

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14159

研究課題名（和文）ローリングシャッタ型可視光通信における通信可能領域拡大に関する研究

研究課題名（英文）Communication Range Expansion in Rolling Shutter Based Visible Light Communication

研究代表者

木下 雅之（Kinoshita, Masayuki）

千葉工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80845149

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ローリングシャッタ型可視光通信の通信可能領域の拡大を目的とし、(1)重畳繰り返し伝送を用いた通信距離の変化に柔軟な送受信手法および(2)複数カメラを用いた受信信号の選択/合成による通信距離の伸長を検討した。実験結果から、重畳繰り返し伝送は、従来の4-PAMに対して近距離におけるデータレートの低下を抑制しつつ遠距離でのデータ受信の両立を達成し、通信距離の変化に対する柔軟性を提供可能である。また、複数カメラを用いた合成受信においては、単眼カメラ受信で 10^{-2} - 10^{-3} 程度のSERが観測されたのに対し、エラーフリーを達成したことから、通信距離の伸長に寄与することが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LEDを送信機に用いる可視光通信は、光源のある場所であればどこにでも通信機能を付加することができる。可視光通信はカメラで受信することが可能であり、スマートフォンを用いることで容易に導入可能である。本研究で扱う可視光通信は、電波の利用が制限される環境（水中、トンネル内、病院、宇宙など）での通信手段として期待される点に社会的意義がある。また、本研究は一般に普及するローリングシャッタカメラを受信機に想定し、その課題である通信距離の制限に対し有効な改善策となり得る送受信手法を検討し、サービス用途の拡大を図った点に学術的意義がある。

研究成果の概要（英文）：To expand the communication range in rolling shutter based visible light communication, this work investigates; (1) the superimposed iterative transmission to accommodate changes in communication range, and (2) selecting/combining received signals using multiple cameras. Experimental results showed that superimposed iterative transmission achieved both long-range data reception while suppressing the decrease in data rate at short-ranges compared to conventional 4-PAM, offering flexibility in adapting to changes in communication range. Further, in combining reception using multiple cameras, while a SER of approximately 10^{-2} to 10^{-3} was observed in single camera reception, the SER was improved, achieving error-free communication and contributing to the extension of communication range.

研究分野：光無線通信

キーワード：光無線通信 可視光通信 イメージセンサ ローリングシャッタカメラ 可視光ID

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。

イメージセンサ可視光通信の課題は、通信速度の高速化が困難な点にある。スマートフォンに搭載されるカメラは、1 秒間に 30 - 60 枚程度の撮影速度で動作する。この場合、そのサンプリングレートは 30 - 60Hz となり、通信速度は大きく制限されてしまう。これに対し、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方式の撮像機構に注目することで、通信速度の大幅な向上が可能となる。

ローリングシャッタカメラは、画素を行ごと順番に露光を開始し、読み出しを行う。つまり、行ごとで撮像タイミングが異なる。故に、行ごとの撮像タイミングに合わせた変調速度で信号を送ることで、その送信信号を“縞”として捉えることができる。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。一般的なスマートフォンカメラを例に考えると、解像度が 1920 列×1080 行の Full HD 画像であれば、1 枚で最大 1080 ビットの伝送が可能となる。

一方で、ローリングシャッタ型可視光通信の課題として、通信距離が挙げられる。画像上で LED 光源を捉えている行が情報をもつことから、所望の通信速度を達成するために十分な行数を投影できる通信距離を保つ必要がある。この性質から、LED 光源の投影面積が縮小する遠距離での通信が困難であり、また、移動により生じる投映面積の変化に柔軟に対応することができない。そのため、ローリングシャッタ型可視光通信は、近距離かつ静止環境での利用が想定されている。

2. 研究の目的

上述の課題は、ローリングシャッタ型可視光通信のサービス用途を制限してしまう。これに対し、本研究では、ローリングシャッタ型可視光通信の通信可能領域の拡大を目的とし、以下に掲げる項目を検討することで、その用途拡大を目指す。

- (1) 重畳繰り返し伝送を用いた通信距離の変化に柔軟な送受信手法
- (2) 複数カメラを用いた選択/合成受信による通信距離の伸長

3. 研究の方法

(1) に関して、重畳繰り返し伝送を利用することで、近距離では高い通信速度の通信を、遠距離では、確実な通信リンクの提供を行い、通信距離に応じた適切な情報伝送の実現を目指す。図 1 に重畳繰り返し伝送のデータ構成を示す。近距離用データと遠距離用データの 2 つの 2 値データを用意する。近距離用データは、Data1 と Data2 から構成される長いビット列を N_a 回繰り返し伝送し、遠距離用データは Data3 から構成される短いビット列を N_a 回繰り返し伝送する。両データに異なる振幅(A, B)を与えて重畳することで 2 つのデータを一度に送信する。重畳データは $\{0+0, A+0, 0+B, A+B\}$ の 4 値となるため、受信側では、元の 2 つのデータを分離して復号することができる。これにより、近距離でのデータレート低下を抑制しつつ遠距離での通信リンクを確保することが可能となる。

(2) に関して、ローリングシャッタ型可視光通信において、通信距離の伸長を妨げる要因である不均一な輝度分布に対して、複数カメラの異なる撮像位置に注目することで通信誤りを改善し、通信距離の伸長を図る。上下に配置された 2 つのカメラで LED 光源を撮影した場合、図 2 に示す様に、LED は画像上の異なる位置へ撮像される。このとき、片方のカメラは LED の中央部を捉え、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。そのため、2 つのカメラから得られる受信信号

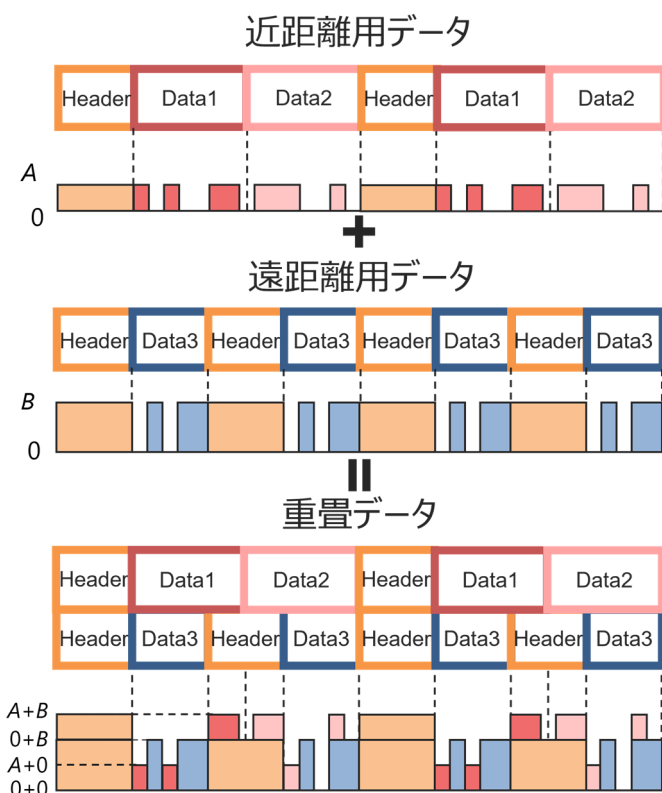


図 1. 重畳繰り返し伝送のデータ構成

を選択または合成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、結果として通信距離の伸長が見込める。

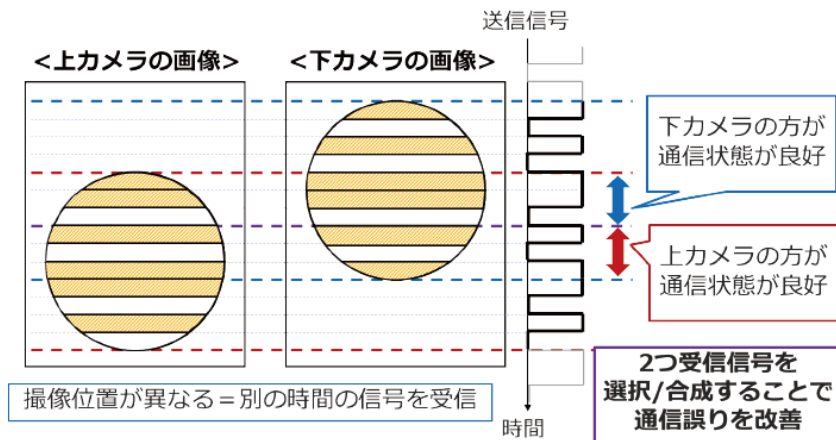


図 2 二眼カメラによる可視光通信性能の改善

4. 研究成果

重畳繰り返し伝送による通信実験結果を図 3 に示す。従来手法として近距離用および遠距離用 4-PAM と提案の重畳繰り返し伝送における通信距離に対するスループット特性を比較する。重畳データのスループットを従来手法と比較すると、近距離用 4-PAM と比べて 50cm 以内のスループットが約 30% 低下するものの、70cm を超えると優れた性能を示し、130cm まで受信可能距離を拡大した。また、遠距離用 4-PAM と比べて 30cm で 2 倍のスループットを達成し、130cm まで同等以上のスループットを維持した。さらに、3 - 150cm の区間における平均スループットは、近距離用 4-PAM で 297bps、遠距離用 4-PAM で 332bps、重畳データで 425bps であり、重畳データが最も優れた性能を示した。

以上の実験結果から、重畳繰り返し伝送は、従来の 4-PAM に対して近距離でのスループット(データレート)の低下を抑制と遠距離でのデータ受信の両立を達成し、通信距離の変化に対する柔軟性を提供可能である。

二眼カメラによる合成受信の実験結果を図 4 に示す。実験では、8-PAM を適用した送信信号に対し、単眼カメラで受信した場合(camera1, camera2)と二眼カメラによる合成受信した場合(camera1+2)における変調周波数に対する SER 特性を比較する。単眼カメラで受信した場合、全ての変調周波数において 10^{-2} - 10^{-3} 程度の SER が観測されたのに対し、二眼カメラによる合成受信では、SER が改善されエラーフリーを達成した。

以上の結果から、二眼カメラを用いた合成受信による通信性能改善が確認され、通信距離の伸長に寄与することが期待される。

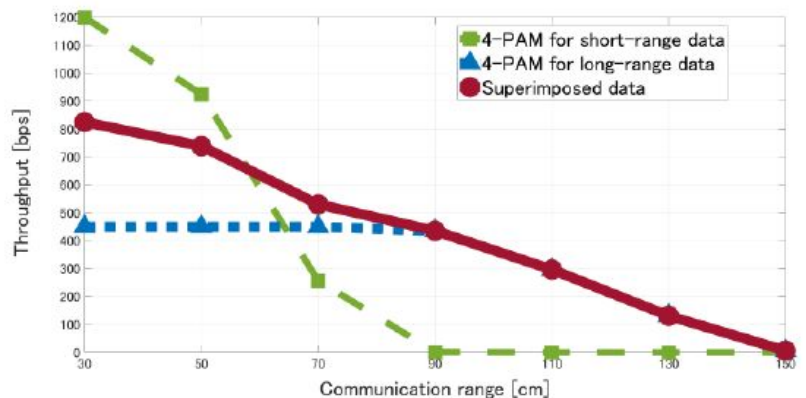


図 3. 重畳繰り返し伝送のスループット特性

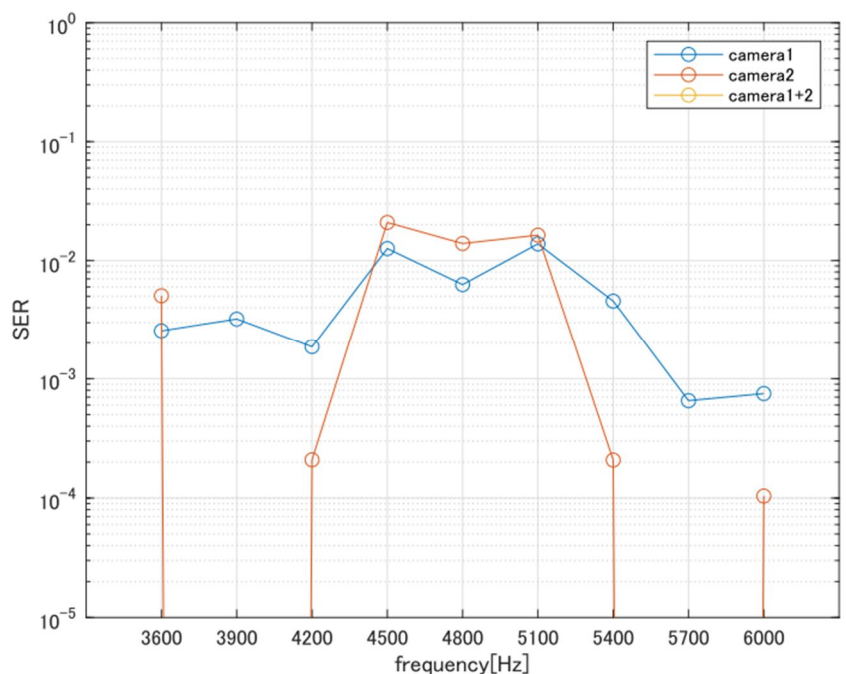


図 4. 二眼カメラによる合成受信の SER 特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 前田隆人, 木下雅之, 鎌倉浩嗣, 山里敬也 |
| 2. 発表標題 ローリングシャッタ型可視光通信のための重畳繰返し伝送による通信領域拡大 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションシステム研究会 |
| 4. 発表年 2022年～2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 木下雅之, 前田隆人, 鎌倉浩嗣, 山里敬也 |
| 2. 発表標題 ローリングシャッタカメラを用いた可視光通信における通信距離拡大手法 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ大会 |
| 4. 発表年 2022年～2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 清水大, 金田晃汰, 木下雅之, 鎌倉浩嗣, 山里敬也 |
| 2. 発表標題 極性分離光OFDMを用いたローリングシャッタ型可視光通信の性能改善 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 |
| 4. 発表年 2022年～2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 M. Kinoshita, T. Toguma, S. Yamaguchi, S. Ibaraki, K. Kamakura, T. Yamazato |
| 2. 発表標題 Performance Enhancement of Rolling Shutter Based Visible Light Communication via Selective Reception Using Dual Cameras |
| 3. 学会等名 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年～2022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 |
|---------|---------|
|---------|---------|