

財団法人テレコムエンジニアリングセンター

公益的調査研究助成

成果報告書

調査研究テーマ

移動通信携帯端末に適するマルチアンテナ技術に 関する研究

助成期間

平成 20年 4月 ~ 平成 23年 3月

提出期日

平成 23年 4月 30 日

研究代表者氏名

袁 巧微

所属機関・職名

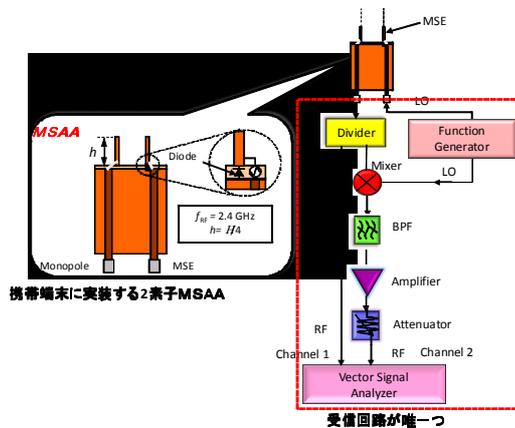
仙台高等専門学校 准教授

1. 調査研究の概要

調査研究テーマ	移動通信携帯端末に適するマルチアンテナ技術に関する研究	
助成期間	平成 20年 4月 ~ 平成 23年 3月	
報告者 (助成対象者)	袁 巧微	印
勤務先	機関名	仙台高等専門学校
	住所	仙台市青葉区愛子中央4丁目16番1号
	TEL	
	E-mail	
助成金額		
本報告書作成日	平成 23 年 4 月 30 日	

調査研究概要

近年のインターネットに代表される通信ネットワークの普及と発展に伴って、高速・広帯域の通信システムの実現が求められている。周波数利用効率の向上、伝送容量の増大のために、MIMO 無線通信技術は次世代移動体通信の性能を左右する重要な技術と考えられている。本研究では MIMO 無線通信システムの実用化に向け、受信回路の省略、低コストで実現できるとの利点を持つ変調散乱素子(MSE: Modulated Scattering Element)アレーアンテナ (Modulated Scattering Array Antenna: MSAA) を利用し、MIMO 無線通信システムに適用できる携帯端末マルチアンテナを提案した。本研究では、普通のダイポールアンテナ素子と他のダイオードを装荷したダイポールアンテナ散乱素子で構成されている2か3素子MSAAを用い、素子間隔が小さくなるとMIMOの通信容量が改善されたことを明らかにした。また、MSAAの特性を解析し、MSEで得るIF信号のレベルが低いことが高い伝送容量を得るに妨げていることを明らかにし、方向性があるアンテナの使用を提案し、より高い伝送容量が得られた。更に、周波数ホッピング技術と融合し、MSEで得られる低レベルIF信号の弱点を克服し、干渉波の抑圧効果が得られた。従って、本研究結果により、実用化に向け、携帯端末マルチアンテナの開発に大きく貢献した。また、本研究は実環境で携帯端末用マルチアンテナを評価し、その評価手法がアダプティブアレーアンテナだけでなくMIMOシステムの評価などに大きく寄与することになる。



2. 調査研究の詳細

2.1 課題名:

移動通信携帯端末に適するマルチアンテナ技術に関する研究

2.2 調査研究の背景

近年のインターネットに代表される通信ネットワークの普及と発展に伴って、高速・広帯域の通信システムの実現が求められている。また、オフィスや構内、さらには屋外でも高速の通信を可能とするために、光ファイバや電話線を用いた有線通信だけでなく、無線通信においても高速通信システムの構築が望まれている。しかしながら、無線を用いた移動体通信においては、周波数資源が有限であることから、現在までのところ高速化には限界があり、例えば第3世代移動通信でも最大 384 kbps程度の伝送速度しか得られていない。

この限界を克服し、さらに高速化を図るために、次世代移動体通信に関する研究が国内外で推進されており、従来のセルラーシステムだけでなく、構内無線 LAN や屋外にサービスエリアを限定した基地局を設置するシステム（ホットスポット）などが提案され、実用化も始まっている。また、アンテナの指向性を適応的に変化できるマルチアンテナを用いることにより、妨害波や他のユーザからの干渉波を抑圧して 1 人のユーザが占有できる周波数帯域を広げる研究が国内外で活発に行われており、アダプティブアレーアンテナ技術は次世代の移動通信の性能を左右する重要な技術と考えられている。さらに、限られた周波数帯域で、より多くの情報を伝送するために、MIMO 無線通信システムの研究と実用化も行われている。しかしながら、これらの研究においては、アンテナ素子を理想的な素子として取り扱い、主にシミュレーションによりその特性が評価されており、実際に問題となる移動通信端末用アンテナ素子の素子間相互結合や、端末筐体の影響を考慮した研究はあまり行われていないのが現状である。

このような背景から、本研究では移動通信携帯端末用のアダプティブアレーアンテナ、MIMO アンテナのようなマルチアンテナの実用化研究を目的とする。

2.3 調査研究の目的:

本研究は移動通信携帯端末用のアダプティブアレーアンテナ、MIMOアンテナのようなマルチアンテナの実用化に向け、素子間の相互結合、アレー素子指向性、端末筐体の影響を全て考慮して携帯端末マルチアンテナの特性を評価し、低コストで実現できるアンテナシステムを提案する。また、実環境で携帯端末マルチアンテナ特性とMIMOシステム容量を評価できる手法を確立する。

2. 4 調査研究の意義:

受信回路の省略, 低コストで実現できるとの利点を持つ変調散乱素子(MSE: Modulated Scattering Element)アレーアンテナ (Modulated Scattering Array Antenna: MSAA) を研究したことにより, より実用的な移動通信端末用アダプティブアレーアンテナの開発が可能となり, 従って, 移動通信端末のデータ通信速度の向上に貢献ができる. また学術的に, アダプティブアレーアンテナとMIMO技術の進歩に貢献ができる.

2. 5 調査研究の方法:

①携帯移動端末搭載用マルチアンテナ素子MSAAの設計と試作

携帯移動端末アンテナは, 端末筐体上に搭載されることから, 筐体の影響を考慮した設計が必要である. また, アンテナ構造だけでなく筐体構造も重要なパラメータとなるので, 多くのパラメータを考慮した解析が必要である. そこで, 時間領域差分法 (FDTD法) とモーメント法を用いて携帯移動端末搭載用アンテナ素子の数値解析と設計を行い, 周波数帯域, 放射効率に優れたアンテナ素子の構造を明らかにした. また, 実際にアンテナ素子を試作して筐体上に搭載し, これをアレー化して素子間相互結合やアレー素子指向性を測定した.

端末筐体を含むアンテナ素子の特性のFDTD法による数値解析では, 大容量のメモリーと高速の計算機が必要となることから, 東北大学の大型計算機を用い, アンテナ素子の特性解析と設計に用いられた. また, 消耗品の大部分は, アンテナ素子の試作に用いられた.

②干渉波抑圧の検討

携帯端末搭載MSAAをアダプティブアレーアンテナとして動作させて干渉波を抑圧するためには, 上記のように筐体の影響や素子間相互結合の影響を考慮した検討が不可欠である. 筐体の影響及び素子間相互結合も含めた研究を進めた. また, 携帯端末が使用されるLOS(Light of Sight) 及びNLOS(Non Light of Sight)環境で, 干渉波環境における干渉波の抑圧特性や, 空間分割多重(SDM)を用いたMIMO伝送容量などの総合的な性能を評価し, その限界を明らかにした. 更に, 環境を考慮したマルチアンテナの評価パラメータを洗い出すと共に, 移動端末用マルチアンテナの評価手法を確立した.

なお, 調査・発表については, アダプティブアレーアンテナに関する研究発表と討論の場として最も活動が盛んな電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会に出席して調査を行うと共に, 成果の発表を行った.

2.6 調査研究の特色

本調査研究では、端末筐体の影響を考慮してマルチアンテナ素子間の相互結合などの特性解析を行い、妥当な相互結合の評価法を開発した。また、携帯端末が限られたスペースに置かれていることから、アダプティブアレーアンテナの限界についても明らかにした。最後に、実環境でアダプティブアレーアンテナの評価パラメータを洗い出し、アダプティブアレーアンテナの評価手法を確立した。具体的な研究の内容としては、

- ① MSAAがマルチアンテナとして用いられた。素子間隔、携帯端末筐体を考慮したMSAA特性を数値解析で明らかにした。MSAAの設計指針を確立した。
- ② 携帯端末筐体にアダプティブアレーアンテナを搭載し、干渉波抑圧のアルゴリズムを適用して、干渉波が存在する場合について受信実験を行い、更に空間分割多重(SDM)を用いたMIMO伝送容量などを評価し、MSAAの性能とその限界を明らかにした。
- ③ 実環境でマルチアンテナの特性の評価手法を検討し、アンテナアレー構造によってマルチアンテナの特性変化を実環境で測定し、マルチアンテナによる干渉波抑圧、伝送容量増加の効果を明らかにした。

この中で、①及び②については端末筐体などアンテナ周辺の影響が無視されてきたのに対して、本研究では実際に近い状態で検討する点に大きな特色がある。また、③は従来アンテナの評価がほとんど環境を無視して行われてきたが、本研究では使用される環境も考慮したアンテナ特性評価が独創的な研究項目であり、その評価手法が確立したことでアダプティブアレーアンテナだけでなくMIMOシステムの評価などに大きく寄与した。

3. 年度ごとの調査研究内容

初年度分 平成 20. 4～平成 21. 3

本研究は、携帯移動端末搭載用マルチアンテナ技術に関する研究を進めている。MIMO システム及びアダプティブアレーアンテナシステムには回路の省略、低コストで実現できるとの利点で変調散乱素子アレーアンテナ (Modulated Scattering Array Antenna: MSAA) が非常に注目されている。MSAA は通常一つアンテナ素子と他のダイオードを装荷した多数のアンテナ散乱素子で構成されているため、受信回路は一つで済むという特徴を有する。本年度はその MSAA が MIMO システムまたはアダプティブアレーアンテナへの応用を実現するために、MSAA の特性解析を行っている。更に予定より進んだ屋内 LOS (Light of Sight) 及び NLOS (Non Light of Sight) 環境におけるアレー素子間隔により MIMO 伝送容量の測定も行われている。以下の結果が得られた。

1. 一つ素子が通常のダイポールアンテナ、もう一つはダイオード装荷したダイポールアンテナ、所謂変調散乱素子で構成された 2 素子アレーアンテナの受信特性に関する電磁界数値解析を行った。相互結合により、直接受信波と変調散乱波の振幅が素子間隔及び到来波方向の変化で大きく変化することを定量的に明らかになった。
2. 屋内 LOS と NLOS 環境で Agilent 89600S を使い、2 素子 MSAA は受信アンテナとして MIMO 伝送容量の測定を行い、MSAA の素子間隔が小さくなると MIMO の通信容量が改善されたことを明らかになった。
3. MSAA がマルチチャネル信号を受信でき、MIMO 通信用アレーアンテナとしての実用性が示された。

平成 21. 4～平成 22. 3

MSAA には MSE で得られる IF 信号のレベルが非常に重要であるため、今年度は MSE の IF 受信レベルの改善を中心とする研究を進め、以下の研究結果が得られた。

1. 非線形素子とアレーアンテナ素子の結合を同時に考慮できるボルテラ級数とモーメント法とのハイブリッド手法を提案し、図2に示すようなMSAAの特性を解析した[3][4]。提案した手法の中で、非線形変調散乱素子MSEは図3に示すような等価回路で表現され、アドミタンス Y_L がアレーアンテナ素子の結合を考慮し、モーメント法で求められた。また、電圧 $v(t)$ がボルテラ級数で近似される。従って、MSE に関する RF 信号のレベルと IF 信号のレベルが図 1 に示す等価回路による容易に求められる。本手法の有効性が実験で確認され、最大 IF レベルに対応する最適な直流バイパス電圧とロカル電圧の値が本手法により解明された。

2. MSE の IF レベル改善方法を提案した。項目 1 で提案された解析手法により、直流バイパス電圧とロカル電圧の調整で、散乱素子の IF レベルがある程度改善できることを明らかにした。しかしながら、直流バイパス電圧とロカル電圧の調整で大幅な散乱素子の IF レベルアップには期待ができない。ここで、図 3 のような反射板の挿入を提案し、アレーアンテナの方向性を作ることにより、散乱素子の IF レベルが約 2dB に改善されたことを確認できた[5]。

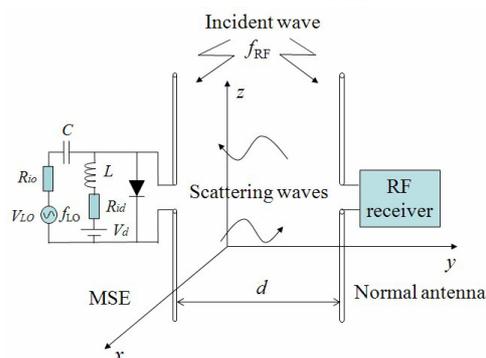


図2 2素子MSAAの構造

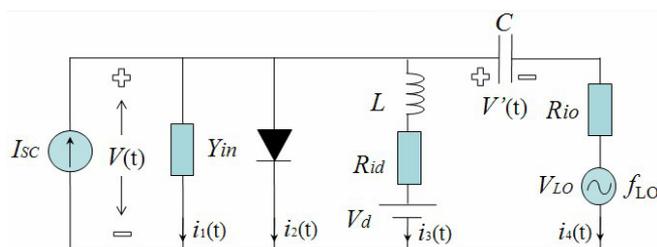


図3 MSEの等価回路

最終年度分 平成 22. 4～平成 23. 3

今年度はMSAAを用いたMIMOシステムにおける干渉波抑圧特性とNLOS(Non Light of Sight)環境でMIMO通信容量評価を中心とする研究を進め、以下の研究結果が得られた。

1. 周波数ホッピング技術による干渉波抑圧

平成22年度は周波数ホッピング技術を利用し、3素子MSAA(図4)を用いたMIMO受信システムの狭帯域干渉波抑圧効果を解析上で明らかにした(図5)[6]。解析では、50MHzと20MHzのシーケンシャルと選択的なホッピングパターンを用い、狭帯域干渉波の抑制効果を明らかにした。100MHzホッピング範囲に対して、シーケンシャルと選択的なホッピングパターンの差が無く、両方ともエラー率が0.031まで抑える結果が得られた。

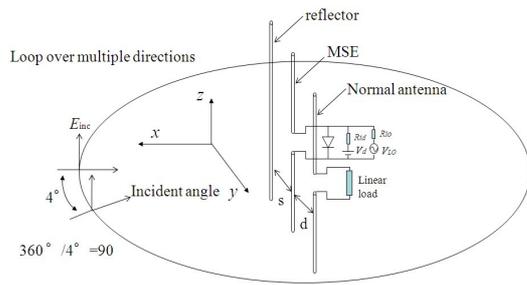


図4 MSAA

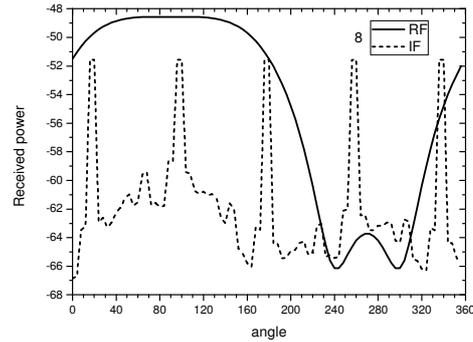


図5 周波数ホッピング

2. NLOS(Non Light of Sight)環境でMIMO通信容量評価

本年度は前年度の実験に引き続き、MSAAを受信アレーアンテナとして、携帯端末が使用されるNLOS(Non Light of Sight)環境(図6)で、空間分割多重(SDM)を用いたMIMO伝送容量を測定した[7]。MSAAの素子間隔が0.1から0.7波長までに設定すれば、十分なMIMO通信チャンネル容量を得られることを解明した。また、この測定手法は従来アンテナの評価がほとんど環境を無視した評価方法と異なっており、本評価手法では使用される環境も考慮したアンテナ特性評価が独創的な研究項目であり、その評価手法が確立したことでアダプティブアレーアンテナだけでなくMIMOシステムの評価などに大きな意味を持った。

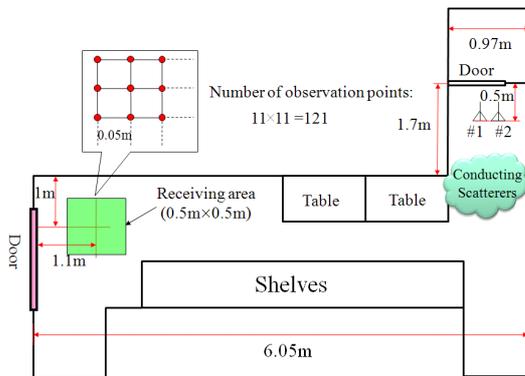


図6 測定環境

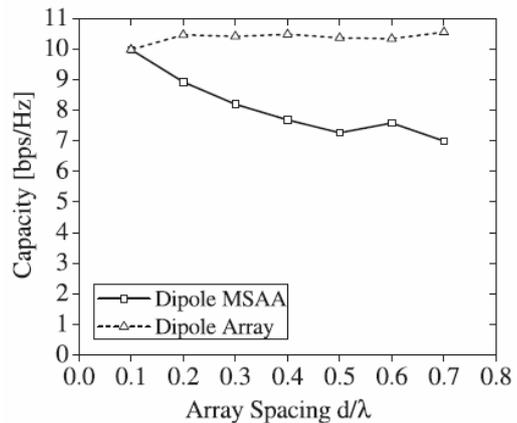


図7 MIMO伝送容量

4. 調査研究成果の説明

得られた成果に対する自己評価

本研究は、シングルな受信回路且つ低コストという特徴を有する MSAA を携帯端末マルチ受信アンテナに用いることを提案した。また、携帯端末に実装した MSAA に関する MIMO 伝送特性を異なる実験環境で評価し、素子間隔が小さい MSAA が高い伝送容量を有することから、MSAA が携帯端末の小形化に適用でき、且つ低コストマルチアンテナであることを明らかにした。従って、実用的に、移動通信端末のデータ通信速度の向上に貢献すると共に、学術的に、アダプティブアレーアンテナ理論と MIMO 技術の進歩に貢献ができる。

一方、LTE-Advanced または WiMAX2 の規格に準拠する第 4 世代通信システムには MIMO 伝送技術を欠かせない。将来的に、本研究で行った実環境での MIMO 伝送容量の評価方法が次世代携帯電話システムの評価、標準化に貢献するとも期待できる。

本研究はテレコムエンジニアリングセンターの多大な支援を頂き、以上の研究結果を得られる事ができ、深くお礼を申し上げます。今後は MSAA の素子の数の調整や、他のアンテナ素子の使用などで更なる高い MIMO 伝送容量の実現を期待する。

主な成果リスト

1. Lin Wang, Qiang Chen, Qiaowei Yuan and Kunio Sawaya, "Experimental Study on MIMO Performance of Modulated Scattering Array Antenna in Indoor Environment," IEICE AP, Hokkaido, Japan, July, 2008 .
2. Lin Wang, Qiang Chen, Qiaowei Yuan and Kunio Sawaya, "Experimental Study on MIMO Performance of Modulated Scattering Array Antenna in Indoor Environment," 伝送工学研究会, Tohoku University, Sendai, Japan, Nov. 2008 .
3. 王琳, 何芒, 陳強, 袁巧微, 澤谷 邦男, "Theoretical and Experimental Study on Modulated Scattering Antenna Array for Mobile Handset, " 伝送工学研究会, Tohoku University, Sendai, Japan, 平成21年7月21日 .
4. Lin WANG, Qiang CHEN, Qiaowei YUAN, Kunio SAWAYA, "EXPERIMENTAL STUDY ON MIMO PERFORMANCE OF MODULATED SCATTERING ANTENNA ARRAY IN INDOOR ENVIRONMENT, " The 12th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2009).
5. Lin Wang, Mang He, Qiang Chen, Qiaowei Yuan and Kunio Sawaya, "Diversity Performance of Modulated Scattering Antenna Array with Switched Reflector," 電子情報通信学会 2010 年総合大会.
6. Y. H. Lee, Y. G. Jan, L. Wang, Q. Chen, Q. Yuan and K. Sawaya, "Using hopping technique for interference mitigation in Modulated Scattering Array Antenna system," *IEICE Electron. Express*, vol. 7, no. 12, pp. 839-843, June 2010.
7. L. Wang, Q. Chen, Q. Yuan and K. Sawaya, "Diversity Performance of Modulated Scattering Antenna Array with Switched Reflector," *IEICE Electron. Express*, vol. 7, no.10, pp. 728-731, 2010.