

論文内容の要旨

博士論文題目 Optimality and Ruling-Out Conditions and Their Evaluation Methods for Soft-Decision Iterative Decoding Algorithms for Binary Linear Block Codes(2元線形ブロック符号の軟判定繰り返し復号アルゴリズムにおける最適性条件と除外条件及びその評価方法)

氏 名 Yuansheng Tang (唐 元生)

2元線形ブロック符号の復号法として、各種の軟判定繰り返し復号アルゴリズムが提案されている。これらのアルゴリズムでは簡単な内部復号器が用いられ、内部復号器への入力を逐次的に変えて複数の候補符号語を生成する。そして、その中から最も尤度の高い符号語を選んで復号結果として出力する。ある時点で得られている候補符号語が最尤であることを示せば繰り返しを打ち切ることができる。候補符号語が最尤であることを示せる条件を最適性条件と呼ぶ。また、あるステップにおいて内部復号器がそれまでに得られた候補符号語より尤度の高い符号語を生成できないことを、内部復号器を用いずに判定できれば、そのステップを実行しなくてすむ。このような判定に用いることができる条件を除外条件と呼ぶ。

本論文の目的は軟判定繰り返し復号アルゴリズムに関する最適性条件と除外条件の導出及びその評価方法(計算方法)の開発である。

今まで、殆どどの軟判定繰り返し復号アルゴリズムに応用できる有効な最適性条件が嵩らによって提案されている。この条件は、幾つかの語(参照語)の近傍では既に得られた候補符号語の尤度が最も高いことを利用して候補符号語が最尤であることを示す。参照語の数が h の場合にこの最適性条件を $\text{Cond}_{\text{opt},h}$ で表す。

まず、任意の軟判定繰り返し復号アルゴリズムに対して、嵩らの最適性条件 $\text{Cond}_{\text{opt},h}$ において内部復号器が既に探索した語の集合を考えに入れ、より一般的な最適性条件と除外条件を提案した。

次に、提案した2つの条件を幾つかの具体的な復号アルゴリズムに適用して、効率的な最適性条件と除外条件を求めた。適用したアルゴリズムは、Chase-type の復号アルゴリズムやその一般化、MWTS 復号アルゴリズム、GMD-like 復号アルゴリズム、多段階 GMD-like 復号アルゴリズムなどである。

提案した条件のうち、一部の条件は簡単なアルゴリズムで評価できることを示し、残りの条件は整数計画問題に変換することができることを示した。この整数計画問題を幾つかの場合に解決した。また、最適性条件 $\text{Cond}_{\text{opt},h}$ に対する整数計画問題に対して、参照語数 h が5以下であれば、変数の数が半減された幾つかの整数計画問題に分割して解決することができることも示した。さらに、 $\text{Cond}_{\text{opt},4}$ に対する整数計画問題に対して、有効なアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムの計算複雑度(実数の加算と比較の数)は符号長の2乗のオーダーである。

また、符号の距離プロファイルを利用して最適性条件 $\text{Cond}_{\text{opt},h}$ を改善した。改善した最適性条件も整数計画問題に変換して評価できることを示した。

最後に、多段階 Chase-type 復号アルゴリズムにおける探索の中心について最初の五つを求めるアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムの計算複雑度は内部復号器の一度に訂正できる誤り数のオーダーであることも示した。

(論文審査結果の要旨)

近年、デジタルデータ伝送の需要が増え、通信に関するさらなる高信頼化の要求が高まっている。また、VLSI技術の進歩により、複雑な復号アルゴリズムの実現が可能になってきている。このため、線形ブロック符号の最尤または準最尤復号法について多くの研究者が活発に研究を行っている。

申請者は、軟判定繰り返し復号アルゴリズムに注目し、最適性条件と除外条件の導出及びその評価方法(計算方法)の開発を行った。

軟判定繰り返し復号アルゴリズムでは簡単な内部復号器が用いられ、内部復号器への入力を逐次的に変えて複数の候補符号語を生成する。そして、その中から最も尤度の高い符号語を選んで復号結果として出力する。出力が最尤であることを保証できる条件は最適性条件と呼ばれる。また、内部復号器がそれまでに得られた候補符号語より尤度の高い符号語を生成できない場合も多くあり、その判定条件は除外条件と呼ばれる。これらの条件は復号アルゴリズムの性能に大きく影響するので、強く、かつ判定の効率がよい条件が望まれている。殆んど軟判定繰り返し復号アルゴリズムに適用できる有効な最適性条件が嵩らによって提案されている。この条件は、幾つかの語(参照語)の近傍では既に得られた候補符号語の尤度が最も高いことを利用して候補符号語が最尤であることを示すものである。参照語数 h の場合のこの最適性条件を $\text{Cond}_{\text{opt},h}$ で表す。

申請者は、まず、 $\text{Cond}_{\text{opt},h}$ について内部復号器が既にサーチした語の集合を考えに入れ、より一般的な最適性条件と除外条件を提案している。次に、提案した条件を幾つかの具体的な復号アルゴリズムに適用して、効率的な最適性条件と除外条件を求めている。適用したアルゴリズムは、Chase アルゴリズムや GMD 復号アルゴリズムなど代表的な復号アルゴリズムを含んでいる。条件を満たすかどうかの判定については、一部の条件について簡単なアルゴリズムで効率よく判定できることを示し、残りの条件について整数計画問題に変換することができることを示した。また、最適性条件 $\text{Cond}_{\text{opt},h}$ に対する整数計画問題に対して、 h が 5 以下であれば、変数の数が半減された幾つかの整数計画問題に分解できることも示している。さらに、 $h = 4$ の場合には分解された各問題を解くアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムの最悪時計算複雑度の上界は符号長の 2 乗のオーダーではあるが、平均計算複雑度はかなり小さいという実験結果が得られつつある。

以上のように、本論文の内容は、誤り訂正符号の復号法の研究に大きく寄与するものであり、博士(工学)の論文として価値あるものと認める。