

論文審査の結果の要旨

氏名 本多 淳也

本論文は、「Efficient Polar and LDPC Coding for Asymmetric Channels and Sources (非対称な通信路と情報源の効率的な polar 符号化および LDPC 符号化)」と題し、6章から構成されている。情報を高品質で速く伝送するために、誤り訂正を行う通信路符号化およびデータ圧縮を行う情報源符号化が重要となる。情報源符号化は、元のデータを誤りなく復号できる無ひずみ圧縮と、復号データに歪みを許してさらに圧縮率を上げる有歪み圧縮があるが、有歪み情報源符号化は通信路符号化と双対な関係がある。近年、通信路符号化や有歪み情報源符号化の符号化レートの理論限界を漸近的に達成し、かつ実用的にもよい性能を達成できる符号として、polar 符号および LDPC(低密度パリティ検査)符号が注目を集めているが、それらは主に対称モデル（通信路の確率遷移行列が対称、あるいは情報源が一様分布で歪み測度関数が対称なモデル）が取り扱われていた。これに対して、本論文では、一般の非対称なモデルに対する、polar 符号および LDPC 符号の効率のよい符号化法を提案し、それらの符号化法で漸近的に理論限界を達成できることを示すと共に、実用的にもよい性能を達成できる符号化／復号化アルゴリズムを与えている。

第1章「Introduction」では、研究の背景を述べると共に、本研究の目的および従来研究に対する本論文の位置付けを述べている。

第2章「Preliminaries: Coding Theorems」では、通信路符号化と歪みを許す情報源符号化に対する符号化レートの理論限界を与える符号化定理を紹介すると共に、本論文で利用する算術符号やインターバルアルゴリズムを用いた Homophonic 符号化法を紹介している。

第3章「Polar Codes for Asymmetric Channels and Sources」では、非対称モデルに対する polar 符号を取り扱っている。まず、polar 符号の非一様確率変数に対する偏極特性を明らかにし、その特性に基づいて、非対称モデルに対する新しい通信路符号化法および有歪み情報源符号化法を提案している。次に、それらの方式で理論限界である通信路容量およびレート歪み関数を達成できることを数学的に証明し、さらに、数値実験結果により、実用的にもよい性能を達成できることを明らかにしている。

第4章「LDPC Codes for Asymmetric Channels and Sources」では、非対称モデルに対する LDPC 符号を取り扱っている。非対称モデルに対する有歪み情報源符号化は、ベクトル量子化と無歪み情報源符号化を縦続に行い、その各々に LDPC 符号を用いることで理論限界が達成できることが知られている。しかし、無ひずみ圧縮に LDPC 符号を用いているため、実用的には性能がかなり悪い欠点があった。これに対し、本論文では、

無歪み情報源符号化を可変長の算術符号を用いて行う方式を提案している。さら通信路符号化が有歪み情報源符号化と双対性があることを利用して、上記の方式を通信路化に適用する方式を提案している。具体的には、符号器では、LDPC 符号とインターバルアルゴリズムを用いた **Homophonic** 符号を組み合わせる符号化を行い、復号では、LDPC 符号の符号語推定と **Homophonic** 符号の復号を縦続に実行する手法を提案している。さらに、これらの符号化法で、理論源限界である通信路容量とレート歪み関数を漸近的に達成できることを数学的に証明している。

第5章「**Practical Algorithms for LDPC Codes**」では、第4章で提案した LDPC 符号を用いた通信路符号の復号化および有歪み情報源符号の符号化を実用的に性能よく行えるアルゴリズムを提案している。具体的には、まず、**Belief Propagation** を用いて周辺確率の近似計算を行う効率的なアルゴリズムを与え、厳密計算を行った場合とほぼ同等の性能が達成できることを示している。また、有歪み情報源符号化のベクトル量子化部を効率よく実行するために、**Belief Propagation** の改良版である **Reinforced Belief Propagation** とマトロイド最適化を組み合わせたアルゴリズムを提案している。さらに、通信路符号化の符号語推定問題を効率よく実行するために、線形計画法を用いて復号する従来手法を多元 LDPC 符号に拡張し、線形計画法復号を高速に行う手法を与えている。最後に、これらの提案手法が従来手法より性能がよいことを、数値実験により確認している。

第6章「**Conclusion**」では、本研究の結果と貢献をまとめている。

なお、本論文の第3章、第4章、第5章の成果は、山本博資との共同研究であるが、論文提出者が主体となって新しい符号化法の提案、理論解析、数値実験を行った者であり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。