

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06080

研究課題名(和文) イメージセンサ受信機を用いた可視光通信による車車間アドホックネットワークの構築

研究課題名(英文) Vehicular Ad hoc network using Visible Light Communication with Image Sensor Receiver

研究代表者

鎌倉 浩嗣 (KAMAKURA, Koji)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：60344967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、交通信号機や車の発光ダイオード(LED)から送信されるデータを、高速度カメラに備えられたイメージセンサで受信する可視光通信において、その通信可能な範囲を拡大するための符号化技術と、異なるフレームレートで動作する高速度カメラ受信機が混在する今後のVLC環境において、異なる送信レートの情報系列を1つの送信機で収容する送受信方式を確立した。さらに、高度道路交通システムに応用可能な新たな二次元通信路の確立に必要なと考える2つの要素技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：In this study, in visible light communication which receives data transmitted from traffic lights and car light emitting diodes (LEDs) with an image sensor provided in a high speed camera, a code for expanding the communication range in a future VLC environment in which high-speed camera receivers operating at different frame rates coexist, a transmission/reception system that accommodates information sequences of different transmission rates with one transmitter was established. We further developed two elemental technologies that we believe are necessary for establishing a new two-dimensional communication path applicable to an intelligent transportation system.

研究分野：通信工学

キーワード：可視光通信 イメージセンサ 赤外線通信 発光ダイオード(LED) フレームレート 高度道路交通システム VLC アドホックネットワーク

1. 研究開始当初の背景

現在、携帯電話やタブレット、ビデオカメラなど、イメージセンサ (IS) を内蔵するカメラデバイスは幅広く普及している。IS は入射する光を、格子状に配置された多数のフォトダイオード (PD) で電気信号へ変換する素子であり、可視光通信 (VLC) の受信機として注目を集めている。実際、IEEE 標準化の Task Group (IEEE 802.12.7r1) では、IS 搭載カメラを使用した VLC についても、Image-sensor Communication (ISC) や Optical Camera Communication (OCC)、Camera Communication (CamCom) と呼称し、盛んに議論されている。IS 受信機は、単一の PD 受信機と比較し、多くの利点をもつ。その一つは、多数の受信画素によって入射光を受信するため、IS 上で複数の光源を別々のピクセルで受信できる点である。画像全体から複数の関心領域 (RoI) を分離処理することで、太陽光や背景光などの除去処理や、複数光源からの情報系列の同時受信などが、画像処理によって可能である。このような利点から、カメラを用いた VLC システムは、高度道路交通システム (ITS)、における屋外 VLC システムとして盛んに研究されている。ITS では、LED 交通信号機や表示灯、照明灯から、車両に搭載された IS 受信機へ道路情報を送信することで、安全運転支援を行う。現在、さまざまなフレームレートを持つカメラが普及していることから、車両へ搭載される IS 受信機のフレームレートもさまざまであると考えられる。この場合、IS 型カメラ受信機は自身のフレームレートに対応した情報送信光源を検出する必要がある。画像上の複数の光源に対して、対応する情報送信光源の検出判定は、高フレームレートで動作するほど、画像処理への要求が高くなるため、多数の情報送信光源から送るよりも、できるだけ少ない情報

送信光源から、複数のデータレートの情報系列を送信する方が有利である。

2. 研究の目的

本研究の目的では、1 つの送信源からフレームレートの異なる高速度カメラに対し、異なる情報系列を同時に送信するために、N 情報系列重畳システムを提案し検討することにある。この重畳システムでは、N 個の異なるデータレートを持つ情報系列を単一の送信源からパルス幅変調 (PWM) によって送信する。デューティ比を調整して送信することで、受信輝度値に任意の比率を持たせることができる。受信した3 個の連続フレームの、送信 LED 光を補足するピクセルの輝度値は、3 点離散フーリエ変換 (3pDFT) によって、カメラのフレームレートの $1=3$ の周波数を持つ正弦波の位相に関連づけることができる。第 n 番目に重畳される情報系列は、第 1 番目の情報系列の $1/(3+1)^{n-1}$ のデータレートをもつ。この“+1”は、ガードインターバルを挿入するためである。第 n 番目の情報系列を復調できるカメラは、第 n 番目以下のデータレートをもつ情報系列の全てを復調できる。

3. 研究の方法

本節では、初めに 3 点離散フーリエ変換 (3pDFT) について説明する。その後、3pDFT で求まる 3 つの値“トリアード”と、このトリアードから得られる正弦波の位相とを関係付ける。具体的には、トリアードと 4 位相とを関係づけ、3 つの連続フレームにわたって観測される輝度値が、この関係をみたすようにパルス幅変調のデューティ比を求める。連続した 3 フレームの注目領域 (RoI) についての輝度値を、 $x=(x_0, x_1, x_2)$ とする。この 3 値を用いて、3pDFT を次のように定義する。

$$X = \begin{pmatrix} X_0 \\ X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} = F x^T = \begin{pmatrix} \omega^0 & \omega^0 & \omega^0 \\ \omega^0 & \omega^1 & \omega^2 \\ \omega^0 & \omega^2 & \omega^1 \end{pmatrix} x^T \quad (1)$$

ここで、 $\omega = e^{-j2\pi/3}$ 、 x^T は x の転置を、 X_0 は直流成分、 X_1 と X_2 はカメラのフレームレートの 1/3 の成分をそれぞれ意味し、 X_1 と X_2 は複素共役の関係にある。また、3 点逆 DFT (3pIDFT) を次のように定義する。

$$x^T = \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \equiv \frac{1}{3} F^* X \quad (2)$$

ここで、 F^* は、行列 F の複素共役転置を表す。

カメラのフレームレートの 1/3 の正弦波を考えることができる。同様に、 $\theta_1 = 3\pi/4$ 、 $\theta_2 = 5\pi/4$ 、 $\theta_3 = 7\pi/4$ についても、それぞれ図 1(d), (f), (h) に破線で示されるようなカメラのフレームレートの 1/3 の周波数の正弦波が得られる。これらの正弦波の位相は、図 1(a), (c), (e), (g) にそれぞれ示される 3 つの輝度値 (トリアド) の 3pDFT によって、4 つの位相のうちの一つであると判定できる。さらに、図 1(b)-(d), (d)-(f), (f)-(h), (h)-(d) は、それぞれ位相が $\pi/2$ だけ異なる正弦波であることが分かる。

3 連続フレームの輝度値 $x = (x_0, x_1, x_2)$ を式 (1) を用いて 3pDFT することで $X = (X_0, X_1, X_2)^T$ が求まる。ここで、 X_1 はカメラのフレームレートの 1/3 の成分である。すなわち、3 つの輝度値を 3pDFT することで正弦波を考えることができる。この正弦波の位相に情報を割り当てる位相シフトキーイング (PSK) を考える。本稿では 4 値 PSK、すなわち QPSK として説明する。

QPSK シンボル $q, q \in \{0, 1, 2, 3\}$ 、に対して、 P_{θ_q} を次のように定義する。

$$P_{\theta_q} = \begin{pmatrix} 0 \\ e^{j\theta_q} \\ e^{-j\theta_q} \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここで、 θ_q は正弦波の位相であり $\theta_q = (2q + 1)/4$ とする。

P_{θ_q} を式 (1) を用いて 3pDFT することで、時間領域に対応する 3 つの連続値 $p_q = (p_{q,0}, p_{q,1}, p_{q,2})^T$ が決定する。この 3 値 p_q を、これ以降、“トリアド”と呼ぶ。4 つの位相 θ_q に対応するトリアド p_q を、表 1 に示す。

しかしながら、表 1 の p_q は負の値をもつが、強度変調直接検出の VLC では負の値は存在しないため、次のように補正したトリアド \dot{p}_q を考える。

$$\dot{p}_q = p_q + |\min(p_q)| = (\dot{p}_{q,0}, \dot{p}_{q,1}, \dot{p}_{q,2}) \quad (4)$$

このとき、 $\dot{p}_{q,i} \geq 0, i \in \{0, 1, 2\}$ 、である。

表 1 4 つの位相とそれに関連するトリアド

q	θ_q	$p_{q,0}$	$p_{q,1}$	$p_{q,2}$	$\dot{p}_{q,0}$	$\dot{p}_{q,1}$	$\dot{p}_{q,2}$
0	$\pi/4$	0.472	-0.644	0.173	1.115	0	0.817
1	$3\pi/4$	-0.471	-0.173	0.644	0	0.299	1.115
2	$5\pi/4$	-0.471	0.644	-0.173	0	1.115	0.299
3	$7\pi/4$	0.471	0.173	-0.644	1.115	0.817	0

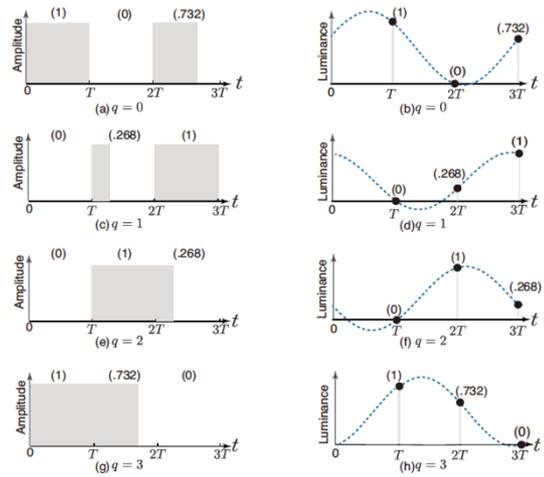


図 1 (a), (c), (e), (g) は表 1 に示す QPSK に対応する PWM 波形。(b), (d), (f), (h) は受信側で LED を補正するピクセルの輝度値の比とフレームレートの 1/3 の正弦波。

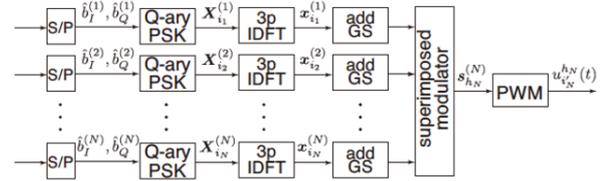


図 2 N 情報系列を重畳する送信機のブロック図

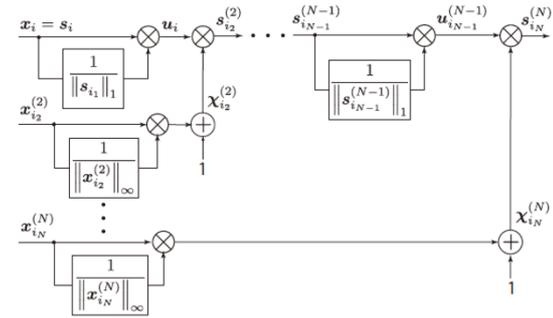


図 3 N 情報系列重畳変調器

4. 研究成果

実証実験では、500symbol/s と 125symbol/s の 2 つの情報系列を重畳した重畳信号を 1 つの送信機から送信し、2000fps と 500fps で動作する 2 台の高速カメラで受信した。2000fps で動作する高速カメラは、500 symbol/s の情報系列と 125symbol/s の情報系列の両情報系列を、500fps で動作する高速カメラは、125symbol/s の情報系列をビット誤りなく通信可能な範囲を確認した。これらの通信が、500symbol/s の情報系列を 2000fps の高速カメラで、125symbol/s の情報系列を 500fps の高速カメラでそれぞれ独立に送受信する非重畳システムの

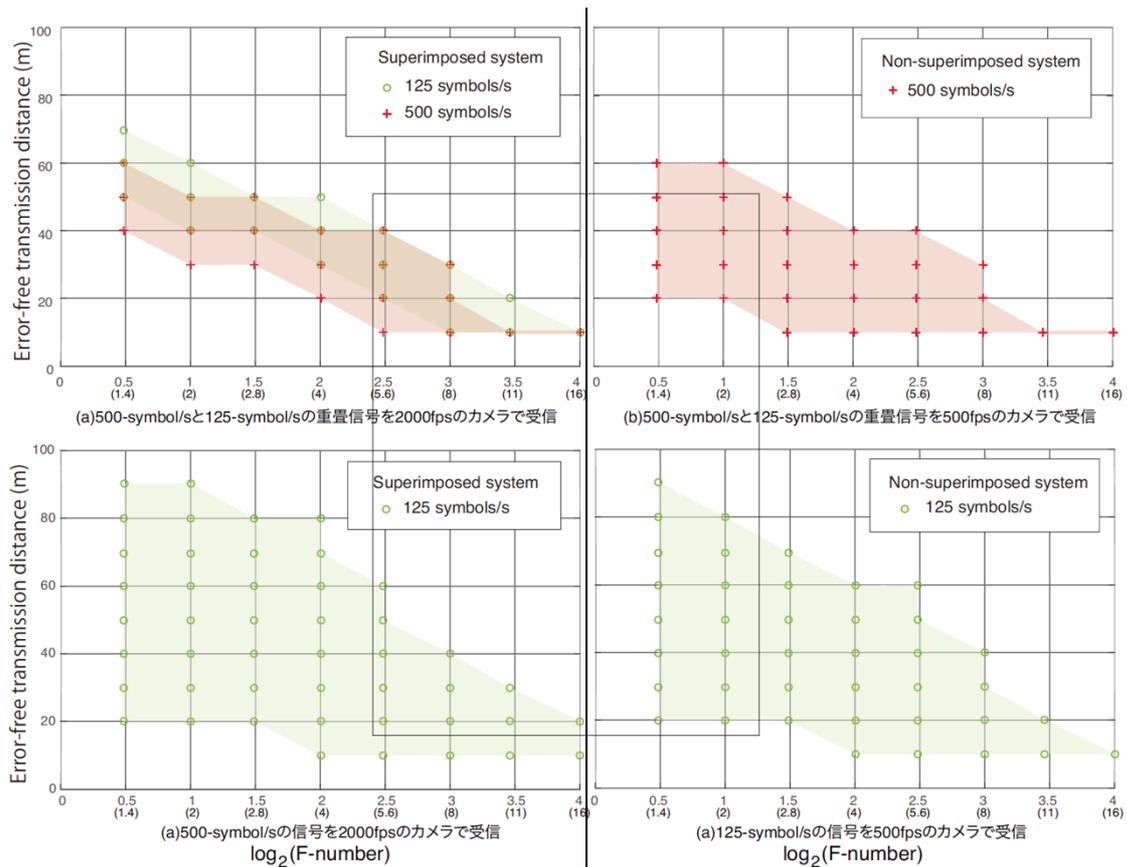


図4 測定した誤りなし通信距離に対するF値

ビット誤りなし通信範囲と同等であることも確認した(図4)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① Koji Kamakura, "Image Sensors Meet LEDs," IEICE Transactions on Communications, vol. E100-B, no. 6, 917-925, June 2017. (査読有り)
- ② Keisuke Masuda, Koji Kamakura, and Takaya Yamazato, "Spatial Modulation for Layered Space-Time Coding Used in Image-Sensor-Based Visible Light Communication," IEICE Transactions on Communications, vol. E100-B, no. 6, pp. 932-940, 2017. (査読有り)
- ③ 川合悠太 山里敬也 岡田啓 藤井俊 彰 圓道知博 荒井伸太郎 鎌倉浩嗣, "車路間可視光通信のためのオクルージョンを考慮したLEDヘッドライト追跡手法を用いたオクルージョン後の車両位置推定再開時間の短縮," 電子情報通信学会論文誌, vol. J100-B, no. 1, pp. 30-33, 2017年1月. (査読有り)

[学会発表] (計3件)

- ① Syuto Kibe, Koji Kamakura, and Takaya Yamazato, "N-Stream Superimposed System with m-Point DFT for

Image-Sensor-Based Visible Light Communication," 2017 IEEE Global Communications Conference, December 2017.

- ② Koji Kamakura, "Modulation and Coding for Visible Light Communication with Image sensors," 7TH IEEE GLOBECOM WORKSHOP ON OPTICAL WIRELESS COMMUNICATIONS (招待講演) December 2017.
- ③ Koji Kamakura and Takaya Yamazato, "Modulation and Coding for Visible Light Communication," Proc 2017 IEEE Photonics Conference (IPC), Orlando, FL, USA, October 2017

6. 研究組織

- (1) 鎌倉 浩嗣 (KAMAKURA Koji)
千葉工業大学・情報科学部・教授
研究者番号: 60344967