

3 原色型白色 LED を用いた可視光通信向け多値伝送システム

藤本暢宏、下園啓太、土崎一郎、東 裕輔

A multilevel transmission system for visible-light transmission using a three primary colors type white LED

Nobuhiro FUJIMOTO, Keita SHIMOZONO, Ichiro TSUCHIZAKI and Yusuke HIGASHI

synopsis

A simple multilevel transmission system using a white LED and a commercially available logic LSI and IC for visible-light transmission is proposed to enable the Ubiquitous network. A simple multilevel modulation technique using the ON/OFF combination of the three primary color LED chips is proposed. Fundamental experiments of the proposed system at a 2Mb/s have been performed to confirm an error-free operation. Experimental results show that the proposed system can play a key role in visible-light transmission.

keywords: white LED, multilevel, logic IC, visible-light transmission

1. はじめに

白色 LED (Light Emitting Diode: 発光ダイオード) を用いた照明光通信システム¹⁾は、将来のエビキタスネットワーク社会におけるインフラの一候補として期待されている。このシステムにおいて、白色 LED は、照明機器として使われるだけでなく、通信にも使われる。白色 LED²⁾は、小型で低駆動電圧であり、また、省電力、長寿命であるため、省エネルギーや環境への配慮から、現在の蛍光灯に代わる照明の主流として注目され、日々特性改善が進ん

でいる。現状では、交通信号灯火や自動車ランプ、携帯電話や電子機器の表示素子のバックライトなどに使用されているが、いずれは、家庭やオフィスの主照明にも使われるようになると予想されている。我々はすでに照明光通信システムとして、3原色型白色 LED を用いた色多重伝送方式³⁾を提案している。本研究報告では、白色での照明を行いつつ通信を行う新たな方式として、3原色型白色 LED を用いた多値光伝送方式を考案し、その基本原理を確認したので報告する。

2. 提案多値伝送方式

2-1. 4値変調

AかBの2通りの状態があるとすると、このどちらかの状態を2進数の0か1で表現すると、1桁の数字で表現できる。これは1bitと呼ばれる。次に、A,B,C,Dの4通りの状態を表すことを考えると、00、01、10、11というように2桁の2進数で表現できる。このうちのどれか一つの状態を表すには2bitの情報量が必要となる。多値変調は一つの信号を乗せる区間(シンボル)に上記したような複数のビット情報を乗せるものである。これに対して1シンボルで1ビットの情報を乗せる変調技術を2値変調と呼び、一般的には、これが最もよく使用される。2値変調は、1シンボル区間で信号に二つの状態を作ればよいが、多値変調(4値変調)では、図1に示すように、1シンボル区間で信号に4種類の状態を作り、2ビットの情報を表現することになる。この4値変調のメリットは、1シンボル区間に2ビット情報を乗せることができることから、実効ビットレートを1/2にできる点である。また、白色LEDは変調可能速度が低い点のため、本技術により、より高速でデータ伝送を実現できる。

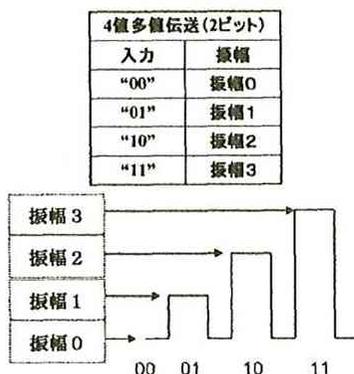


図1 多値(4値)の割り当て

従来の多値変調では、振幅の違いを実現するため、例えば、LEDなら、その素子に流す電流値を変化させることが行われてきた。しかし、この方法では、LEDに流せる電流に上限値があるため、トータルとしての光出力があまり

大きくとれない、また、電流振幅の制御が複雑という欠点があった。

我々の研究している照明光通信では、照明の光が基本的には白色であるため、3原色型LEDをその光源とする場合、必ず3色を点灯させなければならない。これを逆に捉え、図2に示すように振幅レベルの違いを各色LED点灯の有無の組み合わせで実現する多値伝送方式を考案した。LEDが3色あるため、それらを組み合わせる本方式では、4値伝送が非常に都合が良い。

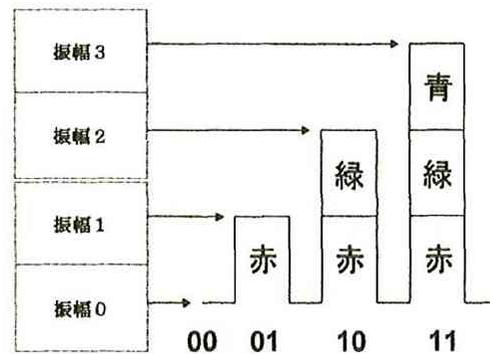


図2 多値(4値)へのLED各色の割り当て

原理的には各素子の最大電流まで駆動することが可能であるため、先ほど述べた電流制限が緩和され、トータルの光出力を大きくとれる点と、各素子の電流制御は不要となり、制御が簡単になる点とが、この方式のメリットである。

本提案の3原色型白色LED多値光伝送方式の構成図を図3に示す。入力信号を符号化(符号化LSI)し、駆動回路によってLEDを発光させる送信回路と、LED光を受光し、元の入力信号に復号化(復号化LSI)して出力する受信回路によって構成されている。

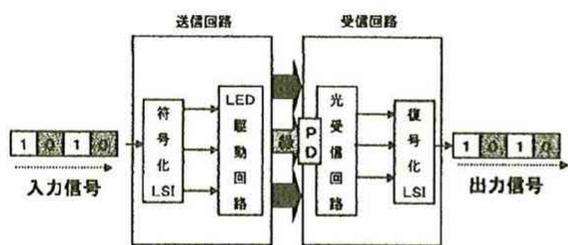


図3 提案多値伝送方式

2-2. 送信回路の設計

提案多値光伝送方式を実現するために以下のように LED 点灯ルールを定義した。このルールは、本案しかないのではなく、4 値を規定できる組み合わせなら、他のルールでもかまわない。

- ・ 「0」、「0」の場合：すべて消灯
- ・ 「0」、「1」の場合：赤色 LED のみ点灯
- ・ 「1」、「0」の場合：赤色 LED と緑色 LED を点灯 (黄色に見える。)
- ・ 「1」、「1」の場合：赤色 LED、緑色 LED と青色 LED を点灯 (白色に見える)

これをまとめたものを表1に示す。

表1 LED各色のOn/Off

入力信号		点灯:1、消灯:0		
X	Y	赤	緑	青
0	0	0	0	0
0	1	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	1	1	1

以上を実現させるために、「1」と「0」のランダムな組み合わせである入力パルスパターン信号列を2ビット

毎に選び、上記した符号化ルールを実現する符号化 LSI を設計した。試作した符号化 LSI は市販されているプログラマブル LSI (CoolRunner II XC2C256) を使用した。この符号化 LSI は、図4に示すように、入力信号を所定の各色 LED の点滅信号に変える働きをする。

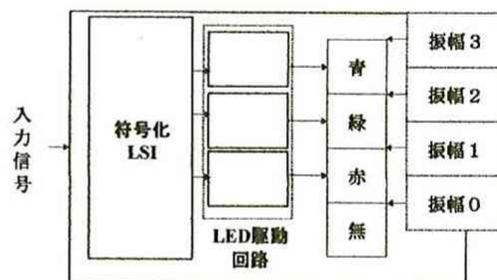


図4 送信回路の構成

LED 駆動回路は、昨年度試作した CDM 方式³⁾で採用した低コスト化が図れるロジック IC (NOT 回路: SN7406N) を用いた構成を採用し、また、白色 LED (SHARP 製 GM5WA0656Z) も同様のもの⁴⁾を使用した。

2-3. 受信回路の設計

3原色 LED 多値光受信方式に用いる受信回路側の構成を図5に示す。光受信部には光を受信し3つのデータに分離する光受信回路 (PD+オペアンプ+4 値識別回路)、光受信回路で識別したデータを元のデータに変換する復号化 LSI が必要である。

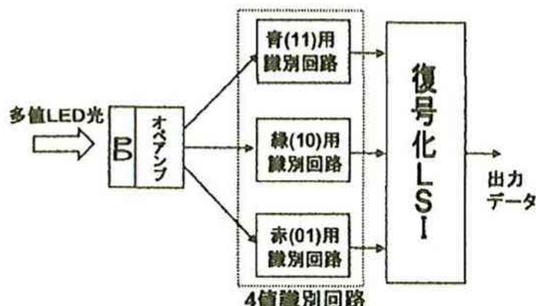


図5 受信回路の構成

図6に示すように、多値伝送では受信した波形から、各

振幅値を読み取ることが必要である。このため4値レベル識別回路が必要になる(図5および図6上段)。各識別回路の識別後の信号が各色LEDの点灯の有無を示すことになる(図6下段)。また、受光素子としてはSi-PD (HAMAMATSU S5973) 用い、市販オペアンプ(OPA355)と識別IC(LT10161)3個を組み合わせ、光受信回路を作成した。

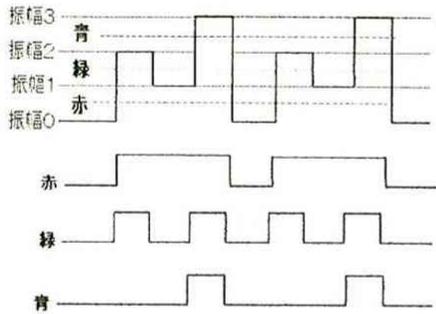


図6 4値識別の原理

次に、これらの信号は、表2に示す意味づけで復号化された後、最終的に2ビット毎に多重化され、出力される。

表2 復号化の原理

識別の有無			出力信号	
青用	緑用	赤用	A	B
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1

復号化LSIとしては、符号化LSIと同じくプログラマブルLSI(CoolRunner II XC2C256)を使用した。

3. 原理確認実験

図7に示す系で、原理確認実験を行った。

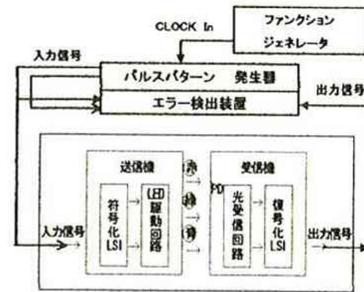


図7 多値伝送の原理確認実験系

ここで、ビットレートは2Mb/sとし、パルスパターン発生器から”11001001”の繰り返しパターンを入力した。どこで2bitに区切ってもLED点灯ルールすべての条件が現れるため、このパターンを入力パターンに選んでいる。

図8に符号化動作を確認した結果を示す。図で見て分かるように、入力信号が2ビット毎に正しく符号化され、それが各色LEDの点灯の有無に変換されていることが分かり、提案の多値変調の原理を確認することができた。

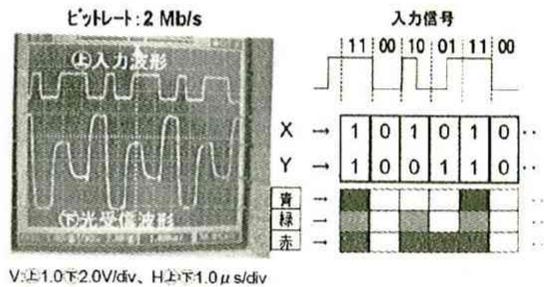


図8 多値伝送原理確認実験結果(符号化)

また、LEDとPDをほぼ正対(空間距離はほぼ0mm)させた形で、受信回路も組み合わせた場合の最終的な伝送特性測定結果を図9に示す。これを見てわかるように、入力信号が、伝播遅延のための時間ずれはあるものの、誤りなく元の信号に戻されていることが確認できた。この結果から、提案した多値伝送方式の原理確認ができたと考える。

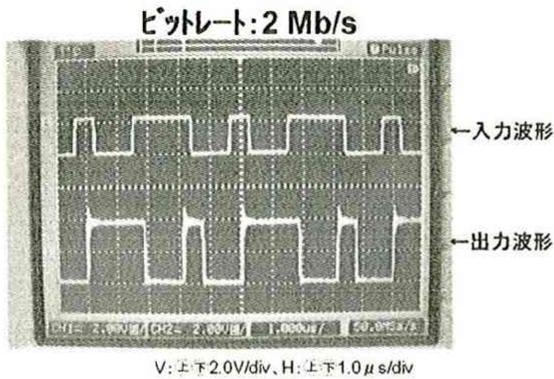


図9 多値伝送原理確認実験結果(符号/復号)

今後は、LEDとPDの距離を変化させ、さらに、より高ビットレートでの伝送特性がとれるよう回路を改善していく予定である。

参考文献

- 1) Y. Tanaka and M. Nakagawa, "Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights," IEICE Tran. Commun., vol.E86-B, no.8, pp. 2440-2454, 2003.
- 2) S. Nakamura, "Present performance of InGaN-based blue/green/yellow LEDs," Proc. SPIE Conf. on Light-emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications, vol. 3002, pp. 26-35, San Jose, CA, 1997.
- 3) N. Fujimoto, "A novel color division multiplexing system for visible-light transmission using a white LED comprised of R, G, B chips," Research Report of the school of Engineering, Kinki University No.41, 2007, pp.77-82.
- 4) Sharp, GM5WA06270A