

# 可視光通信を用いたロボット制御のための信号強度取得に関する一考察

Signal Level with the Pulse Modulation in Visible Light Communication for Controlling Robots.

○清水 謙汰, 端山 稜人, 福森 康洋, 植村 渉

Kenta SHIMIZU, Takato HAYAMA, Yasuhiro FUKUMORI and Wataru UEMURA

龍谷大学

Ryukoku University

shimizu@vega.elec.ryukoku.ac.jp, wataru@rins.ryukoku.ac.jp

## Abstract

工場において、少量多品種の生産ラインへの対応が求められており、汎用型移動式ロボットが必要とされている。本研究では、複数台の同一種類のロボットを無線コントローラで遠隔制御する時の通信方法を検討する。

複数台の同一種類のロボットをコントローラで遠隔操作するとき、各ロボットの識別番号を確認しないと、操縦対象がわからなくなる。目に見える無線通信として注目されている可視光通信をロボットのコントローラに使うことで、対象物を明確に把握できるようになる。

一方、無線でロボットを操縦するときには、操縦体系にもよるが、方向に関しては右や左といった相対的な扱いをすることが多く、リモコン操縦者の向きと操縦対象物の向きが一致せず、操縦者に一定の慣れとスキルが必要となる。これを防ぐためには、相対的な移動指示ではなく、絶対的な移動指示が必要となる。つまり、受信機側であるロボットが、操縦者との位置関係を獲得しないとイケない。この方法には、いくつかの方法が考えられるが、ここでは可視光通信を使っていることを利用し、受光素子の受信強度分布から発信源の向きを推定する方法を検討する。

本研究では、パルスを用いた可視光通信における、受信信号強度の取得方法について検討する。

## 1 はじめに

工場において、少量多品種の生産ラインへの対応が求められており[2]、Industrie 4.0におけるスマートファクトリーを代表とするファクトリーオートメーション化が注

目されている。そのような工場では、汎用型移動式ロボットが必要とされている[3]。

本研究では、複数台の同一種類のロボットをコントローラで遠隔制御する時の通信方法に注目する。複数台の同一種類のロボットをコントローラで遠隔操作するとき、有線通信であれば一台一台にコントローラをつなぐ必要があり、ケーブルの取り回しが複雑になる。Wi-Fiに代表されるIEEE802.11などの無線通信を用いた場合、ケーブルの取り回しの問題は解決するが、各ロボットの識別番号を確認しないと、操縦対象がどれかわからなくなる。これは、無線通信の接続状況が目に見えないため、どのロボットと通信しているが把握できないからである。

そこで、本研究では、目に見える無線通信として注目されている可視光通信をロボットのコントローラに使うことを検討する。通常のリモコンでも同様であるが、無線でロボットを操縦するときには右や左といった相対的な扱いをとると、リモコン操縦者の向きと操縦対象物の向きが一致せず、操縦者に一定の慣れとスキルが必要となる[4]。これを防ぐためには、相対的な移動指示ではなく、絶対的な移動指示が必要となる。つまり、受信機側であるロボットが、操縦者との位置関係を獲得しないとイケない。この方法には、いくつかの方法が考えられるが、ここでは可視光通信を使っていることを利用し、受光素子の受信強度分布から発信源の向きを推定する方法を検討する。

しかし、可視光通信で情報を光に重畳すると、光源が高速で点滅するため受信強度の変動が起こる。本研究では、パルスを用いた可視光通信における、受信信号強度の取得方法について検討する。

以下、2章ではパルスを用いた可視光通信について紹介し、変調時の受信信号強度の取得における問題点を挙げる。発光素子、受光素子の過渡現象の影響を明らかにし、3章にて矩形波の立ち上がりを検知することで過渡現象の影響のない時間帯に信号強度を獲得する方法を提案し、4章にてその効果を実験にて確認する。そして、5章で本

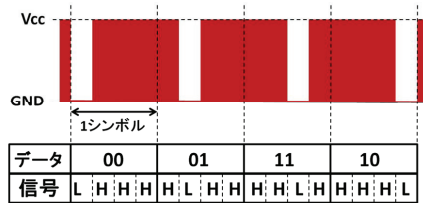


Figure 1: 4 値-IPPM による情報と信号の関係の一例

論文をまとめる。

## 2 可視光通信

可視光通信は、LED などの白色光の点滅パターンに情報を重畳する通信方法である。現在のところ多重化を考慮する場面が少ないため、可視光通信や赤外線通信では隣接チャンネルへの影響を考慮しなくて良く、帯域を制限する必要が無い。そのため、送信側でフィルタを通す必要が無く、正弦波ではなくパルスを用いた通信が可能となる。それゆえ、マイコンのデジタル出力ピンを用いて、簡単に送信波形を作り出すことができる。一般に、赤外線通信ではパルスの幅を用いて情報を送る Pulse Width Modulation (PWM) が主流であるが、可視光通信ではちらつきの影響を抑えるために単位時間あたりの点灯時間が一定になる Pulse Position Modulation (PPM)<sup>1</sup> の利用が一般的である (図 1)。

可視光通信は、光照射範囲内が受信可能範囲となるため、通信対象物を目で確認できる特徴がある。これをロボットの制御に応用すると、ロボットを懐中電灯で照らすような感じで、コントロールすることができる。また、レンズなどを用いて光照射範囲を広くしたり狭くしたりして、複数のロボットを照らすことができれば、それら照らされた全部のロボットを一度に操縦することも可能となる。

一方、無線でロボットを操縦するときには、操縦者はほぼ動かないことが多く、リモコン操縦者の向きと操縦対象物の向きが一致しないことが頻繁に発生し、操縦者に一定の慣れとスキルが必要となる。

また、複数台のロボットを同時に動かす場合、それぞれのロボットに対して相対的な向きを用いて操縦すると、向きの異なるロボットは、それぞれ異なる方位を基準とし、結果としてばらばらな動きになる。例えば、「右に進む」という操縦をした場合、操縦者と同じ向きを向いているロボットは操縦者から見て右に進むが、操縦者の方を向いているロボットは操縦者から見て左に進む。

これを防ぐためには、相対的な移動指示ではなく、絶対的な移動指示が必要となる。つまり、受信機側であるロ

<sup>1</sup> 照明として利用する場合は、点灯割合が長くなる Inverse PPM (IPPM) が一般的であり、4 値-IPPM がよく使われるが、本研究の実験では簡単のため 2 値 PPM を用いる

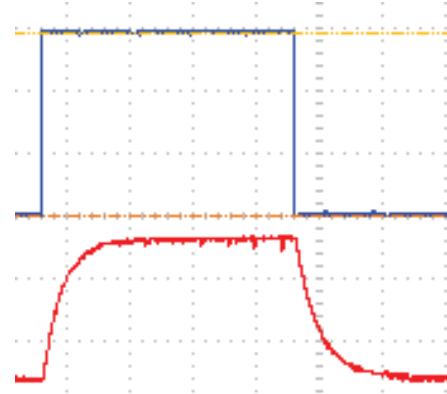


Figure 2: 発光素子と受光素子の過渡現象による送信波形の矩形波の波形変化の一例

ボットが、操縦者との位置関係を獲得しないといけない。この方法には、いくつかの方法が考えられるが、ここでは可視光を使っていることを利用し、受光の明るさつまり受光素子の受信強度分布から発信源の向きを推定する方法を検討する。

電波や電磁波では、送受信機間距離が離れると、受信信号強度は指数的に減少する。さらに電波の場合は波長の関係から、腹と節が生じて単調に減少しない[5]。また、マルチパスの影響も加わり、受信強度から送受信機間距離を推定するのは困難である[6]。一方、可視光領域の電磁波では波長が短いため、マルチパス等の影響が出にくく、受信信号は単調減少となり、複数の受光素子を用いることで、送信源の方向を知ることができる[7]。

本研究では、そのようなパルスを用いた可視光通信における、受信信号強度の取得方法について検討する。

## 3 過渡現象が受信信号強度に与える影響

まず、可視光通信の変調の影響を確認する。矩形波で情報を送るため、受信信号強度は点灯時と消灯時で異なる。以後、これらを HIGH の時と LOW の時と呼ぶ。当然ながら、送受信機間距離を推定するには、HIGH の時の受信強度が必要である。移動体の場合、HIGH と LOW のいずれの受信強度も変動する。送受信機間距離によって HIGH の強度が変化し、受信機のある場所の明るさによって HIGH と LOW の両方の強度が変化する。そのため、HIGH と LOW の時の受信強度を区別するには、何度か強度を測定することで、HIGH の時と LOW の時の 2 つのグループに分けることができる。ここで通信速度を上げて、受光側のサンプリング周波数を上げると、図 2 のように発光素子や受光素子の応答速度の影響が出てくる。このとき、過渡特性による電圧変動が占める割合が大きくなり、本来の HIGH の受信強度よりも低い値を測定することが多くなる。この過渡現象の影響を確認する。送受信機間距離を 10cm から 40cm まで 10cm ずつ離れた状態で 100 回測定

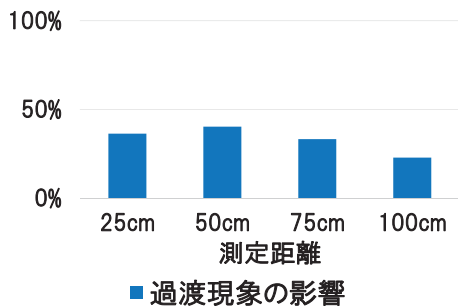


Figure 3: 発光素子と受光素子の過渡現象による送信波形の矩形波の波形変化の一例

を行う。その状態における HIGH 信号と LOW 信号の判定基準を知るために、無変調の点灯状態と消灯状態の受信信号強度を、変調の影響のない強度として扱う。ただし、外乱光などのノイズの影響があるため、それぞれ 10,000 回測定を行い、HIGH 信号に対しては過渡現象の影響を考慮して最小値の 63.2% ( $=1 - (1/e)$ ) の電圧を、LOW 信号に対しては最大値を基準値として扱う。PPM で情報を送ったときに、測定した受信信号強度が HIGH の基準値以上、もしくは LOW の基準値以下であるときは正しく復号できるが、それ以外の値のときは復号結果は誤りとなる。2 値 PPM で情報を送信したときの誤りの割合を図 3 に示す。距離によって、基準電圧が変わるため、過渡現象の影響も変化しているが、過渡現象の生じる時間割合と同様の比率で、復号結果の誤りが生じていることがわかる。

#### 4 変調を考慮した受信強度の取得方法の提案

受信信号強度取得の際に、過渡現象の影響を受けている状態を避ける必要があるため、本研究では、信号強度の変化を観測して変化後に信号強度を取得する方法を提案する。

過渡現象が生じるのは、信号が LOW から HIGH、もしくは HIGH から LOW に変化する時である。また、LOW の時には受信信号強度が測定できないため、LOW から HIGH に変わる部分の検知が重要である。過渡現象は、通信速度に依存し、通信速度を決めれば、過渡現象が生じる時間を推測することができる。そこで、受信信号強度を測定するタイミングとして、LOW から HIGH に変化したのを確認した後、一定時間経過後に AD コンバータにて強度を測定する方法を提案する。これにより、過渡現象の影響のある時間領域を避けることができ、適切な受信強度を測定することができる。

#### 5 実験と考察

変調による波形の変化を考慮して受信強度の測定タイミングを調整した提案方法の効果を確認する。先の実験と

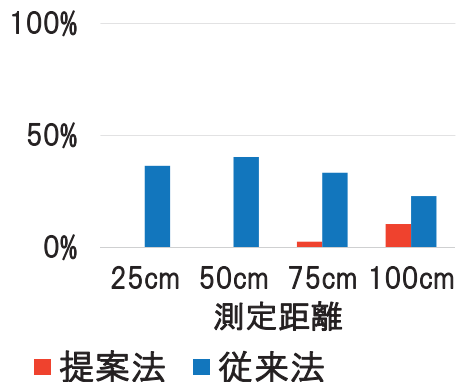


Figure 4: 変調による波形の変化を考慮して受信強度の測定タイミングの調整の有無による受信強度の変動割合

同じ条件で測定した結果を図 4 に示す。過渡現象の生じる時間帯を避けていることが確認できる。一方で、通信距離が離れると信号強度そのものが小さいため、一定時間経過時には強度が減少し、LOW と判定するため誤りの割合が上昇した。

#### 6 おわりに

ロボットの制御に可視光通信を用いるとき、送信機と受信機間の相対的な向きを知ることができれば、絶対的な角度による制御が可能となり、操縦者の負担が大きく軽減できる。送受信機間の向きを知るには、受光素子の受信強度を使うことで送信機の方向を得ることができる。ここで、矩形波を用いた可視光通信において、通信速度を上げると過渡現象の影響が現れて矩形波の HIGH と LOW の間の電圧値をとる時間割合が大きくなり、受信強度が本来の値より小さくなる。本研究では、その受信強度変化が発光素子と受光素子による過渡現象であると考え、その影響を避けるために変調を考慮して受信強度の測定を行う方法を提案した。結果、近距離では過渡現象の影響を避けることができたが、遠距離になると信号強度の減衰の影響がでてきて、適切に強度を測定できなかった。今後は、距離に応じて、過渡現象の影響時間を調整することで、遠距離時にも適切に信号強度を測定できるようにし、可視光通信によるロボットの制御を実現したい。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K16313 の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- [1] 中川 正雄, 可視光通信コンソーシアム, “可視光通信の世界—LED で拓く「あかりコミュニケーション」”, 工業調査会, 2006.

- [2] RoboCup Logistics League, <http://www.robocup-logistics.org/>
- [3] World Robot Summit, <http://www.worldrobotsummit.org/>
- [4] 辻和輝, 植村渉, “全方位移動ロボットに対する移動指示インタフェースの評価”, 人工知能学会第 42 回 SIG-Challenge 研究会, pp. 28 – 33, 2015.
- [5] 植村渉, “ad-hoc ネットワークにおける音波を用いた端末間距離測定に関する一考察”, 人工知能学会第 23 回 SIG-Challenge 研究会, pp. 29 – 33, 2006.
- [6] 上東朋寛, 植村渉, 村田正, 阿部宏尹, “ZigBee を利用したベイズ推定による 2 次元位置推定の精度の評価と考察”, 平成 22 年電気関係学会関西連合大会, pp, 3A303 – 28, 2010.
- [7] 小田翔平, 植村渉, “可視光通信における信号定位に関する一考察”, 第 19 回創発システムシンポジウム, p. 34, 2013.