

# オンオフ信号形式型アダマール符号を用いた デジタル制御型 CSK/SIK 方式のシンボル誤り率性能

7312082 佐藤 文則

## 1 背景と目的

照明可視光通信のための変調方式として 3 色 RGB-LED を用いた CSK(Color Shift Keying) 方式が検討されている [1][2]. さらに, CSK の大容量化として複数ユーザへの同時接続を可能とする CDM(Code Division Multiplexing) 方式を組み合わせた CSK/CDM 方式が提案されている [3]. しかしながら, この CSK/CDM 方式では, CSK 情報表現時の発光強度比変化に加え, CDM に用いるポーラ型アダマール符号の負極性信号に対する DC オフセット挿入によって LED 発光強度が非線形出力となり, 通信性能が大きく劣化する.

本稿では, LED の非線形性の影響を回避するために, 複数の RGB-LED によるデジタル制御型 CSK(DCSK) 方式 [4] に着目して, オンオフ信号形式型アダマール符号を用いた CDM 方式と組み合わせた DCSK/CDM 方式を提案する. さらにユーザへの符号の割り当て方に着目し, 符号系列の切り替えにより情報を付加できる SIK(Sequence Inversion Keying) 方式と, 符号系列を切り替えない SS(Spread Spectrum) 方式を検討し, これらの SER(Symbol Error Rate) 性能を理論解析により評価する.

## 2 DCSK/CDM 方式

- DCSK(Digital Color Shift Keying) 方式 [4]  
DCSK 方式では, 赤 (R), 緑 (G), 青 (B) の LED の発光強度比 ( $P_R, P_G, P_B$ ) を変化させることで情報を表現し, 各発光強度の総和 ( $P_R + P_G + P_B$ ) はちらつき軽減のために常に一定となる. この発光強度比を複数  $N$  個の RGB-LED を協調してオンオフ制御することでアナログ制御を必要とせず, デジタル制御のみで CSK 信号を生成することができる.
- オンオフ信号形式型アダマール符号  
従来方式では CDM に用いる擬似雑音符号としてポーラ型アダマール符号  $OM$  を使用している. 符号長を  $L$  としたとき,  $L \times L$  の正方行列であり, 1 または -1 で構成される. 全 1 符号を除いた  $L - 1$  個の符号を最大数としてユーザに割り当てることで多重化を行っている. 提案方式に用いるオンオフ信号形式型アダマール符号は, ポーラ型アダマール符号  $OM$  の -1 を 0 に置換した符号系列  $M$ ,  $M$  の 0,1 を反転した符号系列  $\bar{M}$  から構成される. このとき,  $M, \bar{M}$  と  $OM$  は擬似直交関係,  $M$

と  $\bar{M}$  は直交関係となる. 従来方式のポーラ型アダマール符号と同様に,  $L - 1$  個の符号を最大数としてユーザに割り当てる. 例えば,  $L=8$  のとき,

$$OM = \begin{bmatrix} OM_1 \\ OM_2 \\ OM_3 \\ OM_4 \\ OM_5 \\ OM_6 \\ OM_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ M_5 \\ M_6 \\ M_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\bar{M} = \begin{bmatrix} \bar{M}_1 \\ \bar{M}_2 \\ \bar{M}_3 \\ \bar{M}_4 \\ \bar{M}_5 \\ \bar{M}_6 \\ \bar{M}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$M \cdot OM^T = \frac{L}{2} E \quad (4)$$

$$\bar{M} \cdot OM^T = -\frac{L}{2} E \quad (5)$$

となる. このとき,  $E$  は単位行列である.

## 3 システム構成

### 3.1 DCSK/SS 方式

図 1 に DCSK/SS のシステム図を示す. SS 方式ではオンオフ信号形式型アダマール符号の符号系列  $M$  のみを使用し, ユーザごとに符号  $M_i (i = 1, 2, \dots, L - 1)$  を割り当てる. 送信側では, DCSK 変調された信号に対して符号  $M_i$  が乗算される. このとき, TLED 数を  $N=4$  個, 符号長  $L=8$  とすると送信信号例は図 2 のようになる. 受信側では, 各色カラーフィルタ付き PD を用いることで色ごとに分けられて信号を受信, TIA(Trans Impedance Amplifier) で電流を電圧に変換し相関を取る. 相関器では参照系列としてポーラ型アダマール符号  $OM$  を使用する. このため, 同ユーザの相関値は  $L/2$  として得られ (式 (4)), 他ユーザとの相関値は 0 となることで干渉が軽減可能となる.

### 3.2 DCSK/SIK 方式

図 3 に DCSK/SIK のシステム図を示す. SIK 方式ではオンオフ信号形式型アダマール符号の符号系列  $M, \bar{M}$  の両方を使用し, ユーザごとに符号  $M_i$  と  $\bar{M}_i (i = 1, 2, \dots, L - 1)$

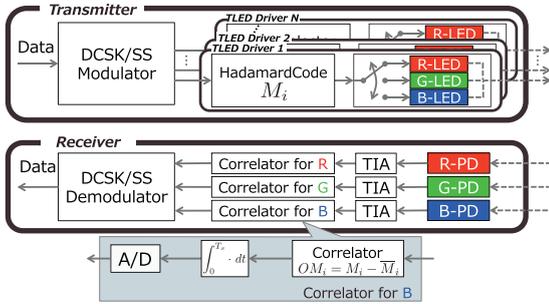


図1 提案 DCSK/SS 方式のシステムモデル

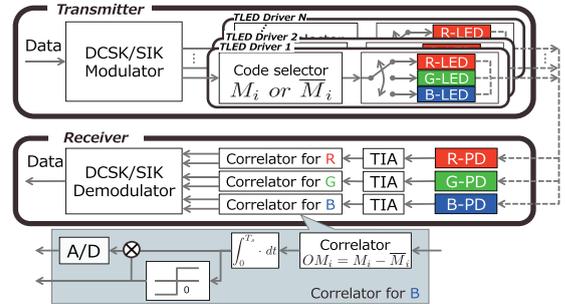


図3 提案 DCSK/SIK 方式のシステムモデル

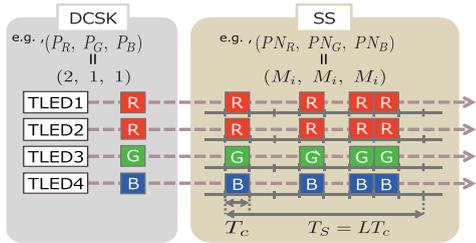


図2 送信信号例 (TLED 数  $N=4$  個, 符号長  $L=8$ )

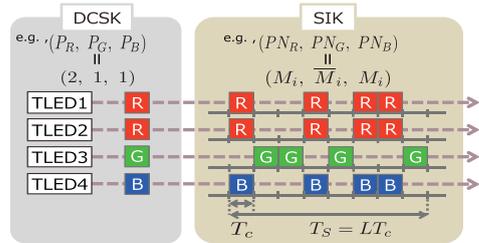


図4 送信信号例 (TLED 数  $N=4$  個, 符号長  $L=8$ )

を割り当てる。送信側では、DCSK 変調された信号に対して色ごとに  $M_i$  または  $\bar{M}_i$  が乗算される。この符号系列の切り替えにより情報を 1bit 付加できる。提案方式では、DCSK における信号点選択において常に 3 色を使用する点のみを用いることにより、合計 3bit 付加するものとする。このとき、TLED 数を  $N=4$ 、符号長  $L=8$ 、 $(PN_R, PN_G, PN_B) = (M_i, \bar{M}_i, M_i)$  とすると送信信号例は図 4 のようになる。受信側での参照系列には SS 方式と同様にポーラ型アダマール符号を使用することで、他ユーザからの干渉を軽減し、かつ相関値の極性を判定することで SIK の復調が可能となる。

#### 4 シンボル誤り率の性能評価

図 5 に相関器出力を加法的白色ガウス雑音と仮定した際の従来 32 値 DCSK 方式、提案 32 値 DCSK/SS 方式、提案 4 値 DCSK/SIK 方式のシンボル誤り率性能を示す。ただし、TLED 数を  $N=7$  個とする。これらの 3 方式の周波数利用効率は 5bit/sec/Hz となる。この結果、提案方式は従来 32 値 DCSK 方式に比べると SER が約 3dB 劣化するが、これはアダマール符号の符号の重みによるものだと考えられる。また、提案 32 値 DCSK/SS 方式に比べると信号点間距離が広くなることから提案 4 値 DCSK/SIK 方式の SER が約 1dB 改善したと考えられる。

#### 5 むすび

本稿では、オンオフ信号形式型アダマール符号を用いた DCSK/CDM 方式を提案した。さらに、符号系列の切り替えを用いる SIK 方式と切り替えを用いない SS 方式を比較し、SER 性能を評価した。結果として、DCSK 方式にオンオフ信号形式型アダマール符号を組み合わせることで、デジタル制御による情報表現が可能となり、非線形性の影響が回避

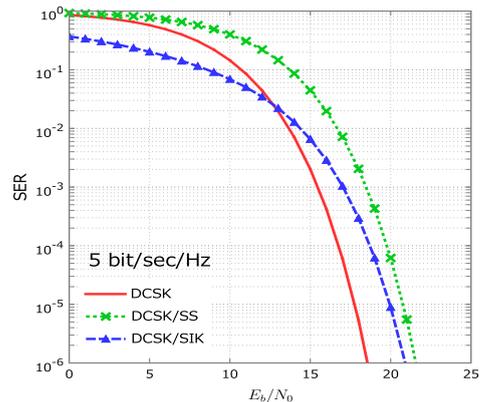


図5  $E_b/N_0$  に対する SER の比較

可能となる。今後は LED の応答性を考慮した SER 性能について評価を行う。

#### 参考文献

- [1] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light, IEEE Standard 802.15.7-2011, pp. 1-309, Jun 2011.
- [2] B. Bai, Q. He, Z. Xu, and Y. Fan, “The color shift key modulation with non-uniform signaling for visible light communication,” in Proc. IEEE 1st Int. Conf. Commun. China Workshops, pp. 3742, 2012.
- [3] S.H.Chen, C.W.Chow, “Color-Shift Keying and Code-Division Multiple-Access Transmission for RGB-LED Visible Light Communications Using Mobile Phone Camera,” IEEE Photonics Journal, Vol.6, No.6, Dec 2014.
- [4] 村田直也, 小澤佑介, 榎田洋太郎, “デジタル制御型カラーシフトキーイング方式のための信号点配置法の検討,” 信学技報, Vol.115, No.247, WBS2015-33, pp. 37-42, Oct 2015.