

# 4色LEDを用いた一般化空間変調方式

7311028 奥村 淳平

## 1 背景と目的

近年, LED 照明インフラをそのまま情報送信機器として用いる屋内可視光通信が着目されている. この屋内可視光通信における変調方式では, (1) LED 発光の非線形性のためにオンオフ制御であること (2) LED の低い周波数応答性のために高い周波数利用効率であることを満たす必要がある, これらを満たす方式として, GSSK(Generalised Space Shift Keying) が提案されている. この GSSK 方式では, 複数の LED 光源及び光検出器を空間的に離れて配置し,  $K$  個の各 LED をオンオフ制御することで複数の LED 光源からなる強度分布の最尤判定により情報の復調を行う. しかしながら, より高い周波数利用効率を達成するためには LED 数を増大する必要がある. 一方で, LED を増大する送信信号の空間的な区別が困難となり大幅に誤り率性能が劣化する. そこで, 本稿では, この GSSK 方式の誤り率性能向上法として, 送信用 LED に 4 色のフルカラー LED を用いた GSSK 方式を提案する. 提案方式では, GSSK 方式の空間領域での情報変調を加え, 周波数 (色) 領域での情報変調を加えることで同一空間であっても送信信号の区別を可能とする. さらに, 本稿では屋内空間における送信機-受信機の設置位置を考慮し, 提案方式のシンボル誤り率性能をシミュレーションにより評価する.

## 2 一般化空間変調方式

従来の変調方式である GSSK は一般的に複数の白色 LED が用いられ, 各 LED のオンオフを利用する変調方式である.

- GSSK(Generalised Space Shift Keying)  
送信情報に応じて各送信機の LED をオンオフ制御し送信信号を生成する. 各送信機は互いに離して配置しているため, 各送受信機間のパスのチャンネルゲインに差が生じ, その差を利用し最尤判定法によって送信信号を識別する. 使用する送信機を増やすことによって周波数利用効率を高くすることが可能という特徴があるが, 屋内という有限な広さの中で送信機の数が増えるとともにパス数が増え, 同等のチャンネルゲインをもったパスが出てくるため誤り性能が劣化するという問題がある.

## 3 システム構成

提案方式では, 青 (B), シアン (C), 黄 (Y), 赤 (R) の LED が 1 つのパッケージとなった 4 色 LED (QLED) を  $N$  個用いる. 図 2 に QLED を  $N$  個, 受信機を  $M$  個用いた場

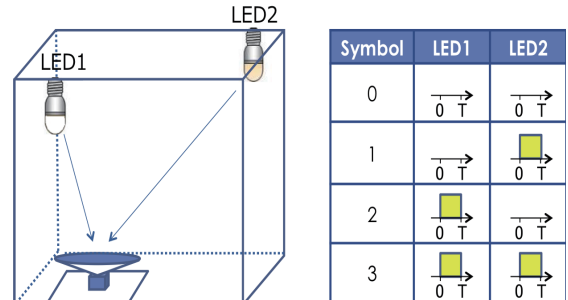


図 1 GSSK の送信信号例 ( $N=2$ )

合の提案方式のシステムモデルを示す. 送信側では, 情報  $4N[\text{bit}]$  に応じて各 LED をオンオフ制御し, 情報を送信する. 受信機には各色のカラーフィルタ付き PD を用いる. これにより, 各色の受信パワーが得られる. GSSK と同様, 各送信機からのチャンネルゲインが異なるため, 強度分布の最尤判定法によって送信信号を推定し復調が可能である.

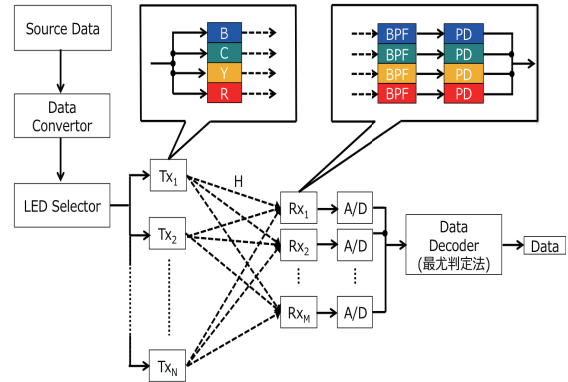


図 2 提案方式のシステム構成

## 4 評価

実際の屋内照明を想定し, シミュレーションによる誤り率を導出し, 有効性を評価した. ここでは, 使用する LED の個数を揃えた状態 (提案法  $N=2$ , GSSK  $K=8$ ) で誤り性能を検討する.

部屋の大きさを  $400\text{cm} \times 400\text{cm} \times 300\text{cm}$ , 受光感度  $1\text{A/W}$ , データ数  $10^6\text{bit}$ , 半値角と視野角はそれぞれ  $60^\circ$ , LED の総数 8 個, 周波数利用効率  $8\text{bit/sec/Hz}$ , 受信機の総数 4 個とし, 表 1 の座標に送受信機を配置する. 送信機の配置は図 3 のようにし, 提案方式については  $\text{Tx}4$  と  $\text{Tx}8$  の座標に送信機を配置した. また, 受信機は図 4 に示す通り  $\text{Rx}1$  に対して他の受信機の位置を定め, 受信機  $\text{Rx}1$

を3パターンの配置点に置き評価を行った。図5に各受信機位置に応じた提案方式とGSSKの平均送信電力雑音比( $\gamma_{ave} = P_{ave}/N_o$ )に対するシンボル誤り特性を示す。

提案方式はGSSKに比べ、Rx1(a)のときに約40dBの改善した。全体的に、どの配置で評価を行った場合でも提案方式によってGSSKの誤り性能が改善されていることが分かる。今回、提案方式に関してはTx4とTx8の座標に送信機を配置したが、他の2点に配置したとしてもRx1(c)のシンボル誤り率とほぼ同じかそれ以上に誤り性能が良くなるという結果が得られた。

表1 送受信機の配置

送信機	座標 (x,y,z)	受信機	座標 (x,y,z)
Tx1	(100, 100, 300)	Rx1 (a)	(100,200,0)
Tx2	(200, 100, 300)	Rx1 (b)	(150,200,0)
Tx3	(300, 100, 300)	Rx1 (c)	(200,200,0)
Tx4	(300, 200, 300)		
Tx5	(300, 300, 300)		
Tx6	(200, 300, 300)		
Tx7	(100, 300, 300)		
Tx8	(100, 200, 300)		

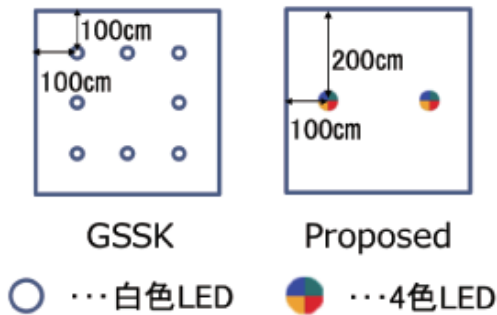


図3 送信機の配置

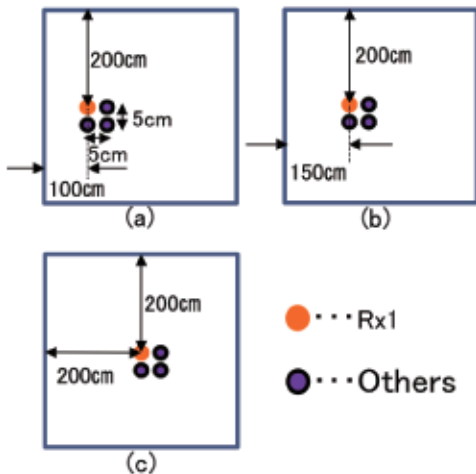


図4 受信機の配置

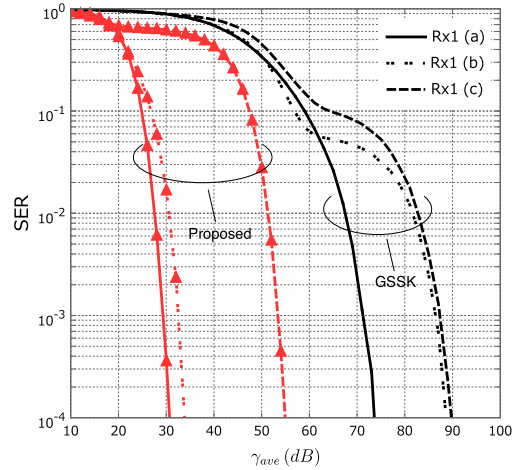


図5 提案方式とGSSKの平均送信電力に対するシンボル誤り率特性

## 5 むすび

本研究では、複数のフルカラーLEDを用いるGSSK方式を提案し、誤り性能を評価することにより有効性を確認した。従来方式と提案方式で使用するLEDの総数を等しくしたとき、提案方式では使用するパス数及び同等のチャネルゲインのパス数を減らすことが可能となるからであると考えられる。今回は各色の受光感度が理想的な状態でシミュレーションを行ったが、今後は各色の受光感度特性を考慮した解析、また、送受信機位置の最適化の検討を行う。

## 参考文献

- [1] W.O.Popoola,E.Poves,H.Haas, "Error Performance of Generalised Space Shift Keying for Indoor Visible Light Communications", IEEE Transactions on communications, vol.61, No.5, May 2013.
- [2] R.Singh,T.O'Farrell,J.P.R.David, "An Enhanced Color Shift Keying Modulation Scheme for High-Speed Wireless Visible Light Communications", Journal of lightwave technology, vol.32, No.14, July 15, 2014.
- [3] R.Singh,T.O'Farrell,J.P.R.David, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.7 CSK Physical Layer", Globecom Workshop - Optical Wireless Communications, 2013.
- [4] 坂本俊太, 宮本伸一, 三瓶政一, "室内光無線伝送システムにおける空間並列伝送/強度分布変調方式の提案", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-B, No.11, 2008/11.
- [5] Z.Ghassemlooy,W.Popoola,S.Raibhandari, Optical Wireless Communications, CRC Press, the United States of America, 2012.