

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：12101  
研究種目：若手研究(B)  
研究期間：2015～2016  
課題番号：15K15989  
研究課題名(和文) Negotiated Spectrum Access for Cognitive Radio Networks  
  
研究課題名(英文) Negotiated Spectrum Access for Cognitive Radio Networks  
  
研究代表者  
王 瀟岩 (Wang, Xiaoyan)  
  
茨城大学・工学部・助教  
  
研究者番号：10725667  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、無線技術の発達によりモバイルトラフィックの量が激増している。一方、現在の周波数割り当ては、周波数を排他的に利用する仕組みとなっている。このような静的な周波数利用システムにおいて、使用されずに残っている帯域が数多く存在し、構造的に周波数利用効率の低下が生じてしまう課題を持つと考えられる。

これらの問題を改善するため、本研究では、ダイナミックかつ密な周波数二次利用の実現を向け、プライマリシステムとセカンダリシステムを相談しながら、周波数資源を効率的に共用できるフレームワークを提案した。提案手法より、周波数利用効率の向上と各ユーザーに対するサービス品質の向上を同時に実現した。

研究成果の概要(英文)：With the tremendous growth of mobile applications and devices in recent years, there is a common belief that we are facing a severe shortage of radio spectrum in the near future. Currently, the spectrum resources under 6GHz is allocated to the primary user in a static and exclusive way, which is highly inefficient.

To improve the spectrum utilization efficiency, we proposed a novel negotiated spectrum access (NSA) approach, whereby PUs proactively and explicitly negotiate with SUs. The evaluation results show that the proposed framework could improve the spectrum utilization efficiency and the QoS of individual users simultaneously.

研究分野：無線通信、無線ネットワーク

キーワード：周波数共用

### 1. 研究開始当初の背景

近年、無線技術の発達によりモバイルトラフィックの量が激増している。Cisco によると、2015 年でモバイルトラフィックの量は月 3.7 エクサバイトだったが、2020 年には月 30.6 エクサバイトまで増加すると予測されている。特に、モバイル端末の急激な増加と無線通信を利用するアプリケーションの多様化に伴い、移動通信システムにおいて使いやすい周波数（6 GHz 以下）の不足が非常に大きな問題と考えられている。

一方、現在の周波数割り当ては、複数の無線システムが相互干渉を起こさないように、周波数を排他的に利用する仕組みとなっている。このような静的な周波数利用システムにおいて、時間また空間的なトラフィックの差に対応するのは難しいである。そのため、現在のシステムには使用されずに残っている帯域（ホワイトスペース）が数多く存在し、構造的に周波数利用効率の低下が生じてしまう課題を持つと考えられる。

これらの問題を改善するため、現状の無線システムに割り当てられている周波数帯域を有効かつ効率的に活用する二次利用技術の確立が急務となっている。周波数の二次利用とは、周波数を優先的に利用可能な一次システム（プライマリシステム）を保護した上で、二次的に他の無線システム（セカンダリシステム）が同じ周波数を共用することである。

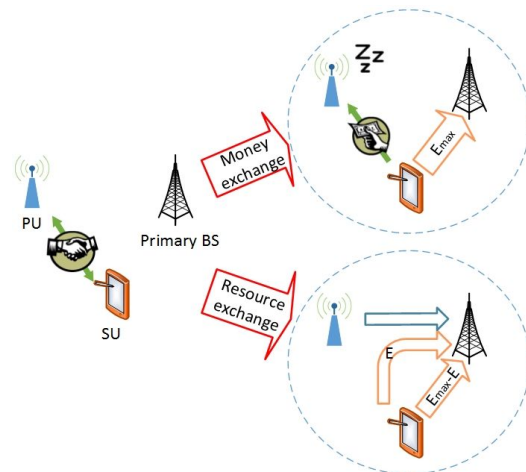
周波数共用に関しては、日本国内のみならず世界的にも検討が進められている。現在、主に研究されている周波数共用技術は、テレビホワイトスペース（TVWS:TV White Space）に代表される機会利用型スペクトルアクセス技術である。この技術は、セカンダリユーザー（周波数利用者）がプライマリユーザー（周波数所有者）に影響を与えない範囲で、自由な通信を行う方式である。具体的には、プライマリユーザーを保護するため、プライマリ信号の確実な検出することで、セカンダリユーザーの通信がプライマリユーザーに干渉しないように制御する。このようなプライマリ信号の検出には、スペクトラムセンシングと呼ばれるセカンダリユーザー自身がプライマリ信号の電力や特徴を検出してプライマリシステムの状態を把握する方法が採用されている。しかし、スペクトラムセンシングはチャネル状態や雑音により、

必ずしも確実な検出ができない。さらに、機会利用型スペクトルアクセスには、サービス品質（QoS: Quality of Service）が保証出来ない及び適切なビジネスモデルがないなどの問題があるため、これまで実用化に至っていない。

### 2. 研究の目的

これらの問題を改善するため、本研究は交渉利用型スペクトルアクセス技術の提案より、周波数利用効率とユーザ満足度を大幅に向上することを目指す。

以下の図を示しているように、複数のセルフィッシュなユーザ間の自律な取引を



モデリングするため、自分はオークション理論の導入を考えている。各ユーザが、ほかのユーザの入札額や情報に左右されない、独立した最適な入札戦略を見つける。最終は、各ユーザが自律で経済利益また QoS 要望の最大化を追求する同時に、周波数全体の利用率とネットワーク全体のパフォーマンスの向上を実現する。

### 3. 研究の方法

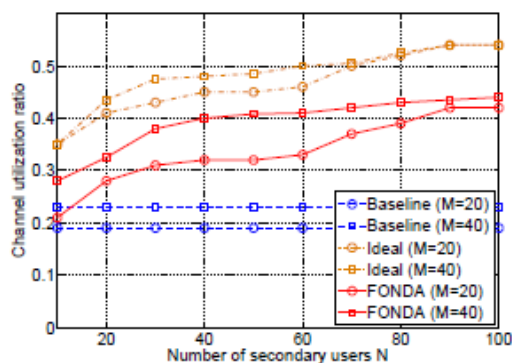
本研究は複数のセルフィッシュなユーザ間の自律な取引をモデリングするため、ゲーム理論とオークション理論を活用した。基本的なアイデアとして（次の図を示しているように）セカンダリユーザーはプライマリシステムから周波数の使用权を貰うと同時に、一定な周波数使用料を支払い、また、自分のエネルギー資源の一部を割り当てプライマリユーザーの通信をサポートする。



また、Matlab を利用して、提案手法の性能評価を行った。ネットワーク全体の周波数利用効率だけを評価ではなく、各プライマリユーザー、セカンダリユーザーのサービス品質も確かめた。さらに、提案手法を無線機 USRP に実装し、実環境において、提案手法の可用性（計算複雑度）と性能（ネットワークの周波数使用率、ユーザーの通信速度、遅延、パケット到着率）を確かめる。

#### 4 . 研究成果

研究成果としては、協調通信技術を活用し、プライマリユーザーのインセンティブ問題を解決し、ネットワーク全体の周波数利用率とユーザーの通信パフォーマンス（スループット、遅延、パケット到着率）を大幅に改善した（以下の図を示しているように）。現在の標準技術である機会利用型スペクトルアクセス技術について、低信号検出率と低周波数利用率を改善し、新たな交渉型スペクトルアクセス技術の提案することで、システム全体の周波数利用率の向上を実現した。



さらに、本研究はダイナミックかつ密な周波数二次利用システムを検討し、周波数枯渇問題の解決と持続的な無線通信技術の社会の実現に向けて重要な役割を持つ。本研究で検討の技術は、新しい世代の無線通信ネット

ワークのための基盤技術として活用できるものであり、学術的に価値があるのみならず、一般社会にもその効果が波及できるものであると考えている。そのため、最終的には、標準化への提案および実証を経て研究成果の一部を産業界へ導入することを目指す。

#### 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 5 件)

Hao Zhou, Yusheng Ji, Xiaoyan Wang and Shigeki Yamada, "eCIC Configuration Algorithm with Service Scalability in Heterogeneous Cellular Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), Vol.25. no.1, pp.520-535, Feb. 2017. 査読有

Xiaoyan Wang, Yusheng Ji, Hao Zhou and Jie Li, "Auction Based Frameworks for Secure Communications in Static and Dynamic Cognitive Radio Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology (TVT), vol. 66, no. 3, pp. 2658-2673, March 2017. 査読有

Xiaoyan Wang, Yusheng Ji, Hao Zhou and Jie Li, "A Non-monetary QoS-aware Auction Framework towards Secure Communications for Cognitive Radio Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology (TVT), Vol. 65, no. 7, pp. 5611-5623, July 2016. 査読有

Hao Zhou, Yusheng Ji, Xiaoyan Wang, and Baohua Zhao, "Joint Resource Allocation and User Association for SVC Multicast over Heterogeneous Cellular Networks", IEEE Transactions on Wireless Communications (TWC), Vol. 14, no. 7, pp. 3673-3684, July 2015. 査読有

Xiaoyan Wang, Yusheng Ji, Hao Zhou, Zhi Liu and Jie Li, "Incentivize Spectrum Leasing in Cognitive Radio Networks by Exploiting Cooperative ARQ Retransmission", EAI Transactions on Wireless Spectrum, Vol. 15, no. 3, July 2015. 査読有

〔学会発表〕(計 1 2 件)

Hao Zhou, Xiaoyan Wang, Zhi Liu, Xiaoming Zhao, Yusheng Ji and Shigeki Yamada, "QoS-aware resource allocation for multicast service over vehicular networks", Proc. of the

International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP 2016), 13-15, October, 2016, Yangzhou, China.

Lei Zhong, Kiyoshi Takano, Fangzhou Jiang, Xiaoyan Wang, Yusheng Ji and Shigeki Yamada, "Spatio-Temporal Data-Driven Analysis of Mobile Network Availability During Natural Disasters", Proc. of the International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM 2016), 13-15, December, 2016, Vienna, Austria. (Best Paper Award)

Xiaoyan Wang, Hao Zhou, Lei Zhong, Yusheng Ji, Kiyoshi Takano, Shigeki Yamada and Guoliang Xue, "Capacity-aware Cost-efficient Network Reconstruction for Post-Disaster Scenario", Proc. of the IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (IEEE PIMRC 2016), 4-7, September, 2016, Valencia, Spain, pp. 2162-2167.

Xiaoyan Wang, Hao Zhou, Zhi Liu and Yu Gu, "Large Scale Environmental Sound Classification based on Efficient Feature Extraction", Proc. of the International Workshop on Data Science and Engineering (DSE) in conjunction with International Conference on Parallel Processing (ICPP 2016), 16-19, August, 2016, Philadelphia, USA.

Qiyue Li, Hailong Fan, Wei Sun, Jie Li, Xiaoyan Wang and Zhi Liu, "Fingerprint in the Air: Using the RSS Data for Uniqueness Identification", Proc. of the International Workshop on Data Science and Engineering (DSE) in conjunction with International Conference on Parallel Processing (ICPP 2016), 16-19, August, 2016, Philadelphia, USA.

Zhi Liu, Mianxiong Dong, Hao Zhou, Xiaoyan Wang, Yusheng Ji and Yoshiaki Tanaka, "Device-to-device Assisted Video Frame Recovery for Picocell Edge Users in Heterogeneous Networks", Proc. of the IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC 2016), 23-27, May, 2016, Kuala Lumpur, Malaysia.

Xiaoyan Wang, Yusheng Ji, Hao Zhou, Zhi Liu, Yu Gu and Jie Li, "A Privacy Preserving Truthful Spectrum Auction

Scheme using Homomorphic Encryption", Proc. of the IEEE Global Communications Conference (IEEE Globecom 2015), 6-10, December, 2015, San Diego, USA.

Hao Zhou, Yusheng Ji, Xiaoyan Wang and Shigeki Yamada, "Joint Spectrum Sharing and ABS Adaptation for Network Virtualization in Heterogeneous Cellular Networks", Proc. of the IEEE Global Communications Conference (IEEE Globecom 2015), 6-10, December, 2015, San Diego, USA.

Yang Xu, Hao Zhou, Xiaoyan Wang and Baohua Zhao, "Resource allocation for scalable video streaming in highway VANET," Proc. of the International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP2015), 15-17, October, 2015, Nanjing, China.

Xiaoyan Wang, Yusheng Ji, Hao Zhou and Jie Li, "DASI: A Truthful Double Auction Mechanism for Secure Information Transfer in Cognitive Radio Networks", Proc. of the IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking (IEEE SECON 2015), 22-25, June, 2015, Seattle, USA, pp 19-27.

Xiaoyan Wang, Yusheng Ji and Jie Li, "Cooperative ARQ Retransmission based Spectrum Leasing for Cognitive Radio Networks", Proc. of the IEEE Vehicular Technology Conference (IEEE VTC 2015-Spring), 11-14, May, 2015, Glasgow, Scotland.

Hao Zhou, Yusheng Ji, Xiaoyan Wang and Baohua Zhao, "ADMM based algorithm for eCIC configuration in heterogeneous cellular networks", Proc. of the IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2015), 26 April-1 May, Kong Hong, pp 343-351.

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

**王 瀟岩** (WANG XIAOYAN)

茨城大学・工学部・助教

研究者番号：10725667