

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：17104
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23700086
 研究課題名（和文） DSA+V2Vのためのネットワーク/クロスレイヤ協調型トランスポートプロトコル
 研究課題名（英文） Network/Cross-layer Collaboration-based Transport Protocol for DSA+V2V Communication
 研究代表者
 塚本 和也（TSUKAMOTO KAZUYA）
 九州工業大学 大学院情報工学研究院 助教
 研究者番号：20452823

研究成果の概要（和文）：

各周波数のライセンスユーザ（PU）が時間的・空間的に未使用の周波数を通信に利用するコグニティブ無線(CogMANET)では、PUを検知した際に通信チャンネルを切り替える必要があり、チャンネルの帯域幅及び到達距離が変化する事が予想される。この場合、周波数資源の有効利用を実現するために TCP が切替に伴い輻輳ウィンドウサイズ(cwnd)を適切に更新する必要がある。そこで、本研究ではボトルネックノードの位置を考慮した cwnd の更新を行う新たな輻輳制御手法を提案し、シミュレーション評価を通じて、有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

In cognitive radio mobile ad hoc networks (CogMANET), channel switching is inherently necessary whenever a primary user with a license appears on the channel. In such cases, the communication characteristics also change in terms of bottleneck bandwidth and RTT. In response to this change, TCP has to adaptively update its congestion window size (cwnd) to make an efficient use of the available wireless resources. Hence, we propose the new TCP, TCP CoBA, which updates the cwnd based upon the available buffer space in the relay node as well as the bandwidth-delay product (BDP). Through simulations, we showed the effectiveness of TCP CoBA.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ダイナミックスペクトルアクセス(DSA)、トランスポートプロトコル、クロスレイヤ、ネットワーク協調型

1. 研究開始当初の背景

インターネットは当初、有線 LAN の相互接続によって形成されたが、その後のセルラー、無線 LAN 等の多種多様な無線アクセス技術の普及により、無線アクセス網上のトラフィックが質的・量的に急増してきた。各国はこの急激なトラフィック増大に対応するために、各無

線技術に対して個別周波数を割り当ててきたが、その結果、新規に割当可能な周波数の枯渇が問題となっている。一方で、米国の FCC(Federal Communications Commission)における調査の結果から、既割当周波数の利用率が 15%～85%と大きく異なる上、時間的・空

間的に変化することが分かった。この結果から、新規の割当周波数は枯渇しているが、既割当周波数は有効利用できていない現状が見える。

そこで今後は周波数資源を有効利用するために、各割当周波数に接続する既存ユーザ(プライマリユーザ：PU)に悪影響を与えない範囲で、接続権を持たないセカンダリユーザ(SU)が時間的・空間的に利用可能な周波数を適切に選択する「ダイナミックスペクトルアクセス(DSA)」技術の研究開発が必要不可欠となると予想される。米国では既に地上波デジタル放送の開始に伴い、TV周波数帯内の未使用の周波数、いわゆる TV ホワイトスペースへの DSA 技術の導入について検討、実証実験を行い、FCCが 2010年9月23日に TV ホワイトスペースへの DSA 技術の導入を認めている[1]。一方、日本においても総務省が「新たな電波の活用ビジョンに関する検討チーム」[2]で検討を開始し、2010年7月よりホワイトスペース特区での実証実験を開始している。今後は無線周波数資源全体の利用率向上を実現する手段として DSA 技術が広範囲に導入されると予想される。

[1] Vacant TV Airwaves for "Super WI-FI" Technologies. (Dkt No. 04-186 02-380). (FCC No. 10-174). OET

[2] 「新たな電波の活用ビジョンに関する検討チーム」
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/denpa_katsuyou/index.html

従来の DSA 技術に関する研究は、PU センシング(物理レイヤ)や、PU/SU 間の競合回避(MAC レイヤ)などの下位レイヤを対象に、ノード単位の局所的な視点で行われている。しかし、DSA 機能を持つ複数ノードによって形成される DSA ネットワーク[3](図1参照)において考慮する必要がある、経路制御やトランスポートプロトコル等の上位レイヤに

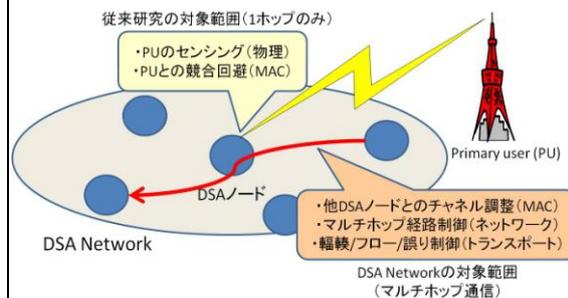


図1: DSAネットワークにおける研究対象範囲

関しては、ほとんど研究が行われていない。

[3] I. F. Akyildiz, et. al., "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," Computer Networks, vol. 50, no. 13, pp. 2127-2159, 2006.

一方、交通渋滞の解消と共に、安全で快適な移動体システムを実現するための技術として近年、車両ネットワーク(VANET)、特に インフラ敷設の必要が無く、低コストで広エリアに対し柔軟にネットワークを構築可能なマルチホップ V2V 通信が着目されている。今後は実時間/非実時間通信の多種多様なアプリケーションがマルチホップ V2V 通信によって提供されると予想される。しかし既存の割当周波数では、この多様なアプリケーション要求を同時、かつ確実に満足できないため、DSA 技術の導入が必要不可欠になる。この場合、高い移動性と DSA 機能を持つノードが相互接続することで DSA ネットワークを構築し、マルチホップ V2V 通信を提供する必要がある。

この車両によって構築される DSA ネットワークでは、NW を構成する 各ノード(車両)が「自身の移動」もしくは「周波数利用状況の変化」に応じて動的に周波数を切り替えるため、データリンクレイヤでは「レート/パケットエラー率」が、ネットワークレイヤでは「トポロジ/経路」が頻繁に変化する。TCP 等の既存トランスポートプロトコルでは、「エンドノードのトランスポートレイヤのみ」で NW 内部の状態を推定し送信量を決定するため、上記の変化に対応出来ずに、タイムアウトやパケットロスが頻発し、良好な通信品質を提供できない。そこで本研究では、NW 内部で発生する変化を迅速かつ効率的に検知するため、(a)エンドノードと NW 内部ノード間の連携に加え、(b)各ノードが上位レイヤと下位レイヤ間で連携(クロスレイヤ制御)す

る、ネットワーク/クロスレイヤ協調型トランスポートプロトコル(図2参照)を新たに提案する。

2. 研究の目的

本研究では、マルチホップ車車間(V2V)通信をダイナミックスペクトルアクセス(DSA)ネットワーク(図1参照)上で提供する環境に着目する。この環境では各ノード(車両)が利用する周波数を時間的・空間的に切り替えるため、ネットワーク(NW)を構成する各ノードが利用可能なデータレート、及び経験するパケットエラー率が頻繁に変化し、結果的にNWトポロジ自体も変化する。本研究では、これらの変化を把握し適切に対応するために、エンドノードとNW内部ノード間の柔軟な連携と上位/下位レイヤ間連携(クロスレイヤ制御)の双方を実現する新規トランスポートプロトコルを提案する。これにより、(1)周波数の有効利用と(2)多種多様なQoS要求の満足を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、まず既存の手法として、TCP CRAHNに着目し、様々なコグニティブ無線環境において評価を行った。その評価を通じて明らかにした問題点を解決するための新しいトランスポートプロトコルであるTCP CoBAを提案した。

具体的には、TCP CoBAはch切替中のバッファあふれと再送タイムアウトを回避するために、TCP CRAHNと同様、切替中にTCPセグメントの送信とRTOタイマを停止させる。また、他のTCPとの親和性を保つために、基本的な制御はNewRenoと同様の制御を採用する。

・中継ノードがフィードバックする情報

TCP CoBAの中継ノードがTCP送信ノードに対してフィードバックする情報は基本的にTCP CRAHNと同じであるが、コネクション確立時とch切替後にフィードバックする情報が異なる。ここで、TCP CRAHNと比較するためにも、表1にTCP CoBA, CRAHNの両TCPの中継ノードiがTCP送信ノードにフィードバックする情報を示す。

表1より、TCP CoBAでは、各ノードがGPSを用いてセンシングスケジュールを同期していることを前提とするため、TCP送信ノードが全ノードのセンシングスケジュールを把握する必要はない。また、TCP CoBAでは、cwnd更新の際にボトルネックノードのバッファ残量を考慮するために、切替ノードiが切替完了通知に自身のバッファ残量をフロー数で割った値 BF_i を新たに付加する。

表1 中継ノードがTCP送信ノードにフィードバックする情報

タイミング	CRAHN	CoBA
3 ウェイハンドシェイク	センシングタイミング	なし
	センシング期間の長さ	
データパケットの転送	ホップiの帯域幅 BW_i	
	ホップiの遅延 $L_{i,i+1}^T$	
切替開始	切替開始時刻	
切替完了	切替完了時刻	
	切替後のホップiの帯域幅 BW_i'	
	切替後のホップiの遅延 $L_{i,i+1}^T$	
		BF_i

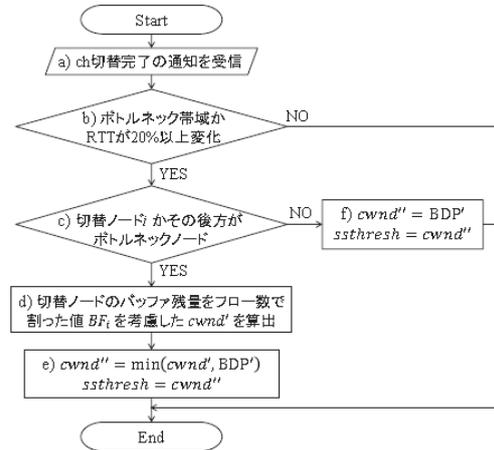


図2 切替後の cwnd 更新の手順 (TCP CoBA)

・ch 切替後の cwnd の更新

本章では、図1に示すノードiでch切替が生じた際に、TCP CoBAがcwndを更新する手順について説明する。図2に切替後のcwnd更新のフローチャートを示す。

a) 切替終了通知を受信したTCP送信ノードは、切替後のボトルネック帯域幅 W_b と RTT_{new} を算出する。TCP CRAHNでは、 RTT_{new} を式(1)で算出するためキュー遅延を含むが、TCP CoBAでは、切替後のcwndの増加によってキュー長が伸びないようにキュー遅延を含まない式(3)で算出する。

$$RTT_{new}[s] = L^T_{\{1,2\}} + \dots + L^T_{\{i-1,i\}} + L^T_{\{i,i+1\}} + \dots$$

b) TCP送信ノードは切替に伴うボトルネック帯域幅の変化に加えて、RTTの変化でもcwndの更新を行う。

c) 4.2節で述べた通り、ボトルネックノード N_b が切替ノードかその後方にある場合、ボトルネックノードのバッファ残量を考慮する必要がある。そこで、TCP送信ノードはボトルネックノード N_b の位置を基にcwnd更新の制御を行う。

d) ch切替に伴ってTCP送信ノードがcwndからcwnd'に増加させたと仮定すると、その増加分 $R[\text{packets}] (R = cwnd' - cwnd)$ が新たに連続して送信される。一方、ボトルネックノード N_b でのパケット到着間隔を t_a 、パケット送信間隔を t_t とすると、それぞれ $t_a = PS/(BW^*)$ 、 $t_t = PS/W_b$ で求めること

ができる。ここで、ボトルネックノード Nb にパケットが連続して届くと仮定すると、ノード Nb が 1 パケット受信する度に、 $1-t_a/t_t$ ずつバッファリングされる。そのため、TCP 送信ノードが cwnd 更新後に R パケットを連続して送信した後、最後の R 番目のパケットがボトルネックノード Nb に到着した時点のノード Nb のバッファ長 BLNb は以下になる。

$$R[\text{packets}] = (\text{cwnd}' [\text{packets}] - \text{cwnd}[\text{packets}])$$

$$\text{BLNb}[\text{packets}] = R(1 - W_b' / BW^*)$$

▪ $\text{BLNb} = (\text{cwnd}' - \text{cwnd})(BW^* - W_b') / BW^*$
ノード Nb でのバッファあふれを回避するためには、この BLNb がノード Nb のバッファ残量 BFNb を超えないように $\text{BFNb} \geq \text{BLNb}$ を満たす必要がある。

ここで、切替完了通知に付加された切替ノード i のバッファ残量 BFi について考えると、切替ノードがパケット転送を再開する前のバッファ残量となり、切替中に蓄積していた大量のパケットがバッファ内に存在するため非常に小さい値となる。一方で、BFNb は、切替が終了し、TCP 送信ノードが TCP セグメントの送信を再開する時点でのボトルネックノード Nb のバッファ残量を示している。そのため、ノード Nb が切替ノード i である場合には、BFNb は切替ノードがパケット転送を再開した後のバッファ残量となるため、 $\text{BFNb} \geq \text{BFi}$ の関係性が成り立つ。一方で、ノード Nb が切替ノード i の後方である場合にも、 $\text{BFNb} \geq \text{BFi}$ の関係性が成り立つ。本研究では、安全側に制御するために、 $\text{BFNb} = \text{BFi}$ であると仮定して、

$$\text{BFi}[\text{packets}] \geq \text{BLNb} = (\text{cwnd}' - \text{cwnd})(BW^* - W_b') / BW^*$$

これより、切替ノード i のバッファ残量を考慮した cwnd は次式で算出できる。

$$\text{Cwnd}' [\text{packets}] = \text{BFi} BW^* / (BW^* - W_b') + \text{cwnd}$$

マルチフロー環境を想定すると、各ノードのバッファを複数フローで共有するため、式中の BFi は切替ノードのバッファ残量をフロー数で割った値を用いる必要がある。

e) 上式で求めた cwnd はボトルネックノード Nb のバッファあふれを回避するための送信量であり、cwnd の適切値である帯域幅遅延積を考慮していない。そこで、TCP 送信ノードは cwnd と切替後の帯域幅遅延積 BDP の小さい方で最終的な cwnd を決定する。これに対し、TCP CRAHN は、スロースタート閾値 ssthresh を更新しないため、切替後にスロースタートモードに移行してバッファあふれが生じる可能性がある。そこで、TCP CoBA では次式に従って ssthresh も更新する。

$$\text{BDP} [\text{packets}] = (W_b[\text{b/s}] \cdot \text{RTT}_{\text{new}}[\text{s}]) / \text{PS}[\text{b/packet}]$$

$$\text{Cwnd} [\text{packets}] = \min(\text{BDP}, \text{cwnd})$$

$$ssthresh[\text{packets}] = \text{cwnd}$$

f) ボトルネックノードが、切替ノード i より前方 (TCP 送信ノード側) にある場合、ボトルネックノード Nb は ch 切替中に自身のバッファから全てのパケットを転送している可能性が高い。そのため、TCP 送信ノードは切替後の帯域幅遅延積 BDP を用いて cwnd、ssthresh を更新する。

4. 研究成果

本研究では、CogMANET を対象として、チャネル切替に伴う通信特性の変化を把握するために中継ノードが TCP 送信ノードに対してフィードバック制御を行う TCP CRAHN に着目し、その問題点を明らかにした。その後、この問題点を解決するために TCP CoBA を提案した。TCP CoBA はボトルネックノードの位置を考慮して、ボトルネックノードのバッファ残量と帯域幅遅延積を基に cwnd の更新を行う。提案手法の有効性を評価するために、本稿では、まずシングルフローでボトルネックノードが変化する環境で評価を行い、TCP CoBA が切替後のバッファあふれを回避することで、CRAHN と比較して最大で 200% の性能改善を実現できることを示した。更に、マルチフロー環境でも評価を行い、TCP CoBA がフロー数を考慮してボトルネック帯域幅、及びボトルネックノードのバッファ残量を調整し、それに基づいて cwnd 値を決定することで、CRAHN と比較して 110% の性能を改善できることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Y. Taenaka, K. Tsukamoto, S. Kashihara, S. Yamaguchi, and Y. Oie, "An Implementation Design of a WLAN Handover Method based on Cross-layer Collaboration for TCP Communication," IEICE Transactions on Communications, Special issue on "Internet Architectures, Protocols, and Management Methods that Enable Sustainable Development", Reviewed, Accepted (to appear), July, 2013.
- ② O. Altintas, Y. Ihara, H. Kremo, H. Tanaka, M. Ohtake, T. Fujii, C. Yoshimura, K. Ando, K. Tsukamoto, M. Tsuru, Y. Oie, "Field tests and indoor emulation of distributed autonomous multi-hop vehicle-to-vehicle communications over TV white space," ACM SIGMOBILE

Mobile Computing and Communications Review, Reviewed, Vol. 16, Issue 4, pp. 54--57, February 2013.

- ③ K. Tsukamoto, S. Kashiara, Y. Taenaka, Y. Oie, "An Efficient Handover Decision Method Based on Frame Retransmission and Data Rate for Multi-rate WLANs," Elsevier Ad Hoc Networks, Reviewed, Vol. 11, No. 1, pp. 324-338, Available online 28 June 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.06.004>.

[学会発表] (計 19 件)

- ① 木場 俊, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家 祐二, "Cognitive MANET における通信チャンネル切替を考慮した TCP の提案と詳細評価," 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 112, no. 489, IA2012-92, pp. 79-84, (2013 年 3 月 14 日, 奈良県) 2013 年 3 月.
- ② S. Koba, K. Tsukamoto, M. Tsuru, and Y. Oie, "Cognitive Radio-Aware Transport Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of 9th International Workshop on Design of Reliable Communication Networks (DRCN 2013), CD-ROM, Hungary, March 5th 2013.
- ③ 塚本 和也, 吉村 力, 安藤圭佑, 鶴 正人, 尾家祐二, 藤井威生, 大竹賢明, 北村優行, 吉武晃一, アルトウンタシュ オヌル, "ホワイトスペースを用いた自律型車間コグニティブ無線システムの設計と開発 ~ USRP を用いた実装 ~ (依頼講演)," 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 112, no. 444, SR2012-88, pp. 23-30 (早稲田大学 東京) 2013 年 2 月 20 日.
- ④ Y. Ihara, H. Krem, O. Altintas, H. Tanaka, M. Ohtake, T. Fujii, C. Yoshimura, K. Ando, K. Tsukamoto, M. Tsuru, Y. Oie, "Distributed Autonomous Multi-Hop Vehicle-to-Vehicle Communications over TV White Space," Proc. of 10th Annual IEEE CCNC2013, pp. 330-338, Las Vegas, USA, Jan. 13th 2013. (IEEE CCNC2013 Best Paper Award 受賞)
- ⑤ 井原 隆, アルトウンタシュ オヌル, クレモ ハリス, 田中 英明, 安藤 圭佑, 吉村 力, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家 祐二, 大竹 賢明, 藤井 威生, "ホワイトスペースを用いた自律分散マルチホップ車間通信実証実験(招待講演)," 電子情報通信学会 技術研

究報告, Vol.112, No.318, ITS2012-18, p.5 (2012 年 11 月 26 日, 熊本県) 2012 年 11 月.

- ⑥ 安藤 圭佑, 吉村 力, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家 祐二, 大竹 賢明, 北村 優行, 藤井 威生, 井原 隆, クレモ ハリス, アルトウンタシュ オヌル, 田中 英明, "ホワイトスペースを用いた自律分散マルチホップ車間通信システム(Part1) ~チャンネル選択手法~, " 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol.112, No.240, SR2012-70, pp.203-210 (2012 年 10 月 17-19 日, 福岡県) 2012 年 10 月.
- ⑦ 井原 隆, クレモ ハリス, アルトウンタシュ オヌル, 田中 英明, 安藤 圭佑, 吉村 力, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家 祐二, 大竹 賢明, 北村 優行, 藤井 威生, "ホワイトスペースを用いた自律分散マルチホップ車間通信システム(Part 2) ~スペクトラムセンシングおよびホップ間干渉低減~, " 電子情報通信学会 技術研究報告, Vol.112, No.240, SR2012-71, pp.211-217 (2012 年 10 月 17-19 日, 福岡県) 2012 年 10 月.
- ⑧ O. Altintas, Y. Ihara, H. Krem, H. Tanaka, M. Ohtake, T. Fujii, C. Yoshimura, K. Ando, K. Tsukamoto, M. Tsuru, Y. Oie, "Field Tests and Indoor Emulation of Distributed Autonomous Multi-Hop Vehicle-to-Vehicle Communications over TV White Space," ACM Mobicom 2012 (demo session), Istanbul, Turkey, August 22-26, 2012.
- ⑨ 木場 俊, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家 祐二, "コグニティブ無線モバイルアドホックネットワークに適したトランスポートプロトコルの提案," 電子情報通信学会 技術研究報告, NS2012-46, pp. 7-12, 岩手大学, 岩手, 2012 年 7 月 12 日.
- ⑩ 吉村 力, 安藤圭佑, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家祐二, 大竹賢明, 北村優行, 藤井威生, 井原隆, クレモ ハリス, アルトウンタシュ オヌル, 田中英明, "自律的ホワイトスペースチャンネル選択機能を備えたマルチホップ車間ネットワークの実証実験," 信学技報 SR2012-6, 慶応大学日吉キャンパス 2012 年 5 月 17 日.
- ⑪ A. Muniz, K. Tsukamoto, M. Tsuru, and Y. Oie, "Network-supported TCP Rate Control for the Coexistence of Multiple Flows in IP Over PLC," International Symposium on Power

- Line Communications (ISPLC), Beijing, China, March 27-30, 2012.
- ⑫ 藤井庸平, 西田康太, 塚本和也, 鶴正人, 尾家祐二, ``コグニティブ無線マルチホップ通信におけるTCPの実験的性能評価,’’ 電子情報通信学会 技術研究報告, AN2011-90, pp. 135-140, 情報通信研究機構小金井, 2012年3月5日.
- ⑬ 中野栄俊, 江口真央, 塚本和也, 鶴正人, ``コグニティブ無線車車間通信におけるチャンネル切替時中断を考慮したデータチャンネル選択,’’ 電子情報通信学会 技術研究報告, AN2011-91, pp. 141-146, 情報通信研究機構小金井, 2012年3月5日.
- ⑭ K. Kume, K. Ohnishi, K. Tsukamoto, S. Yamamura, A. Nagata, ``Heuristic Information Retrieval Using Variable Identifiers in Mobile Ad-hoc Networks,’’ 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT NETWORKING AND COLLABORATIVE SYSTEMS (IEEE INCoS 2011) FUKUOKA, JAPAN NOVEMBER 30 - DECEMBER 2, 2011.
- ⑮ O. Altintas, M. Nishibori, O. Takuro, Y. Ihara, M. Saito, R. Vuyyuru, C. Yoshimura, Y. Fujii, K. Nishida, K. Tsukamoto, M. Tsuru, Y. Oie, A. A. Abbasi, M. Ohtake, M. Ohta, T. Fujii, S. Chen, S. Pagadarai, and A. M. Wyglinski, ``Demonstration of Vehicle to Vehicle Communications over TV White Space,’’ 4th International Symposium on Wireless Vehicular Communications (WIVEC2011), Demo session, San Francisco, USA, September 5th 2011.
- ⑯ K. Ohnishi, T. Koga, K. Tsukamoto, and Y. Oie, ``Self-Adaptive Routing for Temporary Information Sharing in Wireless Mesh Networks,’’ 5th Workshop on Wireless Mesh and Ad Hoc Networks (WiMAN) (IEEE ICCCN2011 Workshop), Maui, Hawaii, July 31 - August 4, 2011.
- ⑰ 木場 俊, 塚本和也, アルトゥンタシ ユ オヌル, 鶴正人, 尾家祐二, ``コグニティブ無線車両ネットワークにおけるトランスポートプロトコルの性能評価,’’ 電子情報通信学会 2011年ソサイエティ大会, 北海道大学, 2011年8月30日.
- ⑱ 藤井 威生, Abdulrahman Al-Abbasi, 大竹 賢明, 太田 真衣, 西堀 満洋, 押田 拓郎, アルトゥンタシ ユ オヌル,

広岡 淳二, 藤井 庸平, 西田 康太, 吉村 力, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家祐二, ``ホワイトスペースを利用したマルチチャンネル車車間ネットワークの実証実験(技術展示),’’ 電子情報通信学会 技術研究報告, YRP, 2011年7月28日.

- ⑲ 大西 圭, 久米 一樹, 塚本 和也, 山村 新也, 永田 晃, 鶴 正人, ``モバイルアドホックネットワークにおいて可変識別子を用いる情報共有手法の評価方法,’’ 電子情報通信学会技術研究報告, NS2011-22, pp. 35-40, 東京都千代田区, 2011年5月19-20日.

[図書] (計2件)

- ① Igor Bilogrevic and Arshin Rezazadeh (Ed.), ``Networks: Emerging Topics in Computer Science,’’ iConcept Press, ISBN 978-1461098713, K. Tsukamoto, S. Kashihara, Y. Oie, "Chapter 2: A handover management for TCP communication over multi-rate WLANs," 26 pages, Mar. 2013.
- ② Shigeru Kashihara (Ed.), ``VoIP Technologies,’’ InTech, ISBN: 978-953-307-549-5, S. Kashihara, M. Niswar, Y. Taenaka, K. Tsukamoto, S. Yamaguchi, Y. Oie, "Chapter 14: End-to-end handover management for VoIP communications in ubiquitous wireless networks," 27 pages, Jan. 2012.

[その他]

ホームページ等

<http://infonet.cse.kyutech.ac.jp/~kazuya/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塚本 和也 (TSUKAMOTO KAZUYA)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・助教

研究者番号：20452823