

陸上移動通信における多重波伝搬ひずみと

その補償方法に関する研究

学位論文内容の要旨

陸上移動通信、すなわち、携帯電話や車載用電話は現在需要の急激な伸びを示し、平成4年11月現在では、各事業者合計で約160万局に到達している。また、世界的に見ると、これまでのアナログFM方式からデジタル方式によるサービスへと移り変わりつつある。

このデジタル方式はヨーロッパで採用されているGSM(Group Special Mobile)方式と、北米方式、日本方式の3種類が実用化されている。GSM方式は伝送速度270kbpsの8チャンネルTDMA方式、北米および日本方式は伝送速度48.6kbps、42kbpsの3チャンネルTDMA方式となっている。これらは各チャンネルの伝送速度が10~16kbps程度の速度であるが、今後、ISDNへの対応も検討されており、FPLMTSという世界標準の構想では1920kbpsまでの高速伝送も考慮されている。このような高速伝送の実現に際し課題となるのが選択性フェージングである。これは陸上移動通信における伝搬環境が複雑であるため、送受信機間に複数のパスが存在し、これらの行路長差によって生ずる到達時間差が符号間干渉を発生させる現象である。選択性フェージング対策としては、各到来波の遅延時間差を調整して合成する方式である適応等化器に関して研究が進められてきた。しかし、適応等化器はシンボル長で規格化した遅延時間差が大きくなると処理が複雑となり、実現が非常に困難になってしまう。

一方、近年、選択性フェージング対策として、アダプティブアレーによる遅延波除去技術が提案されてきた。アダプティブアレーは、複数のアンテナに適切な重み付けを行うことによって指向性パターンを自由に変化させ、非希望波を抑圧し、アレーの出力を最適に制御する技術である。これを選択性フェージング対策技術として適用した場合は、遅延波を不要な到来波として抑圧する動作となる。このアダプティブアレーの最も大きな特長は、直接波と遅延波との相互相関の減少、すなわち、遅延時間差の増加に伴い、遅延波の抑圧特性が向上することである。しかし、具体的な通信形態を仮定したモデルでの誤り率特性に関する検討例は少なく、特に通信分野の研究者に対して具体的な有効性を示すには今一步至らなかった。

そこで、本論文は伝送速度、変調方式、伝搬路モデルを具体的に定義し、これらの環境の下でアダプティブアレーの誤り率特性を検討することを目的とした。そのため、都市内の多重波伝搬の様子を測定し、伝搬波モデルに反映させ、計算機シミュレーションによる特性評価を行うとともに、その有効性を補強するために、アダプティブアレーを適用したGMSK(Gaussian-filtered Minimum Shift Keying)伝送装置を試作し、実際の多重波伝搬条件下において誤り率特性を評価した。本論文ではこれらの検討を8章からなる構成にまとめたものである。

第1章ではこれまで述べた陸上移動通信の現状および将来動向から本研究の背景について

述べている。

第2章ではアダプティブアレー技術の検討の前に、陸上移動多重波伝搬によるフェージング発生のおよびしくみについて解説している。また、その一般的な対策技術である適応等化技術について調査し、遅延時間の大きい到来波の等化には処理量の増加が生じることなどの問題点にも言及している。

第3章および第4章は、選択性フェージング対策技術としてのアダプティブアレー技術の評価の前に、多重波が種々の方向から到来する遅延波で構成されていることを確認することを目的としている。第3章では市街地及び郊外地が混在する東京都小金井市付近の地域において、Coxが提案したPN相関法により複素遅延プロファイルを測定した結果、遅延-ドップラースペクトル特性が周囲の地形地物とよく対応しているとともに、市街地と郊外地とは多重波の発生構造に差異があることを明らかにしている。

第4章では遅延-ドップラースペクトルによる解析では分離できなかった左右の到来波の縮退を、2素子のアンテナアレーと簡易な2波分離アルゴリズムにより解くことができることを明らかにした。この推定手法を用いた測定系を使用し、実際に遅延-到来方向推定を行った結果では、得られた到来波の情報と実際の反射物体の位置とがよく一致することから、十分な信頼性が得られていることが明らかとなった。

第5章では高速のデジタル陸上移動通信における選択性フェージング対策技術としてアダプティブアレー技術を提案し、変調方式としてGMSK、アレーの制御アルゴリズムとしてCMA(Constant Modulus Algorithm)を採用して、計算機シミュレーションにより誤り率特性の検討を行った。第3章の結果から進行方向前方および後方から到来する2つの到来波を仮定した伝搬路モデルにおいて誤り率特性を検討した結果、選択性フェージング下において、アダプティブアレーのない場合に生じていた軽減困難誤りがなくなることがわかった。誤り率 1×10^{-3} での所要 E_b/N_0 は、 $\tau=1T$ の場合で約10.5dB、 $\tau=4T$ の場合は約9dBであり、 τ が大きい程向上することがわかった。また、一様フェージング下においても、アダプティブアレーのない場合に比べ誤り率 1×10^{-3} で約15dBの改善が得られ、一様フェージング対策としても有効であることがわかった。

第6章では、試作した高速GMSK伝送用アダプティブアレー装置の概要について、特に新しく採用したDBF(Digital Beam Forming)方式や蓄積一括復調方式、ベースバンドでのGMSK同期検波方式等の新技術について述べている。

第7章では、第6章で述べたCMAアダプティブアレーを適用した高速GMSK伝送装置を用いて、東京都内における3つの地域において伝送実験を行い、誤り率特性、および指向性パターンの解析を行った結果について述べている。

郵政省通信総合研究所構内での走行実験では、一様フェージング条件下での誤り率特性の測定を行い、アダプティブアレーが最大比合成型空間ダイバーシチと等価な動作を行うことによって雑音の影響を低減することを明らかにした。

さらに、緩やかな選択性フェージングの影響下である東京都小金井市内での測定では、誤り率 1×10^{-2} で約17.8dBの改善が得られること、また、さらに厳しい選択性フェージングの影響を受ける東京都中央区での測定では、誤り率 1×10^{-2} における利得が約21.5dBなることから、厳しい選択性フェージング下でもアダプティブアレーが良好に動作し、選択性フェージングの影響が大きいほどその改善効果が高いことが明らかとなった。特に第7章の結果は、計算機シミュレーションで確認された有効性が実際の伝搬環境でも得られることを証明した点で、その意義が非常に大きい。

第8章はこれら本論文で得られた結果をまとめて、選択性フェージング対策としてのアダプティブアレー技術の有効性を結論づけている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 藤 精 彦
副 査 教 授 柄 内 香 次
副 査 教 授 北 島 秀 夫
副 査 助 教 授 小 川 恭 孝

学位論文題名

陸上移動通信における多重波伝搬ひずみと その補償方法に関する研究

携帯電話や車載用電話に代表される陸上移動通信は需要の急激な伸びを示すと共にこれまでのアナログFM方式からデジタル方式によるサービスへと変わりつつある。今後、ISDNに対応するため高速伝送方式が検討されており、世界標準の構想では約2Mbpsの高速伝送も考慮されている。このような高速伝送において問題となるのが選択性フェージングすなわち多重波伝搬ひずみである。これは陸上移動通信における伝搬環境が複雑であるため、送受信機間に複数のパスが存在し、これらの行路長差によって生ずる到達時間差が符号間干渉を発生させる現象である。選択性フェージング対策としては、各到来波の遅延時間差を調整して合成する方式である適応等化器に関して研究が進められてきた。しかし、適応等化器はシンボル長で規格化した遅延時間差が大きくなると処理が複雑となり、実現が非常に困難になる。

一方、近年、選択性フェージング対策として、アダプティブアレーによる遅延波除去技術が提案されてきた。アダプティブアレーは、複数のアンテナに適切な重み付けを行うことによって指向性パターンを自由に变化させ、非希望波を抑圧し、アレーの出力を最適に制御する技術である。このアダプティブアレーの最も大きな特長は、遅延時間差の長い多重伝搬波ほどその抑圧特性が向上することである。しかし、具体的な通信形態を仮定したモデルでの誤り率特性に関する検討例は少なく、特に通信分野の研究者に対して具体的な有効性を示すには至らなかった。

本論文は多重波伝搬ひずみの特性を明確化すると共に具体的な通信系におけるアダプティブアレーのフェージング軽減効果の検討を行うことを目的としたもので主要な成果は以下の諸点に要約される。

1) 選択性フェージングの考察を行うため多重波伝搬構造の解明を行った。具体的には、市街地及び郊外地が混在する東京都小金井市付近の地域において、PN相関法により複素遅延プロファイルを測定した。その結果、遅延-ドップラースペクトル特性が周囲の地形地物とよく対応しているとともに、市街地と郊外地とで

は多重波の発生構造に差異があることを明らかにした。

2) アダプティブアレーによる選択性フェージング軽減効果を評価するため、変調方式としてGMSK(Gaussian-filtered Minimum Shift Keying)、アレーの制御アルゴリズムとしてCMA(Constant Modulus Algorithm)を採用して、計算機シミュレーションにより誤り率特性の検討を行った。伝搬実験の結果をもとに進行方向前方および後方から到来する2つの到来波を仮定した伝搬路モデルにおいて誤り率特性を検討したところ、選択性フェージング下において、アダプティブアレーのない場合に生じていた軽減困難誤りがなくなることがわかった。また、アダプティブアレーは一様フェージング対策としても有効であることがわかった。

3) 高速GMSK伝送用アダプティブアレー装置を試作し、東京都内における3つの地域において伝送実験を行い、誤り率特性、および指向性パターンの解析を行った。郵政省通信総合研究所構内での走行実験では、一様フェージング条件下での誤り率特性の測定を行い、アダプティブアレーが最大比合成型空間ダイバーシティと等価な動作を行うことによって雑音の影響を低減することを明らかにした。また、緩やかな選択性フェージングの影響がある東京都小金井市内での測定では、誤り率 1×10^{-2} で約17.8dBの改善が得られること、さらに厳しい選択性フェージングの影響を受ける東京都中央区での測定では、誤り率 1×10^{-2} における利得が約21.5dBとなることから、選択性フェージングの影響が大きいほどアダプティブアレーの改善効果が高いことが明らかとなった。

これを要するに、著者は、陸上移動通信における多重波伝搬ひずみ特性の解明を行うとともにアダプティブアレーによるひずみの補償法に関して有益な新知見を得たものであり、移動体通信工学の進歩に寄与するところ大である。

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。