

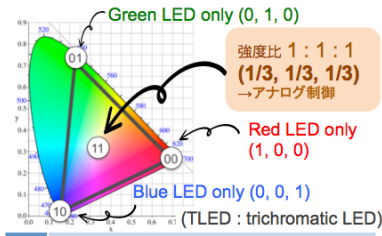
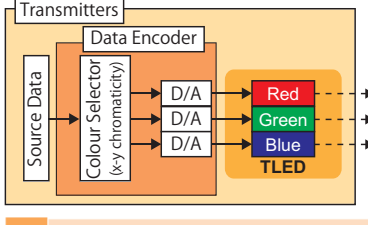
デジタル制御型カラーシフトキーイング方式のための信号点配置法の検討

村田直也 小澤佑介 榎田洋太郎 (東京理科大学)

可視光通信

LEDを送信機に用いた可視光で行なう無線通信

Color Shift Keying (CSK)

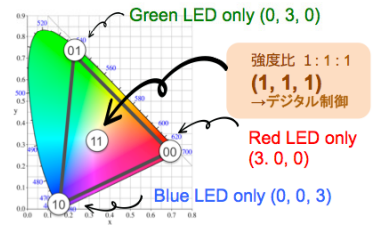
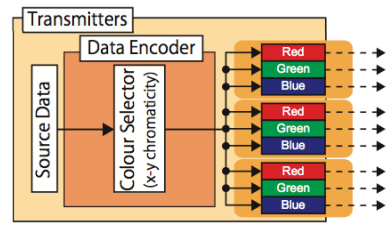


- Merits**
- 高速な無線通信が可能
 - 各色で独立した通信路
 - 蛍光体による帯域制限がない
 - 高い周波数利用効率
 - 照明としての機能
 - 発光強度一定 → ちらつきの低減
 - 調色機能の可能性

- Demerits**
- アナログ制御が必要
 - 電流-発光強度の非線形性
 - 低電流時の発光スペクトルの変化 (カラーシフト)
 - 通信性能の劣化
- 解決法 **デジタル制御型CSK** (H. Shimamoto 2014.)

デジタル制御型カラーシフトキーイング (DCSK)

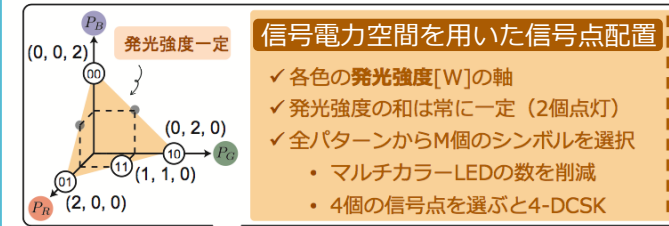
発光強度の変化を複数のLEDの発光強度の和で表現



- 欠点**
- 離散的な発光強度比しか表現できない
 - 3つのTLEDを用いた4-DCSKしか評価されていない
 - 多値化に伴い、必要なマルチカラーLEDが増加
 - xy座標では4色を用いて表現する信号点を扱えない

- 目的**
- DCSKの一般化
 - 8, 16, 32, 64値などの多値化に対応
 - 4色LED(QLED: Quad LED)など3色以外のマルチカラーLEDを用いた場合のDCSK
- ↓
- 信号電力空間を用いた信号点配置の提案

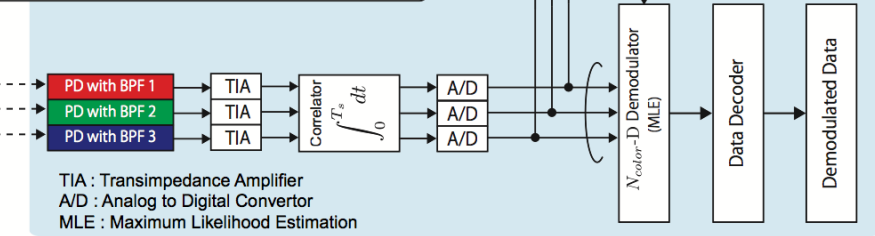
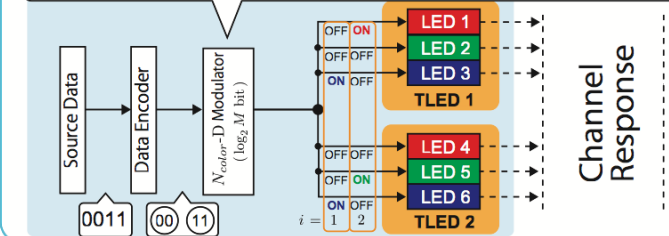
システム構成



- 信号電力空間を用いた信号点配置
- 各色の発光強度[W]の軸
 - 発光強度の和は常に一定 (2個点灯)
 - 全パターンからM個のシンボルを選択
 - マルチカラーLEDの数を削減
 - 4個の信号点を選ぶと4-DCSK

$$M = \binom{N_{Tx} + N_{color} - 1}{N_{Tx}}$$

N_{Tx} : マルチカラーLEDの数
 N_{color} : 色の数



従来のCSKとのSER性能の比較

- Conv. CSK**
- TLED → 三角形上に等距離に配置 (IEEE 802.15.7)
 - QLED → 3色以下のLEDを用いた信号点を四角形内に配置 (Singh et al. (2014))
- ※QLED (Quad LED): 4色のマルチカラーLED

パラメータ	値
Num. of PDs	3, 4
Bandwidth of LED	20 [MHz]
half angle of LED	60 [°]
Num. of color	3, 4
Receiving area	1 [cm ²]
Field of view	60 [°]
Receiving response	$\delta(t)$ (デルタ関数)
Bit rate	20 [Mbps]

DCSK

- TLED, QLED
- 最小のマルチカラーLEDを用いた時の信号点

受光感度

$$G = \begin{pmatrix} R & Y & G & B \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ Y \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

※挿入損失 干渉なし

LEDのインデンシャル応答

$$P_t(t) = 2\pi f_c \exp(-2\pi f_c t)$$

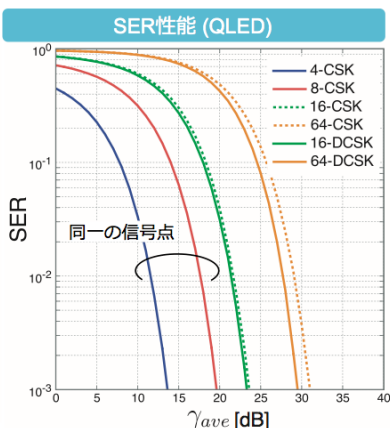
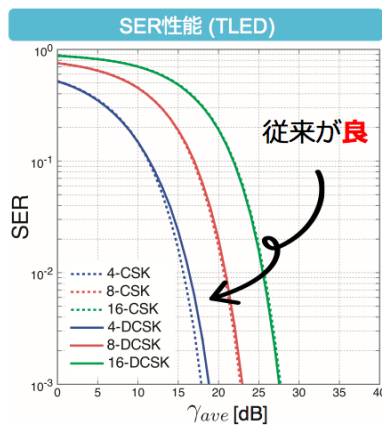
電力対雑音電力比 γ_{ave}

$$\gamma_{ave} = \frac{P_{ave}}{N_0} \quad P_{ave}: \text{average power}, N_0: \text{noise power per a PD}$$

必要なマルチカラーLEDの数

	TLED		QLED	
	Conv.	Signal space	Conv.	Signal space
4	3	2	1	1
8	6	3	2	2
16	6	4	3	3
64			7	4

※Conv.はデジタル制御のみで信号を表現する際に必要なマルチカラーLED



- 結果**
- TLEDでは従来方式が性能良
 - xy色度図上で最適 = 信号空間で最適
 - DCSKでは最小限のマルチカラーLEDしか用いていないため信号点間距離が最適でない
 - QLEDでは64-DCSKの時、1dB改善
 - xy色度図上で最適 ≠ 信号空間で最適
 - 提案方式は4色のLEDを用いた信号点が扱える → 信号点間距離の増大

- まとめ**
- 信号電力空間を用いた信号点配置法の提案
 - DCSKの一般化
 - Conv. CSKとSER性能の比較
 - TLEDを用いた場合
 - 多値数増加で、同等のSER性能
 - QLEDを用いた場合
 - 64値で、優れたSER性能
 - 今後の予定
 - DCSKでの調色機能の実現
 - LEDあたりの情報量の増加