

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 袁 輪 正

本論文は、「Turbo Codes and Turbo Trellis-Coded Modulation: Information-Theoretic limits and Pragmatic Decoding Algorithms (ターボ符号とターボトレリス符号化変調: 情報理論的限界と実践的復号法)」と題し、高い帯域効率と優れた誤り率特性を備えた無線通信システムの実現を目的として、ターボ符号を多値変調方式に適用する手法を提案したものである。同時に、このために不可欠な高符号化率ターボ符号に関する効率的な復号法を提案し、その性能を理論解析およびシミュレーションにより明らかにしている。さらに、実際のシステムで生じる種々の不完全性に起因する性能劣化を情報理論的観点から解析することで実際の通信システムの特性を評価するための基礎理論を導いている。論文の構成は8章からなる。

第1章の「Introduction (序論)」では、本研究の背景を明らかにした上で、研究の動機と目的について言及し、研究の位置付けについて述べている。

第2章では「Information-Theoretic Bounds and Channel Coding (情報理論限界と通信路符号化)」と題して、ターボ符号の基本原則を概括し、その高帯域効率変調への適用の効果を明確にしている。

第3章は、「Application of Turbo Codes to High-Rate Codes (ターボ符号の高符号化率符号への応用)」と題し、高符号化率の要素符号器からなるターボ符号の高速通信システムの構成について述べている。特に、従来のパンクチャドターボ符号(PTC, Punctured Turbo Code)と提案の非パンクチャドターボ符号(UTC, Unpunctured Turbo Code)を理論解析およびシミュレーションにより比較することで UTC の利点を示している。また、UTC の計算量の問題を指摘している。

第4章の「Heuristically Reduced-Complexity Algorithms for High-Rate Turbo Codes Using Reliability Information (高符号化率ターボ符号の信頼度情報に基づく計算量削減アルゴリズム)」では、UTC の復号問題に対し、シンボルの信頼度に基づいて計算量を低減するアルゴリズムを提案している。シミュレーションと理論解析により、そのアルゴリズムが計算量と性能の優れたトレード・オフを有することを示している。

第5章では「Algebraically Reduced-Complexity Algorithm for High-Rate Turbo Codes Using a Syndrome Trellis (高符号化率ターボ符号の双対性を利用する計算量削減アルゴリズム)」と題し、線形符号の双対性を利用し、代数的に符号語数を低減させることで計算量の削減を図る手法を提案している。それにより、符号化率の上昇に伴って計算量と記憶量が大幅に削減されるという特徴が示されている。

第 6 章の「Application of Turbo Codes to Bandwidth-Efficient Modulation (ターボ符号の高効率帯域変調方式への応用)」では、無線通信での周波数逼迫の課題に対し、ターボ符号を多値変調方式に適用するため一方式として、ターボトレリス符号化変調方式(TTCM, Turbo Trellis-Coded Modulation)を提案するとともに、効率的な新しい復号アルゴリズムを提案している。

第 7 章は「Information-Theoretic Limits of System Imperfectness and Performance of Turbo Trellis-Coded Modulation (システムの不完全性による情報量的限界とターボトレリス符号化変調の性能)」と題し、現実により近い通信システムに対して、通信路容量と TTCM の性能を明らかにしている。特に、位相雑音とフェージング伝送路の通信路容量を算出し、ある誤差に対する通信速度の上限を示すと共に、SN 比の劣化量を定量的に求めている。さらに、TTCM がそれらの理論限界に迫ることを明らかにしている。

第 8 章の「Conclusions (結論)」では、本研究の総括を行い、今後のターボ符号を搭載する通信システムについての展望に言及している。

以上これを要するに、本論文は、ターボ符号を用いた高速無線通信システムの二つの新たな方式を提案し、その特性の詳細な解析を行って、これらが通信システムの理論限界に迫ることを示したものであり、無線通信工学の広範な応用分野、例えば移動通信、衛星通信等の研究分野に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。