

デジタル制御型 CSK 方式における ターゲットカラー制御法の実験的評価

7312144 松田 勇介

1 まえがき

照明機能と通信機能を両立する可視光通信の光強度変調方式として、3色 RGB-LED を用いたデジタル制御型 CSK (DCSK) 方式 [1] が検討されている。この DCSK 方式は、3色の発光強度比を変化させることで信号点を表現する。さらに情報送信時に使用する M 個の信号点の選び方により、人間の目が知覚する色 (ターゲットカラー) を変更することが可能である。しかしながら、DCSK 方式におけるターゲットカラー制御法の実験的評価は行われていない。

本稿では、この DCSK 方式におけるターゲットカラー制御法 [2] に着目し、DCSK 方式の実験評価系を製作することで、信号点選択に応じたターゲットカラーの色温度と、その際のシンボル誤り率性能について実験的に評価を行う。

2 DCSK 方式におけるターゲットカラー制御法

2.1 DCSK 方式

DCSK 方式は従来の CSK 方式をオンオフのみで制御する方式である。3色 LED による 4 値 DCSK の信号点配置の例を図 1 に示す。DCSK 方式ではデジタル制御で信号点を表現できるため、送信機が簡易化する上、LED の非線形性の影響を排除することができる。また、複数色の LED を用いるため調色が可能である。欠点として信号点が離散的となること、送信機数が増加することにより面光源化してしまうことがあげられる。これらの欠点は、人間の目に知覚される色に影響を与える可能性があり、照明機能と両立させる場合に問題となる。

data	Tx1			Tx2			Tx3			total
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
00	1	0	0	1	0	0	1	0	0	3
01	0	1	0	0	1	0	0	1	0	3
10	0	0	1	0	0	1	0	0	1	3
11	1	0	0	0	1	0	0	0	1	3

図 1 DCSK の信号点

2.2 ターゲットカラー制御

CSK 方式では送信信号に応じて各色の発光強度比が変化するため、人間の目が知覚する色も送信信号に応じて変化する。ターゲットカラーとは、実際にある変調速度で信号を送信したときに人間の目に知覚される色を示しており、理論解析では M 個の送信信号の発光強度比を単純に総和、正規化した色で定義している。

色を表現する指標として、本研究では色温度を用いる。色温度とは黒体が発光するときの色を、そのときの黒体の温度で表現するもので、単位は K (kelvin) である。

3 実験概要

3.1 システム構成

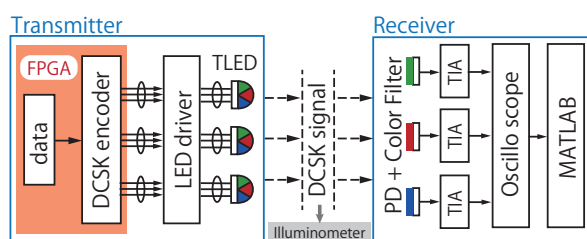


図 2 システムモデル

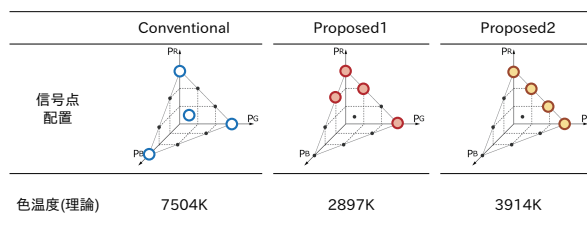


図 3 送信信号と信号点間距離

図 2 にシステムモデルを示す。DCSK 方式は、赤、青、緑の発光強度比 (P_R, P_G, P_B) を変化させることで情報を表現し、このとき各発光強度の総和 ($P_R + P_G + P_B$) はちらずに軽減のために常に一定となる。DCSK 方式ではこの発光強度比を複数 N 個の RGB-LED を強調してオンオフ制御することで表現するため、 $N = 3$ 個の RGB-LED を用いた場合、10 個の信号点を生成することができる。本稿では、この内、 $M = 4$ 個の信号点を、信号点間距離が最大となる (従来方式)、ターゲットカラーの色温度がそれぞれ 3000K、4200K (提案 1, 提案 2) に近づくように選択した際 (図 3) のターゲットカラーの色温度と誤り率性能について評価を行う。本評価系では、送信機に $N = 3$ 個の RGB-LED を用い、送信信号は FPGA により生成する。受信機では、各色のカラーフィルタ付き PD で受光し、TIA (Trans Impedance Amplifier) によって変換した電圧をオシロスコープによって測定し、MATLAB を用いて最尤判定により復調処理を行う。

3.2 評価方法

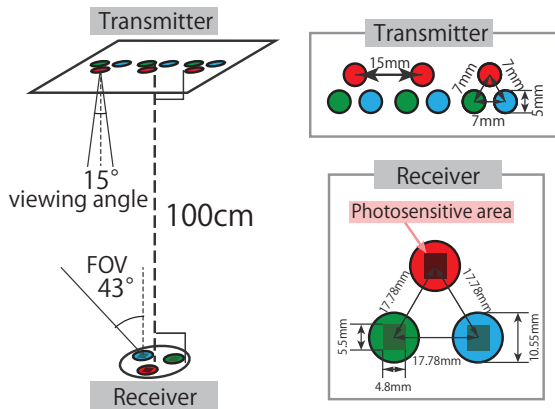


図4 セットアップ

本評価系(図4)では、4値DCSK方式で変調、送受信機間の垂直距離1mとし、送信周波数を500kHzから10MHzまで変化させた際のシンボル誤り率(SER)性能について評価を行った。表1に実験諸元を示す。

表1 実験諸元

FPGA	Xilinx ML605
LED (Red)	OptoSupply OS5RKA5111P
LED (Green)	OptoSupply OSG58A5111A
LED (Blue)	OptoSupply OSB56A5111A
PD	HAMAMATSU S6775
Color filter (Red)	MIDOPT BP635
Color filter (Green)	MIDOPT BP525
Color filter (Blue)	MIDOPT BP470
照度計	TOPCON IM-1000
LEDの全放射照度	約52[W/m ²]
送信周波数	500k - 10M [Hz]
シンボル数	10000
サンプル数	約100[Sa/symbol]

4 結果

従来方式、提案1、提案2の送信周波数1MHz時の色温度はそれぞれ5644K、2063K、3108Kとなり、シミュレーションと比べて大幅に低下してしまった。

図5に送信周波数に対する各色温度のSERを示す。実線が従来方式、点線が提案1、ダッシュ線が提案2のSER性能である。5MHz以上でターゲットカラー制御を行うと、従来方式と比較してSER性能が劣化することが分かる。これは図3より信号点間距離が近づくことが原因である。

また、図6は提案1の500kHz(左)と10MHz(右)での各色の波形(上から順に、赤・緑・青)を示している。提案1は提案2と比べSER性能が劣化しているが、他の色と比べて送信信号・受光感度がともに低い青色を信号点に使用しているため、劣化したと考えた。

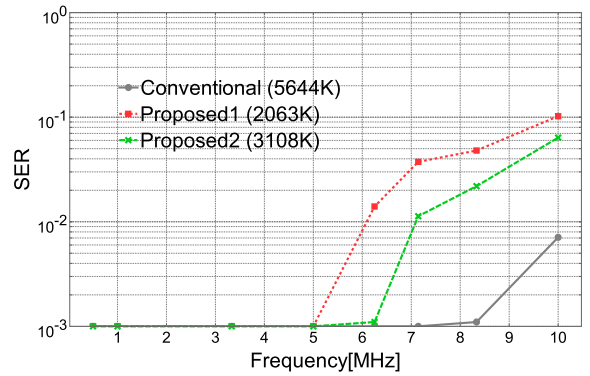


図5 送信周波数に対する各色温度のSER

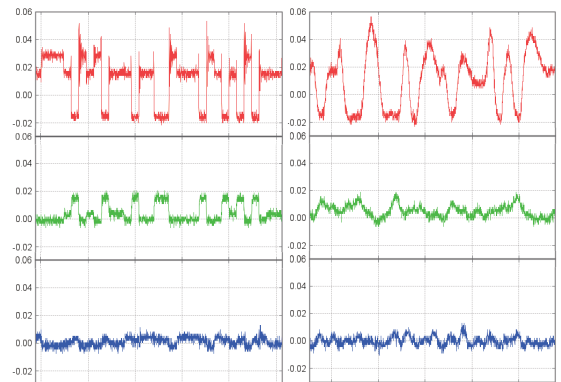


図6 提案1の500kHz(左)と10MHz(右)時の波形

5 むすび

DCSK方式によるターゲットカラー制御をFPGAを用いて実装し、照明性能とSERの評価を実験的に行った。その結果、信号点間距離が最大となる従来方式とターゲットカラー制御を行った場合の信号点配置での誤り率性能を比較すると、後者は信号点間距離が近くなることにより、理論と同様に誤り率性能が劣化することがわかった。また、ターゲットカラー制御法により色温度を変更できたが、理論での色温度と比べると約1000K低下してしまった。

今後は、色温度が低下した原因の追及とともに、高い色温度での通信性能や、演色性能などによる照明性能の評価を行う。

参考文献

- [1] H. Shimamoto, Y. Kozawa and Y. Umeda, "An Experimental Evaluation on EVM Performance for 4-CSK (Color Shift Keying) using visible light with multiple Full-color LEDs," IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), 2015, pp. 206-208, Jan. 25-28, 2015.
- [2] 伊形俊介, 村田直也, 小澤佑介, 榎田洋太郎, 羽淵裕真, "デジタル制御型カラーシフトキーイング方式におけるターゲットカラー制御法の一検討," 信学技報, Vol. 115, no. 247, WBS2015-29, pp. 13-18, 2015.