

論文内容の要旨

博士論文題目 Study on Iterative Soft-Decision Decoding
Algorithms for Binary Linear Block Codes
(二元線形ブロック符号の逐次軟判定復号法に関する研究)

氏名 甲本卓也

(論文内容の要旨)

通信路変調符号の復号法に関する研究の重要なテーマを二つ考えることができる。一つは復号に必要な計算量を可能な限り少なくすることであり、もう一つは復号誤り率を可能な限り小さくすることである。

計算量を少なくできる復号法としては代数的復号法や逐次復号法が提案されている。特に逐次軟判定復号法は、いくつかの候補符号語を生成し、その中で最も尤度の高い符号語を復号結果とするものが多い。よって、尤度が最高でない候補符号語の生成に費やされる計算量は無駄と考えることができる。その無駄をうまく省くことができれば、既存の逐次軟判定復号法の誤り率を悪化させることなく、復号に必要な計算量の平均値を減少させることができる。これには二通りの方法を考えることができる。

一つ目は候補符号語が最尤解であるための十分条件を用いる方法である。逐次復号の復号課程で候補符号語が得られる度に、それが最尤解であるかどうかを判定し、もし最尤解が得られたと判定されれば、そこで復号を停止する。この十分条件は、符号のディスタンスプロファイルの情報の一部と、生成済みの候補符号語を使用するものである。生成済みの候補符号語の数が 1 以上の場合には、本論文で提案する十分条件は、Taipale と Pursley、金子らの十分条件より強力である。特に、3 個以上の候補符号語に基づく十分条件としては本論文での提案が初である。

二つ目は、限界距離復号法を繰り返し用いる形式の逐次復号法において、限界距離復号法の無駄な使用を省くための十分条件である。例えば Chase Type-II 復号法などでは、硬判定受信系列に、変更を加えたテストエラーパターンをいくつか生成し、それを中心に限界距離復号法を行なうが、異なるテストエラーパターンから同じ候補符号語が生成されることがあり、無駄である。よって、テストエラーパターンから生成され得る符号語が、生成済みの候補符号語より尤度が高いものでないという保証が十分条件によって得られれば、そのテストエラーパターンに関する限界距離復号を省くことができる。本論文で提案する十分条件は Chase Type-II とその改良された復号法の平均的計算量を大幅に削減することに成功した。

最後に、部分重みサブトレリスダイアグラムを用いた準最尤逐次軟判定復号を提案する。まず、初期候補符号語を単純な復号法によって生成し、必要であれば次の候補符号語を部分重みサブトレリスダイアグラムを用いたヴィタビアルゴリズムによって求める。生成済みの候補符号語を中心とした分重みサブトレリスダイアグラムを用いたヴィタビアルゴリズムは、中心符号語から指定されたハミング距離の範囲にある符号語の中で最も尤度の高い符号語を与えるのもで、これを数珠つなぎに繰り返すことにより、尤度の高い候補符号語を探索していく。平均的計算量の削減のために前述した、候補符号語が最尤解であるための十分条件を有効に利用しており、符号長 48, 64, 128 の良く知られた符号に関するシミュレーション結果では、最尤復号法に非常に近い誤り率を得ながらも、平均的計算量は非常に小さく押えられている。

(論文審査結果の要旨)

近年の情報通信技術の発達に伴い、高速かつ高信頼性をもつ通信手段を得るためにさまざまな研究がなされている。本論文で扱っている誤り訂正符号化と変調を同時に考える通信路変調符号の研究は特に重要な研究課題の一つである。この研究では、高い信頼性(低い誤り率)に関する要求と、高速性(小さい計算量)に関する要求のよい折り合い点を提供することが重要な課題である。本論文では、準最尤逐次軟判定復号法を対象として、最小に近い誤り率を比較的小さい計算量で達成する方法を提案し、シミュレーション結果でその有用性を示している。本論文の主な成果は次のように要約される。

(1) 逐次復号法において、逐次解が最尤解であることの十分条件を提案している。逐次復号法の復号過程において、逐次解が最尤であるとの確証が得られれば、復号を途中で打ち切ることができ、復号法の平均的計算量を低減することができる。本論文では、符号の重みプロファイルの情報の一部と最大 3 個までの候補符号語を用いるとの条件の下で、最も厳密な十分条件を提案し、その有効性をシミュレーションで示している。

(2) 限界距離復号法を繰り返し用いる形式の逐次復号法における各繰り返しにおいて、限界距離復号を省略するための十分条件を提案している。生成済みの符号語から最小距離以上離れ、かつ適当な方法で定めたりファレンスベクトルから限界距離以内の全ベクトル(符号語でないものも含む)の中で、最も尤度の高いものを求め、それが生成済みの候補符号語よりも尤度が低ければ、リファレンスベクトルからに対する限界距離復号はより尤度の高い符号語を与え得ないと判定できる。この条件は逐次復号の停止条件ではないが、(1)の条件と違ったアプローチで逐次復号の誤り率を悪化させることなく、計算量を低減させることに成功しており、有効性はシミュレーションで示されている。

(3) 部分重みトレリスダイアグラムを繰り返し用いる新しい復号法を提案している。初期符号語を簡単な復号法で生成し、そこから部分重みトレリスダイアグラムにより、尤度の高い符号語を繰り返し求めていく。部分重みトレリスダイアグラムの特性により、この手続きは、ある程度の局所的最適解からの脱出能力を持つため、最小距離で張られる符号では非常に良い誤り率が与えられることがシミュレーションからも示されている。最小距離で張られない符号では、符号をコセットに分割し、分割統治法を用いることで、やはり良い誤り率を得ている。そして、(1)の十分条件を有効に用いて平均的起算量は極めて小さく押えられている。例えば、(64,24,16) 拡大 BCH 符号では、情報ビットあたりの SN 比 5.0dB の時、ビット誤り率は 10^{-6} を下回り、かつ最尤復号法にはほぼ等しい値を得ている。そして、この時の平均的計算量は約 70 分の 1 に低減される。

以上のように、本論文は、逐次復号法の計算量を低減するための十分条件を二種類提案し、さらに、誤り率と計算量を共に小さく押えることに成功した新しい逐次軟判定準最尤復号法を提案したものであり、通信路変調符号の分野において、学術上、実用上寄与するところが多い。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分に価値のあるものと認める。