

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高効率・広帯域無線端末用アンテナにおける周波数・指向性可変の研究
Title(English)	Study of Tunability and Steerability in High-Efficiency and Wideband Wireless Terminal Antennas
著者(和文)	桧垣誠
Author(English)	Makoto Higaki
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10635号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:廣川 二郎,阪口 啓,西方 敦博,青柳 貴洋,庄司 雄哉
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10635号, Conferred date:2017/9/20, 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）： 博士 Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	桧垣 誠		指導教員（主）： Academic Advisor(main) 廣川 二郎
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は“Study of Tunability and Steerability in High-Efficiency and Wideband Wireless Terminal Antennas（高効率・広帯域無線端末用アンテナにおける周波数・指向性可変の研究）”と題し、全7章で構成されている。

第1章“Introduction（序章）”では、多様化する端末用アンテナの用途や要求仕様に対してアンテナのサイズ・効率・帯域の間にトレードオフがあるという問題点を提示し、この状況を打破する一解決手段として周波数や指向性を変化できる特性可変アンテナに注目している本研究の背景を述べている。また、特性可変アンテナの研究動向を俯瞰し、本論文において目標として設定した実用上有意義な性能と設計条件と共に、本論文の全体構成を示している。

第2章“Design method of variable antennas（特性可変アンテナの設計手法）”では、周波数や指向性を可変するアンテナを設計するために用いたGenetic Algorithmとモーメント法をベースとした高速かつ安定的なアンテナ形状最適化手法について述べている。本研究で導入した、数値グリーン関数を用いたモーメント法の繰り返し計算の高速化、可変回路と電磁界解析を連結する高速なポスト処理、ローカル解を避けるための障壁関数、等について概説し、その有効性について議論している。

第3章“Tunability design of electrically small antenna（電気的小型アンテナの周波数可変設計）”では、小型かつ広帯域の求められるセルラシステム向けの端末内蔵アンテナをモチーフとして、60mm×100mm×1mm 基板上 60mm×10mm×1mm の範囲に設計したアンテナと可変容量を用いた可変整合回路により 700～2700MHz の範囲を VSWR 3 以下、不整合損を含む総合効率 40%以上を達成した。互いにトレードオフ関係にあるサイズ・帯域・効率の3つの軸で従来研究との比較を行い、先端的な位置付けにあることを確認した。また、アンテナ設計体積から決定される限界性能計算結果とも比較し、周波数を可変できないアンテナと比べて3倍以上の動作帯域を得られていることを確認した。

第4章“Automatic tunability and its verification（自動周波数可変とその検証）”では、実使用状態でユーザの手や頭、机などの近接物の影響による不整合をリアルタイムに補償することを目的として、前章で設計した周波数可変のアンテナに制御回路を融合して自動整合を可能とした。従来の自動整合技術では、反射電力をモニタするために方向性結合器を用いており、このデバイスはセルラシステムで必要とされる 700～2700MHz にわたる広帯域をカバーすることが困難である。そこで、アンテナの先端付近にプローブを配置する方式を提案し、FPGA（Field Programmable Gate Array）を用いた試作機で正常な動作を検証した。山登り法により自動制御した可変容量の値は、周波数や近接物の有無に依らず最適な状態に収束した。動作メカニズムを分析した結果、先端容量結合により共振状態に近い整合状態であるほどプローブの検出電力が高まっており、両者の間に強い相関があることが確認された。

第5章“Steerable antenna design for MIMO system（MIMO システム向け指向性可変アンテナの設計）”では、MIMO 向けの指向性可変アンテナを検討した。MIMO 自体も複数アンテナの振幅・位相を加重合成することによりアレーアンテナの指向性を可変しているが、MIMO で実現できるアンテナ指向性が各アンテナ素子の指向性空間の線形和に限られることに着目し、各アンテナ素子の指向性を切り替え可能な MIMO システムを検討している。このシステムは従来研究されてきた単一の指向性可変アンテナを複数並べるだけで実現可能であるが、この場合は大型となり小型無線端末への実装は困難であるため、2つのアンテナ間にスイッチを介して接地する無給電素子を配置した簡易構成を提案した。設計の結果、28mm×8mm×10mm の小型ながら VSWR 3 程度の整合状態を維持しつつ、各素子の指向性相関を低減できるアンテナを実現した。各スイッチ状態における素子間指向性相関は 0.11、0.07 で、各素子におけるスイッチ切り替えに対する指向性相関は 0.50、0.83 となっている。

第6章“Advantage and mechanism of steerability（指向性可変の有効性と動作メカニズム）”では、小型ながら低相関の指向性切り替えを実現している動作メカニズムをモード解析により分析した。その結果、スイッチ切り替えによるモード分配電力の変化により動作を説明できることが分かった。さらに、一様レイリー分布を仮定した伝搬モデルにおけるチャネル容量を評価した結果、指向性切り替えによって、例えば半波長間隔の無損失のダイポールアンテナより 65% 以上の確率でチャネル容量が大きくなることが確認された。

第7章“Conclusion（結論）”では、本論文で得られた知見およびその意義を総括し、将来展望について纏めている。

以上を要するに、本研究は無線端末内蔵アンテナで特に問題となるアンテナのサイズ・効率・帯域のトレードオフの一解決手段として、周波数や指向性を変化できる特性可変アンテナについて検討したものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい。したがって、我々は本論文が博士（工学）の学位論文として十分価値があるものと認める。

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。

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

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

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

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This dissertation entitled “Study of Tunability and Steerability in High-Efficiency and Wideband Wireless Terminal Antennas” comprises seven chapters.

Chapter 1 “Introduction” remarks the tradeoff among the size, bandwidth and efficiency of antennas conflicting with the requirement for the built-in antennas in various wireless terminals and introduce variable antennas as one of the solutions to break through the conflict. And also from the view point of research trend, the specification and design conditions, and the whole composition of this dissertation are specified.

Chapter 2 “Design method of variable antennas” contains a description of some methods to design tunable and steerable antennas, such as the genetic algorithm combined with the method of moment (MoM) to realize a stable and fast optimization for the configuration of antennas. There are also some discussions about the effectiveness of the methods.

In chapter 3 “Tunability design of electrically small antennas” the 60 mm x 10 mm x 1 mm region in a 60 mm x 100 mm x 1 mm printed circuit board is set to be a design area for a tunable antenna for a mobile terminal for cellular systems which is required to be small and wideband as a motif of tunable antennas. It covers some bands for the systems in 700-2700 MHz band with the VSWR of less than 3 and the total efficiency including matching loss of more than 40 percent.

In chapter 4 “Automatic tunability and its verification” the automatic feedback control circuit is combined to compensate the mismatch caused by the vicinity of objects such as a desk, user's hand or head, etc. The proposed system controls variable capacitors connected between the antenna and a transmitter based on the received power of a probe.

Chapter 5 “Steerable antenna design for MIMO system” contains the study of a steerable antenna for the Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) system. The proposed antenna is supposed to enhance the available beam space, and as a result, a designed 28 mm x 8 mm x 10 mm antenna keeps its input impedance matching around the VSWR of 3 and the correlation of the radiation pattern between both the branches and the states of a switch at the same time.

Chapter 6 “Advantage and mechanism of steerability” reveals that the distributed power for its each characteristic mode causes the low correlation of the radiation pattern, and the channel capacity calculated with Rayleigh distribution of the proposed antenna is higher than that of lossless two dipoles with a probability of 65 percent.

Finally, the usefulness of the study in this dissertation is summarized in chapter 7.

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 1 copy 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).