

## 論文の内容の要旨

論文題目	Studies on Cross-tier Interference Mitigation for Small Cell Networks Overlaid onto Macrocell (和訳：マクロセルにオーバーレイするスモールセルのための層間干渉低減に関する研究)
学位申請者	Ndong Massa

移動通信需要の爆発的な増加に応じて、単位面積当たりの周波数利用効率改善のため、フェムトセルやスモールセルといった小セル化によるセルラネットワークが注目されている。スモールセルは広いエリアをサポートする従来のマクロセルにオーバーレイして周波数共用環境で運用されることが多く、その性能改善には小セルとマクロセルという二つの層の間での干渉低減技術がその通信性能に大きく影響することになる。そこで、本論文ではスモールセルとマクロセル間の層間干渉低減技術として、層間情報フィードバックによる干渉低減技術、分散アンテナシステム (DAS: Distributed Antenna System) と連携した干渉低減技術、適応的な中継局制御による干渉低減技術を活用することを提案し、その有効性を理論的定式化および計算機シミュレーションにより明らかにする。

まず、一つ目の研究として、マクロセル端末からスモールセルへの干渉を、マクロセル基地局からスモールセル基地局へのフィードバックにより低減する手法の検討を行った。ここでは、マクロセル基地局とスモールセル基地局相互をつなぐバックボーンネットワークを活用し、マクロセル基地局で受信した信号をフェムトセル基地局へ転送する。フェムトセル基地局ではフェムトセルユーザからの希望信号と、マクロセルユーザからの干渉信号が交じり合っている受信信号をバックボーンネットワークからフィードバックされたマクロセルユーザ信号とともに、MMSE (Minimum Mean Square Error) 検出器に入力することで、フェムトセル希望信号のみを取り出す。このような干渉低減処理を行うことでフェムトセルの伝送特性の改善を目指す。最後に計算機シミュレーションによりその有効性を確認する。

次に、二つ目の研究として、フェムトセル基地局の干渉低減のため、DASを活用する手法について検討を行った。ここでは、マクロセル端末からの信号をマクロセルの性能改善のために設置された分散アンテナを集約するCPU(Central Processing Unit)経由でフィードバックする手法を提案する。CPU周囲のフェムトセルをクラスタ化し、分散アンテナを活用することで、マクロセル端末の送信電力低減効果とバックボーンネットワークの負荷分散効果を得ることが可能となり、効率的に干渉低減の実現が可能となる。最後に本研究の有効性を計算機シミュレーションにより確認する。

最後に、三つ目の研究として、適応的な中継局制御による干渉低減技術の検討を行った。ここでは、マクロセルからスモールセルへの干渉低減のため、複数中継局の適応選択とAlamouti方式による時空間符号化STBC(Space Time Block Code)を活用したマクロセル下り回線の伝送品質の改善を目指す。加えて選択された中継器での適応的な電力制御を行うことで、マクロセルからスモールセルへの与干渉低減効果を得ることができる。本研究では中継器選択と最適電力設計を連携して動作させることでスモールセルへのアウテージ干渉を制限した上でマクロセル下り回線の誤り率を最小化できることを計算機シミュレーションにより求めた。

以上より、これらの干渉低減技術がマクロセルとスモールセルを活用したセルラシステムの性能を飛躍的に向上させることが可能となることを明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 NDONG MASSA

審査委員主査 藤井 威生

委員 唐沢 好男

委員 橋本 猛

委員 山尾 泰

委員 小島 年春

第一章では、本論文全体の背景について説明している。本論文では、フェムトセルやスモールセルといった小セル化によるセルラネットワークの周波数利用効率改善に関して検討している。このような小セルシステムは、広いエリアをサポートする従来のマクロセルにオーバーレイして周波数共用環境で運用することが多く、小セルおよびマクロセルという層の間での干渉低減技術が必要になる。そこで、本章ではセルラネットワークの新しい流れとして、これらの技術を説明し、本論文で取り組む層間干渉低減技術の位置づけを明らかにしている。

第二章では、本論文のターゲットである小セルシステムとマクロセルシステムの周波数共用方式について、その歴史的背景から、現在標準化されている方式において、周波数共用がどのように活用されているのか、また将来運用開始が予定されている方式においてどのように活用される予定なのかを明らかにしている。また、これらの方式で考えられている効率改善手法として、分散アンテナシステムやセル間協調システムなどについて概説している。

第三章では、本論文における研究の一つ目として、マクロセルのユーザから小セルシステムの基地局での干渉を回避するため、マクロセルで復調した信号を小セルにフィードバックして、層をまたいだ干渉除去を行う方式を提案している。ここでは、小セルの基地局で受信される希望波と干渉波が混合した信号と、マクロセル基地局から有線で接続されて入力されたマクロセルの信号を、MMSE (Minimum Mean Square Error) 規範に基づくアルゴリズムで重み付け合成することで、小セルが受ける干渉を大幅に低減する技術を考えている。計算機シミュレーションにより、干渉低減によるビット誤り率の低減とスループットの向上を確かめている。

第四章では、小セルとマクロセルの層間干渉低減に、分散アンテナシステムを活用することで、効率的にマクロセルの信号を小セル基地局にフィードバックし、干渉低減を図る手法を提案している。分散アンテナシステムは、CPU(Central Processing Unit)と呼ばれる集中制御部が複数の分散配置されたアンテナで受信した信号を集約して復調する仕組みを持っている。この仕組みを活用し、小セルをクラスタ化し、マクロセルの復調結果をマクロセル基地局からフィードバックするのでなく、その途中のCPUからフィードバックすることで、効率的に干渉除去する手法を提案している。計算機シミュレーションにより、マクロセルと小セル双方を考慮した合計キャパシティを導出し、本研究の有効性の確認を行っている。

第五章では、小セルネットワークの干渉を削減し、下り回線のマクロセルの特性を改善するため、中継局を活用する手法の検討を行っている。ここでは、中継局を2つ選択し、分散STBC(Space Time Block Code)に電力制御を施すことで、小セルへの干渉を一定以下に抑えた上で、マクロセルユーザ性能改善を図る方式である。ここでは、最適な中継局選択と、送信電力制御を施すことで、小セルへの干渉を一定量に押さえた上で、マクロセル下り回線の性能を大幅に改善できる技術である。最適化設計と、計算機シミュレーションにより、提案手法の有効性を示している。

最後に第六章では、本論文の全体をまとめ、将来の課題について述べている。

本論文について、平成27年2月9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。