

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	福園 隼人
論文題目	Spatial Signal Processing on Distributed MIMO Systems （分散MIMOシステムにおける空間信号処理）		
（論文内容の要旨） インターネットの爆発的な普及に伴い、利便性の高いモバイル端末によるデータトラフィックの増加が近年著しい。ライセンスバンドを利用したセルラーシステムによるインターネット接続環境に加え、近年屋外においてもアンライセンスバンドによる接続環境を提供可能な無線 LAN（local area network）の重要性が高まっている。爆発的に増加するトラフィックに対応するために無線 LAN はIEEE 802.11n標準、IEEE 802.11ac標準でみられるシングルユーザ MIMO（multiple-input multiple-output）、マルチユーザ MIMO 技術によりスループットを向上させてきた。次世代無線 LAN においてこれら空間信号処理技術をさらに発展させる必要がある。本論文は、分散 MIMO システムにおける空間信号処理に関する新規手法を提案し、その効果を理論解析、計算機シミュレーション、実伝搬実験など様々な側面から評価し議論する。 第 1 章は、本研究の背景、目的、および学術的貢献を述べる。第 2 章は、インプリシットフィードバックを用いたマルチユーザ MIMO システムにおける WCC（weighted-combining calibration）の提案を行う。WCC は複数の校正係数を最小平均二乗誤差重みで合成することで、校正精度の向上を実現する校正法である。WCC が校正精度を向上させることを計算機シミュレーションおよび測定器で構築した系による実伝搬実験により示す。第 3 章は、FPGA（field programmable gate array）を用いて開発したインプリシットフィードバックを用いたリアルタイムマルチユーザ MIMO-OFDM（orthogonal frequency division multiplexing）システムと、その実験結果の提示を行う。ユーザ端末を移動させることで動的環境を作り、その中で第 2 章で提案された WCC を用いることで動的環境においても安定したリアルタイムスループットが得られることを示す。第 4 章は、インプリシットフィードバックを用いた複数 AP 同時送信システムの提案を行う。従来システムのエクスプリシットフィードバックを用いた場合と提案システムのフレームシーケンスを提示し、それに基づく MAC（medium access control）スループット評価を行う。評価結果より、提案システムが MAC スループットを大きく向上させることを示す。また、実際のセル間干渉が発生する環境での提案システムの実験評価を行うために、集合住宅で通信路応答を測定しそれによるサムレート評価を行う。第 5 章は、AF（amplify-and-forward）協調リレーシステムにおける Alamouti 符号および Golden 符号のための最尤復調器の提案を行う。実際の無線 LAN のパラメータ条件下での提案された復調器の計算量と誤り率特性の定量的評価を計算機シミュレーションにより示し、適用領域を議論する。第 6 章は結論と、本研究の将来の発展について述べる。			

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は 1 頁を 3 8 字×3 6 行で作成し、合わせて、3, 0 0 0 字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、4 0 0 ~ 1, 1 0 0 words で作成し
審査結果の要旨は日本語 5 0 0 ~ 2, 0 0 0 字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、将来爆発的に増加するデータトラフィックに対応する次世代無線 LAN (local area network) 技術の確立に向け、分散 MIMO (multiple-input multiple-output) システムにおける空間信号処理に関する新規手法を提案し、その効果を理論解析、計算機シミュレーション、実伝搬実験など様々な側面から評価し議論するものである。本研究で得られた成果は以下の通りである。

1. セルスループットを向上させるインプリシットフィードバックを用いたマルチユーザ MIMO システムにおける上り CSI (channel state information) の高精度校正法 WCC (weighted-combining calibration) を提案した。校正係数の通信路利得に基づく MMSE (minimum mean square error) 重みは分母項の雑音成分により一般に導出が困難であるが、高 SNR (signal to noise power ratio) の仮定下での線形近似とコーシーシュワルツの不等式を利用することで解析的に導出した。また、WCC による校正係数の平均二乗誤差を導出し、ダイバーシティ効果による校正精度向上が実現されることを理論的に示した。また、測定器により構築したインプリシットフィードバックを用いたマルチユーザ MIMO-OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 伝送系による屋内の実伝搬実験で従来校正法と比較し、WCC の特性向上効果を確認した。

2. インプリシットフィードバックを用いたマルチユーザ MIMO-OFDM 伝送を行うリアルタイム試作装置を FPGA (field programmable gate array) を用いて開発し、その開発システムの詳細と実伝搬結果を提示した。試作装置を IEEE 802.11ac 標準仕様に準拠した形で開発し、従来のエクスプリシットフィードバックに対し新規のインプリシットフィードバックで追加が必要である FPGA リソースを示した。また、ユーザ端末を移動させることで動的環境を作り、実際の使用環境を想定した伝搬評価を行った。その中で WCC を用いることで動的環境においても安定したリアルタイムスループットが得られることを示した。

3. エリアスループットを向上させるためのインプリシットフィードバックを用いた STMAP (simultaneous transmission from access points) システムを提案した。従来のエクスプリシットフィードバックを用いた STMAP システムと MAC スループットの比較を計算機シミュレーションにより行い、提案システムの優位性を示した。また、STMAP における送信ビーム形成に関わる式と評価指標となるサムレートの式を導出した。セル間干渉が発生する集合住宅で測定された通信路応答に基づくサムレート評価を行い、提案システムの実環境での有用性を示した。

4. カバレッジエリアを拡大させるための AF (amplify-and-forward) 協調リレーシステムにおける Alamouti 符号および Golden 符号のための最尤復調器を提案した。検討システムの実効通信路利得に基づき、性能評価のための不稼働率と平均誤り率を解析した。実際の無線 LAN のパラメータ条件下での提案復調器の計算量と誤り率特性の定量的評価を計算機シミュレーションにより示し、各復調器の適用領域と最適なリレー配置、電力割当量を明確化した。

以上、本論文は分散 MIMO システムにおける空間信号処理に関する有用な新規手法を提案し、次世代無線 LAN の発展に貢献するものである。

本論文の内容は、学術上、実用上ともに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して認める。

また平成28年8月12日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。