

可視光 LED を用いた空間光通信の応用と特性

2011SE191 中島翔 2012SE218 佐々恭大 2012SE258 戸田雄士

指導教員：奥村康行

1 はじめに

近年、各通信キャリアによる無線 LAN 接続サービス等により、帯域不足やセキュリティ面で問題が起きている [1]。そこで、現在主流となっている電波を用いた無線通信よりも大容量通信が可能な点や、セキュリティの面で改善が見込める光無線通信技術が注目されている。この通信方式は、LED やレーザーを用いた光の点滅により通信を行う方式である。特に LED は安価なことから、情報を送る通信媒体としての応用が検討・研究されている。

先行研究では、光無線通信を用いた車車間通信の研究等が進んでいる [2]。ここでは、自作した送信・受信デバイスを用いて車車間通信の伝送特性を測定している。また、LED 照明を位置情報を送る通信デバイスとして利用した可視光通信の研究も進められている [3]。

本研究の目的は、可視光 LED が通信装置として利用できるかを検証することである。そこで本研究では、先行研究と異なり、市販の LED や LED の数を減らした状態での特性を調べる。また、この通信方式を応用するためにアプリケーションとして、LED 等を用いて光無線化した車のラジコンの作製を行った。

2 LED と Arduino を用いたアプリケーション

本節では、実験やアプリケーションで使用する Arduino とアプリケーションについて述べる。

2.1 Arduino について

Arduino とは、簡単に扱えるマイコンボードであり、AVR マイコン、入出力ポートを備えた基盤、C 言語風の言語であり総合開発環境から構成された一つのシステムである [4]。Arduino はさまざまなセンサーから信号を受け取り、周囲の環境を感知することができる。この特性より、本研究では Arduino に光の変化を感知させ実験を行う。

2.2 光無線化したラジコンのアプリケーション

本研究では参考文献 [5] を元に、有線のラジコンを光無線化したラジコンのアプリケーションを作製した。また、その全体構成を図 1、コントローラとラジコン本体を図 2 に示す。

2.3 送信回路

まず送信回路の図 3 について説明する。コントローラはデジタル出力 13 を用いて LED の点滅操作を行う。前後左右の移動を可能にするために、LED の点滅操作で 5 通りの操作を行うプログラムを作成した。操作を簡易化するた

め、JOYSTICK を用いて操作が行えるよう回路とプログラムを組み込んだ。JOYSTICK の L/R+ と U/D+ の端子に 5V を供給し、L/R と U/D の端子からジョイスティックの傾きを読み取り光信号の操作を行う。

2.4 受信回路

次に受信回路の図 4 について説明する。3.3V はフォト IC ダイオードの基準電圧、5V はモータドライバ用電源コントロール入力 V_s 、9V 電源ボックスはモータドライバ電源入力 V_{cc} 、Arduino のデジタル出力 6 と抵抗 10K はモータドライバ用電源コントロール出力 V_{ref} に繋げる。Arduino のアナログ入力 A0 はフォト IC ダイオードの値を読み取る。IN1 と IN2 でモータの信号入力、OUT1 と OUT2 でモータの信号出力を行う。車両に搭載するもの図 4 では光無線通信でのモータの制御を行う。まず、フォト IC ダイオードで読み取った照度を Arduino のアナログ入力で読み取り、基準の照度の変化から、光の点滅を認識する。次に点滅に応じたモータ制御を行うため、Arduino のデジタル出力 7, 8 から出力し、図 4 の TA7291P であるモータドライバを介することでモータ制御を行う。また、ラジコンのステアリング部分にはサーボモータをつけ、電池ボックス 9V から電源を介し、Arduino のデジタル出力 5 から角度の出力を行うことで、自由な移動を可能にした。

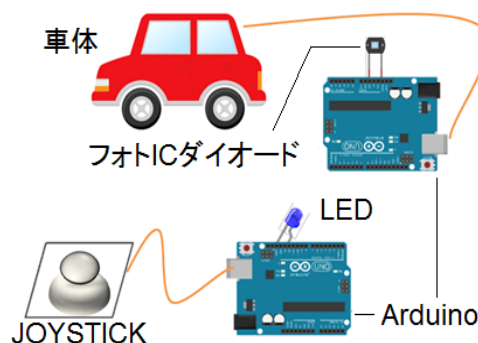


図 1 全体の構成

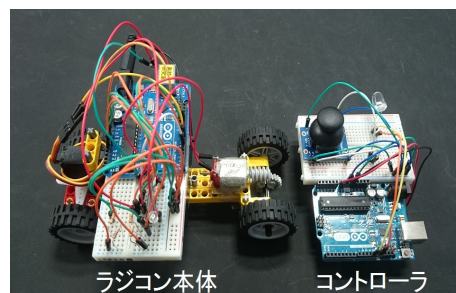


図 2 ラジコンの完成図

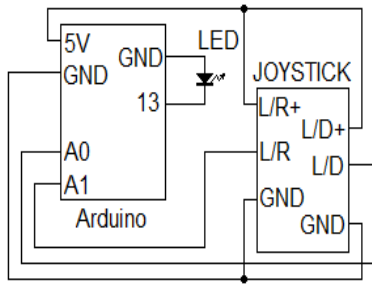


図 3 送信回路

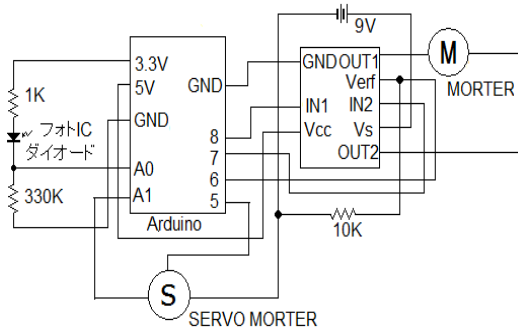


図 4 受信回路

表 1 空間光通信によるラジコン操作

ラジコン操作	前進	後退	右	左
光信号	0111	0101	0011	0001



図 5 実験環境



図 6 実験機材

3 LED による空間光通信の方法について

本節では、本研究で使用する通信方式について述べる。

3.1 空間光通信の特徴

空間光通信とは「光」を用いてデータの送受信を行うデジタル通信方式である。可視光線の波長は 380 ~ 750nm であり、これより長いものを赤外線、短いものを紫外線としている。また、電波と違い回り込んで伝播しないために、病院や飛行機の精密機器への影響が少ない点が上げられる。

3.2 空間光通信の通信方法

Arduino で空間光通信をする上で赤外線通信と可視光通信と紫外線通信の 3 つの通信方法がある。赤外線通信と紫外線通信での空間光通信は、送信機で人には見えない赤外線や紫外線を用いた通信方法である。可視光通信は、送信機で人の目で見える事のできる光の点滅信号を用いた通信方法である。

3.3 空間光通信によるラジコン操作方法について

空間光通信によるラジコン操作の操作方法としては 4bits で一つの信号として 4 種類の信号を用いてラジコンの操作を行う。通信速度は 100b/s とし、ラジコン操作と信号の関係の一覧を表 1 で表す。

4 実験環境

本節では実験環境の作製、実験で扱う送信デバイスと受信デバイスについて述べる。

4.1 実験場所

空間光通信では照度の基準値からの変化で光の点滅を認識することから、光の変化が激しい環境での実験が困難だと考えた。そこで、基準値の変化がない暗闇での実験を行い、BER を測定していく。そのため図 5 のように、暗闇の環境を作るためにダンボールで縦、横、高さを 2m × 1m × 1m の実験環境を作製し、照度が 0lx になるようにした。

4.2 実験機材

実験機材を図 6 に示す。実験を同じ環境下で行うため、以下のような機材を用いた。アルミのコの字レールに木を固定しその上に LED や受光デバイスを固定して Arduino に入出力することで、LED・受光デバイスのずれが発生しないようにした。また、角度を測るためには回転盤、分度器を使用し、正確に角度が測定できるようにした。

4.3 送信機と受信機

送信機と受信機の作製を行った。送信機の信号部には可視光 LED を設置し Arduino に光点滅のプログラムを搭載した。また、受信機の受信部には光の点滅を認識するために、照度の測定が行える受光デバイスを使用した。

4.4 使用する可視光 LED・受光デバイス

本研究では、可視光の色別の特性を測るため、使用する LED は半減角 80° の LED を赤、黄と青を用いる。また、

可視光 LED の中でも白色 LED が広く普及していることから、白色 LED の半減角 75°, 180° を用いた実験を行った。半減角とはその角度になると照度が半分になる角度である。本研究では、LED 毎の半減角に対しての通信可能距離や角度を測定する。使用する可視光 LED を表 2、表 3 で表す。

空間光通信を行う受光デバイスには受光感度が高いことや、応答速度が早いことが求められる。また、受光デバイスにはフォト・ダイオード、フォト・トランジスタやアパランシェ・フォト・ダイオードが存在するがその中でも応答速度の早さ、扱い易さの点から、本研究では順電流 5mA、最大電圧 12V のフォト IC ダイオードを使用する。また、その性能を図 7 で示す [6]。

5 測定方法

BER の測定実験では M 系列を用いて 8190bits の光点滅を行い、その中で何回誤りがあるかの計測を行い、BER を求める。また、LED の角度や距離を変えながら計測する。BER の測定方法としては、送信側と受信側でシリアルモニタに光点滅を 0 と 1 で表示したのち、データを表計算ソフトに取り込み BER の測定をした。

ここで扱う M 系列とは、線形漸化式が作り出す最長の周期をもつ数列である。M 系列を用いた擬似乱数の生成法では、生成する擬似乱数のビット数によって多項式や周期が変化する。本研究では、1 回に 1 万近くのデータをとることを目標として BER 測定をしていく実験のため、それに一番近い 12 ビットの 4095 周期を 2 回行うことで擬似乱数を生成することとする。生成回路の構成を図 8 で示す。12 ビット時の多項式は

$$x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^4 + 1 \quad (1)$$

であり、全てのビットが 0 となる数列は生成されないため、この時の周期は $2^{12} - 1$ で求めることができる。また、生成する数列を決める要因として、初期値の設定がある。初期値は生成する数列が周期内にしかないため、1 から 4095 までの値を初期値とする。この生成法では、ビット数に応じた多項式の項のビットと、初期値を AND, OR, XOR 計算を行い M 系列を生成する。

6 結果と考察

本節では、可視光 LED の特性とそれに応じたモーターの回転数を調べた結果について述べる。

表 2 使用する可視光 LED

色	赤	黄	青
照度 [lx]	605~610	605~610	610~615
使用電圧 [V]	3.4	3.4	3.4
半減角 [°]	80	80	80

表 3 使用する白色 LED

半減角 [°]	75	180
照度 [lx]	605~610	610~615
使用電圧 [V]	3.4	3.4

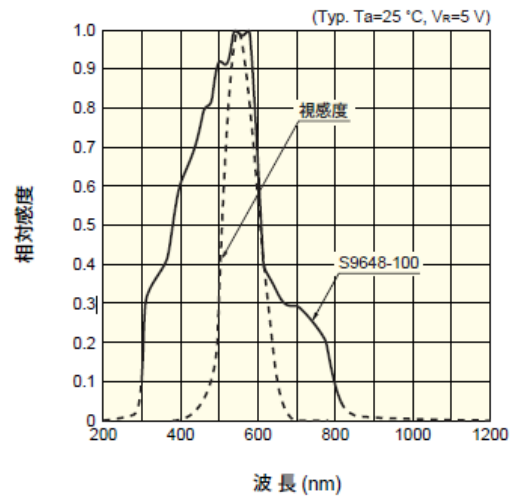


図 7 フォト IC ダイオード [6]

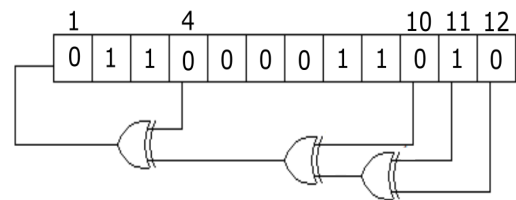


図 8 M 系列の生成回路の構成

6.1 可視光 LED を用いた空間光通信の BER

BER 測定実験では半減角 80° の色別、白色 LED の半減角別の直線上での BER を調べ、BER が 0 である距離が分かった後、ラジコンに搭載する LED の角度についての BER を測定をした。今回の実験では、通信ができてない状態では受信側ですべて 0 と認識されてしまう。また、M 系列を用いたことで 0 と 1 が同じ数ずつ出力されるので、通信ができてない状態でも通信ができたと判断され、BER が最大 0.5 になってしまう。

6.2 BER 測定の実験結果

半減角 80° の色別による直線上での BER の実験結果を図 9 で示す。実験では BER が 0 である距離の長い順から青色、黄色と赤色になった。また、BER が 0 から 0.1 になるまでの距離はどの色も 10cm。さらに、BER が 0.1 から 0.5 になるまでの距離は赤色、黄色 30cm、青色が 25cm であった。この結果より図 7 のフォト IC ダイオードの受光特性と関係があることが分かった。

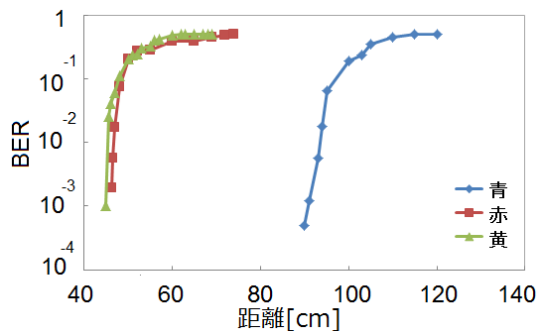


図 9 距離と BER の関係

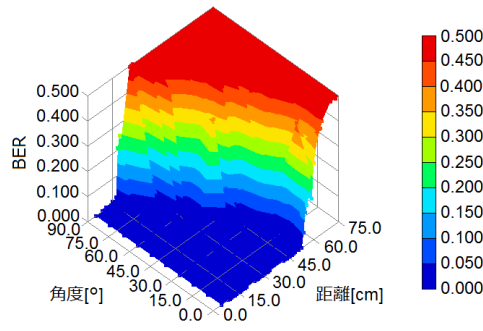


図 12 距離と角度と BER の関係

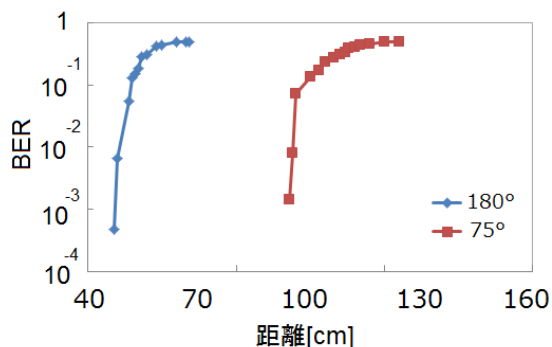


図 10 距離と BER の関係

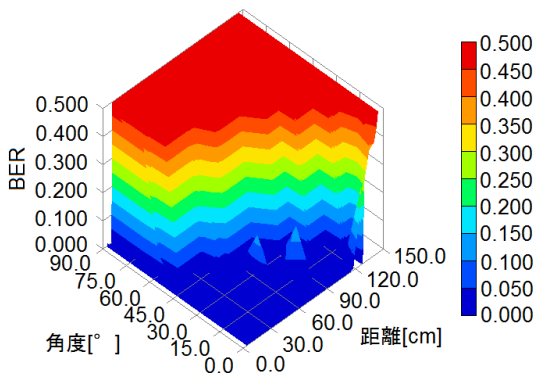


図 11 距離と角度と BER の関係

白色 LED の半減角別による直線上での BER の実験結果を図 10 で示す。BER が 0 から大きくなるのに 60cm の違いがあることや、BER が 0 から 0.5 になるまで 180° の方は 25cm であるのに対して 75° は 40cm もあることから、白色 LED の半減角 75° の方が指向性があり、より長い距離通信が行えることが分かった。

白色 LED の半減角 75° の距離と角度と BER の関係についての結果を図 11 で示す。これより距離が離れるほど BER が 0 より大きくなる時の角度は、小さくなっていることがわかる。また、送信機と受信機が遠くにあるほど、角度が定量的にずれると通信が困難になった。白色 LED の半減角 180° の距離と角度と BER の関係についての結果を図 12 で示す。結果については図 11 と変化の仕方が似

ているが、半減角 75° よりも通信できる角度が広がるが、距離が縮まるという結果になった。ラジコンの操作は半径 1m 範囲の部屋を想定して利用するため、距離が 1m 越えている白色 LED の半減角 75° を使用することにする。

7 まとめと今後の課題

アプリケーションの課題としては照度が変化する環境でのラジコン操作が挙げられる。照度が変化する環境で光点滅をどう認識させるかである。これは基準値を毎回取り、基準値からの変化で光点滅を認識するプログラムを構成する事で改善が見込める。今後は詳細な通信可能な範囲の測定や、LED やフォト IC ダイオードを増やした場合との比較を行い、可視光 LED の特性を調べていく。さらに、アプリケーションを扱う上では通信距離の拡大や 360° 全ての角度で通信が行えるようにするために、LED とフォト IC ダイオードの数を増やすことや電圧の出力を高くすることで改善していく。

参考文献

- [1] 総務省, “電波資源拡大のための研究,” <http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/>, 参照 Dec.11, 2014.
- [2] 高井勇, 川人祥二, “イメージセンサ通信技術を用いた光車車間通信システム,” 日本信頼性学会誌第 34 巻, 渡邊仁(編), pp.526-531, (社)日本信頼性学会, 東京, 2012.
- [3] 春山真一郎, “可視光通信,” 電子情報通信学会誌, pp.1055-1059, (社)一般社団法人電子情報通信学会, 東京, 2011.
- [4] 神崎康宏, “Arduino は入門者にもプロにも優しいマイコン・ボード,” Arduino で計る, 測る, 量る, 吉田伸三(編), pp.3-16, (社)CQ 出版株式会社, 東京, 2012.
- [5] ローム株式会社, “+DevicePlus,” <http://deviceplus.jp/hobby/entry012/>, 参照 Jan.19, 2015.
- [6] 秋月電子通商, “フォト IC ダイオード s9648-100,” <http://akizukidenshi.com/download/s9648-100.pdf>, 参照 Jan.24, 2015.