

学 位 論 文 題 名

Implementation of Smart Antennas for Mobile Communications Equipment and their Performance Evaluation

（移動通信機器用スマートアンテナの実装とその特性評価）

学位論文内容の要旨

近年、無線通信分野において、複数のアンテナと信号処理回路を組み合わせたスマートアンテナの研究が進んでいる。スマートアンテナは、無線通信で問題となる、マルチパスフェージング、符号間干渉、同一チャネル干渉等の影響を軽減し、選択ダイバーシチ利得を得ることで、通信品質を高め、無線通信システムの周波数利用効率を改善できることが知られている。さらに代表的なスマートアンテナであるアダプティブアレーを複数用いる回路構成により、チャネル容量を増加させることができる空間分割多元接続（Space Division Multiple Access: SDMA）方式や、通信速度の向上が可能な Multi-Input Multi-Output (MIMO)方式が提案され、研究が行われている。しかしながら、実際の商用システムへの適用に関しては、実現可能な回路規模に関する検討が不十分であり、また費用対効果の問題等もあるためあまり進んでいない。

本研究の最も大きな目的は、スマートアンテナを実システムに応用するための技術を確立し、その効果を実際に確認することである。本論文では、性能をある程度維持したまま回路規模を大幅に削減できる時空間信号処理アルゴリズムを提案し検討した後、セルラー方式である Personal Handy-phone System (PHS)の基地局へ、SDMA 技術を導入した SDMA-PHS 基地局試作装置を作成し、その効果をフィールド試験によって確認した。その後、別の無線方式で現在広く普及している無線 LAN の端末側へ、スマートアンテナ技術を導入することを想定してスマートアンテナ無線 LAN 試作装置を作成し、同様にその効果をフィールド試験によって確認した。

以下、本論文の構成と概要を述べる。

第1章は序論であり、研究の背景と目的、検討課題および本論文の概要を述べた。

第2章では、第3章以降の議論の理解を深める目的で、スマートアンテナの特性は、所望信号と干渉信号のチャネル応答の相互相関値である空間相関に依存することを述べ、様々な電波伝播環境においてスマートアンテナの振る舞いがそれぞれ異なって見える現象は、電波伝播環境によって空間相関の振る舞いがそれぞれ異なるためであることを述べた。また、様々な無線通信システムに対して適切なスマートアンテナを設計するための注意点をハードウェア設計とソフトウェア設計すなわちアルゴリズム設計の観点からそれぞれ述べた。

第3章では、より小さな回路規模で実現でき、パスダイバーシチ利得を得ることができる時空間干渉キャンセラを提案し、その効果を計算機シミュレーションで明らかにした。従来の受信性能を最大化する方式は、マルチパス遅延波の遅延時間の増加及び干渉波の個数の増加に伴い、回路規模が指数関数的に増大するため、実ハードでは実現困難な方法であった。これに対して提案方式では、マル

チパス遅延波の遅延時間の増加及び干渉波の個数の増加に対して回路規模の増加は比例的であることから、大幅に回路規模を削減可能であり、その結果実ハードでの実現の可能性を高めることが出来た。さらに、計算機シミュレーションを行い、提案方式は十分なパスダイバーシチゲインが得られることを確認した。

第4章では、TDMA/TDD方式のセルラーシステムであるPHS基地局に、SDMA技術を導入した4素子のスマートアンテナ無線基地局装置を試作し、その構成の概略を示した。SDMAを実現する信号処理部分はベースバンドでのデジタル信号処理方式とし、信号処理を行うハードウェアはDSPとFPGAを用いて実現した。この試作装置の基本性能を確認するため屋内での評価試験を実施した。その結果、所定の空間相関値の3ユーザが空間多重を行いながら同時に通信する状況において、空間多重をしている相手の信号と比較して、受信信号電力の差が20dB程度までは空間多重を維持できることを確認した。また電波暗室において、3ユーザが空間多重を行っている時の、試作機が形成する受信と送信の指向性パターンを測定し、各指向性パターンが所望信号にビームを向け多重相手にヌルを正確に向けていることを確認した。

第5章では、第4章で作成したSDMA-PHS試験基地局装置を用いたフィールド評価試験の方法とその結果を報告した。試験装置を従来の無指向性動作モードとSDMAモードのそれぞれで動作した場合で比較を行った。その結果、SDMAの効果によって、2多重時で約2倍、3多重時で2.4~2.7倍のトラフィックの増加が確認された。また、SDMA基地局を既存の商用エリアへ導入が可能かどうかを評価するため、周囲に設置された既存の無指向性PHS基地局に対する影響も評価した。その結果、SDMAの効果によりSDMA局のエリアのトラフィックは増加するものの、SDMA局の周囲の商用基地局に与える干渉レベルは、既存の無指向性動作モードよりもSDMAモードの方が低下することが確認された。これはSDMAモード時は送信時においても指向性制御を行うことから、周囲の商用局に対して干渉を送信しないように低電力で送信することが可能であるためである。これらの試験結果から、SDMA-PHS基地局は既存のPHSのサービスエリアに設置した場合、干渉レベルを低減し、システムのチャネル容量を増加させることが確認された。

第6章では、第4章、第5章とは逆に端末側へのスマートアンテナ技術の導入および異なる無線方式への適用を目指して受信時には最大比合成を行い、送信時には選択ダイバーシチ動作を行うスマートアンテナを無線LANと呼ばれるIEEE802.11b方式に導入した試作装置を作成した。試作装置の設計では、スマートアンテナが十分端末側に導入できることを示すために、無線LANで一般的に使用される部品を使用した。特にRadio Frequency (RF)部分及びBase Band (BB)の変復調部分とMedia Access Control (MAC)部分は、既存の無線LANチップを使用する構成とすることで、開発が容易になることを明らかにした。

第7章では、無線LAN試作装置を用いてスマートアンテナの効果を、フィールド試験にて調査した。その結果、屋内環境では平均スループットを2倍程度に向上させ、エリア内の不感ポイントを大幅に削減できることを明らかにした。また屋外の送受信機間にほとんど障害物がない見通し環境では、送受信にスマートアンテナを導入することで、TCP/IP層でのスループットが4Mbpsで通信可能な距離が1000m程度に達することも確認した。

第8章では、第7章までの本研究成果の全体を要約した。本論文ではスマートアンテナ技術は現在のハードウェア技術で十分に低コストに実現できること、および様々な無線通信方式に適用できることを示した。また実使用環境において既存の無線装置に比べて著しい効果が得られることを実証した。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	小 川 恭 孝
副 査	教 授	宮 永 喜 一
副 査	教 授	野 島 俊 雄
副 査	教 授	小 柴 正 則
副 査	助教授	大 鐘 武 雄

学 位 論 文 題 名

Implementation of Smart Antennas for Mobile Communications Equipment and their Performance Evaluation

(移動通信機器用スマートアンテナの実装とその特性評価)

携帯電話や PHS 等の移動通信, および, 無線 LAN が広く普及し, 無線通信の重要性が高まっている. しかし, 無線通信では空間を伝送媒体としており, 送信側から受信側まで導波機構が存在しないため, マルチパスフェージング, 符号間干渉, 同一チャネル干渉等の重大な劣化が生じることがある. 近年, 複数のアンテナと信号処理回路を組み合わせたスマートアンテナの研究が進んでいる. これは, 無線通信で問題となる上記諸問題の影響を軽減するとともに, 条件によってはダイバーシチ利得を得ることで, 通信品質を高め, 無線通信システムの周波数利用効率を改善する手法である. さらにスマートアンテナを複数用いる構成により, チャネル容量を増加できる空間分割多元接続 (Space Division Multiple Access: SDMA) 方式や, 通信速度の向上が可能な Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 方式が提案され, 現在盛んに研究が行われている. しかし, 実際の商用システムへの適用に関しては, 実現可能な回路規模に関する検討が不十分であり, 研究開発が進んでいない.

本論文は, スマートアンテナを実システムに応用するための技術を確立することを目的として, 回路規模削減に着目したアルゴリズムを提案するとともに, Personal Handy-phone System (PHS), および, 無線 LAN に応用した二つの試作装置を作成し, フィールド試験によりその性能を確認した結果を全 8 章にまとめたものである.

第 1 章では, 研究の背景と目的, 検討課題および本論文の概要を述べている.

第 2 章では, 第 3 章以降の議論の理解を深めるために, スマートアンテナに関する概要と空間相関に着目した動作特性について解説を行い, また, 様々な無線

通信システムに対して適切なスマートアンテナを設計するための注意点をハードウェア設計とソフトウェア設計，すなわち，アルゴリズム設計の観点から述べている。

第3章では，マルチパス遅延波の遅延時間の増加，および，干渉波の個数の増加に伴い，回路規模が指数関数的に増大するという問題があった従来の時空間干渉キャンセラに対して，より小さな回路規模で実現でき，パスダイバーシチ利得を得ることができる新しい時空間干渉キャンセラを提案し，その効果を計算機シミュレーションで明らかにしている。

第4章では，TDMA/TDD方式のセルラーシステムであるPHS基地局に，SDMA技術を導入した4素子のスマートアンテナ無線基地局装置を試作した結果について，そのハードウェア構成を示している。また，この試作装置を用いた屋内評価試験を実施し，干渉抑圧度と指向性パターンの測定により，基本性能を確認している。

第5章では，第4章で試作したSDMA-PHS試験基地局装置を用いたフィールド評価試験の方法とその結果について述べ，SDMAの効果によって，2多重時で約2倍，3多重時で2.4～2.7倍のトラフィック増加が確認されたことを示している。また，SDMA基地局を既存の商用エリアへ導入が可能かどうかを評価するため，周囲に設置された既存のオムニ指向性PHS基地局に対する影響も評価し，オムニ指向性基地局よりもSDMA基地局の方が既存の周囲基地局への干渉レベルを低下できることを明らかにしている。

第6章では，第4章，第5章とは逆に端末側へのスマートアンテナ技術の導入を目指して，受信時には最大比合成動作，送信時には選択ダイバーシチ動作を行うスマートアンテナを無線LANと呼ばれるIEEE802.11b方式に導入した試作装置を作成した結果について述べ，RF部と変復調部，および，Media Access Control (MAC) 部に関して既存の無線LANチップを使用することによって開発が容易になることを明らかにしている。

第7章では，第6章で述べた無線LAN試作装置を用いて，スマートアンテナの有効性をフィールド試験によって調査した結果について述べており，屋内環境では平均スループットを2倍程度に向上させ，エリア内の不感ポイントを大幅に削減できること，また屋外の送受信機間にほとんど障害物がない見通し環境では，送受信にスマートアンテナを導入することで，伝送距離1000 m程度までTCP/IP層でのスループット4 Mbpsが実現できることを明らかにしている。

第8章は結論であり，本論文の成果を要約している。

これを要するに，著者はスマートアンテナの試作研究とフィールド試験を行うことで，その有効性を実験的に検証したものであり，無線通信工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は，北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。