方式、位置情報利用型ルーティング、IPアドレス自動割当プロトコル、高信頼性MACプロトコル、シミュレーション技術、誤り訂正技術、テストベッド構築

1. 研究開始当初の背景

近年、コンピュータが超小型化し、通信機能をもち、部品としてあらゆる設備、システムに組み込まれ、利用されるユビキタスネットワークなどの構想が提唱されている。これにより、生活の利便性、安全性が向上すると共に、エネルギーの最適利用、環境保護、地球温暖化防止など人類の生存に関わる問題の解決にも役立つことが期待されている。こ

のとき、周辺の多数のコンピュータを自由自在に効率的にネットワーク化するため抜本的な技術革新が必要になる。従来、近接空間の無線ネットワークング技術として無線LAN、PANなどの技術があるが、有線のバックボーンや集中管理サーバが必要、端末（以下、ノード）の数は比較的少数・低速などの制約がある。一方、上記のユビキタス環境では極めて多数のコンピュータやセンサーノードを

つなぐ必要がある、つなぐ手間が発生しない完全無線のネットワークが必要になる。また、全体を集中管理する仕組みに依存しない自律分散制御が基本になる。このような条件のもとで多数のノードをネットワーク化する有力な技術がアドホックネットワークであり、ユビキタスコミュニケーション環境実現に不可欠の技術であると言える。

アドホックネットワーク研究の歴史は古く軍事技術として利用されてきたが、近年、コンピュータや通信デバイスの小型・軽量化、低コスト化により独自技術による商用サービスや上述のユビキタス環境での利用を目的とする研究開発が活発化している。IEEE802.11、IETFにおける関連技術の標準化も進展している。しかし、現状利用できる製品やオープンソースを利用したアドホックネットワークでは性能・機能面での限界があり、ユビキタス環境や車々間通信など多様な環境で利用できるレベルには達していない。

2. 研究の目的

本研究ではアドホックネットワークの有望な利用分野として車々間通信を取り上げる。アプリケーションの具体例として、車々間通信によるアラーム伝達、道路交通情報伝達を想定する。車々間通信は従来検討が進んでいる路車間通信と並んで、ITS（高度道路交通システム）において重要な通信形態であり、今後の発展が期待できる分野である。また、開発する基盤技術は他のアドホックネットワーク利用分野への適応性をもつ汎用的な技術である。

学術的研究成果として、空間・周波数を高度利用する車々間マルチホップアドホック通信の理論と基盤技術を確立する。具体的には、(1) 位置情報を利用したルーティングプロトコル、(2) IPアドレス自動割当プロトコル、(3) 複数インタフェースにおけるチャンネル割当プロトコル、(4) ネットワークトポロジを考慮した高信頼性MACプロトコル、(5) 複数経路を利用した時空間符号化を研究開発する。また、車々間マルチホップアドホック通信専用のノードを試作する。これに開発した基盤技術を組みこむことにより、従来技術では不可能な車々間通信の高性能化を達成する。

3. 研究の方法

(1) 位置情報を利用したルーティングプロトコル

現在、標準化の対象となっているトポロジベースのルーティングプロトコルでは数10kmの渋滞発生のような超過密状態に適用することは困難である。一方、自動車にはGPSを用いるカーナビゲーションシステムが標準装備化される動向にある。そこで、位

置情報を利用することにより、制御オーバーヘッドが少なく高密度・高速耐力のある位置情報利用型ルーティングプロトコルを開発する。

(2) IPアドレス自動割当プロトコル

ノードが他のノードと重複しないIPアドレスを自律分散的に獲得し、利用する方法を開発する。車々間通信環境ではDHCPなどの集中管理サーバに依存できないため、自律分散型の方式が必要である。また、車の移動により、車々間に形成されるアドホックネットワークの分割、合併が頻繁に生ずる中で、重複アドレスの発生を抑え、重複アドレスが生じた場合にはそれを迅速に検出し修正する方法を考案し、車々間通信の現実的なモデルによりシミュレーション評価を行う。この検討に基づき、有望な手法を確立する。

(3) 複数インタフェースにおけるチャンネル割当プロトコル

各ノードに複数の無線インタフェースを持たせ、それぞれのインタフェースには異なるチャンネルを与える。これによりアドホックネットワーク通信性能の向上が可能である。このとき、ふたつのノードが通信範囲にあっても、共通チャンネルがなければ通信はできない。そこで各ノードにチャンネル数と同数のインタフェース数を備え、各インタフェースに各チャンネルを割り当て、ノード間にインタフェース数と同数の共通チャンネルを構成するシステムを提案する。

(4) ネットワークトポロジを考慮した高信頼性MACプロトコル

車々間通信ではノードが道路に沿って配置されるため、ネットワークのトポロジは一般のアドホックネットワークとは異なり複数の線を基本とした特殊な形状となる。車々間通信で要求される数100ミリ秒といった短い遅延時間を達成するため、この線という形状を利用した高信頼性MACプロトコルを考案する。

(5) 複数経路を利用した時空間符号化

無線環境ではフェージングなどの影響により、通信路の品質が時々刻々と変化する。この時間的な変動は移動速度に大きく依存し、特に車々間通信のように高速に移動するノード間の通信はその影響は大きい。そこでアドホックネットワークでは送信元ノードから宛先ノードへ複数の経路を構築することが可能である点に着目し、複数経路による誤り訂正符号化方式を導入することで、通信品質の改善を図る。

(6) ノード試作

上記の課題を理論およびコンピュータシミュレーションを用いて検討すると共に、ノードを試作することで、技術の実現可能性を検証することが不可欠である。このため、アドホック通信用高機能通信ノードを新たに

開発する。

4. 研究成果

(1) 位置情報を利用したルーティングプロトコル

位置情報利用型ルーティングプロトコルはパケットを転送する際のアプローチから大きく二つに分類することができる。一つはユニキャストを用いるもので次ホップ中継方式と呼び、もう一つはブロードキャストを用いるもので指向型フラッディング方式と呼ぶ。両方式について理論解析を行い、次ホップ中継方式は密度が低い場合は指向型フラッディング方式よりも高い配信率を示すが、密度が増加するとともに二方式の差は縮まり、ある密度以上になると指向型フラッディング方式が高い値をとることを示した。

次ホップ中継方式はハローパケットで隣接情報を作成するが、この送信間隔が適切でないと隣接情報の正確さが失われ、それに伴って次ホップの選択に影響がでるため性能にも大きく影響してくることが予想される。また、渋滞時などの超高密度状態時にハローパケットが帯域を圧迫することも懸念される。そこで、ノード密度を通常走行時と渋滞時に分け送信間隔による影響を調べた。シミュレーションの結果、通常走行時では大きな性能劣化が起こらない送信間隔は1秒程度であることが分かった。また、渋滞時では送信間隔を長くすることにより、ノード数が2000台を超えるような超高密度状態でもスループットの改善がみられた。

次ホップ中継方式では、単に終点ノードに近いノードを次ホップノードとして選択すると、送信距離が長くなり、伝送品質が劣化する。また、ある距離以内のノードから選択することも考えられるが、無線リンクにおける伝送品質は単純に距離によって決まるものではない。そこで、リンクメトリックETTの概念を取り入れた次ホップ選択手法(EPD)を提案した。シミュレーションの結果を図1に示す。距離だけで次ホップを決定していた場合に比べてスループットを大きく改善することができた。

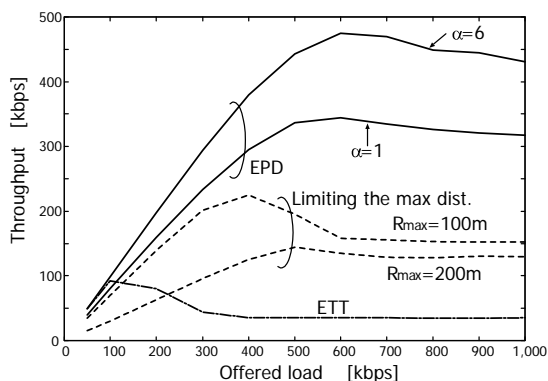


図1 次ホップ中継方式のスループット

この他にも、位置情報利用型ルーティングプロトコルで問題となるネットワークの連結性について解析し、臨海密度の存在を確認した。

(2) IPアドレス自動割当プロトコル

自ノードが使用中のアドレスと他ノードで使用されているアドレスの間の重複を検出するインサービス DAD の一種である Passive DAD 方式、Weak DAD 方式に注目し、方式の改良を行った。Passive DAD 方式は、ルーティングプロトコルで定期的にやり取りされる制御メッセージを用いて、受動的に重複アドレス検出を行う方式である。これは、受動的に重複アドレス検出を行うため、他の方式に比べてオーバーヘッドが少ないという利点がある。しかし、重複アドレスによりルーティングプロトコルが誤動作を起こした場合に検出精度が下がる可能性がある。そこで、ルーティングプロトコルが誤動作を起こした場合を考慮した SPDAD 方式を提案した。

提案方式をルーティングプロトコル OLSRv2 (Optimized Link State Protocol version 2) に実装し、性能評価を行った。シミュレーションの結果、問題となっていたトポロジにおいて正常に重複アドレスが検出されることを示した。

一方の Weak DAD 方式は、個々のネットワークインタフェースに対して32から64bit程度のランダム値(鍵と呼ぶ)を生成し、その鍵を利用して重複アドレス検出を行う方式である。アドレス重複が起きた場合でも、この鍵を確認する事で重複アドレスの検出を行う事が出来る。しかし、この方式では、制御メッセージ内の全てのアドレスに対して鍵を付加する必要があるため、制御メッセージのサイズの増加が問題となってきた。

そこで、オーバーヘッド削減を目指し、鍵を分割し、制御メッセージのシーケンス番号と関連付けて転送する分割キー方式を提案した。OLSRv2 に対してこの機能を追加して性能評価を行った。シミュレーションの結果、解決時間が多少長くなるものの重複アドレスを検出できていることを示した。また、提案方式において制御メッセージ送信時のオーバーヘッドが削減されていることを示した。

(3) 複数インタフェースにおけるチャンネル割当プロトコル

提案システムでは各ノードがチャンネル数と同数のインタフェースを備えることで、すべて共通チャンネルとして利用できる。さらに、仮想インタフェースを用いて複数インタフェースを仮想的に単一インタフェースで扱っている。これにより、ルーティングは一つのIPアドレスを用いて行い、データリンク層にてチャンネルを動的に選択することが可能となる。

インタフェース選択の際に、送信ノードでチャンネル使用率の高いインタフェースを選択すると他のノードとの競合によりパケットを送信するまでの待ち時間が長くなる。また、隠れ端末問題などで受信ノード側のパケットの受信成功率が低いインタフェースを選択すると、受信スループットの低下が生じる。そのため、これら両者を考慮しつつ、送信するインタフェースを選択する手法を提案した。

図 2に提案手法の最大スループット特性を示す。インタフェース数(チャンネル数)を増やすことで最大スループットが向上していることがわかる。さらに、ランダムに送信チャンネルを選択する手法や、各インタフェースにそれぞれIPアドレスを割り当て、ルーティングにより送信チャンネルを決定するL3選択手法と比べ、提案手法は大幅に特性を向上させることができるのがわかる。

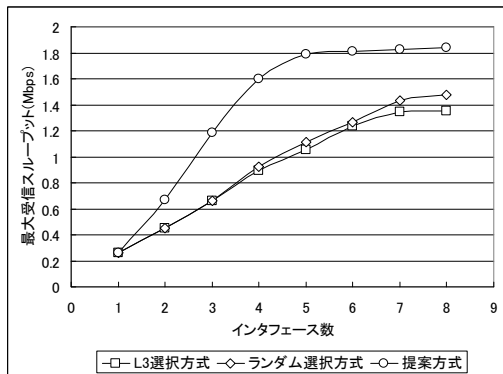


図 2 提案チャンネル割当プロトコルの最大スループット特性

(4) ネットワークトポロジを考慮した高信頼性 MAC プロトコル

提案MACプロトコルは、線状のクラスタを形成し、トークンを利用しクラスタ内での時刻同期を行うことでクラスタ内での効率的なマルチホップ伝送を実現した。さらに、他のクラスタとの影響を考慮し、ある一定時間内では競合が発生しないスロットが存在するようなチャンネル割り当て手法を検討した。

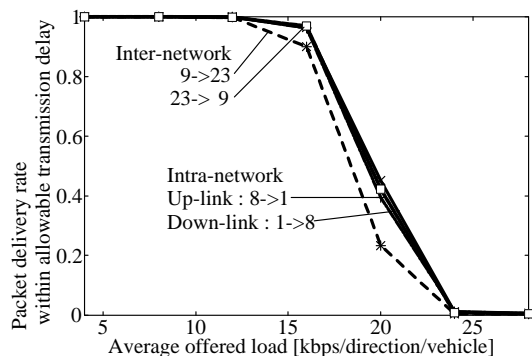


図 3 許容遅延時間以内に伝送されるパケットの配信率

考案したMACプロトコルについて、シミュレーション評価を行なった。図 3に 100 ミリ秒以内に伝送されるパケットの配信率を示す。ある平均負荷まではどのパケットフローにおいても、ほぼ確実に許容遅延時間以内にパケットが伝送されていることが分かる。

(5) 複数経路を利用した時空間符号化

複数経路に対して符号化を行う経路次元符号化手法は送信ノードではターボ符号といった通信路符号化を行い、符号化系列を経路の数に分割して送信する。受信ノードでは各経路の通信品質に応じた重みをつけて復号処理をすることで、経路ダイバーシチの効果を最大限に得る。この手法において、より信頼性を高めるために再送制御およびハイブリッド再送制御を導入した。その結果、エンドエンド間のスループット特性を向上させることができるのを確認した。

(6) ノード試作

チャンネル数と同数のインタフェースを備え、これら複数のインタフェースに対し仮想インタフェースを用いて単一インタフェースとして扱うインタフェース集約方式の試作を行った。この方式は仮想インタフェースを構成するインタフェース集約機能と実インタフェースを選択するためのインタフェース選択機能から構成される。インタフェース集約機能は有線ネットワークで用いられているボンディング機能を、無線インタフェースで使用できるように改良を加えた。このとき、MAC アドレスをどのように割り当てるのが問題となるが、本方式では全ての実インタフェースに同じ MAC アドレスを割り当てることで、動的なインタフェース選択を可能にした。インタフェース選択機能では、パケット送信成功確率を基に仮想インタフェースにおいて送信に用いる実インタフェースを選択する。このとき、データパケットの送受信を行いつつ、パケット送信成功確率を測定することが必要になるが、無線デバイスドライバのモニタリング機能に変更を加えることで、これを実現した。

通信実験を行い、正常に動作することを確認した。また、隠れ端末が存在する環境で実験を行い、L3 選択方式と比べスループットが向上することを示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

1. H. Okada, A. Takano, K. Mase, Analysis and Proposal of Position-Based Routing Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks, IEICE Transactions on Fundamentals, vol. E91-A, no. 7, pp. 1634-1641, 2008, 査読有
2. H. Okada, 他 3 名, Performance Analysis of Source-Destination ARQ Scheme for

- Multiroute Coding in Wireless Multihop Networks, IEICE Transactions on Communications, vol. 90-B, no. 8, 2111-2119, 2007, 査読有
3. H. Okada, 他 4 名, Multi-Route Coding in Wireless Multi-Hop Networks, IEICE Transactions on Communications, vol. E89-B, no. 5, pp. 1620-1626, 2006, 査読有
 4. 間瀬憲一, 車々間通信とアドホックネットワーク, 電子情報通信学会論文誌, vol. J89-B, no. 6, pp. 824-835, 2006, 査読有
 5. 平山泰弘, 岡田啓, 他 2 名, 無線マルチホップネットワークにおける複数経路パケット合成法のための経路選択基準, 電子情報通信学会論文誌, vol. J89-B, no. 10, pp. 2047-2051, 2006, 査読有
 6. 岡田啓, 他 3 名, 無線マルチホップネットワークにおける複数経路符号化のための経路の特性推定, 電子情報通信学会論文誌, vol. J90-B, no. 1, 93-96, 2007, 査読有

[学会発表] (計 35 件)

1. 川崎泰就, 築井雄, 岡田啓, 大和田泰伯, 間瀬憲一, アドホックネットワークにおけるリンクバッファ方式の実装と性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 2008 年 5 月 16 日, 東京
2. 松川忠裕, 高野朗, 岡田啓, 間瀬憲一, 車々間アドホックネットワークを用いた平均走行速度推定方式 —メッセージ量の削減方式の提案—, 電子情報通信学会技術研究報告, 2008 年 5 月 15 日, 東京
3. 渡辺勇太, 原田淳子, 塩田茂雄, 車々間アドホックネットワークの接続性と移動モデルの関係に関する考察, 情報処理学会システム評価研究会, 2008 年 6 月 27 日, 東京
4. 坂田篤則, 山里敬也, 岡田啓, 片山正昭, 安全運転支援のための車々間通信における OFDM と MC-CDMA の特性評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 2008 年 7 月 28 日, 名古屋
5. A. Sakata, T. Yamazato, H. Okada, M. Katayama, CDMA slotted ALOHA System with Successive Interference Cancellation for Inter-Vehicle Communications, IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, 2008 年 8 月 26 日, ボローニャ (イタリア)
6. S. Shioda, J. Harada, Y. Watanabe, T. Goi, H. Okada, K. Mase, Fundamental Characteristics of Connectivity in Vehicular Ad Hoc Networks, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, 2008 年 9 月 17 日, カンヌ (フランス)
7. 岡田啓, 高野朗, 五井智明, 間瀬憲一, 次ホップ中継方式のためのリンクメトリックに関する一検討, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2008 年 9 月 16 日, 川崎
8. 五井智明, 岡田啓, 間瀬憲一, VANET におけるリンクの状態を考慮した動的インタフェース選択手法, 電子情報通信学会技術研究報告, 2008 年 10 月 22 日, 沖繩
9. 岡田啓, 高野朗, 間瀬憲一, 次ホップ中継方式における位置情報とリンク品質を考慮した次ノード選択手法, 電子情報通信学会技術研究報告, 2008 年 12 月 11 日, 東京
10. H. Okada, A. Takano, K. Mase, A Proposal of Link Metric for Next-Hop Forwarding Methods in Vehicular Ad Hoc Networks, IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2009 年 1 月 12 日, ラスベガス (アメリカ)
11. 築井雄, 岡田啓, 間瀬憲一, リンクの状態を考慮したインタフェース集約方式の実装, 電子情報通信学会技術研究報告, 2009 年 3 月 4 日, 横須賀
12. 秋間和樹, 岡田啓, 間瀬憲一, MANET における分割キーを用いた重複アドレス検出方式に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 2009 年 3 月 5 日, 横須賀
13. 秋間和樹, 間瀬憲一, アドホックネットワークにおける重複アドレス検出法に関する検討, 電子情報通信学会技術報告, 2007 年 5 月 9 日, 東京
14. 原田淳子, 塩田茂雄, 斎藤洋, ランダムセンサネットワークによる軌跡の被覆性能, 電子情報通信学会技術報告, 2007 年 5 月 18 日, 東京
15. Sakata, H. Okada, 他 2 名, Throughput Comparison of CSMA and CDMA slotted ALOHA in Inter-Vehicle Communication, The 7th International Conference on ITS Telecommunications, 2007 年 6 月 6 日, ソフィア・アンチポリス (フランス)
16. 坂田篤則, 山里敬也, 岡田啓, 片山正昭, 車々間通信における CSMA と CDMA slotted ALOHA のスループット評価, 電子情報通信学会技術報告, 2007 年 8 月 23 日, 新潟
17. 坂田篤則, 山里敬也, 岡田啓, 片山正昭, 車々間通信における CSMA と CDMA slotted ALOHA の特性評価, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2007 年 9 月 14 日, 鳥取
18. 築井雄, 大和田泰伯, 間瀬憲一, フレーム損失率を考慮したリンク層通知機能の

- 実装と評価、電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会、2007年9月12日、鳥取
19. Takano, H. Okada, K. Mase, Performance Comparison of a Position-Based Routing Protocol for VANET, International Workshop on Mobile Vehicular Networks (MoVeNet 2007), 2007年10月8日、ピサ (イタリア)
 20. M. Masamura, H. Okada, 他3名, A Novel Contention-Free Medium Access Control Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems, International Workshop on Mobile Vehicular Networks (MoVeNet 2007), 2007年10月8日、ピサ (イタリア)
 21. 原田淳子, 塩田茂雄, 車々間アドホックネットワークのコンネクティビティに関する一検討、電子情報通信学会技術報告、2007年10月11日、武蔵野
 22. 秋間和樹, 間瀬憲一, アドレス衝突時のMPR誤選択を考慮した重複アドレス検出法の検討、電子情報通信学会技術研究報告、2008年3月5日、横須賀
 23. 五井智明, 高野朗, 岡田啓, 間瀬憲一, VANETにおける動的インタフェース選択手法の提案、電子情報通信学会 総合大会、2008年3月20日、北九州
 24. 坂田篤則, 山里敬也, 岡田啓, 片山正昭, 車車間通信のための干渉除去法を用いたCDMA slotted ALOHA方式、電子情報通信学会総合大会、2008年3月21日、北九州
 25. H. Okada, 他5名, Throughput Evaluation of ARQ Scheme for Multi-route Coding in Wireless Multi-hop Networks, IEEE Vehicular Technology Conference, 2006年5月9日、メルボルン (オーストラリア)
 26. 正村充, 岡田啓, 他3名, 動的なチャネル割り当てを行ったトークンの周期的伝送による双方向車車間通信方式、第4回アドホックネットワーク・ワークショップ、2006年6月30日、吹田
 27. H. Okada, T. Wada, K. Ohuchi, M. Saito, K. Mase, Source-Destination Hybrid ARQ for Multi-route Coding, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, 2006年9月13日、ヘルシンキ (フィンランド)
 28. 高野朗, 岡田啓, 間瀬憲一, 位置情報利用型ルーティングの基礎評価、電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会、2006年9月22日、金沢
 29. 土田健太, 間瀬憲一, OLSRv2における重複アドレス検出法と実装、電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会、2006年9月21日、金沢

30. 高野朗, 岡田啓, 間瀬憲一, 位置情報利用型ルーティングの性能評価、第5回アドホックネットワークワークショップ、2006年10月24日、東京
31. 松川忠裕, 高野朗, 岡田啓, 間瀬憲一, 車々間アドホックネットワークを用いた平均走行速度推定方式、電子情報通信学会技術研究報告、2007年1月18日、別府
32. 高野朗, 岡田啓, 間瀬憲一, シミュレーションによる位置情報利用型ルーティングの特性評価、電子情報通信学会 総合大会、2007年3月21日、名古屋
33. 築井雄, 大和田泰伯, 岡田啓, 間瀬憲一, リンク層通知の実装と評価、電子情報通信学会 総合大会、2007年3月20日、名古屋
34. 正村充, 岡田啓, 他2名, 非コンテンツ型車車間通信方式MTLPにおける車列ネットワーク間通信の実現手法、電子情報通信学会 総合大会、2007年3月21日、名古屋
35. 秋間和樹, 土田健太, 岡田啓, 間瀬憲一, OLSRv2における重複アドレス検出法とシミュレーションによる評価、電子情報通信学会 総合大会、2007年3月20日、名古屋

[図書] (計 1件)

1. 間瀬憲一, 阪田史郎, アドホック・メッシュネットワーク ユビキタス社会の実現に向けて、コロナ社、196ページ、2007

[産業財産権]

○出願状況 (計 1件)

1. 重複アドレス検出システム、岡田啓, 間瀬憲一, 秋間和樹, 新潟大学、特願2009-038828、国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

間瀬 憲一 (MASE KENICHI)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：90313501

(2) 研究分担者

岡田 啓 (OKADA HIRAKU)
新潟大学・超域研究機構・准教授
研究者番号：50324463
塩田 茂雄 (SHIODA SHIGEO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70334186
大和田 泰伯 (OWADA YASUNORI)
新潟大学・災害復興科学センター・助教
研究者番号：30452080