

# 論文の内容の要旨

論文題目「モバイル通信におけるスループット向上に向けたマルチポイント協調通信に関する研究」

学位申請者 湯田 泰明

キーワード：マルチポイント協調通信 平均スループット MIMO通信  
無線中継通信 基地局間協調通信

モバイル通信システムはスマートフォンなどの高機能端末の出現等によりデータ通信量が爆発的に増大している。これに対応するには通信システム全体の伝送速度である平均スループットを格段に向上させる必要がある。携帯電話システムでは既存の第3世代携帯電話システム(3G)の3倍以上の性能を有するLTE-Advanced (Long Term Evolution - Advanced)システム(4G)の開発が2015年の実用化を目指し推進されている。携帯電話システムの国際標準化団体である3GPP(3rd Generation Partnership Project)は2005年から4Gの前身であるLTEシステムを、さらなる高速・大容量化を目指して2009年からLTE-Advancedシステムの標準規格化を推進している。

国際的な検討において、LTEおよびLTE-Advancedシステムでは基地局から端末への伝送方式として周波数利用効率の高いOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)を基本に適応制御と無線リソース割当制御等の技術を付加し平均スループットの向上を図ってきたが現状ではこれ以上の大幅な性能向上は見込めない。

そこで本研究は、性能向上に限界のあるこの基本伝送方式を、送信部と受信部に複数組み合わせ協調動作させることにより、更なる平均スループットの向上を図る「マルチポイント協調通信方式」を着想し検討を進める。この研究成果は上記国際標準の議論の場において認められ、LTE-Advancedシステムの性能向上に大きな貢献を果たしつつある。

具体的に述べると、このマルチポイント協調通信では端末側と基地局側の送受信部の設け方によりいくつものバリエーションが考えられる。本論文では、基地局から端末への通信を考えると、その中で基本的となる、(1)端末側と基地局側の送受信部をそれぞれ複数設ける、(2)端末と基地局の送受信部の間に中継送受信機を複数配置する、(3)端末は一つで基地局を複数設ける、の3つの構成で平均スループット性能の向上法を研究する。技術的には、第1は送受信双方において複数のアンテナを備えるMIMO(Multiple Input Multiple Output)通信、第2は基地局と端末の間に複数の中継局を設け複数の中継局経路で通信を行う無線中継通信、第3は1つの端末に対して複数の基地局を用いて送受信を行う基地局間協調通信である。本論文では、まずマルチポイント協調通信の課題を、上記3つの構成それぞれの観点から明らかにし、次に平均スループットをさらに向上させる新技術を考案し最後にそれらの性能評価と3つの構成の総合化に向けた検討を行う。なお評価のためのシミュレーションにはITU-Rおよび3GPPの各種標準モデルを用いる。

第1のMIMO通信は複数の経路(ストリーム)で異なるデータを伝送することでスループットの向上を図る。このMIMO通信においてはストリーム毎にその状態を示す制御信号を端末に通知する必要があるために平均スループットが低下する。この伝送方式をMCW(Multiple Code Word)と呼ぶ。また平均スループット性能は制御情報の伝送をも想定

して評価する。MCWを評価した結果高SINR(Signal-to-Interference plus Noise Ratio)環境ではMIMOチャネルを最大限活用でき平均スループットが向上する。しかし低SINR環境では平均スループット性能が劣化し且つストリーム制御に要するオーバーヘッドの増加が課題となる。そこで、4送信4受信のMIMO通信において品質の良い2ストリームと品質の悪い2ストリームにそれぞれ1つのCWを割り当ててCW数を減らして、制御信号の増加を抑え性能を改善する新しい伝送方式を提案する。シミュレーション評価により提案方式がMCWに比べて全てのSINR領域でその性能を3~20%改善できることを示す。

第2の無線中継通信では中継局を介した回線品質が基地局と端末間直接の回線品質より良好な場合に中継局を介した方がより高速で通信が可能となる。そこで多数の中継局を設置することで多くの端末が通信可能となる。しかし多数の中継局を設けるとそれらが相互に干渉し平均スループットの低下を引き起こす。この欠点を克服するため基地局から中継局に送信するタイミングをシフトすることで干渉を低減し平均スループットの向上を図る方式を提案する。この方式は中継局が基地局から信号を受信するタイミングで端末への信号の送信を停止し且つ中継局送受のタイミングの間隔が固定であることに着目し、中継局間で干渉を引き起こす時には干渉を与える中継局と通信を行っている基地局の送信タイミングをシフトすることでその中継局からの干渉の低減を図る。また同様に中継局間の送信タイミングのシフトも行い合計で平均スループットが1.4%改善できる。これにより中継局を用いないシステムと比べて平均スループットを17.0%改善できる。

第3の基地局間協調通信は1つの端末に対して複数基地局が協調して信号を送信することで平均スループットの向上を図る。この方式ではまず協調通信を行う複数の基地局に関するチャネル品質情報を端末側で計測して基地局側に報告する。この時に複数のチャネルを活用する端末は1つのチャネルを用いる端末に比べて基地局に接続する確率が高くなり無線リソースを固定すると接続される端末数が減少し平均スループットが低下する。そこで無線チャネルの割り当て確率に協調通信を行う基地局数で重みづけを行い複数の基地局に接続された端末に割当機会が偏ることを避けて平均スループットの向上を図る。この方式を用いることにより平均スループットが7.2%改善できる。

以上の本論文で提案するマルチポイント協調通信技術は、基本的な3つの構成の何れにおいても今まで試みられなかった基本伝送方式を複数組み合わせる協調通信で平均スループットの改良に関する技術である。提案技術は協調通信が行われる異なった部分で改良を施しているため平均スループットの改善効果は各々の構成をそれぞれ独立に動作させても得られる。このためこれら3つの提案構成を全て用いることにより35.7%の平均スループットの向上が得られる。この中で第2の技術が最も性能が良く、また第3の技術は各端末への無線リソース割当の平準化の効果も得られる。またこれら提案3方式はハードウェアの変更なしにソフトウェアの変更のみで実装可能である。第1の技術では端末の変更で第2の技術では中継局と基地局の変更で第3の技術では基地局の変更により提案技術の実装が可能である。基地局と中継局は端末に比べ局数が限定されかつ管理も容易であるために各技術の実装は第3の技術第2の技術第1の技術の順で容易である。また第1の技術を搭載した端末は搭載しない端末と共存可能である。現在本論文の提案するマルチポイント協調通信方式に関し関連特許10件を出願し且つ第1の技術は3GPPの標準化に採用され第2と3の技術は提案済みである。本研究の成果は、世界標準の一部となって第4世代携帯電話の発展に大いに貢献することが期待される。