

学位論文題名

高分解能多重波伝搬環境推定と その移動通信への応用に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は多重伝搬波の遅延時間および到来方向の高分解能な推定法とその移動通信への応用に関する研究成果をまとめたものである。

2000年9月現在、我が国における携帯電話の加入数は5,500万台、PHSの加入数は500万台を突破し、両者併せて6,000万台を越えている。この数字はISDN (Integrated Services Digital Network) を含めたNTTの固定電話の加入数とほぼ同程度である。移動通信の利用者数はこの5～6年で10倍以上に増加し、国民の約4割が携帯電話やPHSの利用者となるに至った。このように、陸上移動通信は我々の日常生活に非常に密着したものとなっている。

また、1994年4月から開始されたデジタル方式のサービスにより、従来の音声信号だけでなくデータ通信など、直接デジタル信号をやりとりすることが可能になった。その結果生まれたパケット伝送を用いたデータ通信サービスが、陸上移動通信の爆発的な利用者増加の一因であると思われる。しかしながら、それらの通信速度はPDC方式で最大9.6kbps、IS-95方式、PHSで最大64kbpsとテキストベースのサービスには支障はないものの、データ通信を行うには決して十分とはいえない。なお、2001年以降にサービスが開始されるIMT-2000方式では移動時でPHS方式等の6倍、PDC方式の40倍の通信速度である最大384kbpsの通信を実現するシステムであり、徐々に高速移動通信の実現に向けたシステム構成が整備されている段階と言える。第3世代(IMT-2000)以降のシステムでは数Mbps～数十Mbps程度の更に高速な通信の実現を目指し、研究がなされている。

一方、陸上移動通信の伝搬路は周囲の建物等からの反射・回折波によって多重波伝搬環境となる。一般に高速デジタル通信を行う場合は1シンボルの継続時間が短くなるため、各多重波間の伝搬遅延時間差が無視できなくなり、周波数選択性フェージングによる波形歪み(符号間干渉)は高速デジタル陸上移動通信においては深刻な問題となる。周波数選択性フェージングの対策として現在ヨーロッパのGSM (Global System for Mobile communications) 方式では適応等化器の使用が仕様に含まれている。また、複数のアンテナを用いて信号を受信し、各素子にそれぞれ異なる重み付けをすることにより多重波を抑圧するアダプティブアレーを用いて周波数選択性フェージングを補償する方式も報告されている。アダプティブアレーは所望波と相関の低い信号を抑圧することが出来るので、遅延時間差の大きい多重波の抑圧に有効である。その他にも多重化方式としてOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式が検討されている。

このように、高速な通信を行う際には周波数選択性フェージングによる波形歪みは深刻な問題であり、何らかの対策を必要とする。さらに、データ通信などのサービスが充実した際には音声のみのサービスと比較してトラフィック量の増加が考えられ、同一チャネル干渉も無視できない。このような劣悪な環境で、多重波の伝搬環境を推定する技術は重要なものになると考えられる。

本論文では多重波伝搬パラメータを高精度に推定する手法として知られる高分解能推定法(超分解

能推定法)に着目した。高分解能推定法として現在最も知られている方式として MUSIC (Multiple Signal Classification) 法と ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) 法が挙げられる。これらの方法は固有値解析を行う手法であり、その演算負荷が無視できない事から実時間処理を必要とする通信の分野では敬遠されてきた。しかし、最近のハードウェアの目覚ましい発展やデータ通信が通話のサービスに比べると多少のタイムラグは無視できることなどから高分解能推定法を移動通信に適用することが俄然現実味を増してきた。

このような背景のもと、本論文は高分解能推定法について検討し、高速移動通信への適用を目的に研究を行った。

第1章は序論であり、研究の背景と目的、検討課題について述べるとともに本論文の概要について述べる。

第2章と第3章で多重波伝搬構造を表すパラメータとして重要な信号到来方向と伝搬遅延時間を高い分解能で推定する手法について説明する。

第2章ではアレーアンテナを用いた高分解能信号到来方向推定として現在最も良く知られている MUSIC 法と ESPRIT 法についてそれらの原理を説明する。

第3章では高分解能伝搬遅延時間推定について述べる。その代表的な手法としてネットワークアナライザを用いた周波数掃引により得られたデータに MUSIC 法を適用する方式について説明する。MUSIC 法や ESPRIT 法は有限の観測データでは信号数が増加すると特性が劣化する問題がある。そこで、時間領域でフィルタリングを行い、入射している信号数を減少させるゲーティング法の提案を行った。ゲーティング法を適用することにより、多数の到来波が存在する際の特性が向上されることを示した。しかしながら極端に狭いゲートを用いると推定対象の信号への歪みも多くなることからゲーティング法で適用できる最小のゲート幅についての考察を行った。

第4章では伝搬遅延時間を推定する手法として周波数掃引に基づく手法ではなく、時間領域の信号を測定し、高分解能推定法を適用する方式について論じる。

本論文では帯域制限された複素ベースバンド信号に直接 MUSIC 法を適用する TD-MUSIC (Time Domain signal MUSIC) 法を提案した。また、TD-MUSIC 法はアレーアンテナを用いる手法であるため、信号の到来方向も同時に推定することが可能である。よって伝搬遅延時間と信号到来方向を同時に推定する 2D (2-Dimensional) TD-MUSIC 法の定式化を行った。その結果、TD-MUSIC 法でも十分に高精度な推定が実現できるが 2D TD-MUSIC 法はさらに高精度な推定を行えることを示した。

第5章ではマルチビームアダプティブアレーを用いて空間領域で RAKE 合成を実現する手法について説明し、参照信号と受信信号の同期を確立するために TD-MUSIC 法を適用することを提案した。TD-MUSIC 法は数シンボル程度の比較的短い既知系列で高分解能推定法を適用する方式であるので、デジタル移動通信で一般的に挿入される受信側で既知のトレーニングシンボルに適用することが可能である。また、この方式は原理上アレーアンテナでの受信が必須となるため、アダプティブアレーなどの空間処理での同期推定に適している。計算機シミュレーションの結果、周波数選択性フェージングが発生するような環境で TD-MUSIC 法を適用することによって空間領域パスダイバーシチ受信の符号誤り率が伝搬遅延時間が既知の場合とほぼ同程度の特性が得られることを示し、従来方式で推定した場合に対して飛躍的に特性が改善されることを示した。

第6章は結論であり、本論文の内容と得られた成果を要約している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 川 恭 孝
副 査 教 授 伊 藤 精 彦
副 査 教 授 小 柴 正 則
副 査 教 授 宮 永 喜 一

学 位 論 文 題 名

高分解能多重波伝搬環境推定と その移動通信への応用に関する研究

本論文は多重伝搬波の遅延時間および到来方向の高分解能な推定法とその移動通信への応用に関する研究成果をまとめたものである。

電磁波はこれまで無線通信、探査（レーダー、リモートセンシング）などに利用されてきた。近年、携帯電話やPHSなどの移動通信の爆発的な普及に伴い、更に効率的な利用法が求められるに至っている。2001年からは、IMT-2000と呼ばれる新たな移動通信サービスが世界に先駆けて我が国で開始される予定であり、電磁波の利用技術の高度化がますます重要になっている。

陸上移動通信の伝搬路は周囲の建物等からの反射・回折波によって多重波伝搬環境となる。一般に高速デジタル通信を行う場合は1シンボルの継続時間が短くなるため、各多重波間の伝搬遅延時間差が無視できなくなり、周波数選択性フェージングによる波形歪み（符号間干渉）は高速デジタル陸上移動通信においては深刻な問題となる。周波数選択性フェージングの対策としては適応等化器などの時間領域の処理のほかに、複数のアンテナを用いて信号を受信し、各素子にそれぞれ異なる重み付けをすることにより多重波を抑圧するアダプティブアレーを用いる空間領域の処理も提案されている。アダプティブアレーは所望波と相関の低い信号を抑圧することが出来るので、遅延時間差の大きい多重波の抑圧に有効である。

本論文では多重波伝搬パラメータ（多重波の伝搬遅延時間差とその到来方向）を高精度に推定する手法として知られる高分解能推定法（超分解能推定法）に着目している。高分解能推定法として現在最も知られている方式としてMUSIC（Multiple Signal Classification）法とESPRIT（Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques）法が挙げられる。これらの方法は固有値解析を行う手法であり、その演算負荷が無視できない事から実時間処理を必要とする通信の分野では敬遠されてきた。しかし、近年のハー

ドウェアの目覚ましい発展などから高分解能推定法を移動通信に適用することが現実的手法として検討されている。

このような背景のもと、本論文は高分解能推定法について検討し、高速移動通信への適用を目的に研究を行っている。以下に本論文の構成を示す。

第1章は序論であり、研究の背景と目的、検討課題について述べるとともに本論文の概要について述べている。

第2章ではアレーアンテナを用いた高分解能信号到来方向推定として現在最も良く知られている MUSIC 法と ESPRIT 法についてそれらの原理を説明している。

第3章ではネットワークアナライザを用いた周波数掃引により得られたデータに MUSIC 法を適用する方式について論じている。MUSIC 法や ESPRIT 法は有限の観測データでは信号数が増加すると特性が劣化する問題がある。そこで、時間領域でフィルタリングを行い、入射している信号数を減少させるゲーティング法の提案を行った。ゲーティング法を適用することにより、多数の到来波が存在する際の特性が向上することを示した。しかし、極端に狭いゲートを用いると推定対象の信号への歪みも大きくなることからゲーティング法で適用できる最小のゲート幅についての考察を行った。

第4章では帯域制限された複素ベースバンド信号（時間領域信号）に直接 MUSIC 法を適用する TD-MUSIC (Time Domain signal MUSIC) 法を提案し、多重波の遅延時間差の推定が可能であることを述べている。また、TD-MUSIC 法はアレーアンテナを用いる手法であるため、信号の到来方向も同時に推定することが可能である。そこで伝搬遅延時間と信号到来方向を同時に推定する 2D (2-Dimensional) TD-MUSIC 法の定式化を行い、2D TD-MUSIC 法は TD-MUSIC 法より、更に高精度な推定が可能であることを明らかにしている。

第5章では TD-MUSIC 法を移動通信に応用することを論じている。マルチビームアダプティブアレーを用いて空間領域で RAKE 合成を実現することにより、周波数選択性フェージングによる波形歪みを抑圧するとともに到来する複数の多重伝搬波のエネルギーを有効に利用することができる。本章では空間領域 RAKE における、参照信号と受信信号の同期を確立するために TD-MUSIC 法を適用することを提案している。計算機シミュレーションの結果、周波数選択性フェージングが発生するような環境で TD-MUSIC 法を適用することによって空間領域パスダイバーシチ受信の符号誤り率が伝搬遅延時間が既知の場合とほぼ同程度の特性が得られることを示し、従来の方式で推定した場合に対して飛躍的に特性が改善されることを示している。

第6章は結論であり、本論文の内容と得られた成果を要約している。

これを要するに、著者は、多重伝搬波の遅延時間と到来方向の高分解能な推定について新知見を得るとともに、その高速移動通信系への応用を提案したものであり、移動通信工学の分野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。