

LED アレイによる双方向可視光通信の高速化

7310144 村田直也

1 背景

近年、長寿命、低消費電力、低発熱といった特徴を持つ LED（発光ダイオード）が普及し、LED による照明や電光板が増加している。こういった LED を利用することで新たにインフラの設置をすることなく、無線通信を行うことができる。この可視光を用いた無線通信を可視光通信といい、LED を人の目で感知できない速度で点滅させることで無線通信を行う。可視光通信には以下のメリットがある。

- 照明機能と通信機能を結合でき、エネルギーの節約が可能
- 電波法による規制を受けない
- 照明光を用いるため、電磁干渉がない

1.1 LED-to-LED 方式による可視光通信

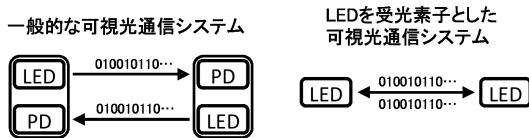


図1 LED-to-LED による可視光通信

図1に可視光通信の一般的なモデルとLED-to-LED方式のモデルを示す[2]。一般的な可視光通信では発光素子にLED、受光素子にPD（フォトダイオード）を用いて通信を行う。この場合、単一方向情報通信しかできない。LEDを受光素子として用いるLED-to-LED方式では双方向通信システムの実現が可能である。しかしLEDはPDに比べて検出電流 I_{det} が小さいことが知られており、また受光素子として理論的に解析されていない。本研究では、高速な双方向可視光通信を可能にするために、LEDアレイを用いたトランスインピーダンスアンプ回路（TIA）を提案し、理論、実験の両面から解析、及び評価を行う[1][3]。

1.2 LED を用いた可視光通信受信回路

図1に従来の受信回路を示す。負荷抵抗による受信回路ではpn接合の空乏層による容量（接合容量 C_{det} ）と負荷抵抗 R_f によって周波数帯域が決まる。LEDを受光素子として用いる際の課題に検出電流が微小であるこ

表1 従来の可視光通信受信回路

回路	構造	周波数帯域	出力
<p>抵抗不可による受信回路</p>	◎	△	△
<p>トランスインピーダンスアンプ(TIA)受信回路</p>	△	◎	◎

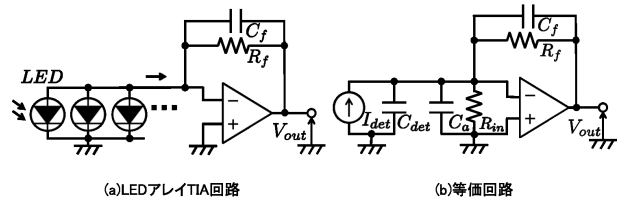


図2 LED アレイ TIA 回路

とがある。大きな出力を得るためには負荷抵抗を大きくする必要があり、その結果、周波数帯域が狭まる。本研究で提案するLEDアレイTIA回路（図2）はLEDを並列に並べることで検出電流を増加させ、大きな出力を得ることができる。更に、TIA回路を用いることでLEDを並列に並べることで増加する接合容量の周波数帯域に対する影響を小さくし、高速な応答が可能になる。

2 理論

図2のLEDアレイTIA回路の等価回路のトランスインピーダンス伝達関数 $Z(s)$ は以下ようになる

$$Z(s) = \frac{V_{out}(s)}{I_{det}(s)} = \frac{R_{to}}{1 + s\left(\frac{2\zeta}{\omega_0}\right) + s^2\left(\frac{1}{\omega_0^2}\right)} \quad (1)$$

ここで、 V_{out} は受信回路の出力、 I_{det} はLEDアレイの検出電流の和、 R_{to} はトランスインピーダンス、 ω_0 は固有角周波数、 ζ は減衰係数であり、それぞれ

$$R_{to} = -\frac{A_o R_{in} R_f}{(A_o + 1) R_{in} + R_f} \quad (2)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{(A_o + 1) R_{in} + R_f}{\tau_a R_{in} R_f C_{in}}} \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \omega_0 \left\{ \frac{\tau_a (R_{in} + R_f) + R_{in} R_f (C_{in} + A_o C_f)}{(A_o + 1) R_{in} + R_f} \right\}$$

(4)

である。ただし、 A_0 は OP アンプのオープンループ利得、 R_{in} はオペアンプの入力インピーダンス、 R_f は帰還抵抗、 τ_a は OP アンプの時定数、 C_{in} は回路の容量の和、 C_f は帰還容量であり、

$$C_{in} = C_a + C_{det} + C_f \quad (5)$$

$$C_{det} = \sum_i C_{deti} \quad (6)$$

$$I_{det} = \sum_i I_{deti} \quad (7)$$

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + s\tau_a} \quad (8)$$

$$\tau_a = \frac{1}{2\pi f_a} \quad (9)$$

とした。ただし、 C_{det} は LED アレイの接合容量の和、 C_{deti} は LED の接合容量、 I_{deti} は LED の検出電流、 $A(s)$ は OP アンプの伝達関数、 f_a は OP アンプの遮断周波数である。

これよりステップ入力に対する立ち上がり時間を求めることができる。

3 試作及び実験による評価

試作した LED アレイ TIA 回路、及び送信機の数値諸元を表 2 に示す。

表 2 実験諸元

	パラメータ	値
	波長	625 [nm]
	伝送距離	15 [mm]
送信機	LED	OS5RKA5B61B
	点灯時間 t_{on}	56.5 [nsec]
	消灯時間 t_{off}	63.9 [nsec]
受信機	LED	OSHR1608
	C_{deti}	11.3 [pF]
	LED の数	1 ~ 9 [個]
	OP アンプ	LM7171
	R_{in}	3.3 [M Ω]
	C_a	1.2 [pF]
	A_0	80 [dB]
	f_a	22 [kHz]
	R_f	20~200 [k Ω]
	C_f	2.6~3.8 [pF]

受信機の実出力電圧を一定にしたときの立ち上がり時間と受信機の LED の数の関係を図 3 に示す。図 3 を見ると測定した応答時間と伝達関数より求めた応答時間と

傾向が一致したことがわかる。また、図 3 より受信機の LED の数を増やすと応答時間が減少することがわかる。これは周波数帯域に対する R_f の減少の影響が C_{det} の増加の影響よりも大きいからである。これにより LED アレイ TIA 回路の有用性が示された。

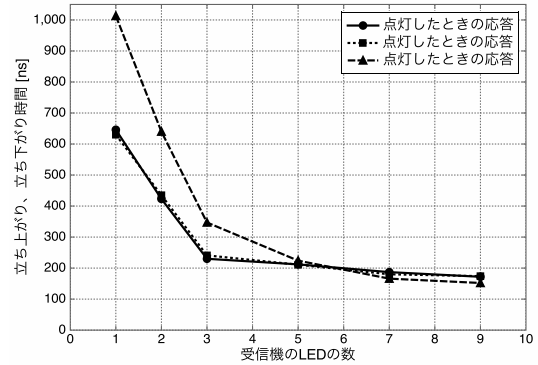


図 3 受信機の LED の数と立ち上がり時間 ($V_{out} = 150[mV]$)

4 まとめ

本研究では、LED を受光素子として用いた高速な可視光通信受信機 LED アレイ TIA 回路を提案した。LED を受光素子として用いたときの課題である低出力という問題に対し、LED を並列に並べた LED アレイを用いることを提案した。さらに TIA 回路で増幅することにより、広い周波数帯域を確保し、応答が高速になると予想した。また、試作した LED アレイ TIA 回路を用いて、設計どおりに応答することを検証した。その結果、受信機の実出力電圧を一定にしたとき、受信機の LED を増加させることで高速な応答が得ることができた。この結果から LED アレイ TIA 回路の有用性が示された。

参考文献

- [1] 安倍尚吾, 春山真一郎, 中川正雄, "LED を光受信機として使う新方式の検討," 電子情報通信学会信学技報, OCS2006-77, pp. 19-24, 2007-1.
- [2] N. Kashima, S. Ishii, "Optical transmission using super luminosity LEDs as a transmitter and a receiver," J.Opt Commun., vol.23, pp.165, 2002
- [3] 岡村迪夫, "OP アンプ回路の設計", 啓文堂, 東京, 1990.