

### 1 はじめに

近年、誤り訂正符号の研究において各ビットを確率的に表し復号処理を行なう軟判定復号 (soft decision decoding) の研究が盛んに行われている。高次元パリティ符号においては、各符号ビット毎に計算される信頼度を用いて復号を行なう繰り返し復号法 (Iterative Decoding) が提案されている。しかし現在、本復号法において復号時に用いるビット毎の信頼度の初期値を与える方法が確立されていない。

そこで、本稿では繰り返し復号法における信頼度の初期値設定方法を提案し、訂正能力を検証する。

### 2 高次元パリティ符号

高次元パリティ符号は、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高次元に拡張した誤り訂正符号である。「次元  $n$ 」と「一辺のサイズ (ビット数)  $m$ 」という2つのパラメータによって符号構造が決まる。図 1 に、一辺のサイズ 3 の 3 次元パリティ符号の構造を示す。

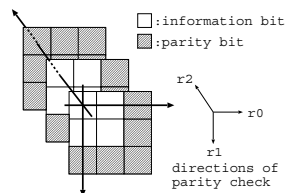


図 1: 3次元パリティ符号の構造を示す。

### 3 繰り返し復号法

復号方法について説明する。まず、各ビットについてビット信頼度  $\alpha_i$  を定義する。 $\alpha_i$  はそのビットが +1 であると推定された場合は +1 の値に近付き、-1 と推定された場合は -1 の値に近づくものとする ( $-1 < \alpha_i \leq +1$ )。各パリティ検査線についても、検査線信頼度  $\beta_j$  を定義し、 $\beta_j$  は検査線上の各ビット信頼度  $\alpha_i$  を掛け合わせたものとする ( $-1 < \beta_j \leq 1$ )。

$\alpha_i$  の修正式は、 $\beta_j$  の偏微分係数から求める。 $n$  次元パリティ符号であれば、 $\alpha_i$  は  $n$  本のパリティ検査線でチェックされている。これら検査線の信頼度を各々  $\alpha_i$  で偏微分して得られた  $n$  個の値の平均により、 $\alpha_i$  を修正する。また、修正後の  $\alpha_i$  が -1 と +1 の間に収まるようにする。

### 4 ビット信頼度の初期値設定方法

各ビットの受信値から得られる尤度を使って送信ビットが +1 である事後確率を計算し、ビット信頼度の初期値を設定する方法を提案する。通信路として AWGN 通信路を想定した時、送信ビット  $x_i$  には正規分布に従う雑音が付加される。その結果、送信ビット  $x_i$  として +1 または -1 を送信した時、得られる受信ビット  $y_i$  の尤度は以下ようになる。

$$P(y_i | x_i = \pm 1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(y_i \mp 1)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

受信値  $y_i$  を得たとき、その送信ビットが +1 である事後確率  $P(x_i = +1 | y_i)$  を式 (1) を用いて計算すると以下の式となる。

$$P(x_i = +1 | y_i) = \frac{1}{1 + \exp(-\frac{2y_i}{\sigma^2})} \quad (2)$$

また式 (2) は 0 から +1 の値を取るため、値が -1 から +1 の範囲となるように補正を加え、ビット信頼度  $\alpha_i$  の初期値とする (式 (3))。

$$\alpha_i \leftarrow 2 \left( \frac{1}{1 + \exp(-\frac{2y_i}{\sigma^2})} - \frac{1}{2} \right) \quad (3)$$

本手法は、通信路の雑音の大きさ  $\sigma^2$  に応じて与える初期値の変化する初期値関数となる。なお、 $\frac{\sigma^2}{2}$  が傾きの緩急を定めるパラメータである。この方法を初期値設定法 1 とする。これに対し、 $\sigma^2 = 2$  と固定した場合を初期値設定法 2 とし、訂正能力の比較を行う。

### 5 能力比較

シミュレーション条件を示す。用いる符号はサイズ 5 の 3 次元パリティ符号 (3Dm5)、サイズ 6 の 4 次元パリティ符号 (4Dm6)。復号法は、繰り返し復号 (初期値設定法 1, 初期値設定法 2)。比較する硬判定復号法として、適応閾値判定法の 15 回繰り返し復号後の結果を示す。Uncoded BER は符号化されていない場合のビット誤り率である。なお、送信ビット数は約 1000 万 ( $10^7$ ) ビットでシミュレーションを行った。

図 2, 図 3 より、繰り返し復号法が高い訂正能力を示すことがわかった。また、初期値設定法 1 を用いる場合より初期値設定法 2 を用いた場合の方が、訂正能力が高いと言える。つまり、 $\sigma^2$  の値を実際より大きな値に補正したほうが、訂正能力が向上する。

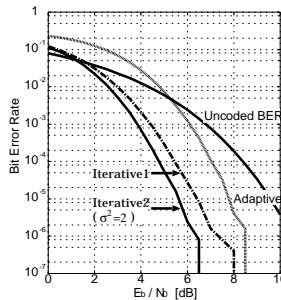


図 2: 能力比較 (3Dm5)

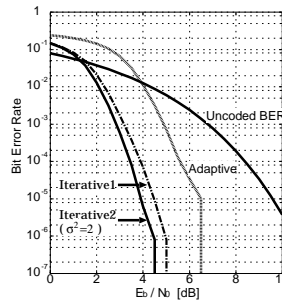


図 3: 能力比較 (4Dm6)

### 6 最適な初期値設定の検討

前節の結果をふまえ、ビット信頼度の初期値として最も適する値を検討する。

3次元のサイズの異なる符号において、ビット信頼度の初期値を与える際に、式 (3) の  $\sigma^2$  の値を  $2 * \sigma^2 \sim 6 * \sigma^2$  と補正して復号シミュレーションを行なう。訂正後ビット誤り率を比較し、最適となった点を用いた補正值のグラフにプロットすると図 4 が得られる。

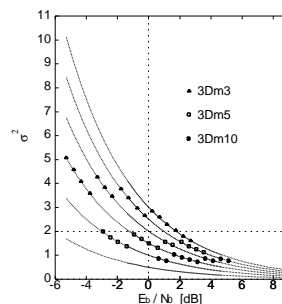


図 4: 各符号語の最適な補正值の違い

図 4 において、最適な  $\sigma^2$  の補正值は符号語のサイズによって異なっている。また、サイズが大きくなるに従い、本来の  $\sigma^2$  の値に近付いている。

### 7 まとめ

本稿では、ビット信頼度の初期値設定法を提案し、訂正能力を検証した。その結果、繰り返し復号法において最適な訂正能力を得ることのできる初期値は、受信値自体のもつ情報に加え、符号語のサイズや次元にも依存することがわかった。