

車両走行時における振動を考慮した路車間可視光通信システムにおける測距精度向上手法

大村 明寛<sup>†a)</sup> 山里 敬也<sup>†</sup>  
 岡田 啓<sup>†</sup> 藤井 俊彰<sup>†</sup>  
 圓道 知博<sup>††</sup> 荒井伸太郎<sup>†††</sup>  
 鎌倉 浩嗣<sup>††††</sup>

Distance Estimation Scheme for Integrated V2I-VLC for driving vehicle

Akihiro OHMURA<sup>†a)</sup>, Takaya YAMAZATO<sup>†</sup>,  
 Hiraku OKADA<sup>†</sup>, Toshiaki FUJII<sup>†</sup>, Tomohiro YENDO<sup>††</sup>,  
 Shintaro ARAI<sup>†††</sup>, and Koji KAMAKURA<sup>††††</sup>,

<sup>†</sup>名古屋大学大学院  
 Nagoya University  
<sup>††</sup>長岡技術科学大学 電気系  
 Nagaoka University of Technology  
<sup>†††</sup>香川高等専門学校  
 Kagawa National College of Technology  
<sup>††††</sup>千葉工業大学  
 Chiba Institute of Technology  
 a) E-mail: ohmura@katayama.nuee.nagoya-u.ac.jp

あらまし

送信機に LED 信号機, 受信機に車載高速度カメラを用いた路車間可視光通信システムにおける測距手法にて, 走行時における測距手法を提案する. 結果として静止環境と同等の精度での測距を達成した.

キーワード 可視光通信, 距離推定, 高速度カメラ, 位相限定相関法

1. ま え が き

送信機に LED 光源, 受信機に高速度カメラを用いた路車間可視光通信・測距システムを考える [1]. このシステムにおいて, 送信機の画像上の大きさを推定することで送受信機間距離を推定する. 我々は, 文献 [1] において, LED アレイのピクセル幅をサブピクセルレベルで推定するために位相限定相関法 (POC) を用いた手法を提案した. 結果として, 静止環境において相対距離 60m 地点で誤差 0.1m 程度 (画像上で誤差 0.02pixel) で距離推定が可能であることを示した. しかし, 走行環境にて上記手法を用いると, 推定誤差が 5m 程度となってしまう. そこで本稿では, 振動の影響を軽減させる手法の提案を行う.

2. システムモデル

本稿の路車間可視光通信・測距システムは文献 [1] と同一のものを使用する. 送信機は LED が正方形に並んだ LED アレイである. LED を個別にかつ高速に点滅させることで情報を送信することができる. 点灯パターンの中に図 1 の左 2 つに示す測距用パターン

A, B を付加する.

受信機では, LED アレイを 1,000 fps (frame per second) にて撮影する. 図 1 の右 2 つに測距用点灯パターンを撮影した画像 (イメージ図) を示す. ここで,  $k$  番目に測距用点灯パターン A を撮影した画像を  $f_k^A(m, n)$ ,  $k + 1$  番目に測距用点灯パターン B を撮影した画像を  $f_{k+1}^B(m, n)$  と表記する. また,  $m, n$  はそれぞれ撮影画像における  $m$  方向,  $n$  方向の画素を指す.

文献 [1] では LED アレイのピクセル幅  $W$  が距離のみに依存することを用いて送受信機間距離を推定する. 一般に, 画像上の LED アレイ幅はピクセル単位でしか得られない. これを  $W_m, W_n$  と表し, 整数値をとる. しかし, 実際にはサブピクセル単位, すなわち  $W_m + \delta_m, W_n + \delta_n$  となる. ここで  $\delta_m, \delta_n$  は小数値を表す. 文献 [1] では POC を用い,  $\delta_m, \delta_n$  まで推定することで距離推定精度を向上させている.

しかし, 走行環境では車両の振動の影響により 2pixel 程度のずれが生じる [2].

3. 走行環境における相対距離推定

簡単のために, POC の自己相関を考える. 例えば, 静止環境において図 1 の点灯パターン A を 2 回送信した場合,  $f_k^A(m, n) = f_{k+1}^A(m, n)$  となり, POC 出力の中心にピークが得られる.

一方, 車両走行時では, たとえ 1,000fps で撮影したとしても車両振動の影響で  $V_m + v_m, V_n + v_n$  だけ POC 出力のピーク位置がシフトする. ここで,  $V_m, V_n$  は整数値,  $v_m, v_n$  は小数値をそれぞれ表す.

そこで, 測距用点灯パターン A, B をそれぞれ撮影した画像  $f_k^A(m, n), f_{k+1}^B(m, n)$  を POC の入力として用いる. POC 出力  $G_{k,k+1}(m, n)$  を式 (2) に示す.

$$G_{k,k+1}(m, n) = \tag{1}$$

$$\begin{cases} 0.5 & m = V_m + v_m, n = V_n + v_n \\ \xi_1 (< 0.5) & m = V_m, n = V_n \\ 0.5 & m = W_m + \delta_m + V_m + v_m, \\ & n = W_n + \delta_n + V_n + v_n \\ \xi_2 (< 0.5) & m = W_m + V_m, n = W_n + V_n \\ \epsilon & otherwise \end{cases}$$

$\xi_1, \xi_2$  は点灯した LED に対応する 2 つのピークのピクセルレベルでのピーク値であり, 最大値は 0.5 である. また,  $\epsilon$  は雑音を表している.

右辺の 1 番目, 2 番目の項は「パターン A」と「パターン B の左上の LED」との POC 出力で, 振動の

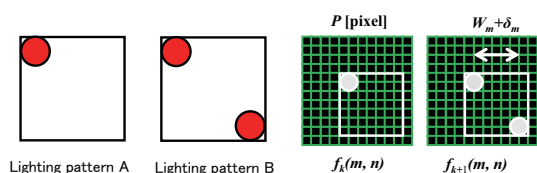


図1 測距用点灯パターンと撮影画像  
Fig1 :Lighting patterns and captured images

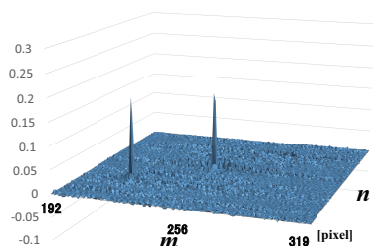


図2 入力画像に振動用点灯パターンを用いた場合の位相限定相関結果  
Fig2 :Result of POC by using the lighting patterns for vibration

大きさである  $V_m + v_m, V_n + v_n$  だけずれた位置に出現する。同様に、右辺の3番目、4番目の項は「パターンA」と「パターンBの右下のLED」とのPOC出力で、LEDアレイ幅である  $W_m + \delta_m, W_n + \delta_n$  に  $V_m + v_m, V_n + v_n$  をそれぞれ足した位置に出現する。つまり、上記パターンを用いた場合、たとえ振動ずれが発生しても2本のピークの相対位置は入力した2枚目の画像のLEDの相対位置のみに依存することになり、頂点の座標の差を取ることで振動の影響を取り除くことができる。なお、ピーク位置の推定には1/2のsinc関数フィッティングを行うことで文献[1]と同様に精度の高い距離推定が可能となる。

本手法では、2つのsinc関数によるフィッティングを行うため、サイドローブの重なりによるフィッティング精度の低下が考えられる。しかし、 $\epsilon$ は0.01未満となることを実験で確認している。このことから、2つのsinc関数のサイドローブの和が0.01未満となれば影響を無視できる。今回の実験装置ではピーク間が50pixel以上離れた場合にはフィッティングに大きな影響を与えない。

#### 4. 実験

表1の諸元に従い、提案手法の評価実験を行った。図3に推定距離誤差特性を示す。各プロットは推定誤差、実線は各プロットから導出した近似曲線、破線はそれぞれ上から2pixelずれ、1pixelずれ、0.5pixelず

表1 実験諸元

Table1 :Parameters of the experimental instruments

レンズの焦点距離 $f$	35mm
ピクセルピッチサイズ $\alpha$	10 $\mu$ m
車速	15km/h 程度
解像度 $P$	512×512 ピクセル
実験距離 $L$	30m-60m
LEDアレイ	32×32, 縦 46.5cm 横 46.5cm

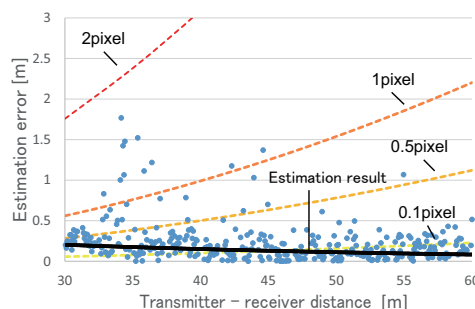


図3 推定距離誤差特性  
Fig3 :Distance estimation error performance

れ、0.1pixelずれを与え、求めた結果である[1]。近似曲線において、相対距離60m地点ではおよそ0.1mの誤差となり、0.04pixelの推定誤差が発生した場合と同様の推定結果となった。また、稀に出現する1m程度の推定誤差は路面の凹凸により車体が傾き、LEDアレイが正方形に撮影されなかったことが原因である。

#### 5. まとめ

車両走行時における振動を考慮した可視光通信距離推定手法について提案した。POCに入力する2枚目の画像を2点で点灯させたものに変更することにより、実験にて、静止環境と同等の0.04pixel程度の推定誤差で相対距離を推定できることを確認した。

#### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研基盤(C)(23560449)および豊田中央研究所の助成を受けて行われたものである。記して謝意を表す。また、日頃熱心にご指導頂く、名古屋大学エコトピア科学研究所教授山正昭先生、助教授小林健太郎先生に深く感謝する。

#### 文献

- [1] 大村明寛, et al. “位相限定相関法を用いた路車間可視光通信システムにおける測距精度向上手法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J96-B, no.12, pp.1365-1368, December 2013
- [2] 白木康建, et al. “走行車両が高速度カメラを用いて情報を受信するユビキタス可視光通信のための複数情報源認識手法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J95-B, no.11, pp.1517-1528, November 2012

(平成 xx 年 xx 月 xx 日受付)

**Abstract** A distance estimation scheme for vehicle to infrastructure using visible light communication is discussed. As vehicle vibration severely affect the distance estimation performance, we introduce a new LED lighting patterns for the distance estimation. As the result, we acheive nearly the same distance estimation performance for the case of non-driving.

**Key words** Visible Light Communication, Distance Estimation, High-speed camera, Phase-Only Correlation