

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102  
研究種目：挑戦的研究（萌芽）  
研究期間：2018～2021  
課題番号：18K19774  
研究課題名（和文）環境変化に頑健で運転の安全と高度化に貢献する走査制御型可視光・車々間通信の実現

研究課題名（英文）Visible Light Communication Using Low-speed Image Sensor and Two-dimensional Optical Scanner

研究代表者  
海老原 格（Ebihara, Tadashi）  
筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：80581602  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：情報をLEDの高速点滅として送信し、カメラで受信する可視光通信は、先行車両との選択的通信を利用した事故防止や隊列走行の実現に最適な技術である。本研究は、高速な光走査デバイス「MEMSミラー」を可視光通信に初めて導入し、カメラ単体では実現できなかった課題を解決するだけでなく、より高度な外光干渉対策の確立にも挑戦した。イメージセンサで取得された信号源と雑音源の位置関係から、MEMSミラーの最適軌道を制御する「走査制御型可視光受信機」を構築した結果、フレームレートよりも高速に情報が伝送でき、小型、かつ、動的な外光干渉にも対応可能な可視光通信が実現できることを実証した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、高速な光走査デバイス「MEMSミラー」を初めて導入することで、環境変化、通信距離、速度の確保、小型化の四課題を同時に克服する新しい可視光通信システムを創成するものであり、先行車両との選択的通信を利用した事故防止や隊列走行の実現に貢献することが出来る。

研究成果の概要（英文）：Visible light communication (VLC) is the most suitable technology to realize accident prevention and convoy driving using selective communication with the vehicle ahead. This research introduced the high-speed optical scanning device (MEMS mirror) into VLC to challenge the establishment of more advanced countermeasures against external light interference as well as address the the problem that could not be realized with a camera alone. The proposed VLC receiver demonstrated that it is possible to realize a visible light communication that can transmit information faster than the frame rate, is compact, and can cope with dynamic external light interference.

研究分野：情報通信工学

キーワード：可視光通信 MEMSミラー イメージセンサ

## 1. 研究開始当初の背景

情報を LED の高速点滅として送信し、カメラで受信する可視光通信は、先行車両との選択的通信を利用した事故防止や隊列走行の実現に最適な技術である。カメラ単体を利用する既存受信機は、通信距離、速度の確保、小型化の連立が原理的に容易ではない。加えて、車両の移動に伴う動的な外光干渉への対策も十分に確立されていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究は、高速な光走査デバイス「MEMS ミラー」を可視光通信に初めて導入し、カメラ単体では実現できなかった課題を解決するだけでなく、より高度な外光干渉対策の確立にも挑戦する。具体的には、以下の実現を目的とする。

- (1) MEMS ミラーと汎用カメラを組み合わせた「ミラー・カメラ複合受信機」の創成
- (2) ミラーを制御して外光のみを排除する「外光干渉対策」の確立
- (3) (1), (2)を組み合わせた走査制御型可視光通信の実証

## 3. 研究の方法

### (1) 「ミラー・カメラ複合受信機」の創成

高速かつ柔軟に光走査が可能な MEMS ミラーと汎用カメラを A-D/D-A コンバータによって接続し、両者をソフトウェアによって駆動する可視光受信機を構築する。次に、カメラの露光中に MEMS ミラーが信号をイメージセンサ上に高速マッピングする MEMS ミラードライバを実装し、外光干渉対策を省いた状態で通信実験を行う。実験を通じてプロトタイプチューニングを繰り返し、車々間通信が要求する通信距離、通信速度、小型化が連立できるよう、受信機をアップデートする。

### (2) 「外光干渉対策」の確立

信号源と雑音源の位置関係によっては、走査時に両者が干渉することで、通信品質が悪化する。そこで、イメージセンサで取得された信号源と雑音源の位置関係から、MEMS ミラーの最適軌道を選択するソフトウェアを構築する。

### (3) 走査制御型可視光通信の実証

(1), (2)を統合した「走査制御型可視光受信機」を構築する。実験室で外光干渉の影響や通信距離を徐々に大きくしながら、受信機の外光排除能力を評価する。外光干渉の状況と制御ソフトの動作を解析し、制御ソフトを改良する。構築した受信機を用いて可視光通信実験を行い(図 1)、ビット誤り率(Bit error rate; BER)などの通信品質を評価する。

## 4. 研究成果

### (1) 「ミラー・カメラ複合受信機」の創成

MEMS ミラーとイメージセンサを組み合わせた「ミラー・カメラ複合受信機」を構築した。この受信機は、高速に明滅する信号を MEMS ミラーによって時間-空間マッピングし、イメージセンサ上の輝線長の変化として受信するものである。受信機を構築して実験を行った結果、MEMS ミラーを使って受信光を高速走査する際、非線形画像歪みが発生することが明らかになった。そこで、事前に既知の信号(パイロット信号)を伝送し、それを規範とすることで、歪みの影響を簡単に補正する手法を確立した。そして、構築した受信機は、当初の想定通り、MEMS ミラーは信号を時間-空間マッピングすることができ、イメージセンサのフレームレートの 6 倍の伝送速度を実現できることを確認した。

### (2) 「外光干渉対策」の確立

信号源と雑音源の位置関係から、MEMS ミラーの最適軌道を選択するソフトウェアを構築した。具体的には、信号を MEMS ミラーを用いて走査する前に、MEMS ミラーを固定した状態で周囲環境を撮影し、信号源と雑音源が同じ走査線上に存在しない走査方向を自動的に選択する仕組みを構築した(次頁図 2)。

### (3) 走査制御型可視光通信の実証

(1), (2)を統合した「走査制御型可視光受信機」を構築し、実験室で通信実験を実施した。実験結果の一例を次頁図 3

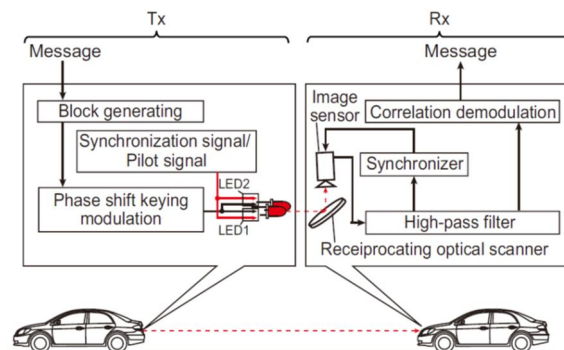


図 1: 本研究で実現した走査制御型可視光通信 (Tx: 送信機, Rx: 受信機)

に示す．走査制御型可視光受信機は，イメージセンサ上の雑音源と信号源の位置関係を知ることができ，光学スキャナを雑音と信号が干渉しない方向に走査することで，信号-雑音干渉を低減することが確認された．一方，従来の（走査制御がない）可視光受信機は，雑音によって受信信号にオフセットが加わり，信号のサチュレーションが発生していた．そのため，信号電力対雑音電力比（Signal-to-noise ratio; SNR）対 BER を求めたところ，図 3 に示される通り，走査制御型可視光受信機は，従来の可視光受信機よりも優れた通信品質を達成していることが確認できた．具体的には，従来の可視光受信機では信号-雑音干渉の影響で SNR が 2 dB になると BER が  $10^{-1}$  程度であった，走査制御型可視光受信機を用いると，同じ SNR における BER は  $10^{-4}$  であった．

#### (4) 総括

高速な光走査デバイス「MEMS ミラー」を可視光通信に初めて導入し，高度な外光干渉対策と組み合わせることで，フレームレートよりも高速に情報が伝送でき，小型，かつ，動的な外光干渉にも対応可能な新しい可視光受信機を創成することに成功した．

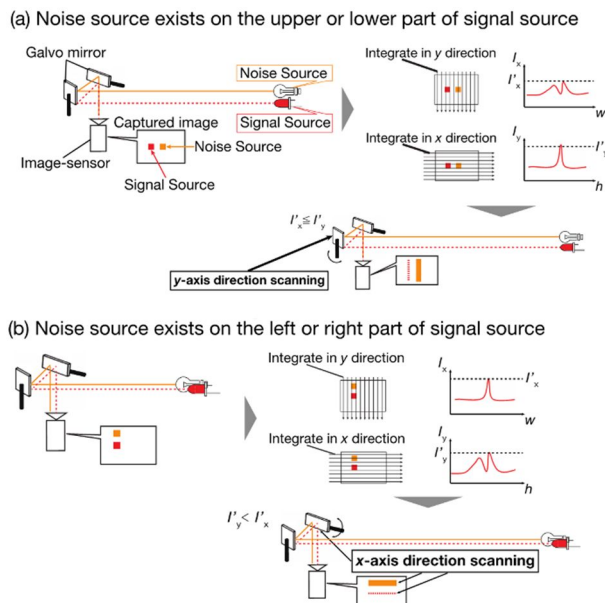


図 2：本研究で構築した MEMS ミラーの最適軌道を選択するソフトウェアの動作原理

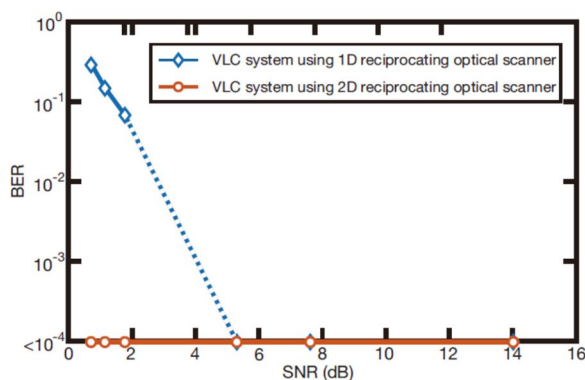


図 3：実験で得られた SNR 対 BER 特性（赤線：提案受信機，青線：従来受信機）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ritsuki Hamagami, Tadashi Ebihara, Naoto Wakatsuki, Koichi Mizutani	4. 巻 -
2. 論文標題 Underwater Visible Light Communication Using Phase-Shift Keying and Rolling-shutter Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)	6. 最初と最後の頁 842-843
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/GCCE50665.2020.9291709	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryunosuke Kurimoto, Tadashi Ebihara, Koichi Mizutani, and Naoto Wakatsuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Visible Light Communication System Using Low-speed Image Sensor and Two-dimensional Optical Scanner	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 13th International Conference on Signal Processing and Communication Systems	6. 最初と最後の頁 555-560
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICSPCS47537.2019.9008649	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Haruka Iiyama, Ryunosuke Kurimoto, Yoshihito Imai, Tadashi Ebihara, Koichi Mizutani and Naoto Wakatsuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of Compact and Vibration Resistant Receiver for Visible Light Communication Using MEMS mirror	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)	6. 最初と最後の頁 471-474
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/GCCE.2018.8574700	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 泉 亮佑, 海老原 格, 水谷孝一, 若槻尚斗
2. 発表標題 汎用カメラと円走査型光学スキャナを用いる可視光通信システムの構築に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年総合大会, 情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション予稿集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ritsuki Hamagami, Tadashi Ebihara, Naoto Wakatsuki, Koichi Mizutani
2. 発表標題 Underwater Visible Light Communication Using Phase-Shift Keying and Rolling-shutter Effect
3. 学会等名 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryunosuke Kurimoto, Tadashi Ebihara, Koichi Mizutani, and Naoto Wakatsuki
2. 発表標題 Visible Light Communication System Using Low-speed Image Sensor and Two-dimensional Optical Scanner
3. 学会等名 The 13th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Iiyama, Tadashi Ebihara, Koichi Mizutani and Naoto Wakatsuki
2. 発表標題 Design of Visible Light Image Sensor Receiver for V2V Communication
3. 学会等名 The 15th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers
4. 発表年 2018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
研究 分担者	水谷 孝一  (Mizutani Koichi)  (50241790)	筑波大学・システム情報系・研究員    (12102)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	若槻 尚斗  (Wakatsuki Naoto)  (40294433)	筑波大学・システム情報系・准教授     (12102)	

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