

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：32503

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23520

研究課題名（和文）複数カメラを用いた可視光通信システムの高度化

研究課題名（英文）Performance Improvement of Visible Light Communication System Using Multiple Cameras

研究代表者

木下 雅之（Kinoshita, Masayuki）

千葉工業大学・工学部・助教

研究者番号：80845149

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：複数ローリングシャッターカメラを用いたダイバーシティ受信の検討および実験評価を行った。ローリングシャッターカメラを用いた可視光通信では、データレートを向上できる一方で、不均一な輝度分布により、通信距離が制限される。この課題に対し、複数カメラから得られる受信信号を選択して復調することで通信性能の向上を図った。屋内静止環境において通信実験を行い、提案する複数ローリングシャッターカメラ（現状は2基）による選択受信手法と従来の単眼のカメラによる受信手法における通信性能の比較を行った。実験結果から、提案の複数カメラ受信は、単眼カメラ受信に比べて通信性能（ビット誤り率）を10程改善しその有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、スマートフォンや自動車などカメラは至る所に搭載されつつあり、1台当たりのスマートフォンや自動車に搭載されるカメラの数も増加傾向にある。従来のイメージセンサ可視光通信では単眼カメラを受信機に用いることが一般的であったが、本研究では遍在する複数台のカメラを活用することで通信性能を向上させた点に学術的意義がある。また、複数カメラを利用した受信機構成は、通信性能を向上させるだけでなく、マシビジョンとの併用も可能であり、ドローンなどのIoT機器の遠隔制御・自動制御、とりわけ、電波の利用が制限される場所（水中、トンネル内、病院、宇宙など）での応用が期待できる点に社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this work, diversity reception using multiple rolling shutter cameras was studied and experimentally evaluated. In visible light communication using rolling shutter cameras, although the data rate can be improved, the communication distance is limited due to the non-uniform luminance distribution. To address this issue, we improved the communication performance by selecting the received signals obtained from multiple cameras. We conducted an experiment in a static indoor environment to compare the communication performance between the proposed selective reception and the conventional single camera reception. As a result, the proposed selective reception improved the communication performance (bit error rate) by 10 compared to the single camera reception.

研究分野：可視光通信

キーワード：可視光通信 イメージセンサ IoT

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

可視光通信は、LED の輝度や色を人の目には知覚されないように高速に変調することで情報を伝送する無線通信技術である。そのため、照明から無線 LAN アクセスの提供、デジタルサイネージ広告に多言語案内の付加、交通信号機から運転支援情報配信など、LED を単に照明や表示として利用するだけでなく、情報伝送にも利用できる。また、送信信号が見える可視光通信は、カメラでの受信が可能であり、イメージセンサ可視光通信とも呼ばれる。近年、普及が進むスマートフォンのカメラを受信機に利用し、遍在する LED 光源と組み合わせれば、至る所に通信機能を付加することができ、IoT に適した通信技術として期待できる。一方、スマートフォンカメラを用いた可視光通信には既に実用化された例もあるが、通信距離やデータレートに課題を残している。

単眼カメラが用いられてきた従来研究に対し、本研究では、近年スマートフォンに搭載されつつあるデュアルカメラ・トリプルカメラといった複数カメラを利用した受信機構成を検討し、上記課題の改善を目的とする。具体的には、複数カメラの撮影画像を用いたダイバーシティ受信を検討し、通信性能(ビット誤り率特性、通信可能距離)の向上を図る。さらに、複数カメラから取得される奥行情報を利用した変復調方式を提案し、データレートの向上を目指す。

### 2. 研究の目的

従来のイメージセンサ可視光通信では、単眼カメラを受信機に利用することが一般的であった。近年、スマートフォンにはデュアルカメラ・トリプルカメラといった複数のカメラが搭載されつつあるが、これらを利用した可視光通信方式は検討されていない。そこで本研究は複数カメラを受信機に用いたイメージセンサ可視光通信について検討し、複数カメラから得られる複数画像を利用したダイバーシティ受信(受信信号の選択/合成)を検討し、通信性能(ビット誤り率特性、通信可能距離)の向上を図る。

### 3. 研究の方法

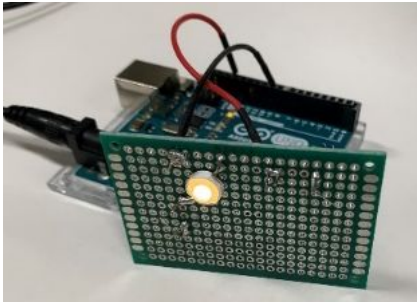
本研究では、スマートフォンカメラが一般に採用しているローリングシャッタカメラを 2 基用いた受信機構成を提案する。ローリングシャッタカメラは、画素を行ごとに画素を行ごとに順次露光を開始し、読み出しを行う。つまり、行ごとで撮影タイミングが異なる。このような順次露光特性に対し、行ごとの撮影タイミング差に合わせた変調速度で信号を送信すると、その送信信号は縞模様として撮影される。受信画像から、明るい縞を`ON(1)`、暗い縞を`OFF(0)`として情報を取り出せば、1 枚の画像で複数ビットの情報伝送が可能となる。例えば、解像度が 1920 列 × 1080 行の画像では、1 枚の画像で最大 1080 ビットの伝送が可能となる。

一方、ローリングシャッタ型可視光通信の課題として、不均一な輝度分布が挙げられる。LED 光源は、放射状に発行することから、画像上において、中央部と端部で輝度が異なる。例えば、LED の中央部では、輝度値が 0-255 の範囲で送信信号を捉えるのに対し、端部では、輝度値が 0-100 の範囲でしか送信信号を捉えることができないといった状況が考えられる。このとき、端部では中央部に比べて、信号振幅の変化が読み取りにくく、通信誤りが発生しやすいため、中央部の方が、良好な通信状態が得られる。また、中央部の輝度値が飽和してしまう場合、信号振幅の変化が読み取れず、通信誤りが発生しやすくなり、端部の方が、良好な通信状態が得られるといった状況が考えられる。

こうした不均一な輝度分布に対して、本稿では、スマートフォンに搭載されつつあるデュアルカメラを利用した受信手法を提案する。具体的には、デュアルカメラによる LED の撮影位置がずれた 2 枚の画像を利用し、得られる 2 つの受信信号の内、通信状態の良い方を選択することで通信誤りの改善を図る。また、実験装置を作成し、通信実験を行うことで提案手法の有効性を評価する。

### 4. 研究成果

異なる位置に配置された 2 基のローリングシャッタカメラで LED 送信機を撮影した場合、LED は画像上の異なる位置に撮影される。ローリングシャッタ型可視光通信において、LED の撮影位置が異なることは、LED の同じ部位を捉えていても、異なる時刻における信号をサンプリングしていることを意味する。言い換えると、同じ時刻の信号は、2 つのカメラにおいて異なる LED の部位で捉えられることになる。つまり、片方のカメラが LED の中央部を捉えているとき、もう片方のカメラは LED の端部を捉えるといったように、2 つのカメラで通信状態が異なるといった状況が生まれる。そのため、2 つのカメラから得られる受信信号の内、通信状態が良好な方を選択して復調することで、不均一な輝度分布によって生じる通信誤りの改善が期待できる。本研究では、LED の中央部の方が端部よりも通信状態が良好であると仮定し、2 つの受信信号の内、行方向の縞の幅が広い方を選択し復調させる選択受信手法を提案した。

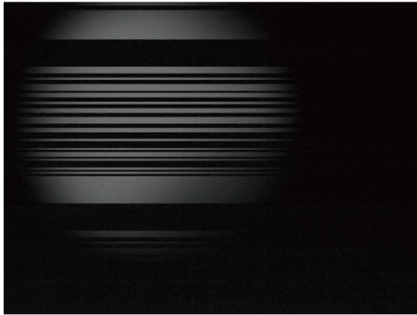


(a) LED 送信機

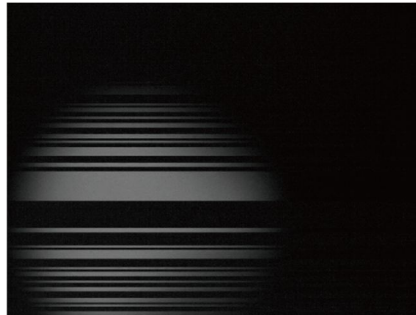


(b) デュアルカメラ受信機

図 1. 実験装置



(a) Camera1



(b) Camera2

図 2. デュアルローリングシャッタカメラによる LED 送信機の撮影画像例

提案した選択受信手法の有効性を実験により評価した。実験は屋内静止環境で行い、単眼カメラのみで復調した場合と提案手法を用いた場合について、各通信距離におけるビット誤り率 (BER: bit error rate) を求めて比較した。実験装置を図 1 に示す。図 2 に通信距離 5cm におけるデュアルローリングシャッタカメラによる撮影画像の例を示す。

図 3 に実験結果を示す。図 3 は Camera1 および Camera2 をそれぞれ単眼カメラとして受信した場合とデュアルカメラによる選択受信した場合の各通信距離に対する BER 特性を示している。この結果から、単眼カメラ受信に比べて選択受信手法は、全て通信距離において BER を  $10^{-1}$  程改善した。このことから複数カメラを用いた選択受信手法の有効性が確認された。

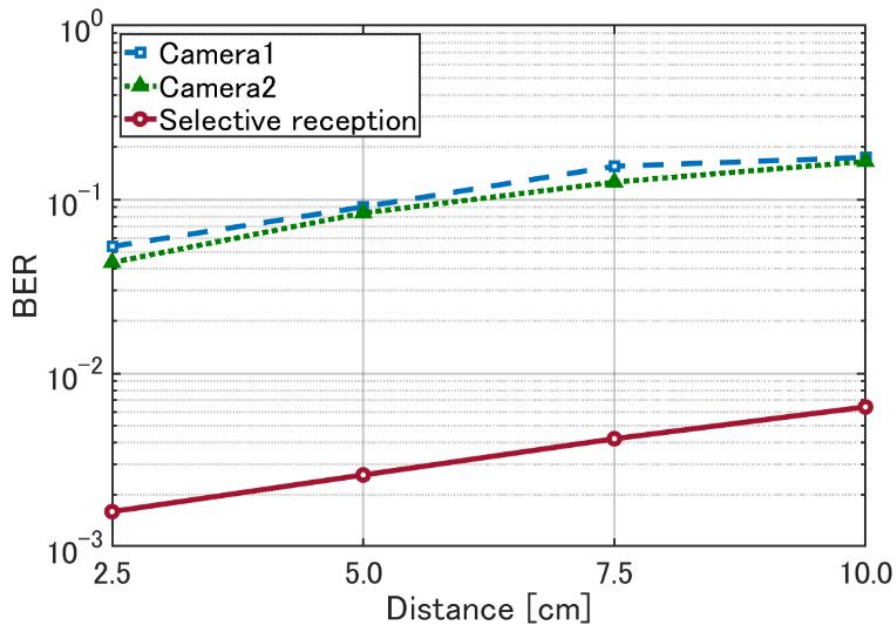


図 3. 単眼カメラ受信および選択受信による通信距離に対する BER 特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 ARAI Shintaro, KINOSHITA Masayuki, YAMAZATO Takaya	4. 巻 E104.A
2. 論文標題 Optical Wireless Communication: A Candidate 6G Technology?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 227 ~ 234
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transfun.2020WB10001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 茨木大空, 戸熊拓海, 山口駿, 木下雅之, 鎌倉浩嗣, 山里敬也
2. 発表標題 [ポスター講演] デュアルカメラを用いた選択受信によるローリングシャッタ型可視光通信性能の改善
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2020-48, pp.110-114
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 M. Kinoshita, K. Kamakura, T. Yamazato, H. Okada, T. Fujii, S. Arai, T. Yendo
2. 発表標題 Stereo Ranging Method Using LED Transmitters for Visible Light Communication
3. 学会等名 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木下雅之, 鎌倉浩嗣, 山里敬也, 岡田啓, 藤井俊彰, 荒井伸太郎, 圓道知博
2. 発表標題 二眼カメラと可視光通信用LED送信機を用いた距離推定手法
3. 学会等名 電子情報通信学会ワイドバンドシステム研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------