

氏 名	小 林 英 雄
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年 6 月 14 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 52 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻 前期 2 年の課程修了
学 位 論 文 題 目	ディジタル伝送方式における高能率化に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 野口 正一 東北大学教授 木村 正行 東北大学教授 高木 相 東北大学助教授 根元 義章

論 文 内 容 要 旨

本論文は、ディジタル伝送方式の高能率化に関する一連の研究結果を取りまとめたものであり、その主眼とするところは、与えられた伝送路の帯域内において、より大量の情報をより確実に伝送でき、しかもその時の通信装置を簡易に構成することが可能なディジタル伝送方式を開発することである。本目的の実現のために、本論文では、高能率な特性を持つディジタル変復調方式及びディジタル伝送方式の開発を行った。また、高品質なディジタル通信を実現する上で欠かせることのできない瞬時性雑音の補償法についても開発を行った。更に、ディジタル通信の誤り率特性を大きく劣化させる二つの要因である、統計的な雑音と瞬時的な雑音とを総合的に補償することが可能な高能率ディジタル伝送システムの開発を行った。

本論文の各章の要点及び主要な結論を以下に述べる。

第 2 章では、変復調器の構成が容易で、誤り率特性及び電力スペクトラムの集中性に優れた高能率ディジタル変復調方式の開発を目的とし、位相連続 FSK (CPFSK) 方式と符号化手法とを融合した新しい形の CPFSK 方式である、符号化 MSK 方式、相関符号化 CPFSK 方式の 2 つの方式について提案し、これら提案方式の持つ諸特性について従来方式と比較検討を行っている。

先ず、現在までに提案されている CPFSK 方式について、その概要を述べ、復調器構成上の観点より、従来の CPFSK 方式の持つ問題点を明らかにし、これら問題点を解決する方式として符号化 MSK 方式を提案している。符号化 MSK 方式の持つ特長は、信号波形として、MSK 記号を用いているところから、復調器で問題となる搬送波再生技術、タイミング抽出技術などが、従来の MSK

復調器で確立された技術がそのまま利用できること、及びこれら MSK 復調器から軟判定相関値を取り出し、これら値を用いたビタビアルゴリズム復号法が容易に適用出来る点である。また、ここで提案した符号化法は、ハミング距離に基づいた従来の誤り訂正符号化法と異なり、MSK 信号の持つユークリッド距離、すなわち信号間距離に着目し、最小信号間距離が延びるように符号化を行っている。本符号化法は、短い冗長ビットで大幅な誤り率特性の改善が得られ、冗長ビットが短いことから、電力スペクトラムの集中性にも優れていることを特長としている。ここで提案した符号化 MSK 方式は、従来の MSK 方式と比べると、電力スペクトラムの集中性がほぼ同じで、誤り率特性を、冗長ビットが 1 ビットの場合に 1.76dB、2 ビットの場合に 3 dB それぞれ改善することが出来る。

次に、復調法にビタビアルゴリズムを利用することを想定した、相関符号化 CPFSK 方式の提案を行った。相関符号化 CPFSK 方式の持つ特長は、入力データ情報の状態遷移が多重マルコフ鎖となるような符号化を行い、符号化で得られた状態と変調波形の初期位相状態とを 1 対 1 の関係で対応させている点である。このような符号化を行うことにより、ある位相状態で分岐した 2 つの位相パス系列は、(マルコフ鎖の多重度 + 1) タイムスロット目まで閉じず、2 タイムスロットで閉じる従来の CPFSK 方式と比べ、最小信号間距離を延ばすことが可能となり、誤り率特性を大幅に改善することができる。また、変調波形の初期位相状態値が、先行する数ビットの入力データ情報によって一意に決定されることから、初期位相状態値を小さくすることが可能となり、復調法にビタビアルゴリズムが容易に適用でき、復調器構成が簡単となる。更に、変調波形の初期位相状態値が変調指数に無関係なことから、ビタビアルゴリズム復調器の規模を変更することなく、誤り率特性及び電力スペクトラムの集中性が優れた特性を持つ任意の変調指数を選ぶことが出来る。

本章では、これら 2 種類の方式の諸特性について理論的及び計算器シミュレーションにより詳細に検討している。また、これら方式の実現の際に有用な設計指針を与えている。

第 3 章では、高品質、高効率なデジタル伝送方式の開発を目的とし、多値デジタル変復調方式への適用が可能な軟判定複合アルゴリズムの提案を行い、本復号アルゴリズムを利用した、単一誤り訂正システム、ハイブリッド ARQ システムについて述べている。

先ず、これまでに提案されている軟判定復号法が、現在広く実用に供している多値デジタル変復調方式にはそのままでは適用することができないことを述べ、これら問題点を解決した新しい軟判定複合アルゴリズムの提案を行った。本復号アルゴリズムの特長は、復調器に若干の周辺回路を付加するだけで 2 値伝送のみならず、多相 PSK、多値 QAM 方式等の多値デジタル変復調方式に適用可能であり、入力データ情報が差動符号化あるいはスクランブラー化されている場合についても容易に適用することができる点である。

次に、提案した軟判定複合アルゴリズムの適用例として、単一パリティチェック符号を用いた単一誤り検出システムを取り上げ、差動符号化法に適合した単一パリティチェック符号化法、多相 PSK 方式に対する直交 2 軸検波成分を利用した信号品質情報検出法、差動復号器の後で行うことができる誤り訂正法等について述べ、これら手法を用いることにより単一誤り訂正システムが実現できることを示している。その時の誤り率特性についても、変調方式として差動符号化 4 相 PSK

方式を取り上げ詳細な検討を行った。また、直交2軸検波成分を量子化する際に必要となる、最適しき値間隔の決定法について明かにし、本方式の実現に際して有用な設計指針を与えた。更に、ここで提案した方式について、変復調方式として差動符号化4相PSK方式を用いた装置試作を行い、実験結果より誤り率特性を約2dB改善できる誤り訂正システムを実現できることを実証した。

次いで、ARQシステムへ本復号アルゴリズムを適用することにより、誤り検出/訂正の両方が可能となるハイブリッドARQシステムを実現できること明らかにした。ここで提案した方式は、従来のARQシステムの復調器から直交2軸検波成分だけを取り出し、これを処理することによりハイブリッドARQシステムを実現できることを特長とする非常に実用的な手法であることを示した。また、推定誤りパターン数と、その時の見逃し確率、再送要求確率の関係を明かにし、最適なシステムを構成するための設計指針を与えた。一方、ここで提案した方式に対して、装置試作を行い実験結果より、再送要求確率を約3dB改善でき、伝送効率を大幅に改善できるハイブリッドARQシステムを実現できることを実証した。

第4章では、高品質なデジタル通信を実現する上で欠かせることができない瞬時性雑音補償法の確立を目的とし、従来から提案されている瞬時性雑音補償法の一つであるスミア/デスミア(S/D)フィルタの新しい設計法について提案を行い、その有効性について、理論検討結果及び試作装置を用いた実験結果より明らかにしている。

先ず、従来から提案されているS/Dフィルタについてその概略について述べ、大きな瞬時性雑音を補償するためには、S/Dフィルタの遅延拡散幅を大きく取る必要があることを示した。次に、従来のS/Dフィルタでは、遅延拡散幅を大きく取ろうとした場合、装置規模が非常に増大することを明らかにし、これを解決する新しい形のS/Dフィルタ設計法の提案を行った。提案したS/Dフィルタは、デジタル形トランスバーサルフィルタで構成され、群遅延特性は、従来のような直線形ではなく、高次余弦関数形を有し、トランスバーサルフィルタのタップ重み個数を増やすことな、非常に大きな遅延拡散幅を実現できることを特長としている。また、ここで提案したS/Dフィルタの瞬時性雑音に対する補償効果についても、理論検討結果及び試作装置を用いた実験結果をもとに詳しく検討を行った。その結果、ここで提案したS/Dフィルタは、従来の直線形群遅延特性を有するS/Dフィルタとトランスバーサルフィルタのタップ重み個数を同一にして比較した場合、瞬断に対して大幅な改善効果があることが明かとなった。更に、本設計法によるS/Dフィルタの実現に際して有用な設計指針を与えた。

第5章では、デジタル通信の誤り率特性を劣化させる二つの要因である、白色ガウス雑音、位相ジッターのような統計的な雑音とインパルス雑音、瞬断のような瞬時的な雑音とを総合的に補償することが出来るデジタル伝送システムの開発を目的とし、統計的な雑音に対して特に効果を発揮するデジタル伝送方式と、瞬時的な雑音に対して効果のあるS/Dフィルタとを併用したデジタル伝送システムを提案した。次に、ここで提案したデジタル伝送システムは、非常に大きな瞬時性雑音に対しても補償効果のあることを実験結果より明らかにした。

以上のように、本論文では、高能率なデジタル通信を可能とする、符号化手法とCPFSK方式とを融合した新しいデジタル変復調方式、軟判定復号アルゴリズムを利用したデジタル伝送方

式，瞬時性雑音を補償するデジタル伝送方式及び統計的な雑音と瞬時的な雑音とを総合的に補償することが可能なデジタル伝送システムを開発し，またこれら方式の実現の際に有用となる設計指針を与えた。本研究で開発したこれら方式は，与えられた伝送路の帯域内において，より大量の情報をより確実に伝送でき，しかもこれら通信装置を容易に構成することができ，今後の有線，無線回線を利用したデジタル通信の高効率化を可能とするものである。

審査結果の要旨

高度情報化に伴い、近年、通信の需要は急速に増加し、また通信の規模も巨大化している。このため伝送路を有効に活用し、大量の情報を高速にかつ高信頼度のもとで伝送可能とするデジタル伝送方式の開発はきわめて重要な課題となっている。著者はこの開発に資するため、変調方式、伝送方式、復号方式および瞬時性雑音を補償する方式について研究を行い、これらを統合した新しい通信システムを提案した。本論文はその成果をまとめたもので全編6章より成る。

第1章は緒論である。

第2章では、入力データの符号化において各信号間の距離を十分大きくできる符号化MSK方式とビタビアルゴリズム復調法に適した相関符号化CPFSK方式の2つについて研究し、各々が優れた電力スペクトルの集中性を有し効率の良い伝送が可能であり、また優れたビット誤り率特性を持つことを明らかにしている。これは興味ある成果である。

第3章では、高い誤り訂正能力を持つ軟判定複合方式について述べている。本方式は受診信号の持つアナログ情報も利用して送信信号を推定し、これにデジタル信号処理を併せて行うことによって、従来より高い誤り訂正能力を持つ複合方式である。さらに著者は誤り訂正・検出の両方が可能なハイブリッドARQシステムを実際に構成し、実験によりその特性を明らかにするとともに、理論通り伝送効率を大きく改善できることを明らかにしている。

第4章では、瞬時性雑音に対し優れた補償能力を持つ新しいスミア・デスミアフィルタの設計について述べている。このフィルタは高次余弦関数形の群遅延特性を有するトランスバーサルフィルタであり、これを用いれば少ないタップ重み個数で大きな瞬時性雑音に対しても十分に雑音を補償することができることを明らかにしている。これは重要な知見である。

第5章では、第2、3章で示したデジタル伝送方式と第4章で述べたスミア・デスミアフィルタを併用した新しい通信システムを設計し、実験システムを構成している。これを利用し本システムが伝送路上で発生する統計的な雑音と瞬時性雑音の信号品質劣化要因を総合的に補償する有用なものであることを明らかにしている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、高性能なデジタル変調方式、軟判定復号法を利用する伝送システム、瞬時性雑音を補償する伝送方式を提案し、理論および実験によりそれらの性能評価を行い、大規模デジタル伝送方式の高効率化に関して多くの有用な知見を与えたもので、通信工学ならびに情報工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。