

CDMA 受信機出力レベルと誤り検出符号による誤り訂正
～ (6,3), (6,4) 符号の場合 ～市川 晋吉 常田 明夫
(熊本大学大学院自然科学教育部)

1 はじめに

CDMA は複数のユーザが同じ周波数帯域で同時に通信する方式で、各ユーザをそれぞれに割り当てた拡散符号によって識別する。CDMA は可視光通信における多重方式としても研究が進められている [1]。電波による CDMA 通信では拡散符号として 1 と -1 からなるバイポーラ符号を用いる。一方、光による CDMA 通信では 1 と 0 からなるユニポーラ符号を用いる。光 CDMA 通信方式として SIK (Sequence Inversion Keyed) 方式が提案されている [2]。CDMA 通信では相関受信機の出力値の正負のみを扱うが、相関受信機出力レベルが高いビットは低いビットに比べて信頼性が高いことが確認されている。著者らの研究室では (4,2) 誤り検出符号と相関受信機出力レベルを用いた誤り訂正方式を提案した [3]。本稿では (6,3) 符号および (6,4) 符号を用いた場合について検討する。

2 SIK DS-CDMA 通信

周期 N のユニポーラ拡散符号を $\{b_j\}_{j=0}^{N-1}$ ($b_j \in \{0, 1\}$) と表し、含まれる 1 の数が $\frac{N}{2}$ であるとする。 k 番目のユーザの拡散符号を $c^{(k)}(t)$ とすると、情報系列が 1 の時は $c^{(k)}(t - iT_d)$ を送信し、情報系列が 0 の時は $1 - c^{(k)}(t - iT_d)$ を送信する。 T_d はデータ間隔である。受信機では相関受信機の出力の正負によって情報系列を復調する。その際、 k 番目のユーザの拡散符号とその他のユーザの信号との間の相互相関から MAI (Multiple Access Interference) が生じる。もし送信を行うユーザが 1 人であればチャンネルノイズを 0 とすると、 $\frac{T_d}{2}$ もしくは $-\frac{T_d}{2}$ が相関受信機出力値となり、ビット誤りは発生しない。ユーザが複数人いる場合は MAI によってビット誤りが発生する。

3 (6,3) 符号と (6,4) 符号

本研究で用いる (6,3) 符号の検査行列 H_1 および (6,4) 符号の検査行列 H_2 を以下のように定義する。

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(6,3) 符号は 1 ビット誤り訂正能力をもち、(6,4) 符号は 1 ビット誤り検出能力をもち。

4 相関受信機出力レベルを組み合わせた誤り訂正

< (6,3) 符号を用いた提案手法 >

【Step-1】 1つの受信語 (6 ビット) のうち、相関受信機出力レベルの高い上位 3 ビットから下位の 3 ビットを決める。

【Step-2】 一意に決まらないとき、(6,3) 符号によって誤り訂正が可能な場合は訂正を行い、検出のみ可能な場合は相関受信機出力レベルの絶対値の和が最小の組のビットを訂正する。

< (6,4) 符号を用いた提案手法 >

【Step-1】 1つの受信語 (6 ビット) のうち、相関受信機出

力レベルの高い上位 4 ビットから下位の 2 ビットを決める。

【Step-2】 一意に決まらないとき、(6,4) 符号によって誤り検出を行い、その中で相関受信機出力レベルの絶対値が最小のビットを訂正する。

(6,3) 符号、(6,4) 符号を用いて以下の条件で SIK 方式非同期光 CDMA 通信のシミュレーションを行う。

- 誤り制御符号: (6,3) 符号、(6,4) 符号
- 拡散符号: NFSR 系列に基づいた負相関系列
- 拡散符号長: $N = 64$
- 送信情報ビット数: 1,000 bits/user
- ユーザ数 K : 20, 30, 40
- チャンネルノイズ: $w(t) = 0$

以上を 1 セットとし、各ユーザの情報信号、遅れ時間を変えて 1,000 セット行ない、平均ビット誤り率 (BER) を評価した。符号の性能を評価する指標として BER 低減率を用いる。(6,3) 符号、(6,4) 符号は符号化する際 00, 11 のように同じビットが連続しにくくなるようなインターリーブと呼ばれる処理を行う。次に、(6,3) 符号、(6,4) 符号を用いた際の訂正前後の BER をそれぞれ表 1、表 2 に示す。(6,3) 符号、(6,4) 符号と相関受信機出力レベルを用いることで誤り訂正を行うことができるということがわかる。

表 1: (6,3) 符号を用いた際の訂正前/訂正後の BER

ユーザ数	訂正前 BER	訂正後 BER
20	0.009851	0.000538
30	0.027934	0.002875
40	0.049582	0.009253

表 2: (6,4) 符号を用いた際の訂正前/訂正後の BER

ユーザ数	訂正前 BER	訂正後 BER
20	0.009898	0.001212
30	0.028008	0.006936
40	0.049421	0.017978

参考文献

- [1] K. Ono, T. K. Matsushima, S. Yamasaki, and H. Tanaka, "Multirate Optical CDMA Systems Combining Generalized Modified Prime Sequence Code and Bi-Orthogonal Code," *IEEE Access*, vol.12, pp.56789–56798, 2024.
- [2] M. J. Parham, C. Smythe, and B. L. Weiss, "Code Division Multiple-Access Techniques for Use in Optical-Fibre Local-Area Networks," *Electron. & Commun. Eng. J.*, pp.203–212, 1992.
- [3] 市川, 吉川, 常田, "CDMA 通信における相関受信機出力レベルと (4,2) 符号を利用した誤り訂正," 2024 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会講演論文集, 10-1P-04, 2024 年 9 月.