

H 8 Repeat-Accumulate 符号を用いた DS/SS 通信システムの検討

吉野 正哲、佐々木 重信[†]、周 杰[†]、村松 正吾[†]、菊池 久和[†]

新潟大学大学院自然科学研究科

[†]:新潟大学工学部電気電子工学科

1. はじめに

デジタル無線通信では高速データ伝送と低い誤り率が求められる。低い誤り率を達成する方法として接続符号による誤り訂正符号の適用が考えられる。接続符号はパリティ部分を多くすることによって強力な訂正が可能となるが、その分高速データ伝送では不利となる。高い訂正能力を持ち、高速データ伝送可能な接続符号として (Repeat-Accumulate: RA) 符号がある[1]。RA 符号は符号化率が 1 で他の通信符号と接続することで繰り返し復号が可能である。ここで繰り返し復号に必要な通信路状態情報(channel state information: CSI)推定をいかに行うかが問題となる。

一方、スペクトル拡散(Spread Spectrum: SS)通信は秘話性・秘匿性・耐妨害性に優れた通信方式で符号分割多元接続(Code Division Multiple Access: CDMA)通信が可能などから様々な分野で普及している[2][3]。本検討では直接拡散スペクトル拡散(DS/SS)通信を想定し、受信側でマッチドフィルタ(matched filter: MF)出力の相関特性から CSI 推定を行う方法を提案する。また AWGN 通信路における計算機シミュレーションからビット誤り率(Bit Error Rate: BER)の評価を行う。

2. 通信システム構成

システムの送信側モデルを図 1 に示す。送信側では情報ビット系列を外符号(outer encoder)通信路符号化し、ランダムインタリーブを施した後、内符号(inner encoder)として Accumulator を接続する。Accumulator の符号化率は 1 なので全体の符号化率は外符号の符号化率で決まる。さらに拡散符号を用いて拡散して送信する。

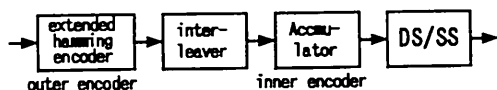


図 1. 送信側モデル

受信側モデルを図 2 に示す。受信側では、マッチドフィルタ出力の相関特性から CSI を推定する。推定した CSI とマッチドフィルタ出力を事後確率(a posterior probability: APP)復号器に入力して APP Hamming 復号器

間でインタリーブを介して繰り返し復号を行うことによって特性の改善を得る。

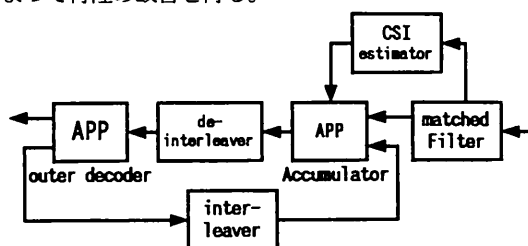


図 2. 受信側モデル

3. CSI 推定アルゴリズム

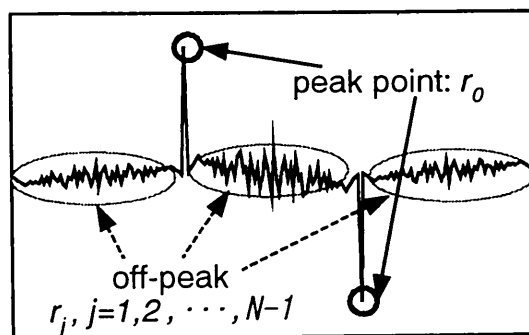


図 3. マッチドフィルタ出力例

マッチドフィルタ出力例を図 3 に示す。同期しているピーク点(peak point)に信号成分と雑音成分が含まれ、それ以外(off-peak)には雑音成分が含まれる。繰り返し復号に用いる CSI として式(1)に示す peak point と off-peak の平均との比 $\tilde{\gamma}$ を用いた。N は拡散符号の周期を示す。

$$\tilde{\gamma} = \frac{|r_0|}{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} |r_j|} \quad (1)$$

前述のことから、信号電力 S、雑音電力 η とすると $\tilde{\gamma}$ は

$$(\tilde{\gamma})^2 = \frac{S + \eta}{\eta} = \frac{S}{\eta} + 1 \quad (2)$$

を満たすものと考えられ、この CSI により信号対雑音電力比(signal to noise ratio: SNR)に相当する情報が得られるものと考えられる。

拡散符号は M 系列(Maximum-length linear shift-register sequence)、Gold 符号(Gold code)を用いた。それぞれの符号で受信ビット平均した計算機シミュレーション結果として図 4 に示した。通信路状態が既知の場合を perfect CSI と示す。SNR を大きくしていくと式(3)で示される M 系列の自己相関関数 $\phi(j)$ に収束していく。

$$\phi(j) = \begin{cases} N & (j = 0) \\ -1 & (1 \leq j \leq N - 1) \end{cases} \quad (3)$$

ピーク値は $N=63$ 、それ以外 off-peak の点は -1 となり $20\log_{10}(63/1) \doteq 36[\text{dB}]$ に漸近していきフラットになる。Gold 符号も同様にピーク値は 63、それ以外 off-peak の平均は 7 となり $20\log_{10}(63/7) \doteq 19[\text{dB}]$ でフラットとなると考えられる。

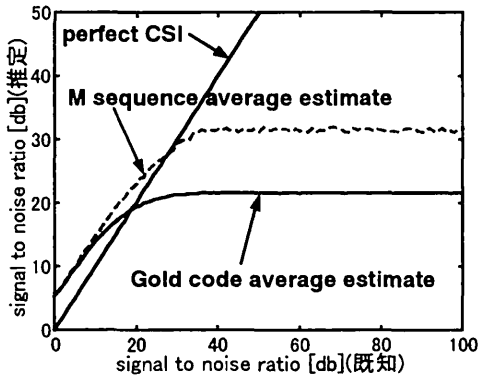


図 4. SNR 推定結果

4. 計算機シミュレーション

伝送路として AWGN 通信路を想定して計算機シミュレーションを行った。シミュレーション諸元を表 1 に示す。拡散符号を M 系列、Gold 符号を用いた場合で検討した。

表 1. シミュレーション諸元

拡散符号	周期 63 の M 系列 周期 63 の Gold 符号
インタリーブ	ランダムインタリーブ (800 ビット)
通信路符号	(8,4) 拡大 Hamming 符号
符号化率	1/2
繰返し回数	5 回

BER 特性のシミュレーション結果を図 5 に示す。繰

り返し復号回数を 5 回、通信路状態が既知(perfect CSI)、CSI が未知で CSI 推定をインタリーブサイズ分のビット数(本稿では 800 ビット)で平均をとった場合(average estimate)、CSI 未知で CSI 推定を送信ビットごとに行なった場合(1bit estimate)を示している。インタリーブサイズで平均をとった推定方法では perfect CSI に比べてほぼ近い結果が得られた。ビットごとに推定を行ったものと比べても 1[dB]程度の利得が得られた。

また同じ周期 63 で拡散符号の種類を変えて行うとほぼ近い結果が得られた。

5. まとめ

RA 符号を構成し、復号時に必要な CSI をマッチドフィルタ出力の相関特性から推定した。CSI 推定結果を用いて繰返し復号をした結果、インタリーブサイズ分のビット数(本稿では 800 ビット)で平均をとった場合には perfect CSI に近い結果が得られた。

M 系列、Gold 符号と拡散符号を変えて行うとほぼ近い BER 特性が得られた。今後はマルチプルアクセス環境、フェージング通信路での CSI 推定による影響の検討が考えられる。

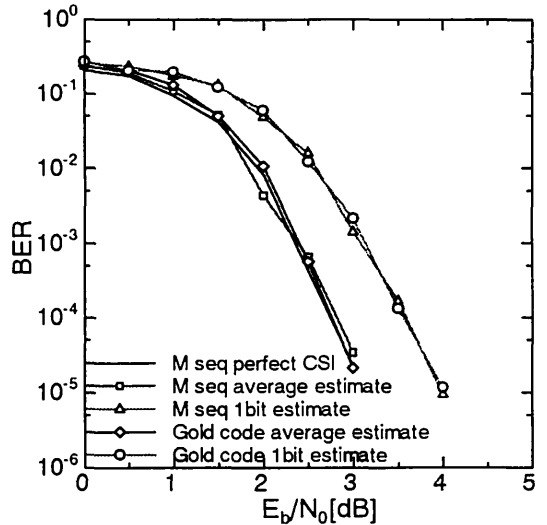


図 5. ビット誤り率特性

【参考文献】

- [1] D. Divsalar, H. Jin, R. J. McEliece, "Coding theorems for "Turbo-like" codes," *Proc. 1998 Annual Allerton Conference on Communication Control and Computers*, Monticello, IL, USA, pp 201-210, Sep. 1998
- [2] 丸林 元、中川正雄、河野隆二、“スペクトル拡散通信とその応用”、電子情報通信学会
- [3] 笹岡秀一、“移動通信”、オーム社