

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

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

〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台 156

電話: 045-335-1451 (内線 2833)

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することによって、重要な部分にはより多くの誤り保護をする符号化復号法を提案する。また、同じ符号化率の1つの符号器で均一に誤り保護をした場合と比較した性能評価を行う。

キーワード 畳込み符号、重要度、不均一な誤り保護

A Study on 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

156 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama, 240 Japan

Tel.: 045-335-1451 (ext. 2833)

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

Abstract This paper proposes and investigates a coding and decoding scheme to achieve for unequal error protection using convolutional codes. The performance is evaluated and compared with a conventional equal error protection scheme which uses a single convolutional code with the same rate as the proposed scheme.

Keywords Convolutional Code, Importance, Unequal Error Protection

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]-[5]。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ことのできる符号化法が必要である。

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 [6]。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、複数の誤り訂正能力の異なる畳込み符号を、重要度に応じて使い分けて符号化することによって、1 ビット単位ではなく、数バイトごとに異なった誤り保護能力を持たせることのできる符号化復号法を提案する。この方法では、冗長度をできるだけ減らすため、用いた符号に関する情報は一切つけずに送信し、復号側ではすべての復号器を、符号を切り替える時点でつなげたものを、1 つの大きな復号器として考え、Viterbi 復号を行うことで、すべてのパスの尤度を計算し、復号する。これは従来の不均一誤り保護符号のように重要度が符号語中で固定的に決まっているものとは異なり、重要度は別途与えられるものとしている。

また、この方式の性能評価として、同じ符号化率の 1 つの符号器で均一に誤り保護をした場合に比べて、重要度の低い部分の誤り保護能力は落ちるが、重要度の高い部分にはより多くの誤り保護がなされることを示す。

2 複数の畳込み符号を用いた不均一誤り保護符号

2.1 符号化復号システム

複数の畳込み符号を用いて不均一な誤り保護をする符号化復号法として、次のようなシステムを考える。

まず、情報系列として、何らかの形で重要度の決められた系列を考え、その重要度に応じて誤り訂正能力の異なる畳込み符号を用意し、符号化する。このとき、重要度によって符号器は不規則に切り替わるものとする。そして、

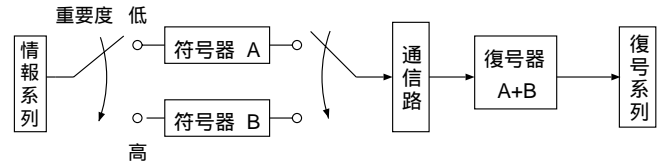


図 1: 提案システム

用いた符号に関する情報はつけずに送信し、受信側では Viterbi 復号で復号する。また、Viterbi 復号では、拘束長の 5 ~ 6 倍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。従って、符号器の切り替えの周期は、用意した符号器の中で最も長い拘束長の 5 ~ 6 倍ごととする。このとき用いるトレリス線図は、用いた各符号器に対応するトレリス線図に、切り替える時点の符号器をまたがるパスを加えてつなぎ合わせたものを大きな 1 つのトレリス線図 (図 2) として考える。

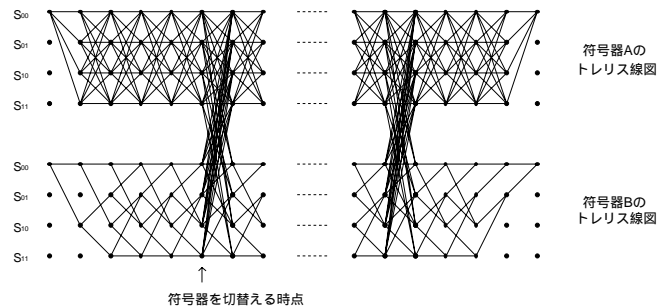


図 2: トレリス線図

復号側において、誤って符号器と異なる復号器で復号してしまった場合、復号系列の長さが元の情報系列と変わってしまう可能性がある。そこで、1 回の復号までの情報ビットの数を一定にすることによって、復号系列に元の情報系列と比べて伸縮があった場合にわかるようにしておく。このために、復号までに各符号器を用いる回数をあらかじめ決めておく。もし復号の際に系列の伸縮があった場合、伸びた場合には余った分は捨て、縮んだ場合には足りない分を全部 0 と考える。

2.2 符号器の選択方法

この方法における符号器は遅延素子の数と出力ビット数が等しく符号化率と誤り訂正能力が異なる符号の中で、それぞれ同じ符号化率の符号器の中でもっとも誤り訂正能力の高い符号を選ぶ。出力ビットの数をそろえるのは、復号側における符号器の切り替えによる同期ずれを防ぐためであり、遅延素子の数をそろえるのは、符号器の切

り替わる前後でのパスがつながるようにするためである。また、この遅延素子は、使用する符号器で共有しているものと仮定する。

2.3 Viterbi 復号におけるメトリックの計算

情報源が異なれば、重要度の高低の割合も変化する。重要度の割合が変わればそれぞれの符号器の出現確率も変化する。この方式の復号は、符号が切り替わる時点以外では、受信系列をすべての符号に対する復号器で並行に計算している。この部分では各復号器どうし独立に計算していると考えられるので、符号の出現確率を考慮する必要はない。ところが切り替える時点では、すべての復号器を1度に考えるため、符号の出現確率を考慮しなければならない。出現確率を考慮したメトリックの計算は以下のように行う。

符号器 A、B の 2 つの符号器を用いていたと仮定する時、符号器 A の出現確率を P_A とし、ガウス分布を P 、ユークリッド距離を d_E とすると A のメトリック M_A は、

$$\begin{aligned} M_A &= -\log P \cdot P_A \\ &= -\log P - \log P_A \\ &\simeq d_E - \log P_A \end{aligned} \quad (1)$$

同様に、符号器 B の出現確率を $P_B (= 1 - P_A)$ とすると B のメトリック M_B は、

$$M_B \simeq d_E - \log P_B \quad (2)$$

と表せる。

出現確率を考慮しない部分のメトリックはユークリッド距離を用いる。

2.4 符号器間の距離

本方式では符号化に用いた符号器の情報を付けずに送信するため、復号側で誤って異なる復号器で復号してしまうことがある。これを復号器誤りと呼ぶ。

この復号器誤りは、符号化したものと異なる復号器で復号したとき、雑音などで正しいパスのメトリックが間違っただけの復号器でのメトリックよりも大きくなってしまった場合に生じる。したがって、異なる復号器で復号したメトリックが、正しいパスに比べて充分大きければ復号器の誤りはほとんど生じないと考えられる。間違っただけの復号器でのメトリックが大きくなるということは、その符号とのユークリッド距離が離れているということであり、これを符号器間の距離と考える。

この方式では出力ビットの数が等しく符号化率の異なる符号器を用いる。復号側で復号器誤りを起こしてしまう場合、符号化率の高い符号から低い符号への誤りが多

く、逆は少ない。これは、符号化率の高い符号より低い符号の方がパスの数が多く、逆の符号器の系列を復号した場合、ユークリッド距離の近いパスが多く存在するためだと考えられる。このことから、同じ符号器どうしでもどちらの符号器を基準に見るかで距離が異なることがわかる。そこで、ある符号器 A、B があるとき、A で符号化した系列と全零パスを除いた B の符号語との距離を「A から B の距離」、逆に B で符号化した系列と全零パスを除いた A の符号語との距離を「B から A の距離」と呼ぶことにする。復号器誤りは符号器間の距離が近いほど起こりやすく、遠いほど起こりにくい。

2.5 符号器の距離を考慮したメトリックの計算

上述の通り、符号器間の距離はどちらの符号を基準に見るかによって異なる。このために、復号側で生じる復号器の誤りはある一方から他方へ間違えることが多く、その逆へ間違えることは少ない。そこでこの距離がどちらから見ても等しくなるようにメトリックの計算の仕方をかえることで、復号器の選択誤りを減らすことが期待できる。

具体的には、符号器 B から符号器 A の距離が近く A から B の距離が遠い場合には、符号器 B で符号化された系列を復号器 A で復号した場合のメトリックと符号器 A で符号化された系列を復号器 B で復号した場合のメトリックが等しくなるような値 α を A のメトリックに加えて、以下のように計算する。

$$M_A = d_E + \alpha \quad (3)$$

$$M_B = d_E \quad (4)$$

α を求めるには、計算機で全部 0 のパスから全部 1 のパスまでのすべての情報系列を符号器 A で符号化した系列を、復号器 B で復号したメトリックの最小値の分布を調べ、その平均値を A から B の距離 d_{AB} 、また、符号器 B で符号化した系列を復号器 A で復号したメトリックの最小値の分布の平均値を B から A の距離 d_{BA} とする。片方のメトリックに定数 α を加えることで、この 2 値が等しくなるように α を決める。具体例については 3.2 節で述べる。

3 性能評価と考察

3.1 シミュレーションの条件

情報系列の重要度は高、低、の 2 通りとし、2 つの符号器として図 3、4 を用いる。この 2 つは遅延素子の数が 2、出力ビットの数が 3 ビットで符号化率および d_{free} が異なる符号器の組合せである。情報系列として 1、-1 の 2 値からなる系列を考え、通信路上では白色ガウス雑音を加わるものとし、メトリックとして (1) ~ (4) 式を計算する。ユークリッド距離は、受信信号とトレリス線図の各

ブランチの値との差の2乗をとる。また、平均符号化率は各符号器の符号化率とその符号器の出現確率を掛けて加えて計算する。

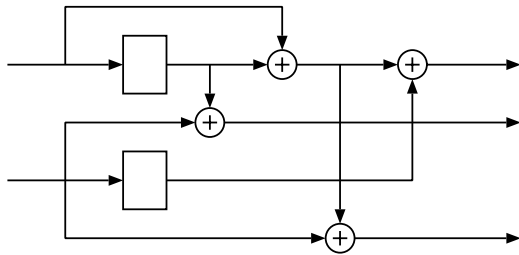


図 3: 符号器 A

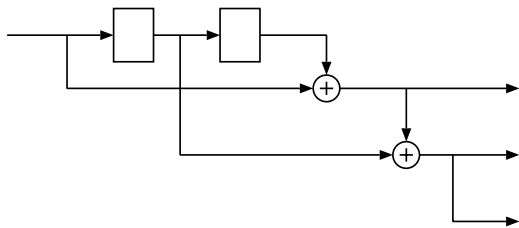


図 4: 符号器 B

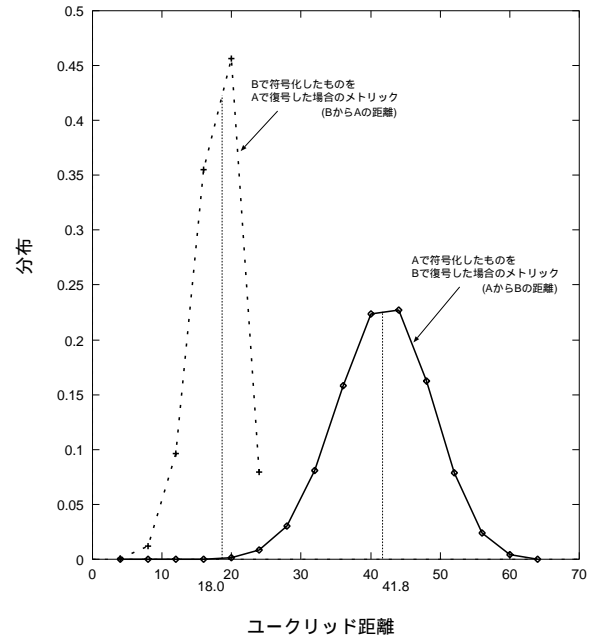


図 5: 符号器 A で符号化された系列に対する B の符号語との距離と符号器 B で符号化された系列に対する A の符号語との距離の分布

3.2 距離の分布から求めた α の値

この場合の α の値を求めるために、まず、符号器 A と B について両方からの距離の分布を調べた。

計算機で全 0 から全 1 までのすべての系列を情報系列とし、A で符号化し、B の復号器でメトリックをユークリッド距離として 16 時点ごとに復号することにより、A のすべての系列に対する B の符号語までの距離の分布を調べた。同様に B から A の距離の分布を調べた。(図 5) この分布から、A から B の距離の分布と B から A の距離の分布は異なることがわかる。

この 2 つの分布の平均値を求めると、A から B の距離の平均 $d_{AB} = 41.8$ 、B から A の距離の平均 $d_{BA} = 18.0$ となり、この差は 23.8 となる。これは 16 時点あたりの値であるので、1 時点あたりの値になおして α を求めると、

$$\alpha = \frac{23.8}{2} / 16 \simeq 0.744 \quad (5)$$

となった。

3.3 α の最適値

α の最適値について考えるために α を変化させてビット誤り率を調べた。符号器は A と B を 1:1 の割合で使い、 $E_b/N_0 = 3.1$ にしてシミュレーションを行った。

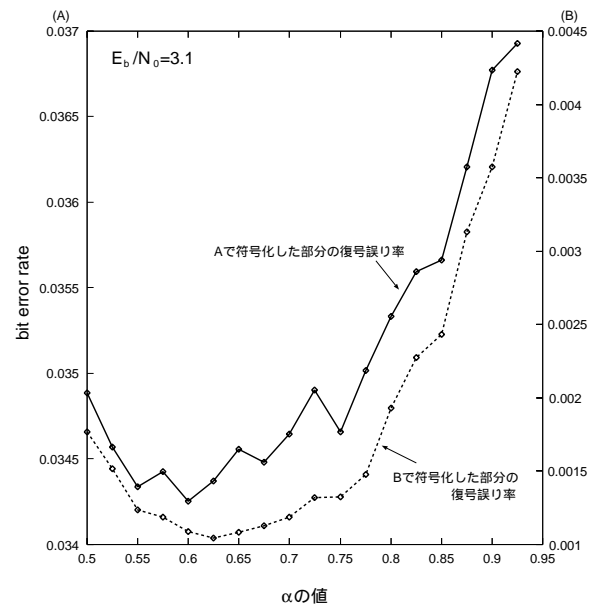


図 6: $E_b/N_0 = 3.1$ で α を変化させた場合の復号誤り率の変移

この結果より、 $\alpha = 0.6$ から 0.65 ぐらいで復号誤り率が最も低くなることがわかった。

これは前節から求めた結果とは少し異なる結果となった。この理由は、図 5 で求めた距離の分布では、情報系列を全部 0 のパスから全部 1 のパスまでのすべてについて考えているのに対し、このシミュレーションの場合には、情報系列は 0 と 1 がほぼ同じ割合で出現すると考えているためである。

前節の方法でも近い値を得ることができるが、より正確な α の値を求めるには、その情報源の 0 と 1 の出現確率まで考慮して距離の分布を求めれば良いと考えられる。以下では、図 6 から求めた $\alpha (= 0.625)$ を最適値として用いる。

3.4 シミュレーションの結果

符号器 A、B の割合が 1 : 1、3 : 1 の場合について計算機により復号誤り率を調べた。(図 8、9) また、提案方式と比較するため、平均符号化率と等しい符号化率の符号 C (符号化率 $\frac{1}{2}$ 、 $d_{free} = 5$ 、図 7) で均一に誤り保護した場合についても復号誤り率を求めた。表 1 にその諸元を示す。符号器 C で均一に符号化した場合も諸元は同様で、メトリックはユークリッド距離のみ、復号は 16 時点ごとに行った。

ここでは、重要度の高い部分と低い部分で異なる誤り保護がなされていることがわかるように、重要度の高い部分と低い部分の復号誤り率を別々に計算した。グラフの横軸は情報ビット 1 ビットあたりの SN 比とする。また、 $A : B = 3 : 1$ の場合の平均符号化率は $\frac{7}{12}$ であるが、 $\frac{7}{12}$ と $\frac{1}{2}$ はそれほど違わないため、この場合も符号器 C と比較する。

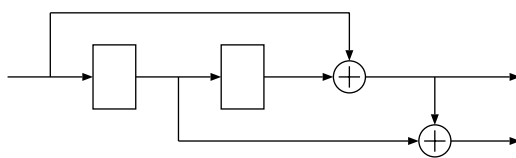


図 7: 符号器 C

これらの結果から、符号器 B で符号化した部分 (重要度の高い部分) には、平均符号化率の等しい 1 つの符号器で符号化した場合よりも多くの誤り保護がなされていることがわかる。

4 むすび

複数の畳込み符号を用いて不均一に誤り保護する符号化復号法を提案し、その復号誤り率を評価した。この結

表 1: シミュレーション諸元

重要度	高、低の 2 通り	
符号器	符号化率 $\frac{2}{3}$, $d_{free} = 3$	符号器 A (図 3)
	符号化率 $\frac{1}{3}$, $d_{free} = 8$	符号器 B (図 4)
通信路雑音	白色ガウス雑音	
メトリック	(1) ~ (4) 式	
α	0.625	
切り替え	16 時点	
復号	(A:B=1:1)	情報ビット 96bits (A2 回 B2 回)
	(A:B=3:1)	情報ビット 112bits (A3 回 B1 回)
平均符号化率	$(1:1) \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} =$	$\frac{1}{2}$
	$(3:1) \frac{2}{3} \times \frac{3}{4} + \frac{1}{3} \times \frac{1}{4} =$	$\frac{7}{12}$

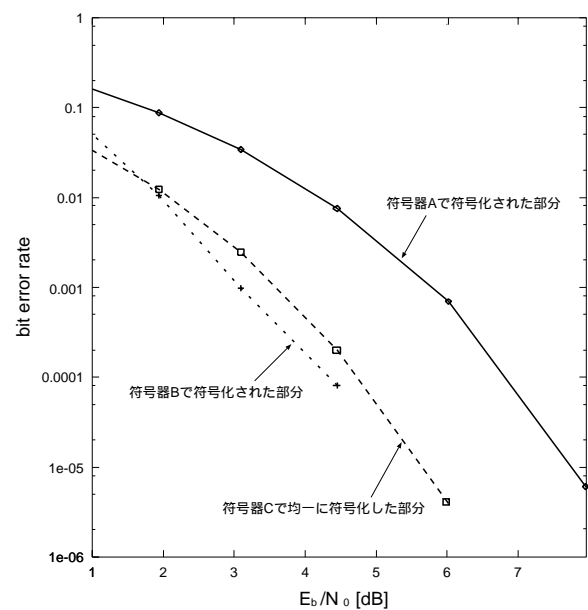


図 8: $A : B = 1 : 1$ の場合の復号誤り率

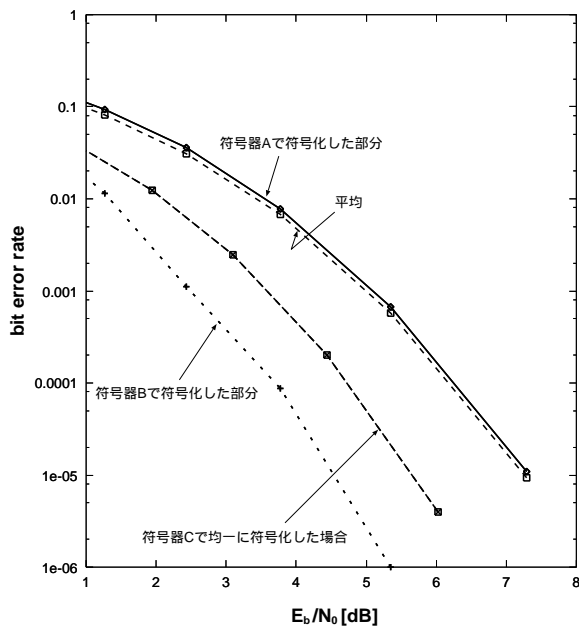


図 9: $A : B = 3 : 1$ の場合の復号誤り率

果、その平均符号化率と符号化率の等しい符号器で均一に誤り保護した場合に比べて、情報の重要度の高い部分には強い誤り保護がなされることを示した。

今後としては、今回は 2 つの符号器を使った場合について考えてきたので、3 つ以上の符号器を使った場合や、符号器間の距離の離れた符号器の選び方の検討をしていくことなどが考えられる。

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] 佐々木 太良：「ヒューマンコミュニケーションにおける知的誤り制御の研究」横浜国立大学 博士論文 (Mar.1994)
- [3] 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)
- [4] 鈴木 紀子：「知的符号化された顔画像に対する重要度に応じた誤り制御の研究」横浜国立大学 修士論文 (Jan.1994)
- [5] 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)

- [6] B.Masnick / J.Wolf: "On Linear Unequal Error Protection Codes", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.IT-13, No.4, pp.600-607 (Oct.1967)
- [7] 今井 秀樹：「符号理論」コロナ社 (1990)
- [8] Shu Lin / Daniel J. Costello, Jr. : "Error Control Coding: Fundamentals and Applications", Prentice Hall (1983)