

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560432

研究課題名(和文)次世代高速無線システムのための小型高性能アンテナ技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on Design Techniques of Miniaturized High-Performance Antennas for Next-Generation Wireless Communication Systems

研究代表者

山本 学 (Yamamoto, Manabu)

北海道大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20301939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：高品質な映像や音声等の大容量データを移動通信環境において高速伝送するための次世代高速無線システムが注目を集めている。同システムの礎となる無線通信方式として、MIMO技術やUWB技術の重要性が高まりつつある。本研究課題では、MIMO技術およびUWB技術を利用した高速無線伝送方式に適用可能な小型アンテナ技術を開発した。携帯電話やノートパソコン等の小型携帯端末に実装可能なMIMO用小型高性能アンテナ技術を開発するとともに、MIMO技術とUWB技術が併用された場合にも対応可能な、超広帯域特性を有する小型アンテナ技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：Next-generation wireless communication systems for the purpose of achieving ultra-high-speed data transmission in mobile communication environments have attracted considerable attention in recent years. MIMO and UWB play important roles as key technologies in realizing the next-generation wireless communication systems. The achievements obtained in this study are the developments of effective way for constructing miniaturized antennas that may be useful for high-speed wireless communication systems based on MIMO and UWB technologies. Techniques for realizing small and high-performance MIMO antennas that can be used in various kinds of miniaturized mobile terminals have been developed in this study. In addition to these achievements, design techniques of miniaturized antennas having ultra-wideband characteristics have been developed for the case where the both of MIMO and UWB techniques are used in the same time in high-speed wireless communication systems.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：アンテナ MIMO技術 UWB技術

1. 研究開始当初の背景

高品質映像や音声等の大容量データを移動通信環境において高速伝送するための次世代高速無線システムが注目を集めている。次世代高速無線システムでは、伝送速度・品質の更なる向上を目指して、MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) 技術の採用が検討されている。MIMO 技術は、送信データをあらかじめ複数の信号に分割し、それらを複数の送受信アンテナを用いて同じ周波数帯域で同時転送する無線伝送方式である。MIMO 技術に加えて、高速データ伝送を無線で実現するための一手段として、幅の狭いパルス状の電波 (インパルス信号) による通信を行う UWB (Ultra Wide Band; 超広帯域) 技術が有望視されている。次世代高速無線システムにおいて、MIMO 技術と UWB 技術を併用することで大容量データの超高速伝送を実現する試みもなされている。

MIMO 技術として、近年、様々な方式の研究開発が盛んに行われている。その一方で、送受信側ともに複数のアンテナを用いる必要があることに加えて、アンテナ間の距離を可能な限り離す必要があるといった制約を有する MIMO 用アンテナに関する研究は十分に行われていない。次世代高速無線システムでは、携帯電話やノートパソコン等の小型携帯端末がメインの構成機器となることが予想される。したがって、これらのような小型機器に実装可能な MIMO 用小型高性能アンテナ技術の開発が次世代高速無線システム実用化のための急務となっている。

また、UWB 技術は、従来の無線伝送方式に比べて非常に広い帯域 (数 GHz 幅) の周波数資源を必要とする。このため、MIMO 技術と UWB 技術が併用された場合にも対応可能な、超広帯域特性を有する小型高性能アンテナ技術を開拓することも、次世代高速無線システムの普及を促進するための重要課題である。更に、次世代高速無線システムの実使用環境として、携帯端末が人体手部に保持された状態や人体頭部に接近した状態で使用される等、通信機器が人体近傍で使用されるケースが多くなるものと考えられる。一般に、アンテナが人体に近接している場合には、その電気的性能が低下することから、人体近接時のアンテナ特性改善技術を探索・開発することも、次世代高速無線システムの実用化において不可避な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、MIMO 技術および UWB 技術を利用した高速無線伝送方式に適用可能な小型アンテナ技術を開発・提供することにより、次世代高速無線システムの実用化・飛躍的発展に資するところにある。具体的には以下に示す 3 項目について研究を進める。

(1) MIMO 用小型高性能アンテナ技術: 本研究代表者が過去に受けた科学研究費等による研究を通じて培った平面アンテナ技術を

ベースに、携帯電話機やノート PC 等の小型モバイル機器に実装可能な MIMO 用小型高性能アンテナ技術の確立を最終目標として、次のテーマにつき研究を行う。

MIMO 用小型アンテナ素子の開発。

小型機器に実装可能な MIMO 用小型アンテナシステム構成法の開発。

MIMO 用小型アンテナシステムにおけるアンテナ素子間相互干渉抑制法の開発。

(2) 超広帯域小型高性能アンテナ技術: 上記(1)の MIMO 用小型高性能アンテナシステムについて、超広帯域化のための基本検討を行う。具体的には、本研究代表者が従来受けた科学研究費等による研究において開発された UWB 平面アンテナ技術を発展させることにより、MIMO と UWB を併用する次世代高速無線システムに適した超広帯域小型高性能アンテナ技術を開発する。

(3) 人体近接時のアンテナ特性改善技術: 上記(1)および(2)の MIMO・UWB 用小型アンテナシステムに適用可能な、人体近接時のアンテナ特性改善技術を開発する。具体的には、本研究代表者がこれまで検討を進めてきた、無給電素子装荷によるアンテナ特性劣化緩和法[3]に加えて、近年注目されている EBG (Electronic Band Gap) 等のメタマテリアル (Metamaterial; 人工媒質) を活用することにより、人体に小型アンテナシステムが近接した場合の特性劣化緩和技術を開発する。

3. 研究の方法

(1) MIMO 用小型アンテナ素子の開発: MIMO 用小型アンテナシステムを構成するための小型アンテナ素子として、誘電体基板上に作成可能であり、超広帯域化への対応も可能な特徴を有する自己補対型のストリップ導体やスロット素子を採用する。理想的な励振状態を仮定した上で、放射指向性および利得の周波数特性が、次世代高速無線通信システムで用いられる 2.4GHz 帯や 5GHz 帯において一様となるように、放射素子の形状・配置を工夫する。モーメント法や時間領域差分法 (FDTD 法) 等の数値シミュレーションによるアンテナの特性解析を行い、その結果を踏まえながらアンテナ素子構造の最適化を進める。次に、給電線路として、誘電体基板上に作成可能なマイクロストリップ線路やコプレーナ線路等の平面型線路を導入する。給電線路と、上述の数値シミュレーションにおいて最適化した小型アンテナ素子との結合法を開発する。給電線路と小型アンテナ素子とを一体化した構造について、数値シミュレーションによる特性評価を行い、給電線路における反射損が上記の周波数帯において十分に抑えられるように、小型アンテナ素子と給電線の結合法の最適化を図る。

(2) アンテナ素子間相互干渉抑制技術の開発: MIMO 用小型アンテナシステムを模擬した基本モデルとして、上記(1)の小型アンテナ

素子を同一基板上に2素子配置したアンテナ系について、数値シミュレーションを行い、アンテナ素子間の相互結合を評価する。その結果を踏まえつつ、アンテナ素子間の相互干渉抑制の観点から、小型アンテナ素子の形状と配置法の最適化を行う。

(3) 人体近接時のアンテナ特性改善法の基礎検討：上記(1)の小型アンテナ素子(単一素子)と、人体手部や頭部などを模擬した人体ファントムからなる解析モデルを構築する。本モデルについて時間領域差分法(FDTD法)による数値シミュレーションを行い、上記(1)の小型アンテナ素子が人体に近接した場合の特性変動を放射効率、入力インピーダンス等の観点から定量的に評価する。その結果を踏まえつつ、小型アンテナ素子に無給電素子やメタ材料を装荷し、これらの装荷法を最適化することにより、人体近接時のアンテナ特性変動を最小化する手法を開発する。

(4) MIMO用小型アンテナシステム構成法の開発：上記(1)の小型アンテナ素子を複数(3素子以上)用いたアンテナ系に、上記(2)のアンテナ素子間干渉抑制手法を導入した場合につき、時間領域差分法(FDTD法)等による数値シミュレーションを行う。その結果を踏まえながら、アンテナ素子間の相互干渉を抑えつつ複数のアンテナ素子間隔を最小化することを目標として、アンテナ素子の最適配置法および形状の最適化を進める。また、上記(2)の抑制法は2素子の場合につき開発されたものであるから、3素子以上の場合についても有効となるように、更なる最適化を進める。さらに、複数のアンテナ素子の給電線路からなる給電回路についても、上記の目標をクリアすることが可能な回路構成法を構築する。

(5) 超広帯域化技術の開発：MIMO技術に加えて、UWB技術が併用される場合にも対応するために、上記(4)で開発されたアンテナシステムのための超広帯域化技術を開発する。具体的な手順としては、まず、上記(1)の小型アンテナ素子につき、UWB用周波数として日本国内で認可されている3.4~10.25GHzにおいて、放射パターンの形状、反射・伝送特性が可能な限り一様となるように、アンテナ素子の自己補対形状の最適化を数値シミュレーションにより行う。次に、最適化されたアンテナ素子を2組用いた無線伝送系について、FDTD法による時間領域解析を行う。UWB通信において使用が想定されている様々な形状のパルス波を送信アンテナに与えた場合の数値シミュレーションを行い、時間領域におけるアンテナの反射・伝送特性を評価する。これにより、群遅延特性の観点から放射素子・給電系の最適化を行う。最適化後の超広帯域小型アンテナ素子を複数(3素子以上)用いたアンテナ系について、上記(4)と同様なアプローチにより、数値シミュレーションと試作測定の両者により、UWB用周

波数における最適化を行い、MIMO-UWB併用時に適用可能な、小型アンテナシステムの超広帯域化技術を確立する。

4. 研究成果

(1) MIMO用小型アンテナシステムを構成するための小型アンテナ素子として、超広帯域化への対応が可能な葉状ボウタイ型の放射素子からなる広帯域ダイポールアンテナ(図1)およびスロットアンテナ(図2)を開発した。理想的な励振状態を仮定した上で、放射指向性および利得の周波数特性が、次世代高速無線通信システムで用いられる周波数帯において一様となるように、放射素子の形状・配置法等について、数値シミュレーションと測定の両面から最適化を行った。次に、放射素子を励振するための伝送線路として、平面型伝送線路であるマイクロストリップ線路を採用し、上述のアンテナ素子と、本伝送線路とを同一基板上に集積した場合について、アンテナ素子と線路との最適な結合法を開発した。

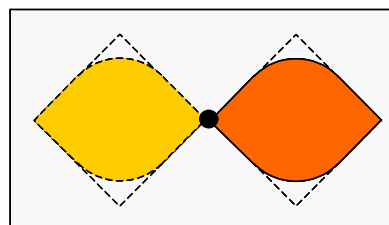


図1 葉状ボウタイ型の放射素子を用いた広帯域ダイポールアンテナ

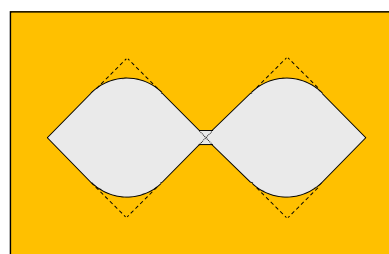


図2 葉状ボウタイ型の放射素子を用いた広帯域スロットアンテナ

(2) MIMO用小型アンテナシステムを模擬した基本モデルとして、上記(1)の広帯域アンテナ素子を同一基板上に2素子配置したアンテナ系について、数値シミュレーションを行い、アンテナ素子間の相互結合を評価した。その結果を踏まえつつ、アンテナ素子間の相互干渉抑制の観点から、小型アンテナ素子の形状と配置法の最適化を行った。

(3) 上記(1)の広帯域アンテナ素子をメタ材料の一種であるマッシュルーム型EBG基板(図3)上に配置した場合について、EBG基板の構造を最適化することで上記(1)のアンテナ素子を広帯域にわたり単一指向性化することが可能であり、人体近接時のアンテナ特性変動を最小化できることを示した。

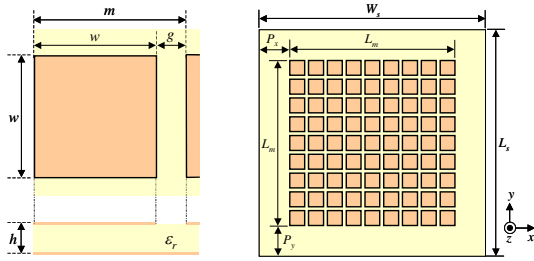


図3 マッシュルーム型 EBG 基板

(4) MIMO 用小型アンテナシステムを構成するための小型アンテナ素子として、上記(1)及び(2)において開発された葉状ボウタイ型の広帯域ダイポールアンテナ及び広帯域スロットアンテナ(図1及び図2)を採用し、MIMO 用小型アンテナシステムを模擬した基本モデルを構築した。

(5) 上記(4)の基本モデルにおいて、葉状ボウタイ型の広帯域ダイポールアンテナと、葉状ボウタイ型の広帯域スロットアンテナを組み合わせることで、アンテナ素子間の相互干渉を抑えつつアンテナ素子間隔の最小化が可能であることを、FDTD 法による数値シミュレーションにより明らかにした。

(6) 上記(5)で述べた葉状ボウタイ型の広帯域ダイポール及びスロットアンテナを用いて構成された MIMO 用小型アンテナのための給電回路として、テーパ状マイクロストリップ線路からなる平面型給電回路を開発した。本給電回路と上記(5)で述べたアンテナ系からなる MIMO 用小型アンテナを図4に示す。

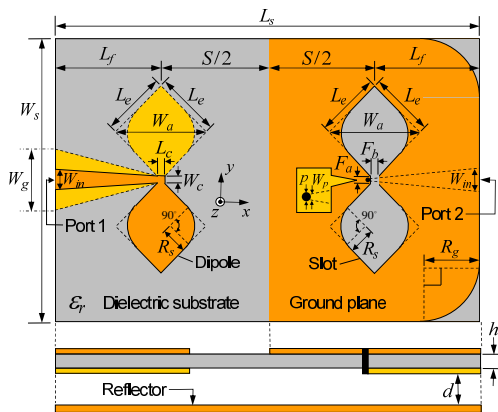


図4 葉状ボウタイ型の放射素子を用いた2ポート MIMO 用小型アンテナ

(7) 上記(5)および(6)で開発した MIMO 用小型アンテナをマッシュルーム型 EBG 基板上に配置した場合について、EBG 基板の構造を最適化することにより、単一指向性化することが可能であることを明らかにした。

(8) 上記(5)~(7)で開発した MIMO 用小型アンテナを試作し、その諸特性の測定を行うとともに、試作アンテナ系を用いた伝搬測定を行い、その結果を適宜フィードバックすることにより、MIMO 用広帯域小型アンテナの基本構成法を確立した。

(9) 上記(5)~(8)の MIMO 用小型アンテナシステムについて、UWB 用周波数として日本国内で認可されている 7.25GHz~10.25GHz の周波数帯域において放射パターンの形状、反射・伝送特性が可能な限り一様となるようにアンテナ素子形状及びアンテナ素子の配置法の最適化を行うことで、MIMO 技術と UWB 技術が併用される場合にも適用可能な小型アンテナシステムを開発した。更に、最適化後の超広帯域小型アンテナ素子を複数(4素子)用いたアンテナ系(図5)について、上述と同様の手順を踏むことで、UWB 用周波数における最適化を行い、MIMO-UWB 併用時に適用可能な、小型アンテナシステムの超広帯域化技術を確立した。

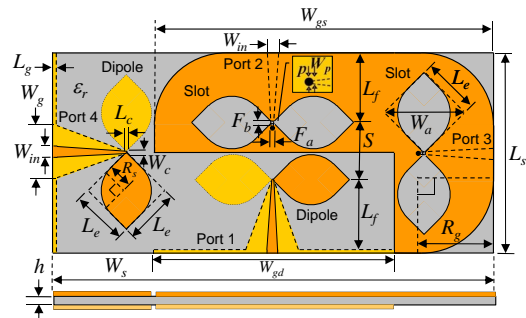


図5 葉状ボウタイ型の放射素子を用いた4ポート MIMO-UWB 用小型アンテナ

(10) 図5に示した構造において、葉状ダイポール素子を葉状モノポール素子に置き換えた構造について、上記(9)と同様に、7.25GHz~10.25GHz の周波数帯域において放射パターンの形状、反射・伝送特性が可能な限り一様となるようにアンテナ素子形状及びアンテナ素子の配置法の最適化を行った。この結果、更なる小型化が実現された MIMO-UWB 用小型アンテナ(図6)が開発された。

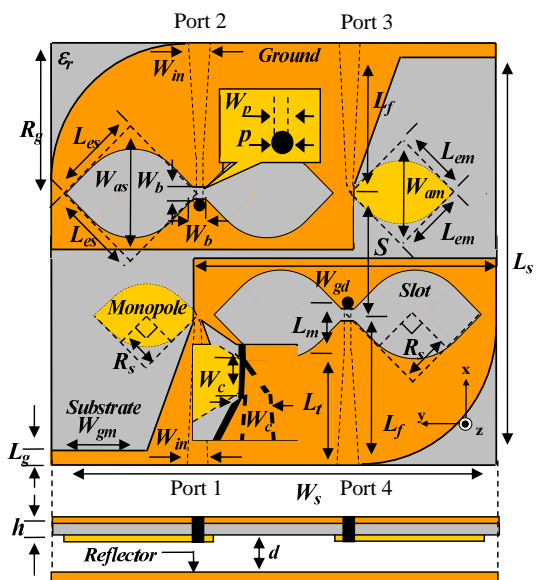


図6 更なる小型化が実現された4ポート MIMO-UWB 用小型アンテナ

(岐阜市), B-1-86, p.86, 2013.3.19.
Soh Fujita, Manabu Yamamoto, and Toshio Nojima, A Study of a Leaf-Shaped Bowtie Slot Antenna for UWB Applications, Proc. of 2012 International Symposium on Antennas and Propagation, 名古屋国際会議場(名古屋市), 3B3-1, 2012.11.1.

木村 準, 山本 学, 野島 俊雄, 葉状ボウタイ素子を用いた MIMO 用アンテナに関する基礎検討, 平成 24 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 北海道大学(札幌市), p.97, 2012.10.20.

藤田 壮, 山本 学, 野島 俊雄, "葉状ボウタイスロットアレーアンテナの特性評価," 平成 24 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, p.96, 北海道大学(札幌市), 2012.10.20.

木村 準, 山本 学, 野島 俊雄, 葉状ボウタイ素子を用いた MIMO 用アンテナに関する基礎検討, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 112, no. 149, pp.7-12, 北海道大学(札幌市), 2012.7.25.

Manabu Yamamoto, Tomoyuki Koyanagi, Soh Fujita and Toshio Nojima, Quasi-Millimeter Wave Leaf-Shaped Bowtie Array Antenna Backed by an EBG Substrate, Proc. of 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Sheraton Chicago Hotel and Towers (Chicago, USA), 258.4, 2012.7.10.

山本 学, 小柳 智之, 藤田 壮, 野島俊雄, EBG 基板上的準ミリ波葉状ボウタイアレーアンテナ, 電子情報通信学会 2012 年総合大会講演論文集, 通信 1, B-1-160, p.160, 岡山大学(岡山市), 2012.3.21.

藤田 壮, 山本 学, 野島 俊雄, UWB 無線用葉状ボウタイスロットアンテナの諸特性, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 111, no. 343, AP2011-124, pp.29-34, 機械振興会館(東京都港区), 2011.12.15.

藤田 壮, 山本 学, 野島 俊雄, UWB 無線用葉状ボウタイスロットアンテナに関する基礎検討, 平成 23 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, p.92, 公立はこだて未来大学(函館市), 2011.10.22.

小柳 智之, 山本 学, 野島 俊雄, マッシュルーム型 EBG 基板上的 4 素子葉状ボウタイアレーアンテナ, 平成 23 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, p.91, 公立はこだて未来大学(函館市), 2011.10.22.

小柳 智之, 山本 学, 野島 俊雄, EBG 反射板付き葉状ボウタイアレーアンテナ, 電子情報通信学会 2011 年ソサエティ大会講演論文集, B-1-139, p.139, 北海道大学(札幌市), 2011.9.13.

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本 学 (YAMAMOTO MANABU)
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号: 20301939