

論文の内容の要旨

論文題目	Studies on Modulation Classification in Cognitive Radios using Machine Learning (和訳：機械学習を用いたコグニティブ無線における変調方式識別に関する研究)
学位申請者	朱 旭

周波数資源の逼迫により現在の無線周波数の割り当てでは、将来の無線通信の需要を満足できないことが懸念されており、その解決策として、無線環境の認識結果に従って、送信電力、利用周波数、変調方式などの通信パラメータを適応的に利用することで、周波数利用効率の改善を目指すコグニティブ無線技術に注目が集まっている。コグニティブ無線では、スペクトラムセンシングによりプライマリシステムを検出し、周辺の無線環境を把握することで複数システムが相互干渉なく周波数を共用することが期待されている。このような高度な周波数共用システムの実現には、環境のセンシングや送信に高度な戦略が必要であり、二次利用ユーザにおける信号処理に対する期待が大きくなっている。中でも、スペクトラムセンシングの性能改善は全体の周波数利用効率改善に大きく寄与する。その改善法の一つとして、変調方式の識別を行った上で、プライマリシステムとセカンダリシステムの判定を行う手法がある。例えば、一次システムと二次システムが混在する環境では、二次システムが一次システムの変調を認識することで、干渉の正確な推定が可能となる。また、一次システムの変調の選択状況に応じて、二次システムの送信電力の調整が可能となるなどその活用法は多様である。加えて、信号と雑音の識別も変調方式識別で実現可能であるため、信号が混在し通常センシングに用いる電力による信号検出が不可能な環境に加えて、通常のスペクトラムセンシングで取り扱う信号の有無を判定する際にも役立てることができる。

そこで、本論文では、変調方式識別に注目し、機械学習を活用することでその性能を向上させる手法について検討を行う。1つ目の研究として、教師あり学習による変調方式識別手法の検討を第4章で述べる。ここでは、特徴量として雑音に耐性のある高次キュムラントを用いることとし、ニューラルネットワークを拡張したStacked denoising autoencoderを識別手法として選択する。層構造を持

つ事前学習は局所解への収束を回避し、denoising機能は雑音耐性を高めることが可能となる。提案手法の有効性を確認するため識別性能と実行速度に関して従来手法と比較をしている。次に、2つ目の研究として、教師なし機械学習を用いた変調方式識別アルゴリズムの検討を第5章で述べる。ここでは、時間周波数分布の特徴量を活用することとし、事前にクラスタ数が決定可能な、Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN)を識別手法として利用する。シミュレーションにより、本手法が従来手法より、正確な識別ができることを確認している。加えて、本手法が事前学習を必要としないことから、教師あり学習に比べて汎用性が高いことを示す。最後に第6章で提案する2つの方式を比較し、利点欠点を明らかにする。

今後の課題として、計算ハードウェアの制約のもとでの、アルゴリズムの最適化があり、その発展策としてGPU計算機を利用した教師あり学習の活用がある。また、あらかじめ準備した変調方式の種類に応じて、ネットワーク構造を再設計する方法についても検討が望まれる。また、教師なし学習については、キャリア周波数オフセットにいかに対応するかが、課題となっている。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 朱 旭

審査委員主査 藤井 威生

委員 張 熙

委員 山尾 泰

委員 石橋 功至

委員 小島 年春

委員

委員

本論文は、将来の無線通信の発展の課題となっている周波数資源不足の問題に対して、無線環境を観測しその認識結果に従って適応的に無線パラメータを変更するコグニティブ無線技術に着目している。コグニティブ無線では周辺環境を着実に認識して、状況を把握することで、複数のシステムが同じ周波数をお互い干渉することなく共用することで、周波数の有効利用を図る技術である。ここで必要な無線環境認識では、既存システムであるプライマリシステムを確実に検出し、その状態を把握することが重要になる。そこで、本論文では、プライマリシステムの状況認識を高度化するため、変調方式識別に機械学習を活用することで、その認識性能の改善を図る検討を行っている。ここでは、教師あり学習による変調方式識別と教師なし学習による変調方式識別を代表する2つの手法について検討を行い、計算機シミュレーションによりその有効性を実証し、無線環境認識に資する新たな手法を確立している。

第一章は、本論文の導入部として、コグニティブ無線を用いた環境認識による高度な周波数共用による周波数有効利用の考え方と、環境認識としてのスペクトラムセンシング技術の有用性について説明している。その後、本論文の主題である変調方式識別の活用に対する課題を整理し、提案する教師あり学習法と教師なし学習法の概要を記述している。続けて、本論文の目的を述べ、全6章で構成される本論文の構成について記述し、本論文の全体を俯瞰している。

第二章は、本論文で検討する変調方式識別に関する信号モデルを記述している。変調信号の特徴や、無線通信チャネルを想定した場合のチャネルを考慮した信号モデルについてまとめている。加えて、本論文で検討する変調方式識別に対する課題の整理と、今回の検討で前提となるシステムモデルについての説明を行っている。

第三章は、コグニティブ無線における変調方式識別に関する概要をまとめている。変調方式識別法について一般的な手法に関する記述の後、従来手法として最尤推定を用いた変調方式識別法について説明を行っている。続けて、特徴量を用いた手法として、時間特徴量・周波数特徴量を利用した手法、高次統計量の特徴を利用した手法、周期定常性解析を用いた手法について記述している。加えて、独立成分分析を用いた場合との比較を行い、本研究で取り組む手法の基盤技術の紹介を行っている。

第四章では、本論文の一つ目の提案として、教師あり学習による変調方式識別に関する説明および評価を行っている。ここでは、短いシンボルで変調方式識別を行う高速識別手法と、十分な長さで変調識別を行う高精度識別手法の二つについて検討を行っている。本検討では、特徴量として雑音に耐性のある高次キュムラントを用いることとし、ニューラルネットワークを拡張したStacked denoising autoencoder法(SDAE法)を識別手法として採用している。本手法では、層構造を持つ事前学習を用いることで、局所解への収束を回避し、denoising機能により雑音耐性を高めている。提案手法の有効性を確認するため、識別性能と実行速度に関して、従来からの最尤推定法と比較を行い、提案手法の有効性の確認を行っている。

第五章では、本論文の二つ目の提案として、教師なし機械学習を用いた変調方式識別手法に関する説明および評価を行っている。ここでは、特徴量として振幅特性と周波数特性の二つの分布を採用し、事前にクラスタ数が決定可能であるDensity-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN)を識別手法として採用した。計算機シミュレーションにより、本手法が従来手法と比較して、高精度な識別ができることを確認している。加えて、本手法が事前学習を必要としないことから、教師あり学習に比べて汎用性が高いことを示す。

第六章では、第四章と第五章で提案を行った教師あり学習と教師なし学習を用いた変調方式識別について、その性能の比較を行っている。それぞれ、事前学習の必要性、条件、性能をまとめることで、それぞれの手法をまとめている。さらに、本論文全体のまとめを行い、今後の研究課題についての整理を行っている。

本論文について、平成29年7月31日に公聴会および最終審査会を開催して、学位授与の審査を行った。審査の結果、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。