

論文内容の要旨

博士論文題目 Soft-Decision Decoding Algorithms for Binary Linear Block Codes

氏名 得重仁

(論文内容の要旨)

符号長 64 で 3 次の Reed-Muller 符号の線型部分符号である (64, 40) 符号は, NASA の高速衛星通信システムに於ける接続符号化方式の内部符号として提案されている. この Reed-Muller 符号の (64, 40) 部分符号に対する全体の復号器は 32 個の再帰的最尤復号器からなり, その各復号器は (63, 35) 部分符号あるいはそのコセットに対する復号を並列に行なう. 接続符号化方式では内部符号の誤り制御特性が外部符号によって増幅されるため, 誤り確率ができるだけ低い (64, 40) 部分符号を選択することが望ましい. そこで符号の性能評価の指標として最小重み符号語数を採用し, 一般の r 次 Reed-Muller 符号について, その単項から成る基底からいくつかの r 次または $r - 1$ 次の単項を除いて得られる基底を持つ線形部分符号の最小重み符号語数を求める方法を示す. また, (64, 35) 部分符号としては, 復号複雑さが小さい符号を選択することが望ましい. そこで評価の指標として再帰的最尤復号法で用いられる ACS(add-compare-select) と呼ばれるアルゴリズムに於ける尤度の加算と比較の総和を採用し, Reed-Muller 符号の部分符号の復号複雑さを評価した.

復号方法の中で代数的復号法は, 最尤復号法よりも計算複雑度の面でかなり優れているが誤り制御特性ではかなり劣っている. この代数的復号法を領域探索アルゴリズムとし, そのアルゴリズムを 1 ステップとして 1 回または複数回用いる繰り返し型復号法を考える. i 番目のステップにおいて, 探索の中心となる v_i を生成する. 領域探索アルゴリズムは, 探索中心 v_i をパラメータとして取り, 探索領域 $S(v_i)$ の範囲内の符号語の中で軟判定受信系列 r との相関が最大となる符号語を (もし存在するならば) そのステップでの候補符号語とする. そして i 番目のステップまでの候補符号語の中で r との相関が最大の候補符号語に対して繰り返し終了条件を適用し, 成立しなければ $i + 1$ 番目のステップへ, 成立すればその候補符号語を出力する.

今日まで提案されてきた繰り返し型の復号法では, 探索中心 v_i が以前のステップまでの探索結果に関係なく, あらかじめ決められた方法で生成されている. このことは計算複雑度に関係する繰り返し回数と誤り制御特性の両方に対してマイナスの要因となっている. そこで i ステップまでの探索領域, 探索中心, 候補符号語, 復号失敗等を考慮して次のステップの探索中心と繰り返し終了条件を求める方法論を, 代数的復号法である一般化最小距離復号法と限界距離復号法を繰り返し用いる復号法について確立し, 計算機シミュレーションによって 2 つの復号法の誤り制御特性と, 計算複雑度を低減する為の繰り返し終了条件の有効性を示した.

(論文審査結果の要旨)

本論文の前半では、NASA の高速衛星通信用に提案されている接続符号化方式の内部符号である Reed-Muller(RM)(64,42) 符号の (64,40) 部分符号に着目し、誤り特性に優れ、かつ最尤復号が容易となるような部分符号の選択方法について論じている。効率の良い最尤復号法として、再帰的最尤復号法 (RMLD) が注目されている。そこで、誤り制御特性の指標として最小重み符号語数を採用し、また、計算複雑さの指標として RMLD における尤度の加算比較回数を採用して、この両面において優れた部分符号の組織的な選択法を提案している。

1. Reed-Muller 符号の線形部分符号の最小重み符号語数を効率的に計算する方法を示している。この手法を用い、上述の (64,42)RM 符号の (64,40) 部分符号の 3 つのクラスに対して、最小重み符号語数を実際に計算している。また、最小重み符号語数が誤り制御特性の指標として妥当であることを、計算機シミュレーションにより示している。
2. 上述の (64,40) 部分符号に対する復号回路は、(64,35) 部分符号またはそのコセットに対する 32 個の並列復号器によって、効率良く実現できることが知られている。そこで、(64,42)RM 符号の単項式からなる基底から 7 個の単項式を削除した基底によって得られる各 (64,35) 部分符号に対して、RMLD における加算比較回数を評価している。その結果、従来採用されたものより優れた (64,35) 部分符号の選択方法を与えている。

論文の後半では、準最尤復号法の一つである逐次型復号法について、その誤り制御特性と計算複雑度を改善した新しい復号法を提案している。代数的復号法は最尤復号法に比べて、復号効率は優れているが、誤り制御特性が劣っている。そこで、代数的復号法を繰り返し用いる逐次型復号法として、GMD や Chase II と呼ばれる復号法が提案されている。しかし、従来の逐次型復号法では、各段で代数的復号に用いる探索中心の選択方法が単純であるなどの理由により、誤り制御特性と復号効率の両面で、十分な性能が得られていなかった。これらの問題点を解決するため、以下のような手法を提案し、その有効性を確認している。

1. Forney が提案した GMD 復号法を改善した、多重 GMD 復号法を提案している。具体的に、復号語が最適性を満たすための新しい十分条件を与え、これにより、逐次型復号法における繰り返し回数の低減をはかっている。次の 5 つの拡大 BCH(EBCH) 符号、(64,24) 符号、(64,45) 符号、(128,78) 符号、(128,85) 符号、(128,99) 符号について、シミュレーションにより、提案する復号法の有効性を示している。
2. Chase II のような限界距離復号法を繰り返す逐次型復号法において、適切な探索中心を求める方法を提案している。また、復号の性能を劣化させることなく探索の繰り返し回数を減少させるため、繰り返しを早期に打ち切れるための十分条件を示している。シミュレーションにより、次の 4 つの BCH 符号、(63,30) 符号、(63,45) 符号、(127,85) 符号、(127,92) 符号について、ブロック誤り率と繰り返し回数を評価した結果、従来の逐次型復号法に比べて、より良い性能が得られることを示している。

これらの結果は、誤り訂正符号の軟判定復号法における重要な知見を与えており、その発展に寄与するところが大きい。従って、博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。