

符号化露光を用いたイメージセンサ可視光通信の多重化

松永 宏章[†] 桑原 拓也[†] 圓道 知博[†] 荒井 伸太郎[‡] 山里 敬也^{‡‡}

[†] 長岡技術科学大学 大学院工学研究科 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1

[‡] 岡山理科大学 工学部 〒700-0005 岡山市北区理大町1-1

^{‡‡} 名古屋大学 教養教育院 〒464-8603 名古屋市千種区不老町1



背景

可視光通信: **人の目に見える光**を用いた**無線通信技術**

イメージセンサ可視光通信:

受信デバイスとして**カメラ**を使用 (~60fps程度を想定)

本研究の目的: **多重化**

1つの光源から複数の受信機向けに異なるデータを送信

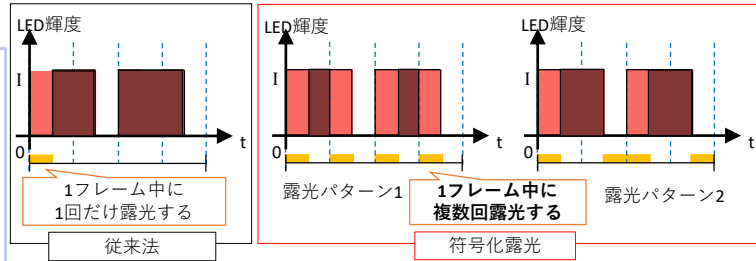
先行研究^[1]ではTDMAだったため露光時間を短く設定する必要があった



提案: 符号分割多元接続(CDMA)^[2]をイメージセンサ通信で実現

多重化の原理

- 露光時間パターンを符号化^[3]
多重露光可能なカメラを使用
 多重露光: 1フレーム中に複数回露光を行う撮影方法
- 直交符号としてWalsh符号を使用
 本研究で実装した符号長は8とした
 フレーム周期の半分の時間で露光 → 露光時間が多くなる
- 1フレームあたり各チャンネル1ビット送信 (On-Off Keying)
- DCオフセットを追加 (輝度変化を利用するため)



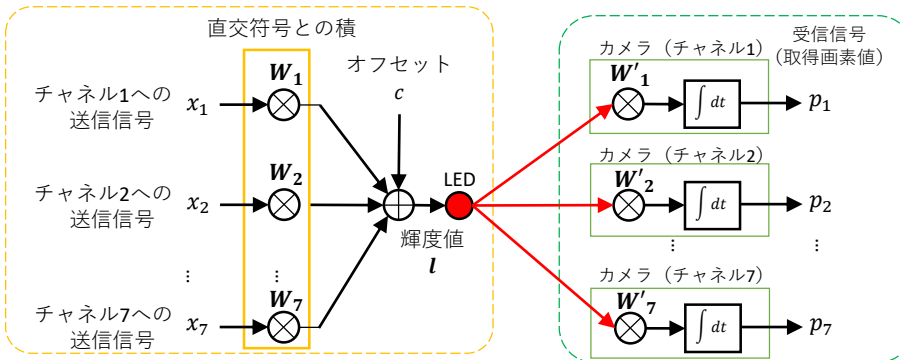
使用するWalsh符号

W_1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
W_2	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
W_3	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
W_4	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
W_5	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
W_6	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
W_7	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1

送信側

チャンネルごとに送信符号(1, -1)とWalsh符号の積をとる
 →使用する全チャンネルの符号の和をとり、オフセットを加えて送信

構造

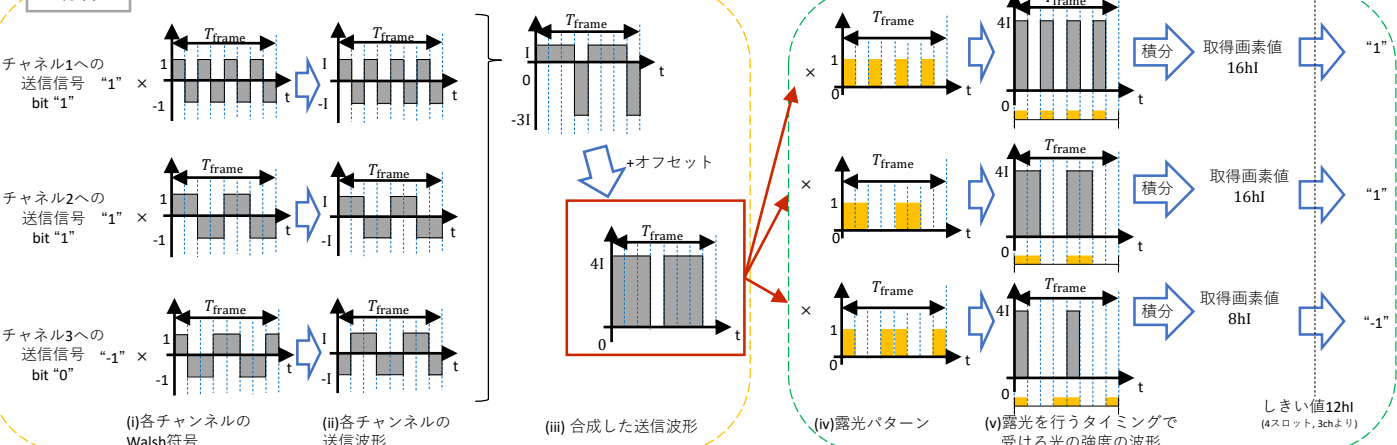


受信側

受信したいチャンネルのWalsh符号に露光パターンを設定

露光パターンと受信波形の積の積分値が画素値に反映される

動作

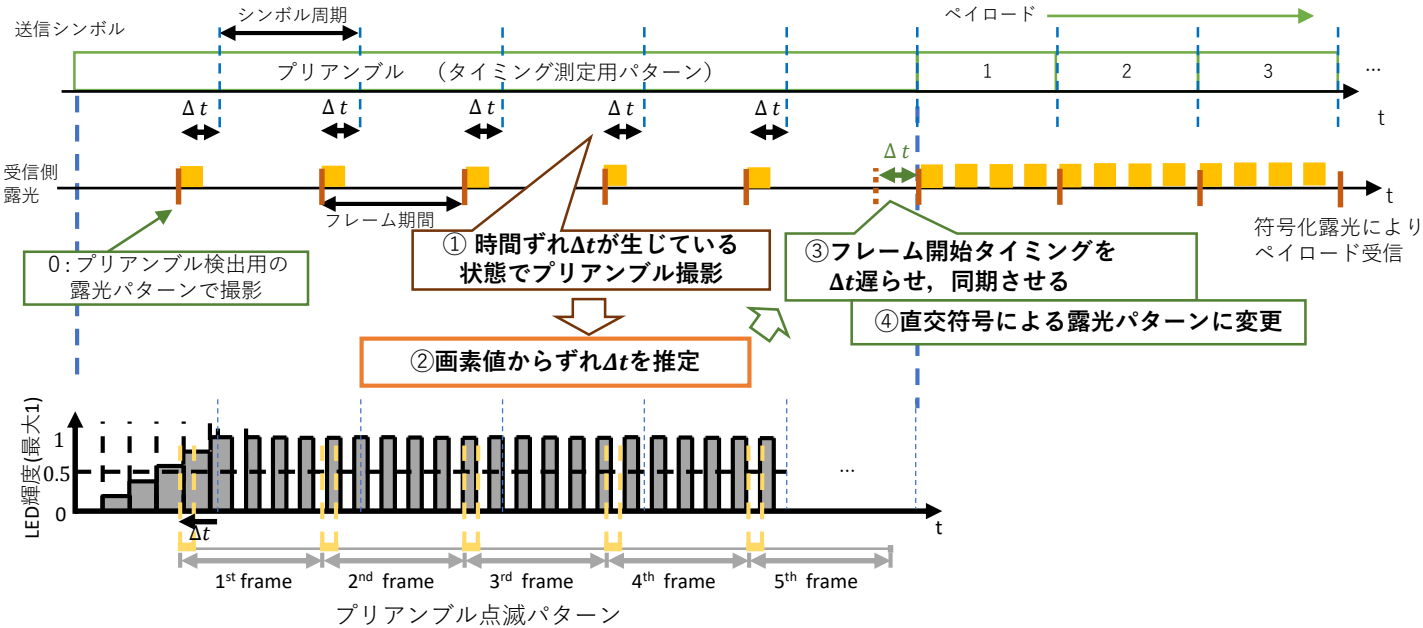


同期手法

CDMA：送信側と受信側の符号系列のタイミングが合っていないといけない
→受信側のフレーム開始タイミングを同期させる必要がある

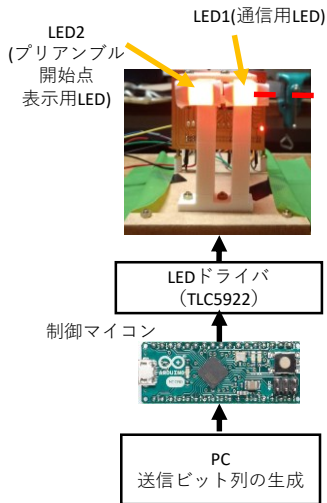
解決法：

プリアンブルによってずれ時間 Δt を検出し、フレーム開始タイミングを補正（同期）
プリアンブル検出には専用の露光パターンを用いる



通信実験

事前に同期状態で、各チャンネルにランダムデータを送信・受信側で各チャンネルの符号に設定し、エラー無く通信できることを確認した。
通信実験として、SNRに対するBERを測定した

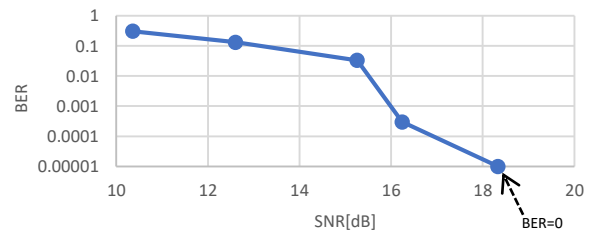


使用機材	
カメラ	IDS UI-3250ML-M-GL
カメラレンズ	SPACECOM JHF8M-MP
LED	Cree CLP6C-FKB-CK1P1G1BB7R3R3
LED ドライバ	Texas Instruments TLC5922
制御マイコン	Adafruit Industries Arduino Micro

通信条件	
フレームレート	20 fps
総露光時間	4.762 ms
絞りF値	16
通信環境	暗室
通信距離	5.0 m
送信ビット数	10000 bits

チャンネルを固定しての通信についてSNRを変えてBERを計測

- 送信側：全7チャンネルに対し異なるランダムデータ送信
- 受信側：符号 W_1 を使用
→SNR 16dB以上でBER 10^{-3} 以下の通信ができることを確認



まとめ

- イメージセンサ可視光通信における符号多重変調手法を提案
 - Walsh符号を送信波形・露光パターンに使用
 - 露光タイミングを同期
- 実験により通信が可能であることを確認
- 今後の課題：プリアンブル改善

参考文献

- 松永宏章, 園道知博, “位相変調方式を用いたカメラ通信における同期と多元接続手法,” 信学技報, vol. 120, no. 290, WBS2020-20, pp. 67-72, Dec. 2020.
- Andrea Goldsmith, Wireless Communications, pp.458-459, Cambridge University Press, 2005.
- R. Raskar, A. Agrawal, and J. Tumblin, “Coded Exposure Photography: Motion Deblurring using Fluttered Shutter”, International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), pp.795-804, July 2006