

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	佐方 連
論文題目	A Study of Flexible Cognitive Radio with Software Defined Radio and Dynamic Spectrum Access (ソフトウェア無線及びダイナミックスペクトラムアクセスを用いた柔軟なコグニティブ無線の研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>近年、携帯電話やスマートフォンに代表される無線通信サービスの普及・高速化に伴い利用可能な周波数帯域が逼迫し、限りある周波数資源の有効利用技術が不可欠となってきた。その課題を解決可能な技術として、いわゆる“コグニティブ無線”が注目を集めている。そのうち、ヘテロジニアス型コグニティブ無線では、利用可能な複数の無線通信システムの中から状況に応じて最適な無線通信システムを選択して利用することで、トラヒックの分散化を可能とする。またホワイトスペース型コグニティブ無線では、地理的及び時間的に利用されていない周波数帯域を一時的に別の無線通信システムに流用することで、周波数利用効率の向上を目指す。しかしながら、いずれのコグニティブ無線においても、その実用化に向けて解決すべき課題が残されている。</p> <p>本論文は、ヘテロジニアス型とホワイトスペース型の2種類のコグニティブ無線を仮定して、その実用化に向けたいくつかの課題解決に取り組み、最近の動的再構成可能プロセッサの能力に鑑みたソフトウェア無線機構成や、空き周波数情報を知らなくても、その情報の伝達が可能な制御信号伝送方式に関する研究成果を取りまとめたものであり、全5章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、ヘテロジニアス型及びホワイトスペース型コグニティブ無線の技術的特徴と、昨今の国内外の研究動向についてまとめている。また本論文において問題としている装置サイズの大型化や無線システムの制御信号の必要性について説明している。</p> <p>第2章では、ヘテロジニアス型コグニティブ無線において装置サイズが大型化する問題を、ソフトウェア無線技術の導入により解決することを提案している。状況に応じて複数の無線通信システムを選択して利用するヘテロジニアス型のコグニティブ無線では、端末に複数のモデムを搭載する必要があり、特に移動端末側の小型化の要求に応えにくい。そこで、動作を止めることなくリアルタイムに処理を変更できる動的再構成可能プロセッサを2つないし3つ搭載することを提案し、昨今の高速移動体通信システムであるLTE (Long Term Evolution) 等の変復調処理を、まずは処理量の観点から現実的な範囲でソフトウェア処理できる見通しを示している。次に、複数の無線システム用処理を並列に実装した従来型の無線モデムに比べ、動的再構成可能プロセッサが2個の場合はより小さい実装面積となりうることを、そして3個の場合でも遜色ない実装面積となりうることを示している。さらに将来的な機能拡張を見据えると、ソフトウェアの変更により対応できるソフトウェア無線機が有利であることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、ホワイトスペース型コグニティブ無線を制御するための信号伝送手段を検討している。周囲の周波数の空き状況に応じて動的にキャリア周波数を変化させながら通信するホワイトスペース型のコグニティブ無線では、新たにシステムに参加する端末や、通信が途絶えてしまった端末にとって、その時点で利用されているキャリア周波数を知ることが極めて重要である。そこで親局による集中制御により利用中</p>			

のキャリア周波数を子局に報知することを前提に、その制御信号のキャリア周波数情報を知ることなく必要な情報の伝達が可能なDCPT(Differential Code Parallel Transmission)方式を提案している。DCPT方式では、送信機は一定の周波数差を持つ2つの周波数を利用して情報を送信する。受信機は、受信信号と、一定の周波数差だけ周波数をシフトした受信信号との相関を求めることで、送信機が利用した周波数を知らなくとも情報を復元できる。理論検討及び計算機シミュレーションにより、他の干渉信号が存在する環境下でも制御信号の伝送が可能なことを明らかにしている。

第4章では、DCPTの改良方式として、伝送時間の短縮が可能なDCPT-ABF(DCPT-Adaptive Bandpass Filter)方式を検討している。DCPT方式は、受信信号中に含まれる広帯域で多量の雑音信号や干渉信号により所望信号の品質が劣化する。そこで所望信号対干渉雑音電力比を改善するために、十分に長い時間をかけて受信する必要があった。もし所望信号のキャリア周波数周辺の信号のみを通過させるバンドパスフィルタを受信時に利用できれば問題は解決するが、キャリア周波数そのものが未知な所望信号を受信するDCPT方式では実現は容易ではない。そこで教師信号による学習を通じて周波数特性の改善等が可能な適応等化器に着目し、受信信号を教師信号、周波数シフトした信号を入力信号として学習させるか、あるいは双方の信号を入れ替えて学習させる手法を提案している。提案方式により、キャリア周波数が未知なままであっても、DCPT信号のみを通過させるバンドパスフィルタを形成可能なことを計算機シミュレーションにより明らかにし、DCPT方式に比べ伝送に要する時間を12%にまで削減できることを明らかにしている。

第5章は結論であり、本論文で検討した結果を要約し、本成果がコグニティブ無線システムの実現に寄与しうることを確認している。

(論文審査の結果の要旨)

携帯電話やスマートフォンに代表される無線通信サービスの普及・高速化に伴い利用可能な周波数帯域が逼迫しており、限りある周波数資源の有効利用が不可欠である。その課題を解決できる技術として、いわゆる“コグニティブ無線”が注目を集めている。本論文は、ヘテロジニアス型とホワイトスペース型の2種類のコグニティブ無線を対象として、ソフトウェア無線技術の応用の可能性、及び効率的な周波数利用とリアルタイムなシステム制御を両立する制御信号伝送方式に関する研究成果を取りまとめたものであり、得られた主な研究成果は次の通りである。

- (1) 周囲の状況に応じて複数の無線通信システムを使い分けるヘテロジニアス型コグニティブ無線の実現に際して、動的再構成可能なプロセッサを用いたソフトウェア無線機について詳細な検討を行い、動的再構成可能プロセッサを2つないし3つ搭載することにより、LTEなど最近の無線通信システムの変復調処理が実現可能であることを明らかにした。また複数の無線システムに対応する処理を並列に実装した従来型の無線モデムに比べ、実装面積では有利であるか、もしくは差が少ないことを明らかにしている。
- (2) 動的に周波数を変更しながら通信するホワイトスペース型コグニティブ無線では参加希望局に利用中のキャリア周波数を知らせることが不可欠である。親局による集中制御方式を前提に、その制御信号のキャリア周波数を知らなくても、子局が情報を復元可能なDCPT (Differential Code Parallel Transmission)方式を提案した。DCPTでは2つのキャリア周波数を同時利用して信号伝送するが、子局はその周波数差のみ知っていれば復号可能となる。理論検討及び計算機シミュレーションにより、他の干渉信号が存在する環境下でも制御信号の伝送が可能なことを明らかにした。
- (3) DCPT方式は基本的に広帯域であるため所望信号対干渉雑音電力比の改善を図る必要がある。そこで教師信号による学習を通じて周波数特性の改善等が可能な適応等化器に着目し、受信信号を教師信号、周波数シフトした信号を入力信号として学習させるか、あるいは双方の信号を入れ替えて学習させる手法を提案した。提案方式によりキャリア周波数が未知の所望信号のみを通過させるバンドパス処理が可能なことを確認した。計算機シミュレーションの結果、DCPT方式に比べ伝送にかかる時間が12%にまで削減された。

以上要するに本論文は、ヘテロジニアス型とホワイトスペース型の2種類のコグニティブ無線の実現上の課題解決に向けて、ソフトウェア無線機による実装の可能性及び柔軟かつリアルタイムなシステム制御信号の伝送に関する研究成果を取りまとめ、逼迫する周波数資源の効率的な利用に資する有用な知見を与えたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年2月20日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。