The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	多素子アンテナを用いた高速無線アクセス技術に関する研究
Author(s)	奥山, 達樹
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76210
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　奥山　達樹　　）	
論文題名	多素子アンテナを用いた高速無線アクセス技術に関する研究

論文内容の要旨

本論文は，筆者が大阪大学　大学院工学研究科　電気電子情報工学専攻在学中に行った多素子アンテナを用いた高速無線アクセス技術に関する研究成果をまとめたものであり，以下の6章で構成した．

第1章は序論であり，本研究の背景として，第4世代セルラシステム(4G)と比較して高速な無線通信を第5世代セルラシステム(5G)により実現するための課題を示した．5Gが展開される高周波数帯では伝搬損失が大きく，エネルギー効率と周波数利用効率の両者を向上させる必要があるので，本論文では，指向性を生成し制御するビームフォーミングと，空間的に分散配置した送信点に基地局の多素子アンテナを配置することで面的な受信電力偏差を抑制する技術の必要性を示し，それに基づく最大スループットおよび面的な平均スループットの向上が本研究の目的であることを明確化した．

第2章では，最大スループット向上に必要な多数のストリームの多重においては，移動局間およびストリーム間の干渉が問題となるので，下りリンクにおける移動局での所望信号検出のためには，干渉抑制技術の適用による基地局の素子数増加に伴う演算量増加が課題となることを明らかにした．上りリンクでは，基地局の多素子アンテナを用いた低演算量繰り返し信号検出技術として，整合フィルタ(MF: Matched Filter)に基づくGaussian Belief Propagation (MF-GaBP)が検討されているが，通信路行列の相関が高い環境での検出精度の劣化が課題であることを明らかにした．次に，平均スループット向上のため，基地局のアンテナ素子の分散化を適用する際，送信点数の増加に伴い送信点あたりの送信電力が低下しスループットの劣化が懸念されることから，送信点数や各送信点へ分散する素子数といった分散度合いの設計が重要な課題となることを明らかにした．

第3章では，上下リンクそれぞれでの最大スループット向上技術を提案し，シミュレーションにより伝送特性評価を実施した．下りリンクでは，基地局のアンテナ素子数より少数のビームを生成するウェイト行列と通信路行列との積で表される等価通信路行列を用いて移動局やストリームの多重を行うことで演算量を削減可能な手法を提案し，シミュレーションにより，基地局素子数の半数のビーム数で5Gの要求仕様の周波数利用効率を達成できることを明らかにした．上りリンクでは，MF-GaBPでの初回信号検出の精度を向上させるため，MMSE (Minimum Mean Square Error) 検出をMF-GaBPの前段に組み合わせる手法を提案した．シミュレーションにより，理想的な干渉抑制動作時と同等のビット誤り率を達成できることを示し，基地局素子数と同数のストリームを検出できることを明らかにした．

第4章では，第3章で提案した手法を実環境へ適用するため，実験装置を用いた屋内外実験により提案手法の有効性を評価した．下りリンクでは，移動局に直接到来する直接波に加えて，建造物などに反射して到来する遅延波の有効活用により，提案手法は5Gで要求されるスループットを達成できることを示した．上りリンクでは，限られたスペースに多素子を配置することに起因して通信路行列の相関が高くなることがあり，そのような環境ではMF-GaBPはビット誤り率においてエラーフロアが見られるため，MMSEを組み合わせた提案手法により，そのエラーフロアを解消でき，理想的な干渉抑制動作時に漸近するビット誤り率を達成できることを明らかにした．

第5章では，まず，基地局の分散化により面的な平均スループットを向上可能であることをシミュレーションにより明らかにした．そして，分散度合いの設計という課題に対して，様々な伝搬環境で分散度合いの影響を評価し課題解決を図るため，実験装置を用いた屋内外実験で得た伝搬データを用いて，送信点数を変化させたときのスループット特性を評価し，屋内外どちらの環境においても受信電力が高くなる送信点に優先的にアンテナ素子を分散化させることで面的な平均スループットを向上できることを明らかにした．

第6章は本論文の結論であり，得られた成果の総括として，提案手法は5Gにおける各リンクの最大スループットの向上ならびにエリア内での平均スループットの向上を可能とし，4Gまででは実現困難であったサービスやソリューションの実現に寄与できることを示した．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　奥山　達樹　）			
論文審査担当者	（職）	（職）	氏　名
	主 査	教授	三瓶　政一
	副 査	教授	馬場口　登
	副 査	教授	丸田　章博
	副 査	准教授	衣斐　信介（同志社大学理工学部電子工学科）
	副 査	教授	滝根　哲哉
	副 査	教授	宮地　充子
	副 査	教授	井上　恭
	副 査	教授	鷲尾　隆（産業科学研究所）
	副 査	教授	駒谷　和範（産業科学研究所）

論文審査の結果の要旨

本論文は、第 5 世代セルラシステム(5G)における高速通信実現の技術である MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)ストリーム多重技術および多素子アンテナ分散化技術に関する研究成果をまとめたものであり、以下の 6 章よりされている。

第 1 章は序論であり、5G に対する無線伝送要求条件が、それ以前の世代と比較してどのように異なっているのかを明確にするとともに、本論文で検討対象とする空間多重技術による伝送速度の高速化の位置づけを明らかにしている。

第 2 章では、5G での伝送速度高速化では空間多重可能なストリーム数を増す必要があること、空間ストリーム多重においては演算量の大幅低減、アンテナ間相関が高い状態でも高精度に信号分離が可能であること、エリア内ユーザの平均スループットを高くすることが必要であることを示し、本論文における技術的課題を明らかにしている。

第 3 章では、100 MHz の伝送帯域幅を用いて 5 Gbit/s 以上の伝送速度を達成できる MIMO ストリーム多重技術において、下り回線においては、アンテナの多素子化に伴って演算量が増加するという課題に対し、ビーム数の次元で多重処理を実現する FBCP (Fixed Beamforming and CSI-based Processing) を、また上り回線に対しては、アンテナ相関が高い場合のビリーフ精度の劣化の影響を抑制するため、GaBP (Gaussian Belief Propagation) と MMSE (Minimum Mean Square Error)を併用した MF-GaBP (Matched Filter based GaBP) を提案している。またいずれの場合においても計算機シミュレーションによって、理想的な干渉キャンセル動作を想定した場合とほぼ同等の性能が得られることを明らかにしている。

第 4 章では、第 3 章で開発した技術に基づいて伝送実験装置を開発し、屋内外環境において伝送実験を実施し、その性能評価を行っている。実機においても、目標である、100 MHz 帯域幅で 5 Gbit/s 以上の伝送速度が実現可能であり、開発した技術が実機でも実現可能であることを明らかにしている。

第 5 章では、一定のエリアでマルチユーザ環境を想定した場合に、ユーザ間でのサービス品質の平準化を実現するため、空間内での平均スループットを向上させることを目標とし、そのために、基地局アンテナ素子を空間的に分散配置する技術を検討した。環境に応じてアンテナ分散配置の仕方を調整することで、面的な平均スループット特性を向上できることを明らかにしている。

第 6 章は本論文の結論であり、本研究で得られた結果をまとめている。

以上のように、本論文は 5G において空間多重伝送による伝送速度の高速化に関して多くの有用な知見を与えており、情報通信工学の発展に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。