

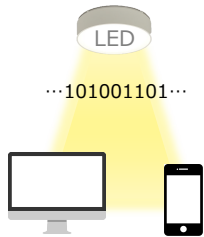
# PWM/DPAMハイブリッド型調光制御法を用いたデジタル制御型カラーシフトキーイングの実験的評価

松田 勇介<sup>+</sup>、小澤 佑介<sup>‡</sup>、楳田洋太郎<sup>+</sup>

<sup>+</sup>東京理科大学大学院 理工学研究科 電気工学専攻 <sup>‡</sup>茨城大学 工学部 情報工学科

## 照明可視光通信とは

可視光線(380nm-780nm)に情報を載せる無線通信

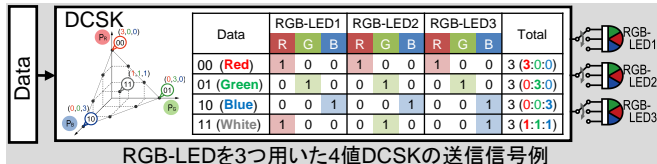


- 利点**
- ・照明インフラを通信に利用  
→ コピキタス・省エネルギー
  - ・通信範囲が可視化/遮断が容易  
→ 高セキュリティ

- 課題**
- 通信**
- ① LEDの非線形性の影響
  - ② 蛍光体による応答速度の低下
- 照明**
- ③ 点滅によるちらつき
  - ④ 色味の制御 (調色)
  - ⑤ 明るさの制御 (調光)

## DCSK方式[島本ら, RWS 2015]

複数のRGB-LEDを協調発光し色によって情報を表現する変調方式



- 利点**
- ① オンオフのみ利用するため線形駆動が可能
  - ② 単色LEDの高い遮断周波数による高速通信
  - ③ 発光強度一定によりちらつきの低減
  - ④ 信号点配置を変更し色味を制御 [伊形ら, ICSPCS 2016]
- ⑤ 調光制御法としてPWM/DPAMハイブリッド型調光制御法が提案

## デジタル制御型カラーシフトキーイング (DCSK方式)

## PWM/DPAMハイブリッド型調光制御法[奥村ら, WBS 2016]

デジタルパルス振幅変調(PAM)型調光制御  
RGB-LEDの協調発光数により調光

- 利点** オンオフのみで調光可能  
**欠点** 調光段数がLED数に依存

パルス幅変調(PWM)型調光制御  
光信号パルスのデューティ比により調光

- 利点** 実機の構成に依存しない  
**欠点** 周波数利用効率の低下

PWM/DPAMハイブリッド型調光制御

- 2つの調光制御法を組み合わせることで
- ・ DPAM方式以上の調光段数の実現
  - ・ PWM方式以上の周波数利用効率の実現
  - ・ 通信速度と調光率に応じた最適な調光制御法に対応可能

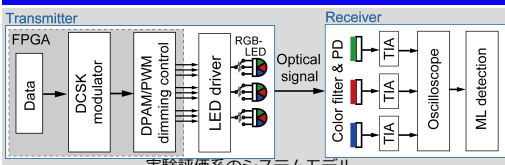
従来研究(シミュレーション解析)の課題

- ・ RGB-LEDアレイを点光源と仮定
- ・ 調光率の誤差について未検討
- ・ 距離に応じた通信性能について未解析

本研究の目的

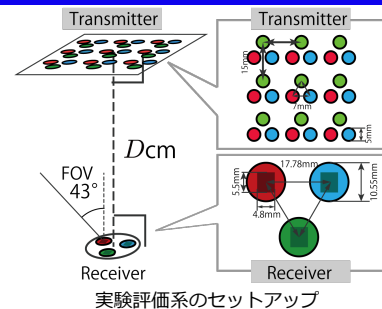
- 調光率の誤差(調光精度)と通信距離と通信性能の関係を実験的に評価

## 実験概要



RGB-LEDを9個用いた際の調光時における4値DCSKの送信パターン

| 調光率<br>( $\frac{E_{PWM}}{E_{DPAM}}$ ) | PWM/DPAMハイブリッド型調光制御法 |    |    |    | PWM型調光制御法 |
|---------------------------------------|----------------------|----|----|----|-----------|
|                                       | 00                   | 01 | 10 | 11 |           |
| 100%<br>( $\frac{100\%}{100\%}$ )     |                      |    |    |    |           |
| 67%<br>( $\frac{100\%}{67\%}$ )       |                      |    |    |    |           |
| 44%<br>( $\frac{67\%}{67\%}$ )        |                      |    |    |    |           |
| 33%<br>( $\frac{33\%}{67\%}$ )        |                      |    |    |    |           |
| 22%<br>( $\frac{33\%}{100\%}$ )       |                      |    |    |    |           |
| 11%<br>( $\frac{33\%}{33\%}$ )        |                      |    |    |    |           |



実験評価系のセットアップ

## 実験諸元

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 各LEDの放射照度(D=20cm) | 約25mW/m <sup>2</sup> |
| 送信周波数             | 1MHz (2Mbps)         |
| 送受信機間距離           | 20 - 55cm            |
| 復調に用いたシンボル数       | 10,000 symbols       |

## 評価方法

**照明性能** 所望調光率と実測した調光率との誤差(調光精度)により評価

**通信性能** 送受信機間距離Dを変えた時の実効スループット性能により評価

## 性能評価

### 調光精度

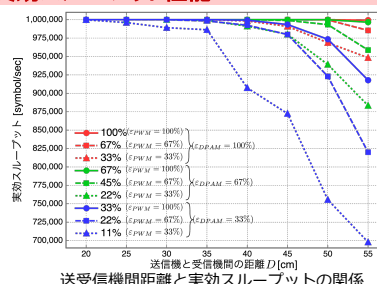
| 所望調光率 | 各調光率における調光精度(%) |        | 実測した調光率 | 誤差(実測-所望) |
|-------|-----------------|--------|---------|-----------|
|       | PWM調光           | DPAM調光 |         |           |
| 100.0 | 100.0           | 100.0  | 100.0   | -         |
| 66.7  | 100.0           | 66.7   | 68.2    | 1.5       |
| 67.0  | 67.0            | 100.0  | 66.1    | -0.9      |
| 44.7  | 67.0            | 66.7   | 45.1    | 0.4       |
| 33.3  | 100.0           | 33.3   | 34.1    | 0.8       |
| 33.0  | 33.0            | 100.0  | 33.2    | 0.2       |
| 22.2  | 67.0            | 33.3   | 22.7    | 0.5       |
| 22.0  | 33.0            | 66.7   | 22.5    | 0.5       |
| 11.0  | 33.0            | 33.3   | 11.6    | 0.6       |

□:重複した調光率

重複する調光率ではPWM方式を優先した組み合わせの調光精度が優れる

➡ PWM方式はLEDの個体差による影響を受けない

### 実効スループット性能



実効スループット性能の優劣が実測した調光率と同じ順序

➡ 調光率が高いほど信号電力が大きいため

## まとめ

**目的** PWM/DPAMハイブリッド型調光制御を用いたDCSK方式の調光精度と通信性能を実験的に評価

### 結果

**調光精度** 調光率が重複する場合はPWM方式を優先した組み合わせの方がLEDの個体差による影響を受けないため調光精度に優れる

**実効スループット性能** 調光率が高いほど信号電力により実効スループット性能が高い