

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330107

研究課題名(和文) コグニティブ無線ネットワークに適した2階層型共通制御チャネル確立維持手法

研究課題名(英文) Two-tier Common Control Channel Management for Cognitive Radio Ad Hoc Network

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・准教授

研究者番号：20452823

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、多様なアドホック通信をコグニティブ無線ネットワークで効率的に提供する事を目的とする。プライマリユーザへの影響を最小化しつつ、効率的な通信を提供するには、各ノードが利用周波数を時間的・空間的に切り替える必要があるため、隣接ノード、及び利用可能な周波数(ホワイトスペース)等の情報の共有が重要となる。本研究では、(1)隣接ノード把握用と、(2)通信ノード群内でホワイトスペース情報の共有用、の制御チャネルを自律的に確立、維持する手法を提案し、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)：Main concern of this paper is to provide efficient ad-hoc communication over the cognitive radio network. To provide efficient ad-hoc communication without performance degradation to primary user, the share of wide range of information such as neighboring nodes and available channels (white spaces) is crucial for switching communication channel spatiotemporally. In this project, I proposed two sorts of common control channels, which are for (1) grasping the neighboring nodes and (2) sharing the white space information among communication nodes. These common control channels are established and maintained in a distributed manner. The effectiveness of the proposed scheme was evaluated through simulation experiment.

研究分野：総合領域、情報学・計算機システム・ネットワークプロトコル

キーワード：コグニティブ無線 自律分散 データベース センシング データチャネル選択 ホワイトスペース

1. 研究開始当初の背景

当初、有線 LAN の相互接続で形成されたインターネットは、近年のセルラー、無線 LAN 等の無線 NW を包含して拡張してきた。しかしスマートフォンの爆発的普及に伴い、無線トラフィックが急増し、セルラー事業者は複数の無線技術を状況に応じて使い分ける「データオフロード」の導入を早急に進めている。一方でシスコ報告[1]では、2010 年からの 5 年間でモバイル端末のトラフィック量は 26 倍まで増加すると推測しており、LTE/4G 等の次世代無線規格の導入に伴う速度向上だけでは対応できない。更に今後は、センサやスマートメータ等の新規無線機器の導入が予想されるものの、新規に割当可能な周波数資源は枯渇しており、無線資源の確保が最優先課題と言える。

[1] Cisco Visual Networking Index. Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015. Available at http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.pdf.

一方で、米国 FCC (Federal Communications Commission) が既割当周波数の利用状況を調査した結果、利用率が時間的・空間的に 15% ~ 85% と大きく異なる事が分かった。そこで近年、この時間的・空間的に利用可能な周波数(ホワイトスペース)を活用し、急増する無線トラフィックを収容する技術の研究が活発に行われている。特に周辺の無線状況を把握し、各周波数の割当利用者(プライマリユーザ: PU) に悪影響を与えない範囲で、ホワイトスペースを通信に利用する「コグニティブ無線技術」が着目されている。FCC では地上波デジタル放送開始に伴い、TV ホワイトスペースへのコグニティブ無線技術の導入を検討し、2010年9月に導入を決定している[2]。更に、日本でも総務省が2010年9月に、ホワイトスペース利活用の全国展開のための「ホワイトスペース推進会議」を発足しており、今後のコグニティブ無線技術の導入が予想される。

[2] Vacant TV Airwaves for “Super Wi-Fi” Technologies. (Dkt No. 04-186 02-380). (FCC No. 10-174). OET

上記の FCC 決定[2]、及び総務省検討会では、利用可能な周波数(ホワイトスペース)がTV周波数帯に限定される上、各ノード(SU)がホワイトスペースを利用する場合、通信開始前に「基地局の位置情報」と「周波数利用状況」を保持するデータベース(DB)へのアクセスが義務づけられている。その際、ノードは自身の位置情報をDBに送信し、DBは受信情報を元に最近接の基地局とノード間の距離を算出し、TV周波数の到達範囲内かを判

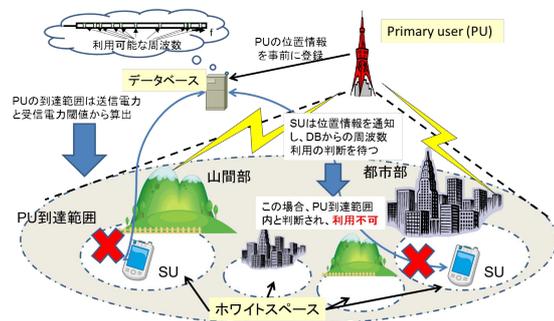


図1: データベースを用いたホワイトスペース利用判断の問題点

断する。範囲外の場合、DBは要求ノードの利用を許可する。

しかし、現在のDBは送信側の「周波数、及び送信電力」、に加えて受信側の「受信電力閾値」を基に数式によって到達範囲(円形)を算出するため、一般的に推定到達範囲が広大になる。そのため、米国等の国土が広い国ではTVホワイトスペースを利用できるものの、日本のように国土の60%が山間部では、到達性の確保のためにTV基地(中継)局が多く、結果的にホワイトスペースを利用できる場所がほぼ存在しない。しかし実環境では、山や建物などの障害物によりTV電波が届いていない場所も数多く存在する(図1) 加えて、TV基地局のような静止ノードではなく、**移動ノード**がPUの場合、**従来のDBを用いたホワイトスペースの利用判定は行う事ができない**。

そこで今後は、各ノードが行ったセンシング結果を隣接ノードと交換し、DBと連携して通信周波数(チャネル)を決定する機能が必要不可欠となる。この場合、隣接ノード間で「利用可能な周波数」「通信に利用するチャネル」「経路」「PU利用」等に関する制御情報を交換するための**共通制御チャネル**が必要となる。しかしコグニティブ無線環境では、各周波数上でPUの通信が突発的に発生するため、各ノードはPU通信検知時に迅速に通信チャネルを切り替える必要がある。以上の理由から、想定環境では**制御チャネルに専用の固定チャネルを用いる事はできない**。

研究代表者はこれまでに、各ノードの位置情報を基にエリア毎の共通制御チャネルの確立手法を提案している[3]。一般に制御情報は、通信アプリケーションの種類、要求に応じて、メッセージ交換の範囲、頻度、及びデータ量が異なる。しかし先行研究では、この違いを考慮せず全制御情報を1つの制御チャネルで交換するため、上記の違いを考慮した効率的な共有が実現できない。そこで本研究では、コグニティブ無線技術が利用可能な周波数帯が今後広範囲に拡大すると想定し、広範囲の周波数間で異なる通信特性に着目し、「データ量」と「交換範囲」が異なる多様な制御情報を共有するために、「エリア毎」及び「ノード群」で共通の制御チャネルをホワ

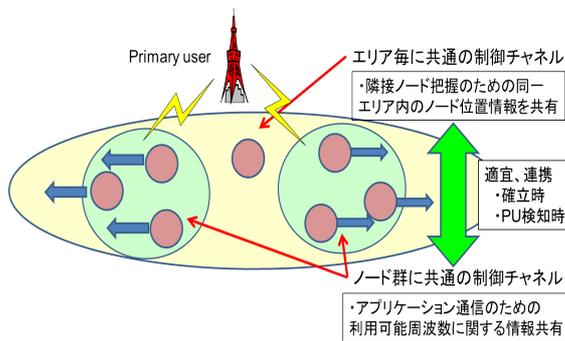


図2:2階層型共通制御チャンネル手法の概念

イトスペースから自律的に確立した上で、PU 発生時には、それらの制御チャンネルが連携して制御情報交換を継続するための**共通制御チャンネルの確立・維持手法**を提案する(図2参照)。

[3] "Distributed Channel Coordination in Cognitive Wireless Vehicle-to-Vehicle Communications (Invited Paper)," K. Tsukamoto, S. Matsuoka, O. Altintas, M. Tsuru, Y. Oie, Proc. of WAVE2008, Reviewed, CD-ROM, 2008.

2. 研究の目的

本研究では、**多様なアドホック通信をコグニティブ無線ネットワークで効率的に提供する事**を目的とする。この環境では各周波数のプライマリユーザへの影響を最小化するために、各ノードが利用周波数を時間的・空間的に切り替える。そのため、効率的なアドホック通信には隣接ノード、及び利用可能な周波数(ホワイトスペース)等の**制御情報の共有**が重要となる。本研究では、通信特性の異なる周波数から(1)隣接ノード把握用の**制御チャンネル**と、(2)通信ノード群内でホワイトスペース情報の共有用の**制御チャンネル**を自律的に確立、維持する手法を提案し、シミュレーション/実験評価する。これにより、(a)周波数資源全体の有効利用と(b)通信性能の向上を目指す。

3. 研究の方法

本研究で想定するコグニティブ無線を用いた車間通信では、(i)移動に伴うトポロジ変化が頻繁に発生する上、(ii)PUの周波数利用状況が時間的/空間的に変化することから、(i)(ii)の変化が生じるノード間で制御情報を共有するために共通制御チャンネルの確立が必須となる。特に、以下の2つの目的を実現する必要がある。

- (1) 近隣車両の移動情報やサービス等を把握する
- (2) アプリケーション通信を行いたい車両との間で、利用可能な周波数の情報や詳細な移動情報を交換する

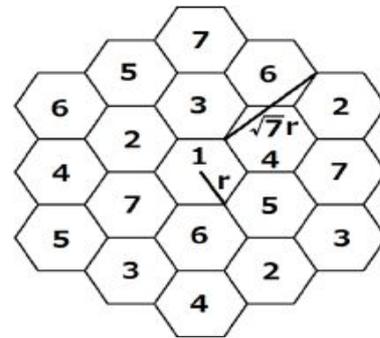


図3:ゾーン

それぞれの目的を達成するためのアプローチとして、(I)一定のエリアごとに共通制御チャンネルを確立する方法と、(II)特定のノード間で共通制御チャンネルを確立し維持する方法が考えられる。アプローチ(I)では、目的(1)を達成することが可能となるが、目的(2)は必ずしも達成することができない。これは、エリアごとに共通制御チャンネルを確立するため、通信相手がエリアを跨ぐと目的(2)を達成できなくなるためである。逆にアプローチ(II)では、目的(1)の達成が困難となり、目的(2)を達成することは可能となる。これは、特定のノード間で共通制御チャンネルを確立するため、近隣に存在する、それ以外のノードと通信が行う事ができないため、目的(1)を達成できない。

そこで本研究では、まず広範囲におけるノード間の位置・移動情報の共有を目的とした共通制御チャンネル(ZACC: Zone Aware Control Channel)の確立を行う。各ノードがZACCで制御情報を交換することでアプリケーション通信を行う宛先ノードを決定することができる。そこで、安定かつ継続的な制御情報交換を実現するために移動傾向が類似するノード(車両)群でスワームを確立する。このスワーム内で利用可能な周波数情報をスワームメンバー間で交換するために、共通制御チャンネル(SACC: Swarm Aware Control Channel)の確立を行う。

3.1 ZACC(Zone Aware Control Channel)

位置情報に基づき、エリア毎に共通制御チャンネルを確立するために、地表を正六角形のエリア(ゾーン)に分割する(図3)。各車両は、位置情報を基に所属ゾーンを認識し、そのゾーンで利用可能なゾーン内共通制御チャンネル(ZACC: Zone Aware Control Channel)を選択することで、所属ゾーン内での制御情報の交換を実現する。各車両は、ZACC上で自身の車両識別子・位置・速度・時刻情報・スワーム参加情報等を定期的送信する。同じゾーン内の車両はこの情報を受信することで、近隣車両の移動情報やサービス等を把握することが可能となる。

● ZACC 選択手法

同一ゾーン内では、「隠れ端末問題」を回

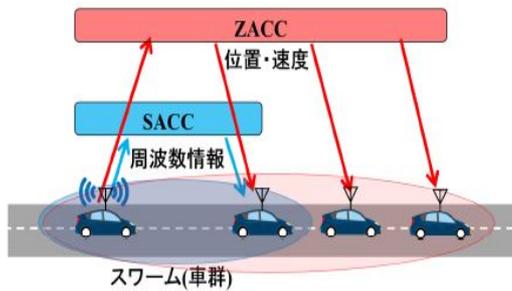


図4：スワーム形成

避するためにゾーン半径 r の 2 倍以上の到達距離を持つチャンネルから ZACC を選出する。また、近隣のゾーン同士では、「干渉問題」を回避するために異なる周波数を ZACC として利用する。更に、各ゾーンに複数の ZACC 候補を事前に割当ることで、切断時間を最小限に留める。具体的には、ZACC 候補の選択方針として、チャンネル i の到達距離 $d(i)$ が、 $2r \leq d(i) < 7r$ を満たすチャンネルを選択する。また、図2に示すように、ゾーンを7つに分割し、ゾーン間で異なる n 個の ZACC 候補を割り当てる。 $7n$ 個の ZACC 候補が確保できない時は、 $7r \leq d(i)$ を満たすチャンネルから選択する。

3. 2 SACC (Swarm Aware Control Channel)

アプリケーション通信を行いたい車両は、ZACC 上で交換する情報を基に宛先車両を選定すると、その宛先車両、及び移動傾向が類似する周辺車両とスワームを形成する(図4)。スワームとは、あるアプリケーション通信を効率的に行うために制御情報を交換する車両の集合のことである。ここでの制御情報とは、車両識別子・位置・速度・時刻情報・周波数の利用状況・経路情報等を指す。アプリケーション通信を行いたい車両は、選定した宛先車両とスワームを形成するために、ZACC 上で特定のパケットのやり取りを行う。このパケットには、スワームを形成したい車両(スワームメンバ候補)の車両識別子とスワーム内共通制御チャンネル(SACC: Swarm Aware Control Channel)に関する情報を格納しており、該当車両はこのやり取りに応じるかを判断する。上記のやり取りが成功した車両(スワームメンバ)間では、その後、SACC を利用し制御情報の交換を行う。SACC 上に PU が出現した場合には、SACC の再選択を行う。

● SACC 選択手法

SACC 選択における必須条件は(i) チャンネルの到達距離 \geq 車間距離、(ii) PU が未使用、の2点である。しかし、この条件のみで SACC を選択すると、車間距離の増加や移動に伴う PU 検知を考慮できない。そこで、データ通信終了まで継続して使用可能なチャンネルを SACC として選択するために、各チャンネルの到達距離と ZACC で取得した車間距離から算

出した「通信可能時間」、及び、事前に保持する統計的なチャンネル情報と移動速度から算出した「PU に遭遇するまでの時間」を基に、各チャンネル i の通信継続時間(W_i) を予測する[4]。また、時刻 t での D_{ch} のレートを $R(t)$ 、PU 利用率を $U(t)$ 、アプリケーションのデータ量を A としたとき、

$$\int_0^T (R(t) \times (1 - U(t)) \times 0.5) dt > A \text{ を満たす}$$

最小の T を予測アプリケーション通信時間とし、(iii) $W_i \geq T$ の条件を満たすチャンネルを SACC として選択する。具体的には(i)、(iii) を満たすチャンネルからランダムで SACC を選択し、最後に(ii) をチェックする。[4] “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,” 中野栄俊, 江口真央, 塚本和也, 鶴正人, IEICE AN 研究会, Mar. 2012.

4. 研究成果

2 階層型共通制御チャンネル(ZACC/SACC) 確率維持手法は比較手法よりも稼働率が安定して高く、データ通信への影響も最小限に抑えることを示した。また、確立回数や継続率において一部の比較手法よりも悪い状況も発生したが、その影響はほぼ生じないため、2 階層型共通制御手法によって確実に安定した制御チャンネルを提供できることを明らかにできた。

これらの研究成果はこれまでに国内研究会にて日本語と英語で発表しており、今後、国際会議、論文誌に投稿する予定である。また、本研究では、シングルホップのデータ通信のみを対象にしたが、マルチホップのデータ通信を考慮する場合、チャンネル切断がより頻繁に発生し、制御チャンネルの稼働率がデータ通信へ与える影響が大きくなる。また、TCP 通信を考慮した場合、チャンネル切替によるタイムアウトが発生し、更にデータ通信へ悪影響を与える。そこで今後は上記の環境において評価を行い提案手法の有効性を示す予定である。

本研究では別途、マルチホップのデータ通信を TCP ベースで提供するための新しいトランスポートプロトコルを先行して提案しており、シミュレーションにおいて提案手法の有効性を明らかにした。これらの成果については、国際的な学会、及び論文誌において発表しており、対外的なインパクトがある研究となっている。

加えて、本研究で提案した2階層型共通制御チャンネル確立維持手法に関しては、特許も出願しており、背景でも述べたホワイトスペースデータベース(WSDB)の利活用手法と本提案手法の組み合わせ方法についても手法を考案した上で、特許を出願しており、特許及び学術面でのインパクトがある研究を行ったと考える。

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. O. Altintas, T. Watanabe, H. Kremo, H. Tanaka, H. Nakao, K. Tsukamoto, M. Tsuru, "Design and Experimental Evaluation of a Database-Assisted V2V Communications System over TV White Space," Springer Journal of Signal Processing Systems, Accepted, Aug., 2015. 査読有
2. K. Tsukamoto, Y. Oie, H. Kremo, O. Altintas, H. Tanaka, T. Fujii, "Implementation and Performance Evaluation of Distributed Autonomous Multi-Hop Vehicle-to-Vehicle Communications over TV White Space," Springer Mobile Networks and Applications, Vol. 20, No. 2, pp. 203-219, Feb. 2015. 査読有
[doi:10.1007/s11036-015-0576-5.]
3. K. Tsukamoto, S. Koba, M. Tsuru, Y. Oie, "Cognitive Radio-Aware Transport Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 14, No. 2, pp. 288-301, Feb. 2015. 査読有
[doi:10.1109/TMC.2014.2320267]

[学会発表](計 16件)

1. Y. Takemoto, K. Tsukamoto, "Hybrid Sensing/Database Approach to Detect White Spaces for Vehicular Communication," IEICE General Conference 2016, Mar. 18, 2016, Kyushu Univ..
2. H. Nakao, K. Tsukamoto, M. Tsuru, Y. Oie, "A Database-Assisted Collision Aware Data Channel Selection for V2V Communication: Practical Evaluation," IEICE General Conference 2016, Mar. 18, 2016, Kyushu Univ..
3. Y. Taenaka, K. Tsukamoto, "A radio interference aware dynamic channel utilization method on software defined WMN," The 5-th International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS), 6pages, CD-ROM, Nov. 5, 2015, Krakow, Poland.
4. 佐藤宏一, 塚本 和也, 鶴 正人, "高速移動通信時における MIMO、チャンネル

ボンディングの有効性評価," 平成 27年度(第 68 回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 2015 年 9 月 26 日, 福岡大学

5. 武本 優也, 塚本 和也, "WSDB・センシング相互連携によるホワイトスペース有効利用手法," H27 年度 第 23 回 電子情報通信学会九州支部 学生会講演会, 2015 年 9 月 4 日, 福岡大学
6. H. Nakao, K. Tsukamoto, M. Tsuru, Y. Oie, "A Database Driven Data Channel Selection Scheme for V2V Communication over TV White Space," Proc. 2015 SOFTNET workshop in conjunction with the 7th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS 2015), 5 pages, Paris, France, Jul. 29, 2015.
7. Shoji Tsuru, Kazuya Tsukamoto, Masato Tsuru, Yuji Oie, "Two-tier Common Control Channel Scheme for CogVANET - Basic Performance Evaluation," IEICE General Conference, BS-3-21, (滋賀県草津市) 2015 年 3 月 10 日.
8. 中尾 仁, 塚本 和也, "車車間通信のためのホワイトスペースデータベース連携型データチャンネル選択手法," 情報処理学会九州支部 火の国シンポジウム, (佐賀県佐賀市) 2015 年 3 月 5 日.
9. 鶴 翔史, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家祐二, "Cognitive VANET のための 2 階層共通制御チャンネル選択手法," 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 114, no. 477, NS2014-231, pp. 313-318 (沖縄県宜野湾市) 2015 年 3 月 3 日.
10. 鷹取 奨, 川原 憲治, 塚本 和也, 尾家祐二, "コグニティブ無線環境における制御チャンネル統合のための時分割方式の検討," 信学技報, vol. 114, no. 478, IN2014-155, pp. 203-208 (沖縄県宜野湾市) 2015 年 3 月 3 日.
11. 鶴 翔史, 塚本 和也, 鶴 正人, 尾家祐二, "Cognitive VANET のための共通制御チャンネル選択手法," 電子情報通信学会九州支部学生会講演会, B-3, (鹿児島県 鹿児島大学), 2014 年 9 月 20 日.
12. A. Muniz, K. Tsukamoto, K. Kawahara, and Y. Oie, "An Effectiveness Evaluation of PLC/WLAN Cooperative Transmission Scheme under Practical Network Environment," The 8th

International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2014), pp. 438-443, Sep. 10-12, 2014, Salerno, Italy.

13. O. Altintas, K. Seki, H. Kremo, H. Tanaka, S. Tsuru, N. Kusakari, K. Katayama, K. Tsukamoto, M. Tsuru, Y. Oie, "Database Assisted Vehicle-to-Vehicle Communications over TV White Space," 2014 Wireless Innovation Forum Conference on Communications Technologies and Software Defined Radio, Mar. 11-14, 2014, Reston, Virginia, USA.
14. 曾我 健祐, 野林 大起, 塚本 和也, 田村 瞳, ``市街地における無線 LAN の利用状況, 及び通信性能への影響調査 ~ 福岡市中央区・天神地下街での実験 ~, '' 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 113, no. 471, CQ2013-103, pp. 83-88 (2014年3月7日, 大分県) 2014年3月.
15. 中野 栄俊, 塚本 和也, 鶴 正人, ``コグニティブ無線車車間通信における車間減少時のデータチャネル選択手法, '' 火の国情報シンポジウム, (2014年3月4-5日, 大分県).
16. 曾我 健祐, 野林 大起, 塚本 和也, 田村 瞳, ``Wi-Fi ネットワーク環境の普及, および, 利用状況の実験評価 ~ 北九州市小倉北区魚町銀天街での実験 ~, '' 電子情報通信学会 技術研究報告, vol. 113, no. 276, IA2013-53, pp. 13-17, (2013年11月1日, 広島県) 2013年11月.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 無線通信方法、車載無線通信装置、およびプログラム

発明者: トヨタ自動車、九州工業大学

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2014-045212

出願年月日: 平成 26 年 3 月 7 日

国内外の別: 国内及び国外 (米国、欧州)

取得状況 (計 0 件)

〔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・

准教授

研究者番号: 2 0 4 5 2 8 2 3