

令和元年5月28日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K18070

研究課題名（和文）時空間無線環境に応じた周波数利活用コグニティブ無線システムの研究

研究課題名（英文）Cognitive radio system for high efficiency of frequency resources according to time-space wireless environment

研究代表者

太田 真衣 (Ohta, Mai)

福岡大学・工学部・助教

研究者番号：20708523

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、無線通信において今後直面する周波数資源の枯渇問題に対し、抜本的な対策として期待されているコグニティブ無線システムに注目した。本研究では、「通信システム以外の利用」を識別することにより、従来は周波数資源とみなされない周波数帯を時間的空間的に把握する手法として、APD（振幅確率分布）を用いたシステムの識別法に関して検討を行った。実際に無線LANと電子レンジのAPD測定を行い、簡易なAPDの計算でシステムの識別が可能であることを示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無線システムの普及拡大と技術の進歩に伴い、周波数資源の枯渇が世界中で問題になっている。本研究では、新しい周波数資源の開拓に寄与する手法として提案法の基礎評価から行ってきた。本研究では、提案法により従来は利用していなかった潜在的な周波数資源の新規開拓への重要な研究といえ、その社会的意義や学術的意義が高い研究成果が得られている。

研究成果の概要（英文）：The cognitive radio system has been promising as a formula because the scarcity of the wireless resources are forcing all wireless users. In our study, we propose a method for discriminating between a radio wave which is used for communication and a microwave which is used for object except communication by employing an amplitude probability distribution (APD). The proposed method can find a useful wireless resources which is not used in conventional cognitive radio system. In measurement experiments, the received power is measured in the cases of the wireless LAN and microwave oven, respectively. Then, we confirm that the system can be discriminated by using the APD which is derived from easy calculation.

研究分野：無線通信

キーワード：コグニティブ無線

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

無線通信分野において深刻な問題となっている周波数資源不足を抜本的に解決する手法として、コグニティブ無線(CR)システムが研究されている。周波数資源が枯渇していると言われる一方で、時間的、あるいは地域的に見ると、常に電波が利用されているわけではなく、潜在的に利用できる時間的・空間的空き周波数は多く存在することが明らかにされている。そこで本研究では、このような空き周波数を自律的に検出し、周辺無線環境に応じて通信方式や周波数を選択することで柔軟な周波数利用を実現させるコグニティブ無線システムに注目している。

本研究分野は世界的に注目度も高く、すでに米国においては周波数範囲や利用ルールを規定し、限定的なコグニティブ無線システムの運用に乗り出している。しかし、現行では限定的な運用のみで、膨大な通信容量を捌くための「抜本的な解決策」としては実現されていない。そこで、周波数資源を最大限に活かすために必要な手法として、時間的・周波数的空きを推定するアルゴリズムに関する研究を行う必要があると考えた。

既存のシステムにすでに割り当てられている周波数帯域であっても、既存システムが利用していない時間帯などに他のシステムが2次利用可能な帯域幅や時間が検出・推定できるようになれば、飛躍的に周波数利用効率は向上する。このような空き周波数の帯域幅や周波数の連続空き時間に関する情報は、CRシステムにとっては重要なチャネル選択指標となる。また、自律的に適した周波数を選択するために必要である無線環境の認知において、周波数という一次元の情報だけでなく、継続時間に関する情報を加え、2次元の情報を用いることで、CR端末の伝送情報の特徴(通信プロトコルやパケット長、伝送方式、所望通信品質など)に合わせて利用周波数を決定することが、限られた周波数資源を効率的に利用する手法として有効である。

従来から、無線環境認知の精度を向上させるために周辺のコグニティブ端末と情報共有を行う協調センシング手法に関する研究が数多く行われている。しかし、協調センシングを行う場合、このような周辺無線環境情報を共有するための情報伝送や、送受信機間またはセンシング端末間の同期を図るために用いられるビーコンや制御信号のための周波数資源の確保も必要である。このようなビーコン信号などは、従来の情報通信の信号よりも情報量が少なく、定期的に発信されると考えられるため、前述した狭帯域の空き周波数は重宝されるが、このような視点でのチャネル選択手法は考えられていない。

2. 研究の目的

本研究では、コグニティブ無線システムの環境認知技術の一つである電力検出器に基づくスペクトラムセンシングを用い、利用可能な周波数帯を時間軸だけでなく周波数帯域幅(周波数軸)の推定を行うことで、送信データの特徴に応じた効率的な周波数選択法に関する研究を行う。本手法により、世界的に問題となっている「周波数資源枯渇問題」の解決策としてより有効なコグニティブ無線システムを本格的に実現させることができる。さらに、今後コグニティブ無線の発展に伴い端末増加によるさらなる周波数逼迫問題の深刻化を解決すべく、「空間次元」を取り入れ、より効率的に周波数共用可能となるためのスペクトラムセンシング技術の検討を行う。

3. 研究の方法

基礎的な技術要素として、一般的によく用いられる高速フーリエ変換を利用した電力検出器によるリーケージ問題の解決法として窓関数や位相シフトを行う手法を提案し、その特性評価をシミュレーションにより行った。また、同じ帯域で共存関係にある無線LANと電子レンジの電磁波測定実験をスペクトラムアナライザにより行い、特徴量を用いたシステム識別手法の提案などを行った。

4. 研究成果

(1) コグニティブ無線システムでは、他の無線システムとの共存も課題となる。そこで、周波数資源の正確な検知を行うため、FFT(高速フーリエ変換)を利用した電力検出器における窓関数を用いた占有帯域の検出確率改善法の提案を行った。

システムパラメータが把握されていない後発の新規参入システムとの周波数共用は、柔軟な周波数共用において非常に重要で、将来的に究極的なコグニティブ無線システムを実現させるには必要となる。システムパラメータとしては、利用チャネルや帯域幅、送信電力や通信プロトコルなどがある。システムパラメータが既知であるシステムを検知する場合よりも、システムパラメータに関する情報がない場合の方が、コグニティブ無線システムは2次利用するための周波数資源を検知することが難しくなる。そこで、システムパラメータの一つである信号帯域幅を検出する手法の一つとしてFFTを用いた電力検出器に基づくスペクトラムセンシング手法が研究されている。

FFTを用いた電力検出器では、信号の周期性を利用してFFTポイントごとに電力検出を行い、受信信号の占有帯域幅を推定することができる。これは、一般的なコグニティブ無線において、検出対象のシステムパラメータを既知であることが前提であり、既知システムに合わせて空き周波数帯を低い誤り率で検出することができる。特に、FFT処理を行う場合、取り込まれる信号は周期信号であることが前提で、信号の両端は連続点であるとしている。しかしながら、コグニティブ無線システムが受信した電波が未知のシステムからの信号である場合、システムパラメータがわからないため、連続信号として信号を取り込むことは難しい。

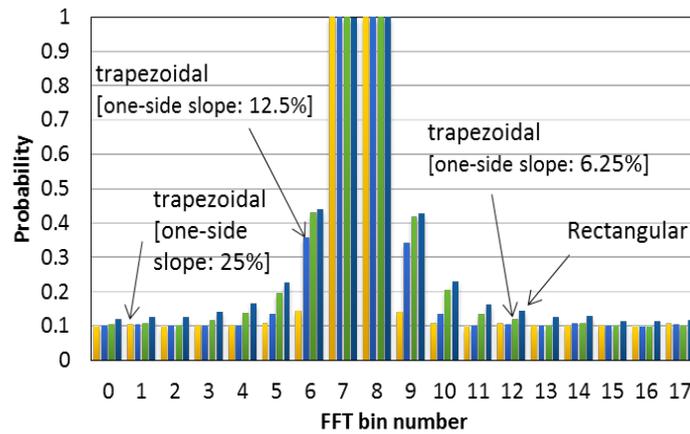


図 1 - 1. 未知システムに対する窓関数を用いた FFT 電力検出法の特長

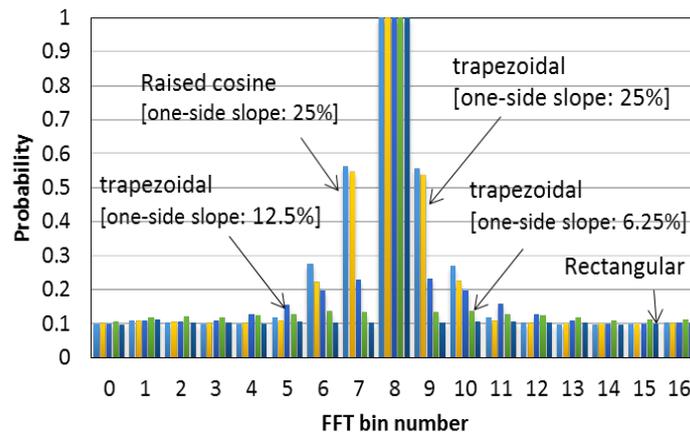


図 1 - 2. 既知システムに対する窓関数を用いた FFT 電力検出法の特長

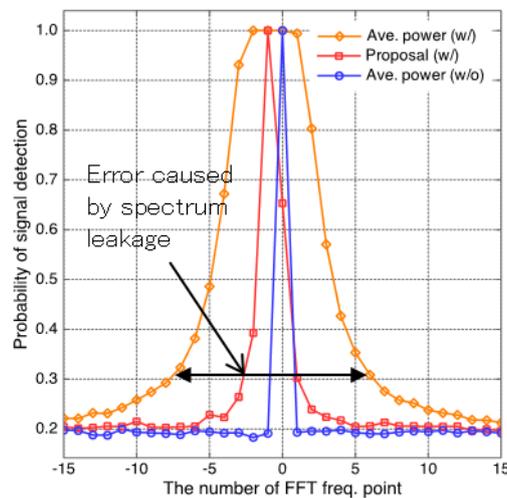


図 2. 時間シフト処理と窓関数を用いた FFT 電力検出法の特長評価

そこで、未知システムとの周波数共存環境を想定し、未知システムの占有帯域幅検出の際、より高精度に検出を行うため、窓関数を用いた FFT に基づく電力検出器による特性評価を行った。未知システムの場合、信号の周期性に応じて信号を FFT で処理することができないため、窓関数を用いて信号の振幅の両端をゼロもしくはゼロ付近まで減衰させ不連続点の影響を低減させることができる。帯域幅の推定において良好な特性を得られる窓関数に関して検討した。

未知システムに対する検出特性を図 1 - 1、既知システムに対する検出特性を図 1 - 2 に示す。窓関数によっては、未知システムの検出において、サイドローブの検出確率を抑制できる窓がある一方で、未知システムの信号か既知システムの信号か判断できない場合の影響も考慮する必要があることが確認できた。

(2) コグニティブ無線では、他システムとの共存が不可欠で、前述したように未知のシステムに対して、より正確な空き周波数の検出を行わなければならない。より正確な占有帯域幅の検出

は、コグニティブ無線にとっては、より正確な利用可能な空き周波数帯の検出になるため、ガードバンドを考慮した上で無駄の少ない周波数資源の利用を実現することができる。FFT 処理において、窓関数を用いて不連続点の影響を抑制する場合、振幅を減衰させるため、電力検出器による検出確率に影響が出る。そこで、FFT 処理の際に取り込まれる時間信号の不連続点を与える影響が一樣で無いことに注目し、信号の時間シフトとランダム性を利用し、平均化により不連続点の影響を抑制する手法を提案した。特性評価の結果を図 2 に示す。この結果から、サイドローブの電力漏れを誤って検出してしまふ確率が減少することを明らかにした。

(3) 次に、LPWAN (Low Power Wide Area Network) などで注目を集め始めた 920MHz 帯において利用可能帯域の拡大を目指し、新たなチャネル選択手法の研究を行った。LPWAN の特徴として、端末側では電池駆動を前提とした低消費電力な無線通信を実現することと、1つの基地局がカバーする範囲(エリア)が広く、またセンサネットワークなどと親和性が高いとされるため、1つの基地局が収容する端末数が膨大であることなどがあげられる。また、LPWAN に用いられるシステムには複数の種類があるため、920MHz 帯は複数システムが共存する帯域の 1つとなっている。

日本において、LPWAN システムは特定小電力無線局に分類され、20mW 以下の送信電力を用いる場合、キャリアセンスが必要となる場合がある。例えば、LPWAN で用いられているシステムの 1つである LoRaWAN では、日本において利用する場合、信号の送信前にキャリアセンスを行う必要がある。キャリアセンスにおいて、高い電力を有する電波を検出した場合、パケットの衝突・干渉を避けるため、送信を控える。このようにキャリアセンスにより電波の検出ができることにより、パケットの衝突や干渉を回避することができ、再送などを事前に抑制することができる。これは、省電力駆動の端末にとっては電力消費を抑えることもできるため大変システム運営上有効である。

一方で、920MHz 帯では、機械から電磁波が発生し、通信を阻害してしまう可能性がある。

LPWAN は、IoT などのセンサネットワークに利用が期待されており、その一例として、工場内や家庭内におけるセンサネットワークがある。特に工場の場合、配電盤や大型掘削機、モータを使う機器などの近くでネットワークを形成する環境も多い。また、家庭では冷蔵庫などの家電、オフィスでは複合機などがセンサネットワークの近くで稼働している。このような場所では、機

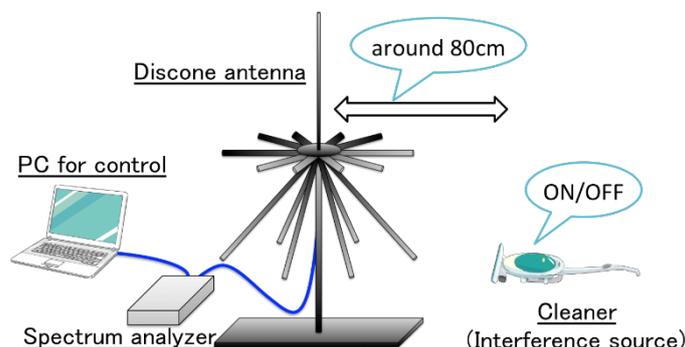


図 3 - 1 . 測定実験系

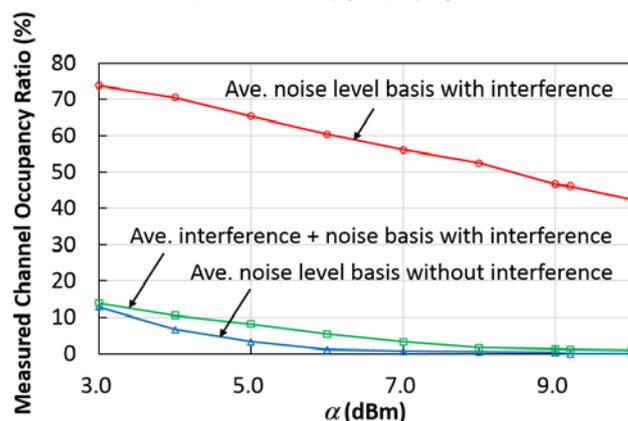


図 3 - 2 . 測定結果を用いた占有率推定結果

器からノイズが発生することがよく知られている。これらの機器から発せられる雑音(電磁干渉波)は、キャリアセンスで検出され、端末が送信を控える可能性がある。このような電波は無線システムが無線通信に用いているわけではないので、端末のもつ雑音に対する耐性能力次第では、無線通信を行ったとしても通信が成功する可能性がある。そこで、これらの機械から発せさせている電磁干渉波と他の通信システムから発信されている電波を識別することで、周波数の

利用効率を向上させる手法の提案を行っている。

ここでは、実際に工場で雑音測定をすることはできなかつたので、図3-1に示すような測定実験系を組み、家庭用の掃除機を用いてスペクトラムアナライザで受信電力値を測定する実験を行った。図3-2は掃除機からの雑音が受信機に混入した場合におけるチャンネル占有率推定結果を示している。この結果からもわかるように、掃除機から発せられた雑音が占有率の推定結果に大きく影響していることが確認された。無線通信システム以外から発生する雑音電波と他の無線通信システムが送信している信号を識別できれば、正しく占有率を推定することもでき、端末が貴重な通信機会を失うこともなくなることを示すことができた。

今後は、さらに他システムとの共有だけでなく、雑音や干渉波のある環境における効率的なチャンネルの選択法や、チャンネルの推定法なども通信システムの発展に伴いその通信環境に適応させた手法の研究が必要であると考えます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0件)

〔学会発表〕 (計 10件)

- [1] H. Fujita, M. Ohta, “A Study on Radio Signal Identification Method for Spectrum Sharing,” in Proc. APSIPA ASC 2018, pp. 790-793, Nov. 2018.
- [2] M. Ohta, O. Takyu, T. Fujii, M. Taromaru, “Robust Channel Selection Method Under Home Electronics-derived Electromagnetic Wave Interference,” in Proc. ICUFN2017, pp. 967-969, July 2017.

〔図書〕 (計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況 (計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：太郎丸眞

ローマ字氏名：Makoto Taromaru

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。