

部分高速読み出し可能な撮像素子を用いた LED 信号機の高尾追尾手法の研究

前野 恵太[†] 圓道 知博[†] メヒルダド パナヒプル テヘラニ[†]
藤井 俊彰[‡] 山里 敬也[†] 岡田 啓* 谷本 正幸[†]

[†]名古屋大学工学研究科 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

[‡]東京工業大学理工学研究科 〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1

*埼玉大学理工学研究科 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

E-mail: [†] maeno@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp

{yendo,panahpour,tanimoto}@nuee.nagoya-u.ac.jp

yamazato@nagoya-u.jp

[‡] fujii@it.ss.titech.ac.jp

*okada@ees.saitama-u.ac.jp

あらまし LED を用いた無線通信システムである可視光通信が提案されている。本研究では、送信機に LED 信号機、受信機に部分高速読み出し可能な撮像素子を用いた可視光通信システムの提案を行う。その為には、先行研究で達成されなかった走行環境での送信機の高尾追尾手法を実現することが不可欠である。本稿では、撮像素子の特性を活かした送信機の高尾追尾手法についての提案を行う。

キーワード 可視光通信, LED 信号機, 撮像素子, 高速追尾

High-Speed LED Traffic Sign Tracking Method Using Image Sensor with High-Speed Capturing Ability of Partial Area

Keita MAENO[†] Tomohiro YENDO[†] Mehrdad PANAHPOUR TEHRANI
Toshiaki FUJII[‡] Takaya YAMAZATO[†] Hiraku OKADA* and Masayuki TANIMOTO[†]

[†] Graduate School of Engineering, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8063 Japan

[‡] Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550 Japan

*Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama, 338-8570 Japan

E-mail: [†] maeno@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp

{yendo,panahpour,tanimoto}@nuee.nagoya-u.ac.jp

yamazato@nagoya-u.jp

[‡] fujii@it.ss.titech.ac.jp

*okada@ees.saitama-u.ac.jp

Abstract Visible Light Communication(VLC) using LEDs has been proposed as a wireless communication method. As an application of VLC in ITS, we propose a road-to-vehicle visible light communication system using an LED traffic sign as a transmitter and an image sensor as a receiver. For conducting the communication, it is necessary to have high-speed tracking of the LED traffic sign by the image sensor. In this paper, we propose new high-speed tracking method for this system.

Keyword Visible light communication, LED traffic sign, Image sensor, High-speed tracking

1. はじめに

高度道路交通システム(ITS)の分野において、LEDを用いた路車間・車々間可視光通信が研究されてきた。

LEDは従来の光源である蛍光灯などと比較して、低消費電力、長寿命、視認性の高さ、発熱の少なさといった利点を持つ為、次世代の光源として期待されている。さらに、LEDには、蛍光灯などに比べて高速な応答が可能という特徴がある。この高速応答性を利用した通信の手法が可視光通信である。可視光通信は電磁ノイズに強く、高いセキュリティを確保できる。また、光の持つ特性から、高速・広帯域の伝送路を経済的に実現可能で、隣接するネットワークに干渉を与えないといった優れた特徴を持つ。そして、現時点では、電波法の規制範囲外であり、免許もなく自由に利用出来る。

可視光通信の従来研究では、LED信号機通信や、車車間通信の研究がなされている。図1にLED信号機通信を、図2に車車間通信を示す。

LED信号機通信は、LED信号機を送信機として、LEDを高速に点滅させてデータを載せ、車載受信機でデータを受信し、ドライバーに信号の切り替わり時間や周辺道路状況、死角領域の画像情報などの運転支援情報を提供するものである。

一方車車間通信は、近年普及してきているLEDテールランプを送信機として後方の車にデータを送るものであり、LED信号機の見えない位置の車もデータを受信出来るといった研究がなされている。

これらの可視光通信の分野では、受信機としてフォトダイオードを用いた受信機や、高速度カメラが提案されてきた。フォトダイオードを用いた受信機を図3に、高速度カメラを図4に示す。

フォトダイオードを用いた受信機は、フォトダイオードの高速応答性を利用して高速で大容量の通信を行うことが出来る。しかし、長距離通信をする為の望遠レンズや、任意方向の光を取り込むための2枚のミラー、信号機検出用のカメラなどを備えなければならず、装置全体が大きくなってしまい車載向きであるとはいえない。さらに、追従性が低いという問題もある。

一方高速度カメラは、送信機の検出、追尾、通信をそれ一台で行え、高い追従性を持つ。しかし、通信容量は高速度カメラのフレームレートに依存してしまう為、前者のような大容量通信は出来ない。さらに、前者同様カメラが大きい為車載向きであるとは言えない。

そこで、高棹らは、部分高速読み出し可能な撮像素子(以下、光通信用カメラ)を受信機に用いる手法を提案した。光通信用カメラは、受光部に2種類の画素を備えることで、高速度カメラのように映像を取得しつつ、フォトダイオードを用いた受信機のように高速な通信を行うことができ、さらに小型で車載向きであ

るという優れた特徴を持つ。表1にフォトダイオードを用いた受信機、高速度カメラ、光通信用カメラの特性比較を示す。

高棹らは、この光通信用カメラを用いて複数光源の中から送信機のみを検出することに成功し、送信機の移動量が少ない場合の送信機の追尾を確認した。しかし、高棹らの手法は、車の振動により生じる送信機位置の速い動きに対応することが出来なかった。

そこで本研究では、光通信用カメラの特性を活かした通信手法を提案することを目指し、特に、LED信号機の高速度追尾手法を提案することを目的とする。

本稿は以下のように構成される。2で光通信用カメラについて述べ、3では先行研究である高棹らの手法と問題点について述べ、4で提案手法について述べる。5はまとめと今後の課題である。

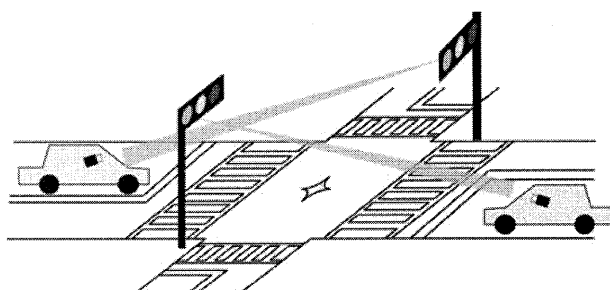


図1：LED信号機通信

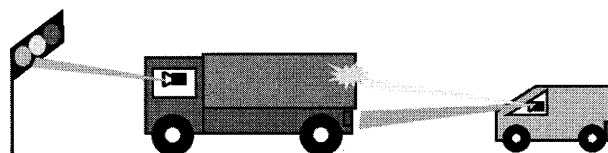


図2：車車間通信

表1：受信機の特性比較

受信機 \ 特性	高速通信	追従性	車載性	コスト
フォトダイオードを用いた受信機	○	×	×	×
高速度カメラ	×	○	×	×
光通信用カメラ	○	○	○	○

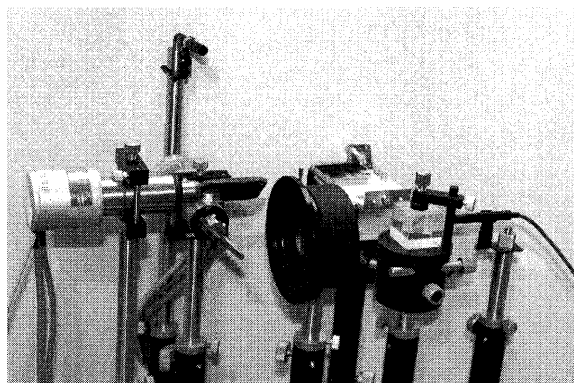


図 3 : フォトダイオードを用いた受信機

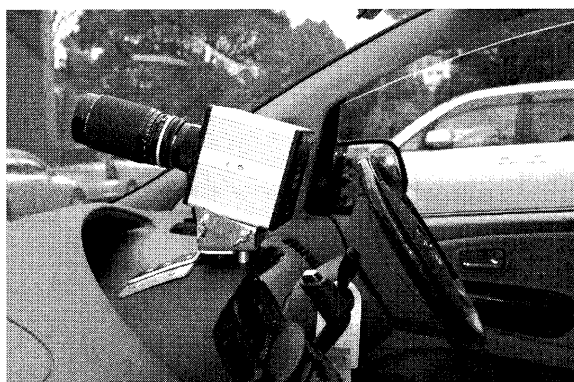


図 4 : 高速度カメラ

2. 光通信カメラ

光通信カメラは、15cm 四方程の小さな撮像素子であり、容易に車載することが可能である。図 5 に光通信カメラの外観を示す。受光部には、 640×480 の画素があり、2 種類の画素を備える。1 つ目の画素は映像を取得する為の画素（以下、映像用画素）であり、 640×240 の画素で 8bit のグレースケールの映像を 30fps で取得出来る。2 つ目の画素は通信の為の画素（以下、通信用画素）であり、 640×240 の画素のうち指定した 5×5 画素の領域（以下、通信領域）に限り、光の強度をフォトダイオードのように高速に取得出来る。この時、取得出来る値は、任意の閾値によって 2 値化されたものである。次に、画素配置を図 6 に示す。この画素配置によって、映像用画素で検出した送信機位置に、1 画素以内のずれで通信領域を設定することができ、追従性の高い高速な通信が実現可能であると考えられる。通信領域を設定した様子を図 7 に示す。また、光通信カメラのボード部にはデータ処理用に FPGA (Field Programmable Gate Array) が搭載されており、論理回路を書き換えて任意の高速な処理が可能である。

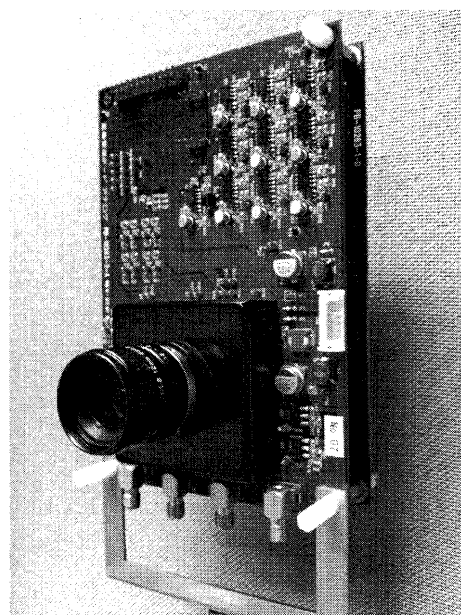


図 5 (a) : 光通信カメラの外観 (レンズ装着時)

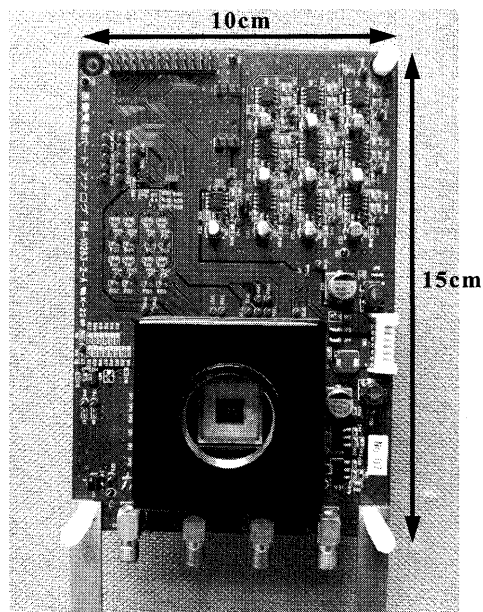


図 5 (b) : 光通信カメラの外観 (レンズ非装着時)

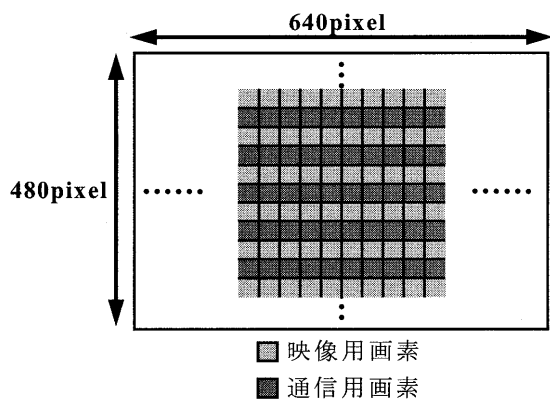


図 5 : 受光部の画素配置

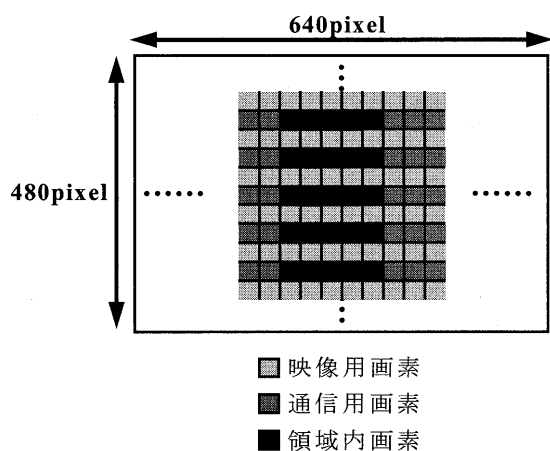


図 6 : 通信領域の指定

3. 先行研究

本研究は先行研究である高棹らの手法に基づく為、まずその手法について述べる。

本研究の通信環境は、送信機が LED 信号機、受信機が車載光通信用カメラであり、LED 信号機の全体が一樣にオンオフしてデータを送ることを想定する。

この LED 信号機通信は、大きく以下の 3つの段階に分けられる。

- 1 : 検出 - 複数ある光源の中から送信機を検出
- 2 : 追尾 - 検出された送信機を追尾
- 3 : 通信 - 得られた点灯パターンをデータに復号

この中で、高棹らは検出と追尾の提案を行った。以下でその手法を説明し、その問題点を示す。

3.1. 送信機の検出

送信機の検出では、映像用画素で取得した映像から、輝度が高く、円形であるといった情報を用いて送信機候補領域を推定し、その領域が送信機であるかどうかを通信用画素を用いて確認を行う。まず初めに、送信機候補領域とみなされた領域の画素数を sum とする。次に、この領域に通信領域を設定し、領域内の各通信用画素で 1ms 間の輝度の変化回数を数える。この変化回数が 50 回以上である時、その画素での送信機候補値を 1、50 回未満である時、送信機候補値を 0 とする。通信領域は 5×5 画素であるため、この処理で 25 個の送信機候補値を取得する。そして、この 25 個の送信機候補値の合計が、以下で示す閾値 th 以上である場合に、その送信機候補領域を送信機として検出する。

$$th = \begin{cases} 15 & (sum > 25) \\ 0.6 \times sum & (sum \leq 25) \end{cases}$$

送信機以外の領域は、変化がほとんどない為に、この手法で送信機の誤検出を防ぐことが出来る。

3.2. 送信機の追尾

送信機の追尾では、検出された送信機を、映像用画素を用いて追尾する。まず、検出された送信機の周りに次の探索エリアを限定し、次のフレームで検出処理を実行する。そして、再検出された送信機の移動量を通信領域に反映することで追尾を行う。

3.3. 追尾手法の問題点

高棹らの手法は、複数光源の中から送信機のみを検出することが出来たが、映像用画素で追尾を行っていた為に、送信機が 1 フレームで 5 ピクセル以上移動する場合、通信領域から送信機が外れてしまう為に通信が不可能になるという問題があった。実際の走行環境では、走行時の振動などにより、1 フレームで 5 ピクセル以上移動することも少なくない為、映像用画素での追尾は難しいと言える。

4. 提案手法

前節で述べた通り、映像用画素を用いての追尾は難しい為、通信用画素を用いて追尾を行う必要がある。この場合、高速処理が必要であるが、光通信用カメラのボードには FPGA が搭載されているので、FPGA に追尾機能を実装して実現することを考える。

送信機は、撮影実験により 2ms あたり最大で縦横 1 ピクセル動くことがわかっている。また、通信領域の移動時間は 1ms 未満で可能である。このことから、2ms 毎に通信領域の位置を更新する手法を提案する。

図6に提案手法のフローチャートを示す。

まず初めに、高棹らの検出手法を用いて、通信領域の位置設定を行う。次に、通信領域内の各通信用画素から送信機候補値を取得する。そして、前回送信機候補値1を取得したが今回取得出来なかった各ピクセルに対して、最近傍の送信機候補値1のピクセルを探索し、ベクトルを求める。さらに、求めた全ベクトルの平均を取ることで移動ベクトルを求め、通信領域に反映する。通信領域の再設定後はフローチャートに示すように送信機候補値の取得から繰り返し行うことで追尾を行う。

送信機候補値の取得は1msかかり、移動ベクトルの計算と通信領域の再設定は1ms以内で行うことが出来るので、提案手法により、2ms毎に通信領域の位置を更新でき、送信機の高速追尾が可能であると言える。

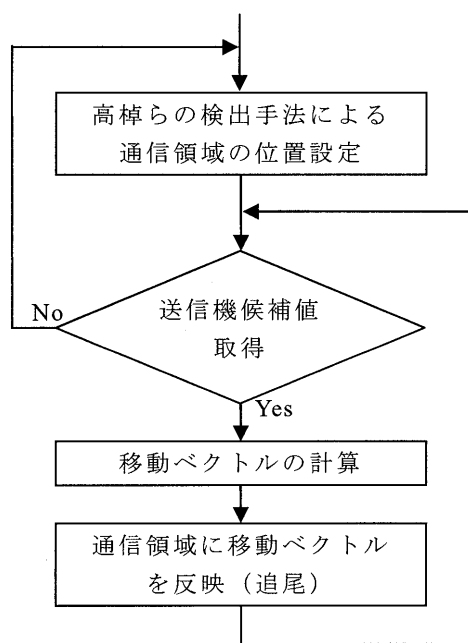


図6：提案手法のフローチャート

5. まとめと今後の課題

本稿では、部分高速読み出し可能な撮像素子である光通信用カメラを用いたLED信号機の高速追尾手法を提案した。提案手法は、先行研究で達成出来なかった送信機の高速追尾を通信用画素を用いて行う手法であり、本手法により送信機の高速追尾が可能であると考えられる。

今後は、光通信用カメラのボード部のFPGAに本手法を実装し、車載実験を行い本手法の有用性を検討したい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、撮像素子を提供して下さった、株式会社豊田中央研究所、静岡大学川人祥二教授に深く感謝致します。

また、本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発制度(SCOPE)による。

文 献

- [1] 国土交通省道路局 ITS ホームページ,
“<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/>”
- [2] 中川正雄, “可視光通信と ITS,” 信学技報, ITS2006-14, July.2006.
- [3] 赤根川雅子, 田中裕一, 中川正雄, “LED 式交通信号機を利用した交通情報システムの基礎検討,” 信学技報, ITS2000-8, May.2000.
- [4] 前原基芳, 春山真一郎, 中川正雄, “受信機に追尾機構を用いた LED 式交通信号機による情報提供システムの特性解析,” 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2001-2, pp.7-12, May.2001.
- [5] 林靖彦, 福原敏彦, 国安章男, 梅野正義, 村瀬真一, 河野敦史, “信号機を用いた可視光通信の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2001-147, pp.111-116, May.2002.
- [6] 旭健作, 澤井佑介, 三好史泰, 青山泰弘, 小川明, “LED 交通信号機を用いた光空間通信方式の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2007-14, July.2007.
- [7] 増田恭一郎, 山里敬也, 岡田啓, 片山正昭, “LED 信号機と車載カメラを用いた可視光空間通信における階層的符号化方式,” 電子情報通信学会論文誌(A), vol.J90-A, no.9, pp696-704, Sep.2007.
- [8] 増田恭一郎, “LED 信号機と車載カメラを用いた光空間通信における階層的符号化方式,” 名古屋大学大学院工学研究科修士論文, 2006.
- [9] 和田光広, “路車間通信のための並列光空間伝送の基礎研究,” 名古屋大学大学院工学研究科修士論文, 2006.
- [10] 中川正雄, “可視光通信の世界,” 工業調査会, 2006.
- [11] 可視光通信コンソーシアムホームページ,
“<http://www.vlcc.net/>”
- [12] 春山真一郎, “可視光通信,” 電子情報通信学会論文誌(A), vol.J86-A, no.1, pp1284-1291, Dec.2003.
- [13] 小峯敏彦, 春山真一郎, 中川正雄, “白色 LED を用いた可視光通信における干渉および反射の影響,” 電子情報通信学会技術研究報告,

- WBS2003-37, SAT2003-29, pp.33-36, June.2003.
- [14] 齋藤翼, 春山真一郎, 中川正雄, “可視光通信におけるちらつき軽減の方法,” 電子情報通信学会技術研究報告, CS2006-75, pp.31-35, Jan.2007.
- [15] 齋藤翼, 春山真一郎, 中川正雄, “LED テールランプとイメージセンサを用いた可視光車間通信および測距方式の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, CAS2005-138, pp.121-126, Feb.2006.
- [16] 杉山英充, 春山真一郎, 中川正雄, “可視光通信に適した変調方式の実験的検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, OCS2005-19, pp.43-48, May.2005.
- [17] 北野尚吾, 春山真一郎, 中川正雄, “LED 道路照明を用いた通信システムの提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, WBS2003-30, pp.37-40, June.2003.
- [18] 宮内聡, 小峯敏彦, 後輝行, 吉村真一, 春山真一郎, 中川正雄, “高速 CMOS イメージセンサを用いた二次元送受信器による並列光空間通信の提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, CS2004-18, pp.7-12, May.2004.
- [19] 石田正徳, 宮内聡, 小峯敏彦, 春山真一郎, 中川正雄, “2次元送受信機による高速な並列空間可視光通信システムの設計,” 電子情報通信学会技術研究報告, OCS2005-20, pp.49-54, May.2005.
- [20] 湊淳, 伊多波正徳, 小澤哲, 中川正雄, “PWM 変調と AM 受信で構成された簡易可視光通信システム,” 電子情報通信学会論文誌(B), vol.J88-B, no.12, pp.2390-2393, Dec.2005.
- [21] 原 俊樹, 圓道 知博, 藤井 俊彰, 谷本 正幸, “ITS のための長距離高速可視光通信の基礎実験,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.107, no.379, pp.83-88, Dec.2007.
- [22] 高棹大輔, “光通信用撮像素子を用いた可視光通信のための送信機検出の研究,” 名古屋大学大学院工学研究科修士論文, 2010.