

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	牧野 仁宣
論文題目	Wide-area broadband private wireless communication system (広域広帯域自営無線通信システム)		
(論文内容の要旨)			
<p>ICTを利用した様々なアプリケーションの普及により通信トラフィックは爆発的に増大しており、電波を利用する無線通信の需要は特に増加している。これまでの無線通信はユーザの能動的な動作によりモバイル端末と基地局が接続することが中心であったが、近年、machine-to-machine (M2M)通信・vehicle-to-everything (V2X)通信など様々な形態での無線通信の利用が増加している。これらの通信は通信事業者が提供する携帯電話に代表される公共無線通信システムではなく、利用者の手によって用途に合わせたシステムの開発や、用途に合わせた標準規格に基づくシステムの導入が行われるため、自営無線通信システムと呼ばれる。現在、狭域や狭帯域の自営無線通信システムの検討はされているが、広域広帯域を実現する自営無線通信システムは、利用モデルも含め十分検討がされていない。本論文では、今後公共公益分野および放送分野で必要となる二つの用途の広域広帯域自営無線通信システムを実現することを目的とする。</p> <p>第一の自営無線通信システムとして、VHF帯を利用した広域自営無線通信システムであるwireless regional area network (WRAN)を取り扱う。VHF帯は携帯電話に主に用いられるUHF帯に比べて低い周波数帯であり、波長が長く、電力減衰が相対的に低いため広域通信が可能である。また動画像等の伝送も可能である。一方で、広域通信に伴い、長い遅延時間を持つ遅延波も受信され、それに伴い周波数選択性フェージングが発生し、所望波に影響を与える。しかし、この周波数選択性フェージングの影響を軽減し、VHF帯においても移動環境で高品質な伝送を行うことができる自営無線通信システムの検討が十分されていなかった。本論文では、VHF帯特有の周波数選択性フェージングが存在する移動通信環境下においても高い伝送品質を実現する直交周波数分割多元アクセス (orthogonal frequency division multiple access) 方式を利用した移動無線通信システム、特に受信方式を提案する。また、提案方式を搭載した実無線機を開発する。さらに、より広域なシステムを実現するために、この無線機を複数利用して、マルチホップ伝送技術と呼ばれる情報の中継技術を用いて通信エリアを拡張させた場合の伝送距離と伝送レートについて評価する。</p> <p>第二の自営通信システムとして、1.2 GHz/2.3 GHzという高い周波数帯を用いて、広帯域を使用する次世代の放送事業用無線局 (field pick-up unit: FPU) を取り扱う。この次世代FPUではマラソンやロードレースなどにおいて超高精細映像の伝送を行うことが想定されているため、広帯域伝送が必要となる。また、高い周波数帯を利用するため、ドップラーシフトの影響を強く受け、移動伝送時には伝搬環境が激しく変化し、伝送品質の劣化要因となる。また、広帯域であるため、帯域内の周波数選択性フェージングの影響も伝送品質の劣化要因となる。この伝送品質の劣化を軽減する無線伝送方式の検討が必要になる。次世代FPUでは、大容量化のため、基地局と移動局それぞれ4本のアンテナを使用し、空間的に多重して伝送する特異値分解 (singular</p>			

value decomposition: SVD)-multiple-input multiple-output (MIMO)と、移動環境においても高品質な通信を行うため、時々刻々と変化する伝搬環境に追従して伝送パラメータを変更し、安定伝送と高速伝送の両立を実現する適応送信制御 (adaptive transmission control: ATC)の利用が提案されている。SVD-MIMOでは、送受信のウェイト行列を使用して伝送する。しかしこのウェイト行列はシステム設計上回避困難な劣化が存在する。従来のATCでは理想的なウェイト行列で伝送した場合の伝送路品質に基づくATCを適用していたため、性能が大幅に劣化していた。本論文では、劣化した伝送路品質を推定し、それに基づいてATCを実施する方式を提案する。また、更に高品質な伝送を実現するため、劣化した送信ウェイト行列を機械学習 (machine learning: ML)により補償する方式を提案する。同様にMLによる補償性能を簡易的に評価する簡易指標と、学習データの作成手法についても提案する。

次に、提案した自営通信の評価結果をもとに、様々なアプリケーションで自営無線通信システムを用いた、各種アプリケーション用プラットフォームの実現に向けた展望を述べる。この展望においては、まずWRANを用いたプラットフォームとして、様々な分野に適応可能なcyber-physical system (CPS)プラットフォームを提案する。次に、次世代FPUを用いたプラットフォームとして番組制作プラットフォームを提案する。

本論文の構成は、第1章では、本論文で扱う各自営無線通信システムをとりまく状況について述べる。第2章では、各自営無線通信システムのユースケースと仕様を述べる。第3章では、WRANについて、シングルホップおよびマルチホップ伝送方式に関して提案し、その伝送特性を評価する。第4章では、次世代FPUにおけるATC改善手法について提案し、その伝送特性を評価する。第5章では、更に高品質な伝送を実現するため、劣化した送信ウェイト行列をMLにより補償する手法を提案し、その伝送特性を評価する。第6章では前章までの検討結果をもとにして、自営無線通信システムを用いた各種アプリケーション用プラットフォームの実現に向けた展望を述べる。最後に第7章で本論文の結論を述べる。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、今後公共公益分野および放送分野で必要となる二つの用途の広域広帯域
自営無線通信システムの実現のために必要となる各種課題を解決する伝送技術を提
案し、その有効性を示したものである。本研究で得られた主な研究成果は以下の通
りである。

1. VHF帯を利用した広域自営無線通信システムであるWRANを実現する上での課題で
ある長い遅延時間を持つ遅延波に起因する周波数選択性フェージングの影響を軽
減し、VHF帯においても移動環境で高品質な伝送を行うことができる直交周波数
分割多元アクセス (OFDMA) 方式を利用した移動無線通信システム、特に受信方
式を提案し、この提案方式を搭載した帯域幅5MHzのWRAN実無線機を開発し、周波
数選択性フェージング存在下においても時速80kmの移動速度で伝送できることを
実証している。さらに、より広域なシステムを実現するために、この無線機を複
数利用して、マルチホップ伝送技術と呼ばれる中継技術を用いて通信エリアを拡
張させた場合の伝送距離と伝送レートについて評価し、WRANを用いてマルチホッ
プ伝送を行う場合、Uplinkで1.0Mbps、Downlinkで0.1Mbps伝送時に最大50kmの伝
送距離を実現可能であることを示している。
2. 1.2GHz/2.3GHz帯を用いて広帯域を使用する次世代の放送事業用無線局 (FPU) 実
現の上での課題である高周波数利用に起因するドップラーシフトの影響および広
帯域伝送に起因する周波数選択性フェージングの影響を軽減し、大容量で高品質
な伝送を行うため、基地局と移動局それぞれ4本のアンテナを使用し、空間的に
多重して伝送する特異値分解 (SVD)-MIMOを基本とし、その伝送特性改善手法と
して、次世代のFPUで使用される適応送信制御(ATC)に対して、劣化した伝送路品
質を推定し、それに基づいてATCを実施する方式、劣化した送信ウェイト行列を
機械学習により補償する方式を提案し、最大7.0dBの伝送特性の改善が実現可能
であることを示している。
3. WRANを用いたプラットフォームとして、様々な分野に適応可能なCPSプラットフ
ォームを、次世代FPUを用いたプラットフォームとして、番組制作プラットフ
ォームを提案し、様々なアプリケーションで利用可能な自営無線通信システムを用
いたプラットフォームを展望している。

以上、本論文は、公共公益分野および放送分野で必要となる二つの用途の広域広帯
域自営無線通信システムの実現のための各種課題解決に向けた伝送技術に関する研
究、開発、実機実証を行い、次世代のV2X通信、M2M通信の実現につながるいくつか
の要素技術に関して知見を与えたものであり、学術上また実用上、将来の無線通信
システムの発展に貢献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。

令和6年1月30日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、
合格と認めた。また、本論文のインターネットでの全文公表についても支障がない
ことを確認した。