

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	球面波関数展開を用いたMIMOシステムのためのアンテナ放射パターン最適設計法
Title(English)	
著者(和文)	新井麻希
Author(English)	Maki Arai
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10960号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:阪口 啓,廣川 二郎,高田 潤一,西方 敦博,青柳 貴洋,藤井 輝也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10960号, Conferred date:2018/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電気電子工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士（工学） Doctor of Engineering
学生氏名： Student's Name	新井 麻希		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	阪口 啓 教授
			指導教員（副）： Academic Supervisor (sub)	廣川 二郎 教授

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

近年、無線通信端末の普及や動画画像の高精細化、ストレージの大容量化に伴い、無線通信の大容量化への需要が高まっている。無線通信の大容量化技術の一つに、MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 伝送がある。複数の送信アンテナと複数の受信アンテナを用いて、同一時間・周波数において独立な複数のストリームを形成し、周波数利用効率を向上する技術であり、伝搬環境やアンテナ数に応じてダイバーシチ利得と多重化利得を得られることから、アンテナ数に比例して通信路容量を増やすことが出来る。無線通信システムの多様化が進む現状、そして将来の無線通信システムのさらなる高機能化が進む中で、第5世代セルラシステム(5G)においては Massive MIMO 伝送と呼ばれる数十、数百以上の多数のアンテナ素子を用いて MIMO 伝送を行うことが検討され、大容量化を実現するためのアンテナ設計が今まで以上に重要となる。

アンテナを設計するにあたって、以下のような複数の設計課題を解決する必要がある、例えば、限られたアンテナ実装体積内におさまるようアンテナ素子を小さくし、狭い間隔で配置しながらもアンテナ素子間の素子間結合や空間相関を低減するような給電設計や配置設計によりアンテナ性能を劣化させないようにしなければならない。また、伝搬環境やシステムに応じて垂直偏波、水平偏波などの偏波成分を考慮した設計も必要となる。従来のアンテナ設計では、数十、数百以上の多数のアンテナ素子を用いる場合に、同一素子を規則的に配置するなど、アンテナ構成が先にある程度決められた前提の下で素子配置や励振条件の設計が行われる。よって、得られるアンテナ放射パターンにはアンテナ素子構成や配置による制約があり、MIMO システムにとって最大限にダイバーシチ利得や多重化利得を得られるような最適解であるとは限らない。

本論文では伝搬環境に応じて通信路容量などのシステム特性を最大化する最適な MIMO アンテナの放射パターンおよび電流分布を設計する手法の提案を目的とする。そして、提案したアンテナ放射パターン最適設計法を用いてシステムを想定し、伝搬環境が与えられた場合の最適アンテナ放射パターンの導出結果について示す。得られた最適アンテナ放射パターンを実現するための電流分布を導出し、従来のアンテナ構成を用いた場合と最適設計結果を用いた場合との通信路容量特性の比較を行い、提案手法の通信路容量改善効果について明らかにする。

アンテナ素子形状や配置などの制約なしで伝搬環境に応じて MIMO アンテナの放射パターンを最適設計するため、送受逐次最適化により送信側および受信側の最適アンテナ放射パターンを導出する。その後、あるアンテナ実装面によって再現可能な放射パターンのうち最小二乗誤差を持つ準最適放射パターンと、準最適放射パターンに対応する電流分布を計算する。この手順を、OBPB (Optimal Beam Projection Beamforming) 法に基づく最適設計手法と呼び、第2章にて設計理論を述べた。第3章から第5章では、発射波および到来波の角度プロファイルが一樣な場合、角度プロファイルが非一樣で低周波・小規模アンテナの場合、角度プロファイルが非一樣で高周波・大規模アンテナの場合について最適設計手法を適用し、最適アンテナ放射パターン、準最適アンテナ放射パターンおよび対応する電流分布を求めた。得られた結果をもとに、従来アンテナ構成の場合との通信路容量特性の比較を行い、角度プロファイルに応じた放射パターンによる受信電力の増加、角度プロファイルで重み付けした直交性を持つ放射パターンによる伝搬路相関の低減、アンテナ放射パターン自由度の向上による伝送ストリーム数の増加により平均通信路容量を改善出来ることを明らかにした。例えば、大規模アンテナの場合に半球面等のアンテナ実装面を持つ球面構造アンテナによる準最適アンテナ放射パターンを用いることで、従来フルアレー構成の場合の3.5倍以上の平均通信路容量を得られることを数値解析により明らかにした。

本論文にて述べた最適設計法は、伝搬環境や周波数帯域の多様化、大規模アンテナ使用による設計自由度の増加に対して設計目標、指針を確立し、MIMO システムの通信特性を改善するために有用である。そしてアンテナ素子形状があらかじめ決まっていたり、送信側や受信側のうち一方の伝搬環境のみしか考慮していなかったりするような従来の設計法では得られなかった新たなアンテナ構造を見つけ、実現するために必要な手法である。この最適設計法をシステム設計や構築に取り入れることで、アンテナ素子、アレー形状、アレー配置などの設計および構築作業の支援に役立てることが出来る。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	電気電子工学	専攻
Department of		
学生氏名：	新井 麻希	
Student's Name		

申請学位（専攻分野）：	博士	（工学）
Academic Degree Requested	Doctor of	Engineering
指導教員（主）：	阪口 啓	教授
Academic Supervisor(main)		
指導教員（副）：	廣川 二郎	教授
Academic Supervisor(sub)		

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary (approx.300 English Words)

This paper proposes a new methodology to design optimal antennas for MIMO (Multi-Input Multi-Output) communication systems by using spherical mode expansion. For future wireless communication systems, such as SU massive MIMO systems, there are several design parameters such as beam patterns, the number of beams (streams), the shape of array antennas, and so on. In designing a conventional MIMO antenna, first the antenna structure (current distribution) is determined, like rectangular patch array antennas implemented on a planar surface with linear phase shift beam patterns. Second, antenna directivity is calculated based on the current distribution, and thirdly MIMO channel capacity is calculated by using given angular profiles and obtained antenna directivity. This process is repeated by adjusting the antenna structure until the performance satisfies a predefined threshold. However, it remains unclear whether existing configurations are optimal or not.

Therefore, we propose a method using OBPB (Optimal Beam Projection Beamforming) for designing configuration parameters of the hybrid beamforming. Given spatial channel properties of a MIMO channel, the optimal beam patterns are derived to provide the largest channel capacity with a constraint of the limited implementation space (volume). Then, the optimal beam patterns are projected on the assumed surface to calculate the achievable number of streams and the resulting channel capacity. The results of numerical analyses indicate OBPB with a spherical surface yields at least 3.5 times higher channel capacity than conventional patch array antennas with hybrid beamforming. The OBPB method contributes to deriving new antenna structures and simplification of the antenna design.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).