

ローリングシャッター効果を用いた 調光可能な可視光通信システムの設計と実装

堺井 大地^{1,a)} 川上 朋也¹ 柴田 直樹¹ 伊藤 実¹

概要：新しい通信インフラとして可視光通信が注目されている。情報を可視光に乗せて送信しカメラなどで受信することで無線通信を実現するものである。電波を用いた通信では人体への悪影響や送電電力の限界などから可視光通信の研究が進んでいる。それに伴い、可視光通信に対応した高いフレームレートのカメラが必要となる。現在配信されている可視光通信を用いたアプリでは、モバイル端末のカメラのフレームレートに合わせた8ビットほどの通信しか行うことができない。そこで低いフレームレートのカメラでも高いデータレートで通信を可能にするために、ローリングシャッター効果を用いた可視光通信が研究されている。しかし、環境光や可視光自身の明るさの違いから固定のフレームレートで通信を行わなければならない。本論文ではその問題に対して、ローリングシャッター効果を用いた調光可能な可視光通信システムの設計及び実装を行う。

キーワード：可視光通信, ローリングシャッター効果, 調光, マンチェスター符号化法, デューティ比

1. はじめに

照明器具, 交通信号機, ディスプレイなどの光源として, 可視光 LED が急速に普及しつつある。それに伴い, 可視光 LED を用いた通信, いわゆる可視光通信が新しい通信インフラとして注目されている [1-4]。2003年11月には可視光通信コンソーシアム (Visible Light Communications Consortium; VLCC)^{*1}が発足し, 2014年5月には VLCC から発展した可視光通信協会 (Visible Light Communications Association; VLCA)^{*2}が設立されている。文献 [1] では可視光通信の応用として, 照明光通信, ユビキタス可視光表示通信, ITS (Intelligent Transport Systems; 高度道路交通システム) 可視光通信が挙げられている。また, 文献 [2] ではイメージセンサ通信について述べられている。

可視光通信については, さまざまな環境における実現や性能向上のための研究が行われている [5-9]。文献 [2] では可視光通信を使用し, モバイル端末 (スマートフォン) のカメラによるデータ受信のスキームを提案している。文献 [2] では CMOS センサーのローリングシャッター効果 [10] を利用し, 送信データは明暗縞の帯としてカメラで

撮影される。ローリングシャッター効果により, 文献 [2] ではカメラのフレームレートよりも高いレートでのデータ通信を可能にしている。しかし, さまざまなモバイル端末のカメラで可視光通信を行うためには, 各カメラのフレームレートに適切に合わせて通信を行う必要がある。

そこで本研究では, ローリングシャッター効果を用いた可視光通信において, さまざまなフレームレートに対応した調光が可能な符号化法の実現を目的とする。本稿では既存研究と関連技術について述べ, 同期かつ調光が可能な可視光通信システムを検討する。

2. 関連研究

本章では, 可視光通信の関連研究について, それぞれの関連研究の特徴をまとめる。その後本研究の位置づけについて述べる。

2.1 可視光通信のための既存研究

可視光通信については, さまざまな環境における実現や性能向上のための研究が行われている [5]。

Danakis らは, 可視光通信を使用し, モバイル端末のカメラにおけるデータ受信のためのスキームを提案している [5]。スマートフォンのカメラは, 人間の目には見えない光の連続的な変化状態を受信する受信機として利用する。送信する情報は, スマートフォンによってデコードされ,

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology University

^{a)} sakai.daichi.rr0@is.naist.jp

^{*1} 可視光通信コンソーシアム: <http://www.vlcc.net/> (accessed Aug. 1, 2016)

^{*2} 可視光通信協会: <http://vlca.jp/> (accessed Aug. 1, 2016)

受信したメッセージは明暗縞の帯としてカメラで撮影される。CMOS センサーのローリングシャッター効果を利用することで、カメラのフレームレートよりも高いデータレートでの通信を可能にしている。しかし、様々なモバイル端末のカメラで可視光通信を行うためには、各カメラのフレームレートに合わせて通信を行う必要がある。[6-9]

Rajagopal らの研究 [6] では、同時に周囲の人に感知できない方法で、複数のカメラと低消費電力の組み込みデバイス間で、可視光通信を行う手法を提案している。マンチェスタ符号化及びバイナリ周波数シフトキーイングを用いることで、高速データストリームを変調し、低速なカメラでも可視光通信を可能にしている。また低コストの汎用チップを用いて低消費電力の高速起動回路を実現することで、RF 通信プロトコルにおけるエネルギー消費を大幅に削減している。

Ji らの研究 [7] では、車両に搭載されている LED テールライトに VLC を用いることで、スマートフォンと車の間で可視光通信を提案している。アンダーサンプルされた周波数の On-Off キーイング (OFSOOK) を用いることで、画像内の共通の光の干渉やノイズなどに耐性を持たせるなどの受信精度の向上を可能にしている。

2.2 可視光通信を応用した既存研究

可視光通信を利用し、さまざまなサービスやアプリケーションを実現するための研究が行われている [8,9]。

Hu らの研究 [8] では、高性能な屋内の位置推定に対して LED 照明を利用した可視光通信を提案している。ファロスの設計をもとに実験を行うと、位置推定に最適な光チャンネルモデルを検証を行っている。BFSK とチャンネルが共有光を媒体として複数の環境光から正確な場所を特定するホッピングを提案することで、2つの屋内環境において 90%以上の測位精度を達成している。

中澤らの研究 [9] では、大型公共施設内における視覚障害者への音声ナビゲーションを目的とした屋内測位方式を提案している。屋内に違和感なく多数配置可能な情報瘦身型 LED 照明をランドマークとして利用し、計測端末間で光振幅変調を用いた可視光通信を利用することでランドマークを識別する。その際に広範囲のランドマークを識別するために魚眼レンズを採用している。それにより誤差 10 センチ以内の正確な計測を実現している。

2.3 本研究の位置付け

本章におけるさまざまな関連研究では、モバイル端末のカメラでの可視光通信における新規スキームや高速な通信の提案、可視光通信の車とモバイル端末間の通信や屋内位置推定などへの利用などが挙げられている。しかしそれには、可視光通信に対応した高いフレームレートのカメラが必要となる。現在配信されている可視光通信を用いたス

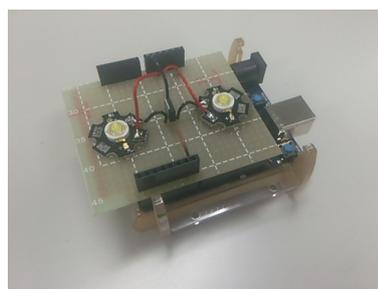


図 1 Arduino を用いた可視光生成器

スマートフォン用のアプリケーションでは、モバイル端末のカメラのフレームレートに合わせた 8 ビットほどの通信しか行うことができない。そこで低いフレームレートのカメラでも高いデータレートで通信を可能にするために、ローリングシャッター効果を用いた可視光通信が研究されている。しかし、環境光や可視光自身の明るさの違いから固定のフレームレートで通信を行わなければならない。本論文ではその問題に対して、ローリングシャッター効果を用いた調光可能な可視光通信システムの設計と実装を行う。

3. 提案システム

本提案システムは、マンチェスター符号化法をベースとした同期可能で調光可能な符号化法を用いて可視光通信を行うシステムである。調光を実現する上で必要になるのが、デューティ比に対応した符号化法である。本章では、提案システムに用いられる照明光通信とローリングシャッター効果及び、符号化のベースとするマンチェスター符号化法とデューティ比について説明する。その後、今後の課題について述べる。

3.1 照明光通信

可視光通信には主に、照明光通信、ユビキタス可視光表示通信、ITS 可視光通信、イメージセンサ通信の 4 つがある。本研究では照明光通信の利用を考える。従来の電波による無線通信では、脳や生殖機能、生命維持細胞への悪影響や子供の発達障害の恐れが懸念されているため、送信電力を上げることが困難である。それに対して照明光は人体に影響は無く、照明光通信では送電電力は数ワットという照明本来の高電力で通信が可能である。将来的には省エネルギーで環境と人に優しい次世代の通信とされている。本研究では、実際の照明器具に実装する前に図 1 のような Arduino というマイコンを用いて可視光通信を実現する。

3.2 ローリングシャッター現象

ローリングシャッター現象とは、ローリングシャッターで動きの速い被写体を撮影した際に、像に歪みが生じたり、垂直方向に明暗の縞が生じたりする図 2 のような現象のことである。ローリングシャッターは、撮影素子の画素ごと



図 2 ローリングシャッター現象による明暗の縞

にタイミングをずらしながらシャッターを切る電子シャッターのことである。本研究では可視光通信による可視光を、モバイル端末のカメラよりも速いフレームレートで明滅させて観測することで、ローリングシャッター現象を起こしている。可視光の送信時に明滅をデータ化しエンコードし、ローリングシャッター時に観測される明暗の縞をデコードすることで、可視光通信を実現している。

3.3 マンチェスター符号化法

マンチェスター符号化法とは、デジタルデータを安価に無線伝送するための変調方式である。マンチェスター符号化は、連続する0または1からなる長いストリングが含まれない任意のビットパターンのデジタルシリアルデータを符号化し、また符号化クロックレートを送信データ内に埋め込むための方法である。マンチェスター符号化を用いて0と1を2ビットで符号化すると、0は10、1は01と符号化することができる。

マンチェスター符号化法を用いることで、制度の高くない安価なデータレートクロックのトランスミッタから、信号強度が不安定な送信データを復号することができる安価なデータリカバリ回路を構築することが可能である。

本研究はこのマンチェスター符号に基づいて可視光通信に適するように独自の符号化を用いることで、可視光通信システムを実現している。独自の符号化法ではデューティ比を12.5%ごとに調節可能にする符号化法を実装している。すなわち同じ送信データでも12.5%ごとの異なるデューティ比で表現することを可能にしている。

3.4 デューティ比

デューティ比とは、周期的な現象においてある期間に占めるその期間で現象が継続される期間の割合を意味する。本研究では、可視光通信で送信される情報の1フレーム中でLEDが点灯している時間を指す。例えば8ビットを1フレームとした際、10000000という情報は8ビットの中で1ビットだけ1であるためデューティ比は1/8の12.5%である。このデューティ比により、モバイル端末のカメラで撮影した際に発生するローリングシャッター効果による明暗の縞の数を制御することで、調光を可能にする。

3.5 今後の課題

本研究は、Arduinoを用いた可視光通信及びローリングシャッター効果による明暗の縞の観測及び、送信するデータをマンチェスター符号化法をベースとした独自の符号化法を適応した可視光通信の送信までが完了している。今後の課題は画像解析で観測した縞が同期できるように実装し受信することが課題となる。また環境光への対策としては、現在のフレームでの縞の明暗が次のフレームでは反転するように符号化することを検討している。明暗を反転させることで、環境光による干渉が発生し1フレーム分の明暗の縞が変化しても前後のフレームでから干渉したことが検証できるからである。

4. まとめ

本研究は、ローリングシャッター効果を用いた調光可能な可視光通信システムの設計及び実装を行う。この提案システムでは、マンチェスター符号をベースとした独自の符号化法を用いてデューティ比を調節しローリングシャッター効果で生じる明暗の縞の数を制御することで、調光を可能にしている。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 16K01288, 16K12421, 16K16059 の助成による成果である。

参考文献

- [1] 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. 12, pp. 1284-1291 (2003).
- [2] 中川正雄：可視光通信，映像情報メディア学会誌，Vol. 60, No. 12, pp. 1908-1913 (2006).
- [3] 鈴木修司：可視光通信の現状と展望 ～ユビキタスで安全な ICT インフラを目指して～，情報処理，Vol. 50, No. 5, pp. 418-425 (2009).
- [4] 春山真一郎：可視光通信，電子情報通信学会誌，Vol. 94, No. 12, pp. 1055-1059 (2011).
- [5] Danakis, C., Afgani, M., Povey, G., Underwood, I. and Haas, H.: Using a CMOS Camera Sensor for Visible Light Communication, *Proceedings of the 2012 IEEE GLOBECOM Workshops*, pp. 1244-1248 (2012).
- [6] Rajagopal, N., Lazik, P. and Rowe, A.: Hybrid Visible Light Communication for Cameras and Low-Power Embedded Devices, *Proceedings of the 1st ACM MobiCom Workshop on Visible Light Communication Systems (VLCS 2014)*, pp. 33-38 (2014).
- [7] Ji, P., Tsai, H.-M., Wang, C. and Liu, F.: Vehicular Visible Light Communications with LED Taillight and Rolling Shutter Camera, *Proceedings of the IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Spring)*, pp. 1-6 (2014).
- [8] Hu, P., Li, L., Peng, C., Shen, G. and Zhao, F.: Pharos: Enable Physical Analytics Through Visible Light Based Indoor Localization, *Proceedings of the 12th ACM Workshop on Hot Topics in Network (HotNets-XII)*, No. 5 (2013).
- [9] 中澤陽平, 牧野秀夫, 西森健太郎, 若月大輔, 小林 真,

駒形英樹：ナビゲーションを目的とした可視光通信による屋内歩行者位置計測法，電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J99-D, No. 2, pp. 165–177 (2016).

- [10] 蚊野 浩：デジタルカメラのしくみと画像処理，画像電子学会誌， Vol. 41, No. 3, pp. 288–295 (2012).