

## [技術展示] LEDアレイと高速度カメラを用いた 路車間可視光通信のリアルタイム伝送

笠嶋 達也<sup>†</sup> 白木 康健<sup>†</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>

<sup>†</sup> 名古屋大学 〒 464-8603 名古屋市千種区不老町  
<sup>††</sup> 長岡技術科学大学 〒 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1  
<sup>†††</sup> 香川高等専門学校 〒 769-1192 香川県三豊市詫間町香田 551  
 E-mail: †kasasima@katayama.nuee.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本稿では LED 信号機と高速度カメラを用いた路車間可視光通信システムを考える。LED を高速に変調し無線通信を行うことを可視光通信といい、また路車間通信とは車両と道路上のインフラ機器との通信のことで、安全運転支援情報の伝送を目的としている。送信機に LED アレイ、受信機に高速度カメラを用いた可視光通信システムについての研究は、これまでに実際に通信実験も行われており、その有効性が示されている。しかし、実験において受信情報の復号はオフラインで行われており、リアルタイム通信は実現できていなかった。本稿では、この可視光通信システムにおいてリアルタイム復号ができるように開発した受信機を紹介する。

キーワード 可視光通信, 路車間通信, ITS, リアルタイム伝送

## [Technology Exhibition] Real-Time Data Transmission of Road-to-Vehicle Visible Light Communication System Using LED Array and High-Speed Camera

Tatsuya KASASHIMA<sup>†</sup>, Yasutake SHIRAKI<sup>†</sup>, Takaya YAMAZATO<sup>†</sup>, Hiraku OKADA<sup>†</sup>,  
 Toshiaki FUJII<sup>†</sup>, Tomohiro YENDO<sup>††</sup>, and Shintaro ARAI<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, JAPAN  
<sup>††</sup> Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, 940-2188, JAPAN  
<sup>†††</sup> Kagawa National College of Technology, 551 Kohda, Takuma-cho, Kagawa, 769-1192, JAPAN  
 E-mail: †kasasima@katayama.nuee.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** In this paper, we discuss road-to-vehicle visible light communications using an LED array as the transmitter and a high-speed camera as the receiver. The visible light communication (VLC) is a wireless communication that a transmitter consists of LED array and it transmit data by Turing LEDs on and off at high speed. We consider applying this VLC technique to the road (infrastructure) -to-vehicle communication for a purpose to support safety driving. So far, we have confirmed effectiveness of the VLC system through static and driving experiments. However, all those experimental results were obtained by off-line processing. In this paper, we introduce a real-time processing of the VLC receiver that captures not only the captured images by also the data transmitted from the LED array. The detail of the VLC receiver will be shown at the technology exhibition.

**Key words** Visible Light Communication, Road-to-Vehicle Communication, ITS, Real-time transmission

## 1. はじめに

LEDには白熱灯と比べ高電力効率、長寿命、低発熱、高視認性といった利点があり、照明として幅広く利用されるようになり、LED信号機の普及も進んでいる。さらにLEDは半導体デバイスであるため高速点滅が可能であり、この特徴を利用して人の目には点滅していると分からない程高速にLEDを点滅させることにより、照明や標示として使うのと同時に情報通信機器としての役割を持たせることが可能となる。このようにLEDを高速に変調させて行う無線通信可視光通信と呼ぶ[1]。本研究では受信機に高速度カメラを用いた可視光通信を路車間通信に適用することを想定している。路車間通信とは車両と道路上のインフラ機器との通信のことで、安全運転支援情報を車内に伝送することを目的としている。ここで用いる受信機の高速度カメラは車両のドライブレコーダやナビゲーション端末などを、また送信機のLEDアレイは信号機への適用を想定している。高速度カメラを用いる利点としては、受信機の視野角を広くできること、送信機の位置の推定が容易であること、複数情報源から同時に信号を受信できることが挙げられる。送信機にLEDアレイ、受信機に高速度カメラを用いた可視光通信システムについての研究は、これまでに実際に実験も行われており、その有効性が示されている[2]。しかし、実験において受信側の処理はオフラインで行われており、リアルタイム通信は実現できていなかった。そこで本稿では、従来の可視光通信システムにおいてリアルタイム復号ができるように開発した受信機を紹介する。

## 2. システムモデル

図1にシステムモデルを示す。送信機は32×32の正方形列上に配置された個別に点滅可能なLEDと符号器からなり、受信機は高速度カメラと復号器から成る。送信側では安全運転支援情報などを符号化し、符号化された情報を基にLEDの点灯、消灯を制御する。本研究では送信情報に対し階層的符号化を行っている[3][4]。階層的符号化は、図2に示すように送信機と受信機が遠距離になるほど撮影画像が劣化するという空間チャネルの特性を考慮した符号化である。遠距離から撮影された画像では空間周波数の高周波成分が失われやすく、低周波成分が失われにくいため画像の劣化が起こる。そのため、階層的符号化では送信情報に優先度を設け、優先度の低い情報を空間周波数の高周波成分に、優先度の高い情報を低周波成分に割り当てる。階層的符号化を用いることにより、高優先度の情報は遠距離から受信可能となり、撮影距離が近くなるにつれて低優先度の情報も受信可能になる。しかし高優先度情報は低優先度情報に比べ伝送速度が遅くなってしまいう性質も持っているため、送信情報はこの性質を考慮する必要がある。受信側では高速度カメラによりLEDアレイを撮影する。走行中は画像内のLEDアレイの位置が常に変化するため、画像処理により撮影画

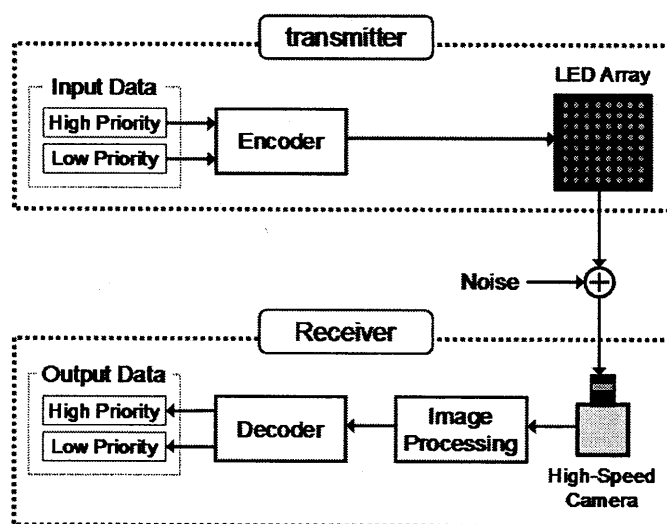


図1 システムモデル

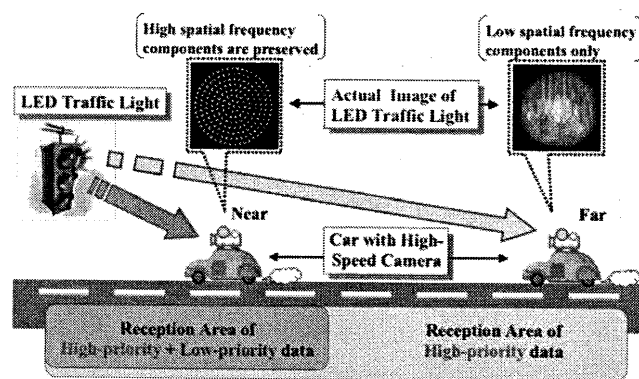


図2 階層的符号化での伝送

像からLEDアレイを検出・追跡する[5]。その後個々のLEDの位置を推定し、輝度値として情報を取得し復号する。

## 3. リアルタイム通信

従来の、想定する可視光通信システムの有効性を確認するための実験は、送信を行っているLEDアレイを高速度カメラで撮影した後に、オフラインで撮影画像から情報を抽出、復号し、評価を行ってきた。開発した受信機では撮影と同時に復号も行うリアルタイム通信が可能である。本システムでは受信機に高速度カメラを用いているため、車両前方の画像をリアルタイムで表示・録画しながらのデータの受信、復調が可能である。例として、この技術をドライブレコーダに組み込めば、車両前方の画像の録画、車両データの記録をするだけで無く、LED信号機などから伝送される現在の交差点状況などのような安全運転を支援する情報も同時に取得できるようになる。

## 4. 実験

32×32個のLEDが取り付けられたLEDアレイから情報伝送を行い、車両に搭載された高速度カメラで受信する走行実験を行い有効性を確かめた。表1に高速度カメラの使を、表2に実験諸元を、図3に実験の様子を示す。この実験では、高優先度

表1 高速度カメラの仕様

カメラ型名	フォトロン社製 FASTCAM-1024PCI 100K
撮像素子	CMOS イメージセンサ
レンズ型名	ニコン社製 NIKKOR 35mm f/1.4
焦点距離	35mm
ND フィルタ	キャノン社製 Screw-in Filter ND4-L/4x

表2 実験諸元

LED 点灯周波数	4kHz
高優先度の伝送速度	1.33kbps
低優先度の伝送速度	32kbps
カメラの撮影速度	1000fps
カメラの焦点距離	35mm
レンズのピント	無限遠
レンズの絞り	11
レンズのフィルタ	ND4L フィルター
撮影画像	モノクロ
解像度	128×128pixel
送信シンボル数	10000 シンボル
撮影距離	10m~100m
車両速度	30km/h

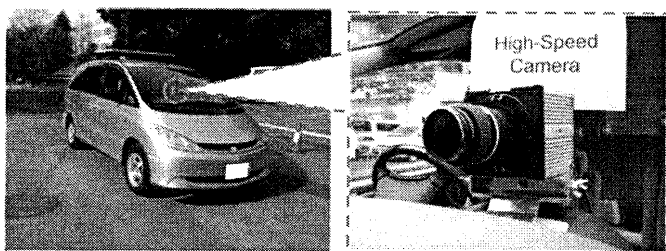


図3 実験の様子

の情報としてテキスト情報、低優先度の情報として音声情報の2種類の情報を階層的に符号化しLED アレイから伝送した。まず、どの程度の距離で各優先度の情報を受信可能なのかを調べるための静止実験を行った。通信距離を10m から100m まで10m 間隔変化させたところ、高優先度情報は通信距離が100m であっても受信可能であり、低優先度情報は通信距離が30m 以下で受信可能であることが分かった。次に、車両を走行させながら通信を行う実験を行った。LED アレイから100m 離れた地点から車両を発進させて30km/h でLED アレイの方向へ走行しながら通信を行ったところ、走行環境においても静止実験の場合と同じように各優先度の情報を受信可能であることが分かった。今回の技術展示では、情報をリアルタイムに得る様子を、走行実験時に撮影した動画により示す。また今回開発した受信機の受信処理中の画面を図4に示す。

## 5. まとめ

本稿では、送信機にLED アレイと受信機に高速度カメラを用いた路車間可視光通信システムにおいてリアルタイム通信ができるように開発した受信機を紹介した。静止環境と走行環境

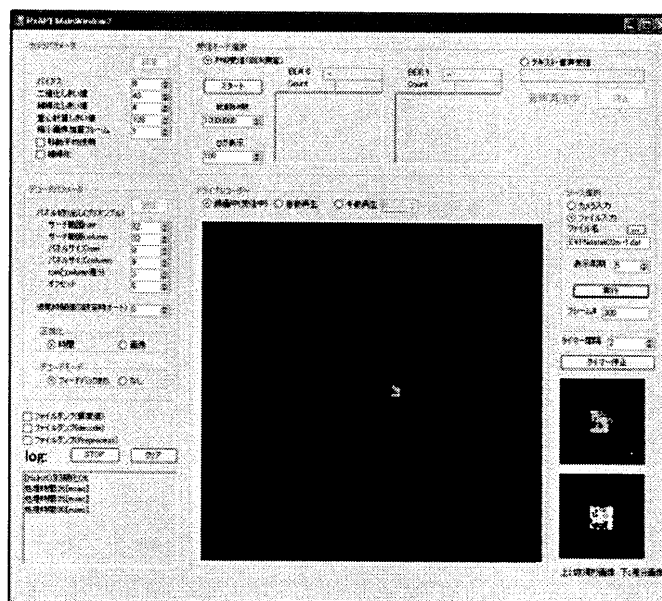


図4 受信機での受信処理中の画面

での実験により、通信距離が100mの地点から高優先度情報であるテキスト情報を受信可能であり、30mの地点で低優先度情報である音声情報を受信可能であることを確認しその有効性を確認できた。

## 謝 辞

本稿の一部は科学技術振興機構のA-STEP及び科研基盤(c)の助成を受けて行われたものである。記して謝意を表する。

## 文 献

- [1] T. Yamazato, S. Haruyama, "[Tutorial] Visible Light Communications" Proc. IEEE International Conference on Communications, June. 2011.
- [2] 白木康建, 山里敬也, 荒井伸太郎, 圓道知博, 岡田啓, 藤井俊彰, "高度道路交通システムのための可視光通信におけるブロックマッチングを用いた複数情報源の認識手法" 電子情報通信学会技術研究報告, USN2011-18, pp.73-78
- [3] S. Arai, S. Mase, T. Yamazato, T. Endo, T. Fujii, M. Tanimoto, K. Kidono, Y. Kimura, and Y. Ninomiya, "Experiment on hierarchical transmission scheme for visible light communication using LED traffic light and high-speed camera," Proc. of 1st IEEE International Symposium on Wireless Vehicular Communications, Sep. 2007.
- [4] 西本早耶香, 名倉徹, 山里敬也, 圓道知博, 藤井俊彰, 岡田啓, 荒井伸太郎, "LED アレイと高速度カメラを用いた可視光通信システムの優先度重畳符号化," 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2010-39, pp. 89-94, Mar. 2009
- [5] T. Nagura, T. Yamazato, M. Katayama, T. Yendo, T. Fujii, H. Okada, "Tracking an LED Array Transmitter for Visible Light Communications in the Driving Situation," Proc. IEEE The Seventh International Symposium on Wireless Communication Systems, Sep. 2010.