

複数の畳込み符号を用いた不均一誤り保護符号化変調方式の一検討

†松永 麻里

‡デービッド・K・アサノ

†河野 隆二

†横浜国立大学 工学部 電子情報工学科

‡郵政省通信総合研究所

〒 240 横浜市保土ヶ谷区常盤台 156

〒 184 東京都小金井市貫井北町 4 丁目 2 番 1 号

E-mail: mari@kohnolab.dnj.ynu.ac.jp

あらまし 本稿では、複数の誤り訂正能力の異なる畳込み符号を情報の重要度に応じて使い分けて符号化し、多次元符号化変調で符号ごとに異なる信号点配置を用いることで、どの符号を用いたかという情報なしに重要な部分にはより多くの誤り保護をする方法を提案する。また、重要度の高い部分は、同じ符号器で均一に誤り保護した場合に比べて、高い符号化率で同等の性能が得られることを示す。

キーワード 重要度、不均一な誤り保護、多次元符号化変調

A Study on Trellis Coded Modulation with Unequal Error Protection Using Several Convolutional Codes

†Mari MATSUNAGA

‡David K. ASANO

†Ryuji KOHNO

†Div. of Elec. and Comp. Eng.,
Fac. of Eng., Yokohama National University

‡Communications Research Laboratory,
Ministry of Posts and Telecommunications

156 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama, 240 Japan

4-2-1 Nukui-kitamachi, Koganei, Tokyo 184 Japan

E-mail: mari@kohnolab.dnj.ynu.ac.jp

Abstract This paper proposes and investigates a multidimensional trellis coded modulation scheme to achieve unequal error protection. The bits are assigned a signal constellation depending on their importance, so extra information about which code was used is not necessary. The performance of the important bits is evaluated and found to be better than a conventional equal error protection scheme.

Keywords Importance, Unequal Error Protection, Multidimensional Coded Modulation

1 はじめに

近年、情報の意味・内容にまで立ち入り、意思の伝達に必要な情報のみを送信しようという知的通信の研究が行われている [1]。この知的通信において、人間が意味・内容を理解する上で必要な情報ほど重要と考え、この重要度に応じて重要な部分を重点的に誤りから保護する知的誤り制御が提案されている [2][3]。知的誤り制御において、情報の、人間にとって重要な部分により多くの誤り保護をするためには、重要度に応じて誤り保護能力を変化させる方法が必要である。

今までにも、情報の重要な部分により多くの誤り保護をする不均一誤り保護符号 (Unequal Error Protection Code : 以下、本稿では UEP 符号と書く) は考えられてきた [4]。しかし、従来の UEP 符号は、ビットごとの重要さに着目し、ブロック符号を用いてビットごとに異なった誤り保護をするものであり、情報の意味・内容にまで立ち込んだものではなかった。これに対し、情報の意味・内容まで考えた場合、その重要度は 1 ビット単位ではなく、10 数ビット、またはそれ以上の単位で変化するものと考えられる。

本稿では、1 つの情報系列の中にいろいろな重要度の部分が含まれている情報系列を考え、その重要度に応じて誤り訂正能力の異なる符号器を用いて符号化することによって、重要度に応じた誤り保護を行う方法について提案する。符号器の切り替えは、重要度のみ依存するので本来は用いた符号に関する情報が必要であるが、多次元符号化変調で符号ごとに異なる信号点配置を用いることにより、どの符号を用いたかという情報なしに復号できるようにしている。復号側ではすべての符号に対する復号器を用意して、すべてのパスの尤度を並行に計算し復号する。

この方式の性能評価として、まず、複数の信号点配置を用いた場合に、すべての符号の信号点配置を同じにした場合よりも、復号の際に異なる符号の復号器で復号してしまう「復号器の誤り」が減ることを示す。また、復号器の誤りがない部分では、それぞれの符号の特性を得ることができ、結果として 1 つの符号器で均一に誤り保護をした場合と比べ、重要度の高い部分では、同じ SN 比に対する誤り率が良くなることを示す。

2 複数の畳込み符号を用いた不均一な誤り保護をする多次元符号化変調

2.1 提案システム

複数の畳込み符号を用いて不均一な誤り保護をする方法として、次のようなシステムを考える (図 1)。

1 つの情報系列の中にいろいろな重要度の部分が含まれ

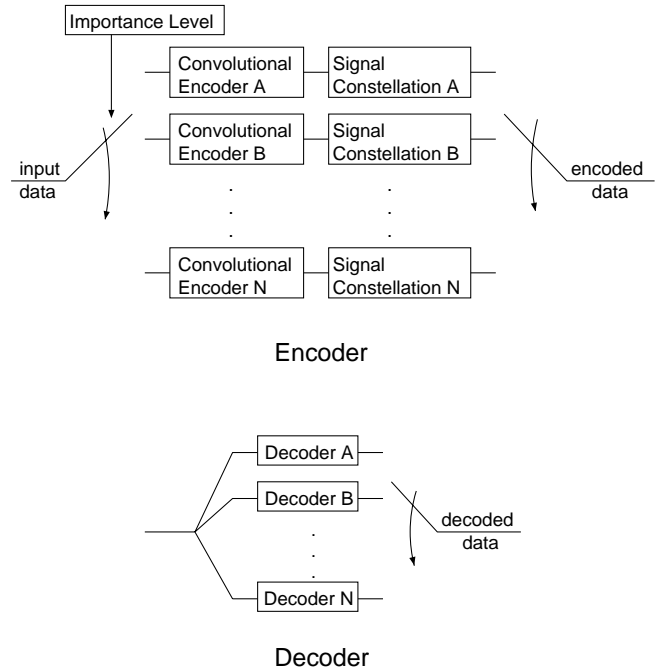


図 1: 提案システム

ている情報系列を考える。そしてその部分ごとの重要度のレベルに応じて、誤り訂正能力の異なる畳込み符号器で符号化する。ここで符号器は、符号化率と誤り訂正能力の異なるものを用意する。このときどの符号器を用いるかは重要度のみ依存するため、本来用いた符号器に関する情報が必要となるが、冗長度を減らすため、これを付加せずに送信する。受信側では、すべての符号器に対する復号器を用意して並行に Viterbi 復号を行い、最も尤度の高いパスを選択する。Viterbi 復号では、拘束長の 5~6 倍以上の長さで最尤復号にかなり近い復号ができることが経験的に知られているので、拘束長の 5~6 倍の長さは 1 つの符号器で符号化するものとする。

この方法では、復号の際に符号化した符号と異なる復号器で復号してしまう復号器の誤りが起こることがある。本方式では信号点配置を複数用意し、多次元符号化変調で符号ごとに使用する信号点配置の組合せを変えることによって符号間の距離を離し、復号器の誤りを減らすようにしている。

2.2 信号点配置

この方法でどの符号器を用いるかはその部分の重要度のみ依存するが、送信には符号器の情報は一切付加しない。このため、復号側で符号化と異なる復号器で復号してしまう復号器の誤りが生じてしまう。復号器の誤りが生じると、各符号の符号化率が異なるため、情報の長さが増えたり縮んだりしてしまうという問題がある。

そこで本方式では、符号ごとに信号点配置を変えることによって、符号間の距離を離し、復号器の誤りを減らすことを考えている。これは次のように行う。

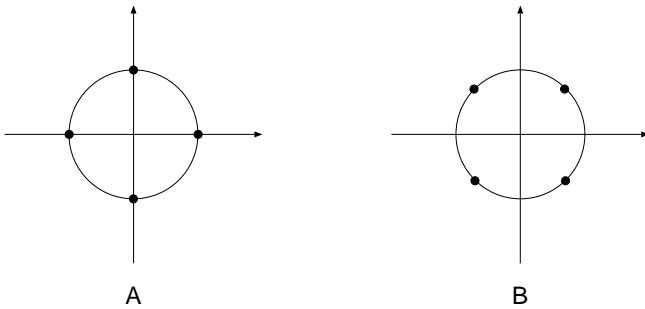


図 2: 信号点配置の一例

例えば図 2 のような 2 つの信号点配置があったとする。4 次元符号化変調を考える場合、ある符号は A を 2 回、別の符号には B を 2 回、また別の符号には A、B を交互に… というように符号ごとに異なる信号点配置の組を割り当てることで、符号間の距離を離し、受信側で用いた符号を推定しやすくできる。このようにすることで、重要度のレベルが 3 段階、4 段階、… と細かく分かれても、それだけの種類の誤り保護能力を持たせることができる。

また、ここでは例としてすべての信号点が同じエネルギーのものを挙げたが、符号によって信号点のエネルギーを変えることもできる。信号点のエネルギーも変えた場合には、符号間の距離をより広げたり、重要度ごとの誤り保護能力もより大きく変化させられることが考えられる。

3 性能評価

3.1 シミュレーションの条件

重要度が高、低の 2 通りで、重要度の高い部分と低い部分が 1 : 1 の割合で含まれている情報系列を考える。ここでは一例として重要度の低い部分は符号化せずに、重要度の高い部分は符号化率 $\frac{3}{4}$ の符号器で符号化した場合についてシミュレーションを行う。また、信号点配置は重要度の低い部分には図 2 の A を 2 回、重要度の高い部分には A と B を交互に用いた 4 次元符号化変調を行った。(図 3) これ以外の条件については次の表 1 に示す。

3.2 符号化利得

まず、この場合の符号化利得を求める。一般に符号化利得は次式で求められる。

$$G = 10 \log_{10} \frac{d_{min}^2/E}{d_{min}^2/E(\text{比較対象})} \quad (1)$$

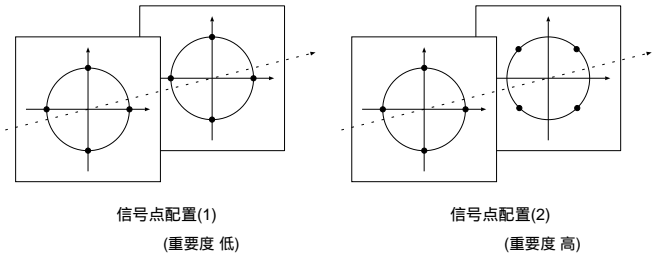


図 3: 信号点配置

表 1: シミュレーション諸元

重要度	高、低の 2 通り
符号器	無符号化
	符号化率 $\frac{3}{4}$ (図 4)
通信路雑音	白色ガウス雑音
メトリック	ユークリッド距離
切り替え	24 時点
平均符号化率	$(1:1) \frac{4}{4} \times \frac{1}{2} + \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{7}{8}$

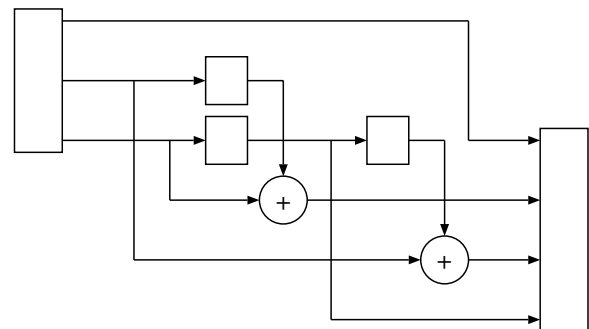


図 4: 符号器

ここでは符号化率も考慮に入れてた次式を符号化利得として計算する。

$$G = 10 \log_{10} \frac{d_{min}^2/E}{d_{min}^2/E(\text{比較対象})} + 10 \log_{10} \frac{R}{R(\text{比較対象})} \quad (2)$$

この場合は、重要度が高い部分の符号器で均一に符号化した場合と比較するので、この式の第1項は0になるので、符号化利得を求めると、

$$\text{重要度低: } G = 0 + 10 \log_{10} \frac{7/8}{4/4} \simeq -0.58 \text{ [dB]} \quad (3)$$

$$\text{重要度高: } G = 0 + 10 \log_{10} \frac{7/8}{3/4} \simeq 0.67 \text{ [dB]} \quad (4)$$

となり、重要度の低い部分は保護能力が下がるが、重要度の高い部分は保護能力が上がるのがわかる。この方法では、符号ごとに信号点配置を変えているが、ここではすべての符号の信号点のエネルギーを同じにした。符号ごとに信号点のエネルギーも変えれば、より大きな符号化利得を得ることができると考えられる。

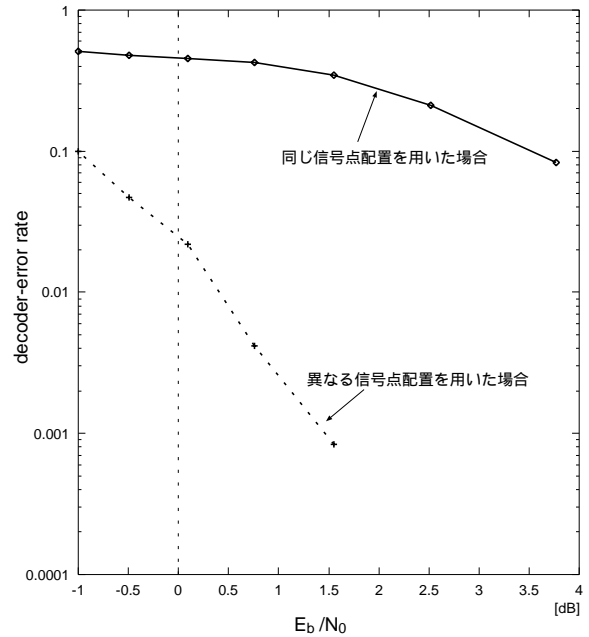


図 5: 復号器の誤り率

3.3 復号器の誤り

この方式では、重要度によって符号化率の異なる符号器を用いるため、復号の際、符号化した符号以外の復号器で復号してしまった場合、情報の伸長が起こってしまう。そこで、符号ごとに異なる信号点配置の組を当てはめることによって、符号間の距離を離し、復号器の誤りを減らすことができる。

各符号の信号点配置をすべて同じ(図3、(1))にした場合と、異なるものにした場合(図3、(1)、(2))の復号器の誤り率を図5に示す。

この結果より、復号器の誤り率は符号ごとに信号点配置を変えることによって、完全になくすことはできないがかなり改善されることがわかる。

3.4 ビット誤り率

この場合のビット誤り率を図6に示す。ここでは、重要度の高い部分に使った符号器で均一に誤り保護したものと比較した。

この結果から、重要度に応じて情報に2種類の誤り保護ができてることが分かる。また図5、6から、復号器の誤りのない部分ではそれぞれの符号器の特性を得ることができ、この場合では平均符号化率が $\frac{7}{8}$ であるから、重要度が高い部分では符号化率 $\frac{7}{8}$ で符号化率が $\frac{3}{4}$ の符号と同じビット誤り率を達成できていることが分かる。

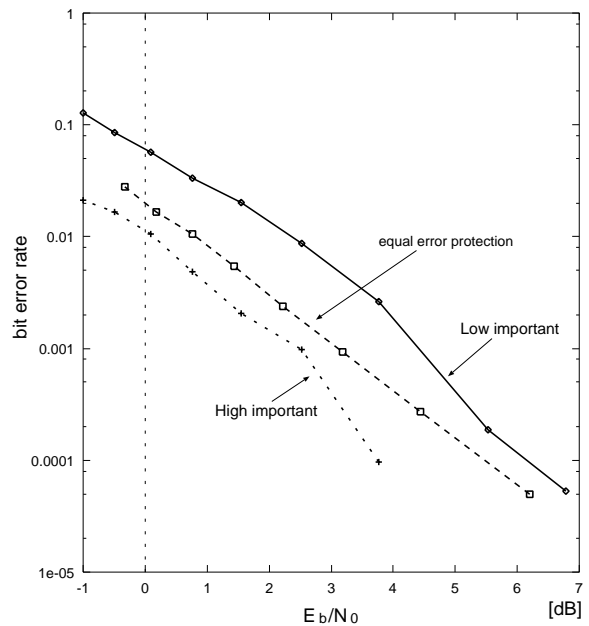


図 6: ビット誤り率

4 符号化率が自在に変えられる不均一な誤り保護能力を持つ符号化変調方式

ここまでは、重要度の高い部分と低い部分の割合が等しい場合について述べてきた。この方法では、重要度の高低の割合が変化しても重要度に応じた誤り制御ができる。次に、重要度の高低の割合が1:3、3:1の時のビット誤り率を示す。(図7、8)

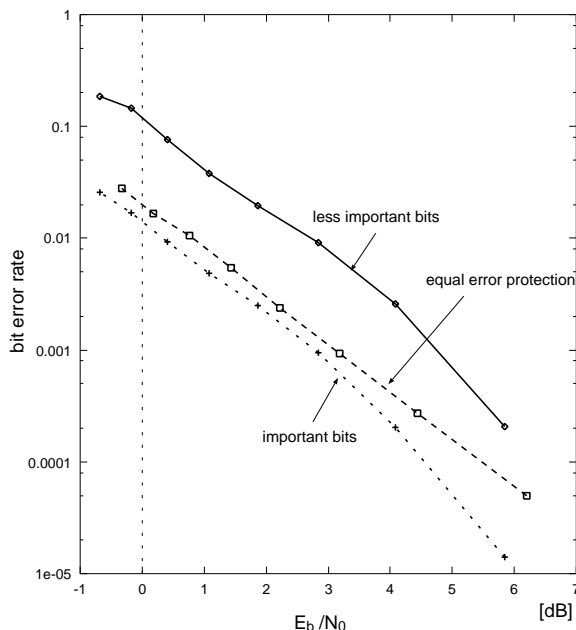


図 7: $A : B = 1 : 3$ の場合のビット誤り率

この場合も、重要度の高い部分に使用した符号器で均一に誤り保護した場合と比較した。また、それぞれの平均符号化率は次の通りである。

$$(\text{高} : \text{低} = 1 : 3) \quad \frac{4}{4} \times \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{13}{16} \quad (5)$$

$$(\text{高} : \text{低} = 3 : 1) \quad \frac{4}{4} \times \frac{3}{4} + \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{15}{16} \quad (6)$$

この結果から、重要度の割合が変わっても重要度に応じた誤り保護ができることが分かる。

またこのように、各符号器の割合や符号化率を変えることによって、平均符号化率がさまざまに変化するので、いろいろな符号化率の符号化をすることも可能である。

5 むすび

複数の畳込み符号を用いて重要度に応じた不均一誤り保護を行う方法について述べ、多次元符号化変調で符号

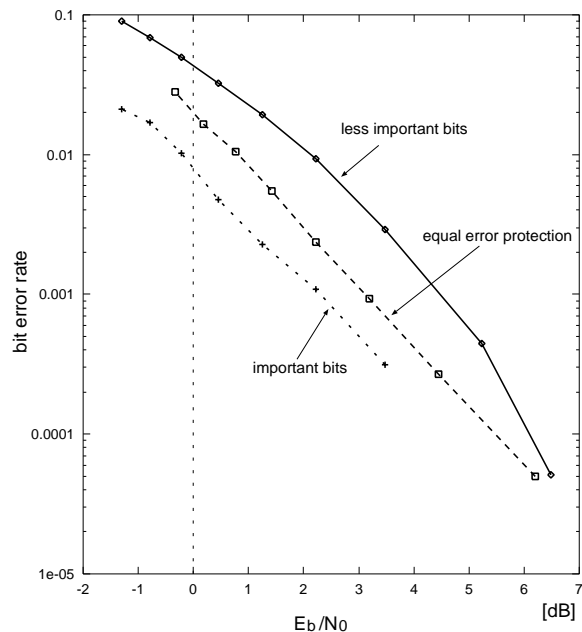


図 8: $A : B = 3 : 1$ の場合のビット誤り率

ごとに異なる信号点配置を用いることにより、用いた符号器に関する情報なしに送信する方法を提案した。

この方法には、使用する符号器の数が増えるほど復号時の計算量が増えることや、復号器の誤りは減ってもなくなっていないといった問題点が挙げられる。今後はこれらの課題を改善していくことを考えている。

参考文献

- [1] 原島 博: 「知的通信と知的符号化」電子情報通信学会 情報システム部門 全国大会予稿集 pp.1-399 - 1-401, 1988
- [2] T.Sasaki, R.Kohno and H.Imai, "Variable Error Controlling Schemes for Intelligent Error Controlling Systems", IEICE Trans. Fundamentals. vol.E77-A, No.8, pp.1281 - 1288, Aug.1994
- [3] 鈴木 紀子, 佐々木 太良, 河野 隆二, 今井 秀樹: 「知的符号化された顔画像に関する重要度に応じた誤り制御」情報理論とその応用シンポジウム (SITA'93) T22-2, Oct.1993
- [4] B.Masnick / J.Wolf: "On Linear Unequal Error Protection Codes", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.IT-13, No.4, pp.600-607, Oct.1967
- [5] 今井 秀樹: 「符号理論」コロナ社 (1990)

- [6] G.Ungerboeck:“Trellis-Coded Modulation with Redundant Signal Set, Part 1:Introduction, Part 2:State of the Art,” IEEE Comm.Magazine, Vol.25-2, pp.5-21, Feb.1987
- [7] A.R.Calderbank and N.J.A.Sloane : “New Trellis Codes Based on Lattices and Cosets,” IEEE Trans. on Inform. Theory, vol.IT-33, No.2, Mar. 1987
- [8] 松永麻里, D.K.Asano, 河野隆二 : “複数の畳込み符号を用いた不均一誤り保護符号の一検討,” 信学技報 **IT95-75**, pp. 37 – 42, March 1996.
- [9] D.K.Asano, R.Kohno : “Serial Unequal Error Protection Codes based on Trellis Coded Modulation,” Submitted to IEEE Trans. on Commun.