

周波数選択性フェージング環境下における干渉波補償技術 および通信方式に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、ディジタル無線通信の伝送容量増大と周波数利用効率の向上を同時に実現するための直交偏波共用における干渉波補償技術について、また経済性、ネットワーク構築の柔軟性を向上するための通信方式および干渉波補償技術について、その設計法の確立から実用化に到るまでの研究成果をまとめたものである。

21世紀を目指した基幹通信網に対する基本的考え方は、信頼性を常時保つ基本条件に加えてユーザーが自由にサービスを選択できることである。そのためには、大容量伝送が可能であることが重要な条件となる。この場合、資源、即ち無線系通信において周波数が資源に相当し、これを効率良く利用せねばならない。さらに、ユーザからは個性的で多様な要望が寄せられることが予想され、無線系においても迅速にそのユーザニーズに応えていかなければならない。

ディジタル無線通信の分野では、上記要求を満たすために直交偏波共用による256-直交振幅変調(QAM: Quadrature amplitude modulation)伝送の研究開発を進めた。しかし、256 QAMの採用は所要C/Nの増加を招くため許容干渉量も厳しく制限される。またディジタル信号特有の伝搬路で発生する周波数選択性(マルチパス)フェージングに対する耐力を高めることが重要である。さらに加えてアンテナの不完全性などの不具合によって伝送特性が大きく劣化するため、高精度な交差偏波干渉補償器の開発が望まれた。

また、ネットワークの柔軟性を向上させるために中継局の簡易化・汎用化を実現する必要があるが非再生中継が検討されているが、信号を復調することなく分配・合成を行うためこれまでの再生中継方式で存在しなかった隣接チャネル通過干渉を解決する必要性が生じた。さらに、電波が集中する都市内の無線端局では他ルートからの電波干渉が発生するため、その干渉波対策が求められた。

そこで本論文では、周波数選択性フェージングに対する交差偏波識別度フェージング速度およ

びトランスバーサルフィルタの特性を考慮しつつ、交差偏波干渉補償器に関する研究を取り上げた。また隣接チャネル通過干渉については、所望信号と干渉波の周波数同期に着目しつつ、トランスバーサル等化器の改善効果に関する研究を取り上げた。さらに他ルート干渉に関しては、光ファイバの急速な普及と干渉波を受けないシステムに着目し、無線変復調技術と光通信技術を融合させたサブキャリア伝送を取り上げることにした。

本論文においては、交差偏波干渉補償器の理論解析を通じて改善効果を定量的に明らかにし、それをもとに開発したトランスバーサルフィルタ LSI を内蔵する装置を試作した。伝送実験の結果、D/U 換算で 20dB の改善効果が得られ 256QAM の直交偏波共用伝送を実現することができた。以下、本研究によって得られた結果及び考察を各章ごとに分けて説明する。

第 1 章では、本論文の背景および概要について述べている。

第 2 章では、トランスバーサル形交差偏波干渉補償器の改善効果を理論的に検討した。フーリエ級数展開法を用いて XPD（または交差偏波干渉波と参照信号の周波数特性比）の周波数逆特性から D/U 改善効果を算出する方法を提案し、トランスバーサルフィルタの最適タップ数の決定法を示した。また、一例として IF 帯 SAW フィルタの検討を行い高速な符号速度に対してトランスバーサルフィルタを精度良く実現できる設計法を示した。

第 3 章では、第 2 章で提案した改善効果算出法を拡張し、直交偏波信号の周波数相関に対する交差偏波干渉補償器の特性を明らかにした。また新たに、自信号の波形歪を等化するトランスバーサル等化器を併用した場合の XPD 周波数特性に対する交差偏波干渉補償器の特性を検討した。また、参照信号の周波数特性に対する検討を加え、総てのフェージング事象に対する補償器の改善効果および補償後の絶対 D/U 値を明らかにした。

第 4 章では、高速フェージングに対応できる交差偏波干渉補償器の制御アルゴリズム SBS 法を提案した。SBS 法は定常時の安定性とフェージング時の高速応答性の両方をアダプティブに制御できることを理論的に示し、室内模擬実験および長期符号伝送実験により多大な効果があることを確認した。また、ディジタル演算により干渉補償を行う場合アナログ/ディジタル変換法として識別範囲拡大法を提案し、D/U 改善効果が従来と比べ 10dB 向上することが明らかとなった。さらに直交偏波間の信号が非同期の場合でも交差偏波干渉補償器が正常に動作する演算処理法を提案し、実験によりその動作を確認した。

第 5 章では、判定帰還フィルタの交差偏波干渉補償器への適用について検討した。判定帰還等化器と同様、主信号または参照信号における 2 波干渉モデルの相対振幅比が 1 に近づくほどその効果は大きくなり、干渉除去能力に優れていることを示した。また、判定帰還等化器との組み合わせ

わせ効果について検討し改善効果を定量的に示した。さらに判定帰還フィルタおよび MSE 制御が可能で28タップを1チップに内蔵した Bi-CMOS, 0.8 μ m ルールの高集積 LSI を設計試作し、その補償特性を示した。本 LSI を用いれば従来に比べ約 1 / 4 に小型化でき装置の経済化に貢献できる見通しを得た。

第6章では、非再生中継伝送における隣接チャネル通過干渉の概念を示し、チャネル間の変調ローカルおよび共通 RF ローカルの同期、非同期に対する隣接チャネル通過干渉の振る舞いを明らかにした。所望信号と隣接チャネル通過干渉との周波数同期が確立しているとき端局におけるトランスバーサル等化器がその補償に有効であることを実験的に示した。また、シングルキャリアの多中継伝送実験により端局の交差偏波干渉補償器が十分効果を示すことも明らかになった。

第7章では、他ルート干渉を防止する通信方式として光ファイバ通信を応用したサブキャリア伝送について検討した。256-QAM 信号を用いた強度変調／直接検波の検討を行ない、光変調度、光受信電力および信号帯域幅（ビットルート）に対する伝送特性を理論および実験により明らかにした。さらに無線技術であるブロック符号を用いた誤り訂正 BCH およびトランスバーサル等化器の適用を検討しその効果を検証した。

第8章は、結論であり、本研究の内容と得られた成果を最後に概括している。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	伊 藤 精 彦
副 査	教 授	小 川 吉 彦
副 査	教 授	梶 内 香 次
副 査	助教授	小 川 恭 孝

本論文は、ディジタル無線通信の伝送容量増大と周波数利用効率の向上を同時に実現するための直交偏波共用における干渉波補償技術について、また、ネットワーク構築の柔軟性を向上するための通信方式および干渉波補償技術について、その設計法の確立から実用化に到るまでの研究成果をまとめたものである。

ディジタル無線通信の分野では、直交偏波共用による256-直交振幅変調（QAM : Quadrature amplitude modulation）伝送の研究開発を進めた。しかし、256QAM の採用は所要 C / N の増

加を招くため許容干渉量も厳しく制限され、高精度な交差偏波干渉補償器の開発が望まれた。

また、ネットワークの柔軟性を向上させるために中継局の簡易化・汎用化を実現する必要があるが、非再生中継が検討されているが、これまでの再生中継方式で存在しなかった隣接チャネル通過干渉を解決する必要が生じた。さらに、電波が集中する都市内の無線端局では他ルートからの電波干渉が発生するため、その干渉波対策が求められた。

そこで本論文では、周波数選択性フェージング環境下における交差偏波干渉については、トランスバーサルフィルタを用いた交差偏波干渉補償器に関する研究を取り上げた。また隣接チャネル通過干渉については、所望信号と干渉波の周波数同期に着目しつつ、トランスバーサル等化器の改善効果に関する研究を取り上げた。さらに他ルート干渉に関しては、干渉波を受けないシステムに着目し、無線変復調技術と光通信技術を融合させたサブキャリア伝送を取り上げることにした。以下、本研究によって得られた結果および考察を各章ごとに分けて説明する。

第1章では、本論文の背景および概要について述べている。

第2章では、トランスバーサル形交差偏波干渉補償器の改善効果を理論的に検討した。フーリエ級数展開法を用いて XPD の周波数逆特性から D/U 改善効果を算出する方法を提案し、トランスバーサルフィルタの最適タップ数の決定法を示した。

第3章では、直交偏波信号の周波数相関に対する交差偏波干渉補償器の特性を明らかにした。また、自信号の波形歪を等化するトランスバーサル等化器を併用した場合の交差偏波干渉補償器の特性を検討した。また、参照信号の周波数特性に対する検討を加え、総てのフェージング事象に対する補償器の改善効果を明らかにした。

第4章では、高速フェージングに対応できる交差偏波干渉補償器の制御アルゴリズム SBS 法を提案した。SBS 法は定常時の安定性とフェージング時の高速応答性の両方をアダプティブに制御できることを理論的に示し、実験により多大な効果があることを確認した。また、デジタル演算により干渉補償を行う場合アナログ/デジタル変換法として識別範囲拡大法を提案し、D/U 改善効果が従来と比べ10dB 向上することを示している。

第5章では、判定帰還フィルタの交差偏波干渉補償器への適用について検討した。主信号または参照信号における2波干渉モデルの相対振幅比が1に近づくほどその効果は大きくなり、干渉除去能力に優れていることを示した。さらに汎用性に優れた28タップを1チップに内蔵した Bi-CMOS, 0.8 μ m ルールの高集積 LSI を設計試作し、その補償特性を示した。

第6章では、非再生中継伝送におけるチャネル間の変調ローカルおよび共通 RF ローカルの同期、非同期に対する隣接チャネル通過干渉の振る舞いを明らかにした。所望信号と隣接チャネ

ル通過干渉との周波数同期が確立しているとき端局におけるトランスバーサル等化器がその補償に有効であることを実験的に示した。

第7章では、他ルート干渉を防止する通信方式として光ファイバを用いたサブキャリア伝送について検討した。256-QAM 信号を用いた強度変調／直接検波の検討を行ない、光変調度、光受信電力および信号帯域幅（ビットレール）に対する伝送特性を理論および実験により明らかにした。さらに無線技術であるブロック符号を用いた誤り訂正およびトランスバーサル等化器の適用を検討しその効果を検証した。

第8章は、結論であり、本研究の内容と得られた成果を最後に概括している。

これを要するに本論文は、大容量ディジタル無線通信において重大な問題となる、周波数選択性フェージング下における干渉波の新たな補償法と通信方式を提案したものであり、通信工学および電子工学に寄与するところ大である。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。