

入学年度 平成 9 年度

学籍番号 09117952

氏名 福田 登志夫

論文題目 高次元パリティ符号の軟判定復号に関する研究

中野研究室

1 はじめに

高次元パリティ符号は、劣悪な通信環境 (平均誤り率 $10^{-2} \sim 10^{-1}$) においても誤りを増加させずに訂正する能力をもっている。従来の高次元パリティ符号の復号法は、各ビットを“0”, “1”の整数で表した確定的な誤り訂正の硬判定復号 (*hard decision decoding*) であった。本研究では、高次元パリティ符号の新しい復号法として、各ビットを確率的に表した軟判定復号 (*soft decision decoding*) の「ビット信頼度による復号法」を提案し、その性能を検証する。

2 高次元パリティ符号

水平-垂直パリティ符号に相当する 2 次元パリティ符号をもとに、順次次元拡張することによって、高次元パリティ符号を段階的に構成することができる。符号長 m^2 の 2 次元パリティ符号を正方形配列した時の一辺のビット数を「サイズ」と呼び、 m で表す。また、次元を n で表し、サイズ m の n 次元パリティ符号を $nDmm$ で表す。

3 ビット信頼度による復号法

各ビットについて信頼度 α を定義する。 α はそのビットの正しい確率を表す。 α はパリティ検査の結果により、正しいと推測されるビットの信頼度は高く、誤っていると推測されるビットの信頼度は低くなるように再計算をする。信頼度 α を繰り返し再計算することによって、段階的に各ビットの正誤を解明していく。

各検査線についても、パリティ検査の正誤とは別に検査線の信頼度 r を定義する。ここで、検査線が正しいと判定されるのは、検査線上の全てのビットに誤りが存在しない場合、あるいは偶数個の誤りが生じた場合である。よって、検査線が正しいと判定された時の検査線の信頼度 r は、検査線上の全てのビットが信頼できる確率と偶数個のビットが信頼できない確率の和である。

サイズ m の高次元パリティ符号において、1 本の検査線は m 個のビットを貫いているので、そのビットの信頼度をそれぞれ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_m$ とすると、その検査線の信頼度 r は

$$r = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \cdots \alpha_m + (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2) \alpha_3 \cdots \alpha_m + \cdots + (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)(1 - \alpha_3) \cdots (1 - \alpha_m)(1)$$

と表される。さらに式 (1) を変形すると、

$$r = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \prod_{k=1}^m (2\alpha_k - 1) \quad (2)$$

となる。一方、検査線が誤りと判定された時の r は、検査線上の奇数個のビットが信頼できない確率の和である。それは、1 から式 (2) を引いたものなので、

$$r = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \prod_{k=1}^m (2\alpha_k - 1) \quad (3)$$

となる。

n 次元パリティ符号の各ビットは、 r_0, r_1, \dots, r_{n-1} 方向の計 n 本の検査線でチェックされているので、その n 本の検査線の信頼度 r の平均を \bar{r} とする。もし、あるビットが誤っていれば、 \bar{r} は低くなるはずである。よって、 \bar{r} が 0.5 より高ければ、そのビットは信頼できるとして信頼度を上げ、逆に \bar{r} が 0.5 より低ければ信頼度を下げる。信頼度を変化させる関数を式 (4) に示す。

$$\begin{aligned} \alpha' &= \alpha + 2(1 - \alpha)(\bar{r} - 0.5) & (0.5 \leq \alpha \leq 1 \text{ の時}) \\ \alpha' &= \alpha - 2\alpha(\bar{r} - 0.5) & (0 \leq \alpha < 0.5 \text{ の時}) \end{aligned} \quad (4)$$

このままでは信頼度 α は 0.5 より小さくならない。 α は 0.5 より小さくなると、訂正能力が上がるのが判明したので、強制的に α を下げる。

$$\begin{aligned} 0.5 \leq \alpha \leq 0.501 &\Rightarrow \alpha' = 0.49 \\ 0.499 \leq \alpha < 0.5 &\Rightarrow \alpha' = 0.51 \end{aligned} \quad (5)$$

各ビットについて、求められた α' を新たにそのビットの信頼度とする。この処理を繰り返すことにより、信頼できるビットの信頼度は 1、信頼できないビットの信頼度は 0 に収束するので、信頼度の低いビットを誤りと判定し訂正を行う。このように信頼度を用いて、誤り検出と訂正を行うのがビット信頼度による復号法である。

4 従来法との比較

図 1 は、4Dm4 符号において、シミュレーションを行い、従来法とビット信頼度による復号法を比較したものである。図 1 より、訂正能力に大きな差があることが分かる。

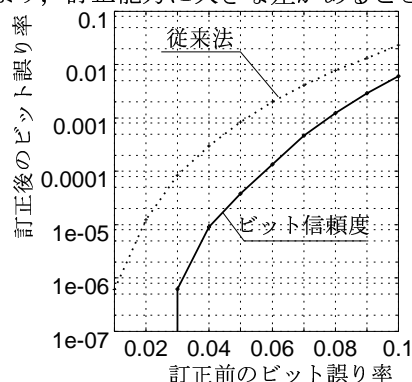


図 1: 従来法との比較 (ビット誤り率)

5 まとめ

本論文では、高次元パリティ符号の新たな復号法として「ビット信頼度による復号法」を提案し、その性能について調べた。さらに従来法との比較も行い、ビット信頼度による復号法の有用性を示した。今後、信頼度の修正の方式や信頼度の再計算の回数などについて、より詳細な検討が必要である。

参考文献

- [1] 福田, 白田, 内匠, 畑, “鎖符号におけるビット信頼度による復号法”, 2000 年東海支部連合大会