

内20-29

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目 移動通信へのダイバーシチ技術

の適用に関する研究

Study on application of diversity techniques
to mobile communications

申 請 者
前原 文明

Fumiaki Maehara

電子・情報通信学 ワイヤレスコミュニケーション
専攻 研究

2000年11月

移動無線通信に関する主要な課題は、フェージングの対策と周波数の有効利用とに大別できる。本論文は、フェージング対策技術の柱ともいえるダイバーシチ技術を探り上げ、周波数有効利用を行う際に問題となる同一チャネル干渉が、その伝送特性に対してどの程度の劣化を与えるか、その劣化をいかにして軽減するかという課題に対して行った一連の研究成果をとりまとめたものである。本論文は、第1章から第7章まで構成されており、以下に各章の概要を説明する。

第1章では、本研究の位置付けおよび目的について述べている。まず、移動通信において、電波伝搬路が多重波伝搬となるためにフェージングが生じ、信号の伝送品質が、大きく劣化することを説明し、その対策技術として、ダイバーシチ技術が極めて有効であることを述べている。次に、周波数の有効利用を目的として、マイクロセル化が図られた場合、周波数割当て方式として、ダイナミックチャネル割当て方式の適用が行われ、同一チャネル干渉が生じやすくなることを述べ、従来のダイバーシチ技術が、同一チャネル干渉存在下において、必ずしも十分な伝送品質の改善効果をもたらさないことを指摘している。すなわち、従来のダイバーシチにおいて、各ブランチの重み係数として用いられる受信信号レベルが、フェージング環境下においては、希望信号レベルに比例するため、理想的な伝送特性の改善効果が得られるものの、フェージングに加えて同一チャネル干渉の影響がある場合、受信信号レベルが各ブランチの伝送品質を表す瞬時SIRあるいは希望信号レベルに必ずしも比例しないため、各ブランチの伝送品質に比例した適切なダイバーシチ合成が困難となることを述べている。最後に、本研究の目的が、受信信号レベルを重み係数とした従来のダイバーシチの同一チャネル干渉存在下における伝送特性の把握を行うことに加えて、同一チャネル干渉の影響を抑圧するダイバーシチ技術について検討を行うことにあることを述べている。

第2章では、移動通信におけるダイバーシチ技術の検討を進める上で必要となる基礎知識、すなわち、移動通信における電波伝搬の特徴、変復調技術およびダイバーシチ技術について概説している。具体的には、移動通信における電波伝搬について、フェージングならびに同一チャネル干渉の統計的な性質をまず説明し、次に、変復調方式について、GMSKなどの非線形変調方式と比較して周波数利用効率の高い線形変調方式に着目し、その一つである $\pi/4$ シフトQPSK遅延検波方式を探り上げ、その熱雑音およびフェージング環境下におけるビット誤り率特性を紹介している。最後に、ダイバーシチ技術について、その原理、ブランチ構成法およびブランチ合成法を説明するとともに、ダイバーシチ合成後の信号の振幅確率密度関数を用いた伝送品質の理論解析法を説明している。

第3章では、同一チャネル干渉存在下における、受信信号レベルを重み係数とする従来の送・受信ダイバーシチの伝送特性を理論解析および計算機シミュレーションにより取得し、伝送特性の劣化要因を明らかにしている。

まず、受信ダイバーシチについて、受信信号レベルを重み係数とする従来の検波後最大比合成ダイバーシチを探り上げ、計算機シミュレーションにより同一チャネル干渉存在下におけるビット誤り率特性を評価している。従来の検波後最大比合成ダイバーシチでは、同一チャネル干渉の影響が大きくなるほど、ビット誤り率特性が大幅に劣化し、この劣化の原因が、同一チャネル干渉存在下において、各ブランチの重み係数となる受信信号レベルが必ずしも瞬時SIRに比例しないため、干渉信号が多く含まれるブランチの寄与を抑圧できなくなることがあることを明らかにしている。さらに、モンテカルロ法を用いた同一チャネル干渉存在下におけるフロア誤り率の理論解析法を提案し、提案する手法により得られたビット誤り率特性と計算機シミュレーションにより得られた特性との一致を確認することにより、提案手法の妥当性を明らかにしている。なお、提案する理論解析法は、本論文で検討した $\pi/4$ シフトQPSK遅延検波以外の変復調方式に対しても容易に適用が可能である。

次に、送信ダイバーシチについて、基地局に同一チャネル干渉が存在する場合を想定し、干渉信号電力の含まれた上り受信信号電力が最大となるブランチを送信ブランチとする従来の選択送信ダイバーシチの下り信号のビット誤り率の理論的導出法の提案を行っている。提案する理論式により得られたビット誤り率特性と計算機シミュレーションにより得られた特性との一致を確認することにより、提案する理論式の妥当性を明らかにしている。なお、提案する導出法は、本論文で検討した $\pi/4$ シフトQPSK遅延検波以外の変復調方式に対しても容易に適用が可能である。さらに、従来の選択送信ダイバーシチでは、基地局における同一チャネル干渉の影響が大きくなるほど、下り信号のビット誤り率特性が、大幅に劣化し、この劣化の原因が、各ブランチにおける上り信号電力が希望信号電力に必ずしも比例しないため、基地局における下り信号の送信ブランチの選択誤りが生じることにあることを明らかにしている。

第4章では、第3章において採り上げた従来の検波後最大比合成ダイバーシチの同一チャネル干渉存在下における伝送特性の改善を目的として、送信信号にユニークワードを挿入し、マッチドフィルタにおける受信信号とユニークワードとの相関処理から各ブランチの瞬時SIRを推定し、これら推定値を重み係数としてブランチ合成を行うSIR重み付け合成ダイバーシチ方式を提案し、提案方式の伝送特性を理論解析と計算機シミュレーションにより明らかにしている。具体的には、瞬時SIR推定に関し、ユニークワード長を7シンボルに設定すれば、瞬時 SIR>-5dBにおいて高精度な瞬時SIRの推定が可能であり、ビット誤り率特性に関し、ブランチ数にかかわらずビット誤り率=10⁻³を満足する所要平均SIRを、従来の検波後最大比合成ダイバーシチと比較して2dB程度改善できることを明らかにしている。さらに、提案方式により、通常のマイクロセル環境で想定されるドップラー周波数変動、あるいはブランチ間レベル差に依存せず、良好なビット誤り率特性が得られることを

明らかにしている。

第5章では、第3章において採り上げた従来の選択送信ダイバーシチの同一チャネル干渉存在下における下り信号伝送特性の改善を目的として、上り信号にユニークワードを挿入し、マッチドフィルタにおける上り信号とユニークワードとの相関処理から各ブランチの上り希望信号電力を推定し、これら推定値に基づき下り信号の送信ブランチを選択する希望波選択送信ダイバーシチを提案し、基地局において同一チャネル干渉が存在する場合の提案方式の伝送特性を計算機シミュレーションにより明らかにしている。具体的には、ブランチ数=2、基地局の平均SIR=5dBにおいて、ビット誤り率=10⁻³を満足する移動局の所要平均E_b/N₀を従来の選択送信ダイバーシチと比較して5dB程度改善できることを明らかにしている。さらに、上り信号の伝送効率の向上を目的として、提案方式に対し、ユニークワード長を固定せず、上り信号の受信状況に応じて、ユニークワード長を変化させる可変ユニークワード長制御を適用し、各ユニークワードの瞬時SIR適用範囲を適切に決定することにより、ユニークワードを固定した場合と比較して、ビット誤り率特性をほぼ同等に保ちつつ、上り信号の伝送効率を大幅に改善できることを明らかにしている。

第6章では、第5章で述べた希望波選択送信ダイバーシチの同一チャネル干渉存在下における伝送特性を更に改善することを目的として、マッチドフィルタにより各ブランチの上り信号の受信レベルに加えてフェージングによる位相ひずみを推定し、これら推定値にしたがって各ブランチの下り信号を重み付け送信し、移動局側で下り信号の同相合成を行う希望波合成送信ダイバーシチを提案し、基地局において同一チャネル干渉が存在する場合の提案方式の伝送特性を計算機シミュレーションにより明らかにしている。具体的には、ブランチ数=2において、平均SIRにかかわらず、ビット誤り率10⁻³を満足する所要平均E_b/N₀を希望波選択送信ダイバーシチと比較して2dB程度改善できることを明らかにしている。さらに、第5章における検討と同様に、提案方式に対し、可変ユニークワード長制御の適用を行い、上り信号の伝送特性の改善効果が得られることを明らかにしている。

第7章では、第3章から第6章で得られた結果をまとめるとともに、今後の展望について述べている。

本研究では、フェージングと同一チャネル干渉が混在するような現実的な伝搬環境が想定される場合、従来の送・受信ダイバーシチにより、十分な伝送品質の改善効果が得られないという問題点を指摘し、この問題点に対処すべく、各ブランチの伝送品質を表す瞬時SIRおよび希望信号電力を各ブランチの重み係数とした送・受信ダイバーシチの提案を行った。本論文の研究成果には、今後予定されている高速・広帯域移動アクセスシステム(MMAC)を対象とした、フェージングと同一チャネル干渉を同時に克服する技術を確立するための足がかりを含む可能性があると考えられる。