

## 学位論文題名

## 地上デジタル放送における放送波中継用適応等化の研究

## 学位論文内容の要旨

本論文では、地上デジタル放送の放送波中継システムにおいて問題となる、伝送路における干渉をキャンセルする適応等化法を提案し、実際の放送システムに使用するのに十分なキャンセル性能を持つ中継装置を実現することを目的とする。

国内の地上デジタル放送では、OFDMを基本とする変調方式が採用され、同一周波数で多数回の中継を繰り返すSFN(Single Frequency Network)が可能となっている。そのため、中継伝送路では、マルチパスの他に、中継装置の出力アンテナから受信アンテナへの回り込みといった干渉も発生する。日本のような山岳部の多い地形で全国隈なく配信するためには、放送波中継が多数段になることが多く、このような多段中継においては、各中継における回り込みやマルチパス等の干渉による劣化をできるだけ軽減することが重要な課題である。

中継装置としては、従来、OFDM信号に埋め込まれたパイロット信号から伝送路の周波数特性を推定し、等化のためのフィルタの特性を求める手法が検討されていたが、処理が複雑であり小型化低価格化が難しい、一定以上の長さを越える遅延の反射があるとキャンセル特性が低下する、フィルタの係数がステップ的に変化するため伝送路の時間的な変動への追従性が低い、という問題点があった。

このような問題点を解決する手法として、通信の分野では、DF(Decision feedback)やMLSE(Maximum likelihood sequence estimation)等を用いた適応等化が検討されてきた。しかしながら、OFDMを採用した地上デジタル放送では、数千本のキャリアを一括して復号する必要がある、符号の判定には多大な演算、メモリが必要となるため事実上採用ができない。

本論文では、符号判定等の非線形処理を含まず、MMSE基準による線形な適応等化の導入を試みる。但し、OFDM信号は帯域内ではほぼ平坦なスペクトルを持ってはいるものの、帯域が制限されており、適応処理において、係数にバイアスがかかり、伝送路特性とは異なる値となる。そのため、十分なキャンセル特性を得るにはこのバイアスの影響を低減することが最大の課題となる。本論文では、係数を求める際に、OFDM信号の帯域外にランダムな信号を加える

ことによりバイアスを提言する方式を提案する。この方式は、装置規模が小さく、また中継装置として十分なキャンセル性能の得られることが期待できる。

本論文では、先ず第1部（第1章、第2章）で、地上デジタル放送システム、および、適応信号処理について現状を概観し、本研究を進めるにあたり前提となる技術、背景について整理する。第2部（第3章から第7章）では、適応等化を中継装置に組み込む際の問題点を整理し、その解決法をいくつか提案し比較検討する。その結果、係数を求める際に OFDM の帯域外にランダムな信号を加えることによりバイアスを低減する方法が、装置規模はあまり複雑化せず、特性的にも優れていることを確認する。また、適応型の場合には、反射の遅延時間に応じた回路規模となるため、中継装置の設置条件に応じ低コスト化が可能となることを示す。第3部（第8章から第10章）では、適応等化を実際の地上デジタル放送システムへ導入する際に発生する問題について検証を行う。先ず、様々な伝送路、例えば、マルチパスや回り込みの反射の遅延時間の大小にかかわらず対応できることを示す。また、フェーディング等電力の落ち込みが大きいときへの対処として、適応型アンテナダイバーシチを提案し、その特性を検証し、併せて、装置規模の削減方法を述べる。最後に、第11章結論において、本研究の成果について要約し、論文全体のまとめを述べる。

以上要約すると、本論文では、適応処理によるマルチパスや回り込みによる干渉をキャンセルするための手法を提案し、また、実用化へ向けた性能の検証を行った。その結果、提案方式は、実際の中継システムの置かれる環境に適用可能な性能であることが確認できた。2006年には地上デジタル放送が全国に展開されることになっており、本研究の成果は、番組の全国配信にあたり必須要件となる中継システム構築に有効に利用できる。

# 学位論文審査の要旨

|    |     |       |
|----|-----|-------|
| 主査 | 教授  | 北島秀夫  |
| 副査 | 教授  | 青木由直  |
| 副査 | 教授  | 荒木健治  |
| 副査 | 助教授 | 長谷山美紀 |

## 学位論文題名

### 地上デジタル放送における放送波中継用適応等化の研究

放送衛星を用いずに、地上送信施設からテレビジョンのデジタル放送を行う際には、地上に設置される放送波中継システムが用いられる。地上中継伝送路においては、電波の伝播経路が多重に存在すること、また、中継装置の送信アンテナから同一施設の入力である、受信アンテナへの回り込みも無視できないことから、干渉による伝送誤りを抑制する伝送方式を確立し、採用することが重要である。本論文は、著者が行った伝送路における干渉を抑制する適応等化法及び放送システムにおいて十分機能する、その装置化に関する研究成果をまとめたものである。

国内の地上デジタル放送では、OFDMを基本とする変調方式が採用され、同一周波数で多数回の中継を繰り返すSFN(Single Frequency Network)が可能となっている。そのため、中継伝送路では、マルチパスの他に、中継装置の出力アンテナから受信アンテナへの回り込みといった干渉も発生する。日本のような山岳部の多い地形で全国隈なく配信するためには、放送波中継が多数段になることが多く、このような多段中継においては、各中継における回り込みやマルチパス等の干渉による劣化をできるだけ軽減することが重要な課題である。

著者は、まず、研究開始時点における当該分野の技術的状況を分析し、中継装置としては、従来、OFDM信号に埋め込まれたパイロット信号から伝送路の周波数特性を推定し、等化のためのフィルタの特性を求める手法が検討されていたが、処理が複雑であり小型化低価格化が難しいこと、一定以上の長さを越える遅延の反射があると干渉抑制特性が低下すること、フィルタの係数がステップ的に変化するため伝送路の時間的な変動への追従性が低いことなどの問題点を指摘した。

このような問題点を解決する手法として、通信の分野では、DF(Decision feedback)やMLSE(Maximum likelihood sequence estimation)等を用いた適応等化が検討されてきたが、OFDMを採用した地上デジタル放送では、数千本の搬送波を一括して復号する必要がある、符号の判定には多大な演算、メモリが必要となるため事実上採用ができないことを正しく指摘した。

問題解決策として著者の研究においては、符号判定等の非線形処理を含まず、MMSE

基準による線形な適応等化の導入を試みた。OFDM 信号は帯域内ではほぼ平坦なスペクトルをもってはいるものの、帯域が制限されており、適応処理において、係数にバイアスがかかり、伝送路特性とは異なる値となる。そのため、十分な干渉抑制特性を得るにはこのバイアスの影響を低減することが重要である。論文中では、係数を求める際に、OFDM 信号の帯域外にランダムな信号を加えることによりバイアスを低減する方式を提案された。この方式は、装置規模が小さく、また中継装置として十分なキャンセル性能の得られることが期待できる。

論文構成は妥当である。先ず第 1 部（第 1 章、第 2 章）で、地上デジタル放送システム、および、適応信号処理について現状を概観し、本研究を進めるにあたり前提となる技術、背景についての整理がなされた。

第 2 部（第 3 章から第 7 章）では、適応等化を中継装置に組み込む際の問題点が整理され、その解決法が複数提案・検討された。その結果、係数を求める際に OFDM の帯域外にランダムな信号を加えることによりバイアスを低減する方法が、装置規模はあまり複雑化せず、特性的にも優れていることを報告した。また、適応型の場合には、反射の遅延時間に応じた回路規模となるため、中継装置の設置条件に応じ低コスト化が可能となることも示した。

第 3 部（第 8 章から第 10 章）では、適応等化を実際の地上デジタル放送システムへ導入する際に発生する問題について検証を行い、様々な伝送路の態様に対して、すなわち、多重経路や回り込みの反射の遅延時間の大小にかかわらず対応できることを示した。また、フェーディング等電力の落ち込みが大きいときへの対処として、適応型アンテナダイバーシチを提案し、その特性を検証し、併せて、装置規模の削減方法を述べた。

第 11 章における結論において、著者の研究成果が論文全体のまとめという形で整理された。

各章における上記内容は、技術的に正確なもので新規性、有効性に富んだものと評価される。

以上要約すると、本論文において著者は適応処理による多重経路や回り込みによる干渉を抑圧するための手法を提案し、それが実際の中継システムの置かれる環境に適用可能な性能を有することを示した。2006 年に我が国において予定される地上デジタル放送の全国展開における必須要件である中継システム構築における重要課題の解決を通じての情報メディア工学・通信工学への貢献は極めて顕著であり、著者は博士（工学）の学位を授与される資格があるもの認める。