

# スマートフォンのフラッシュライトを用いた 可視光通信手法における通信プロトコルの改善

片倉 尉浩†

乃村 能成‡

†岡山大学 工学部情報系学科

‡岡山大学 学術研究院 自然科学学域

## 1 はじめに

IoT デバイス導入時の初期設定の手間を削減しつつデバイスの価格上昇を抑える方法として、スマートフォンのフラッシュライトを用いた可視光通信手法が提案されている [1]. ユーザが既に所持しているスマートフォンを利用することで初期設定時の機材準備やケーブル付け替えの手間を削減している. また可視光通信の受光素子として, IoT デバイスに最低限のインターフェースとして実装されている LED を利用することでデバイスの価格上昇を抑えている.

しかし, スマートフォンのフラッシュライトは可視光通信用に設計されておらず点滅制御を正確に行えないため, 通信精度が低いという問題がある. そこで本稿では, スマートフォンのフラッシュライトの特性について調査し, スマートフォンのフラッシュライトを用いた可視光通信の改善を行う. 具体的には, フラッシュライトの点滅を受光素子に当てた際に発生する電圧を観測し, スマートフォン上で設定した点滅と実際の点滅の間に生じるズレについて調査した. その結果, フラッシュライトの点滅動作はスマートフォン上で設定した時間と比べてズレが生じ, 点灯時間よりも消灯時間のズレが大きかった. そこで本通信手法の改善案として, 消灯時間のズレを考慮した通信プロトコルを提案する.

## 2 スマートフォンのフラッシュライトを用いた 可視光通信手法

文献 [1] 中で提案されている可視光通信手法の処理流れについて図 1 に示す. ユーザはスマートフォンのアプリケーション上に送信したいデータを入力し, データを光信号に変換する. その後, ユーザはスマートフォンを受信側デバイスにかざし, フラッシュライトを点滅させることで光信号を送信する. 受信側デバイスは受け取った光信号からデータを復号して受けとる.

文献 [1] で述べられているプロトコルは以下のようになっている.

- (1) 基準となる時間  $T$  を伝えるために  $8T$  時間点灯後,  $4T$  時間消灯する. (リーダー部)

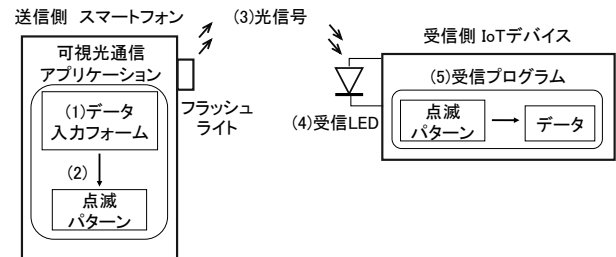


図 1 スマートフォンのフラッシュライトを用いた可視光通信の処理流れ

- (2) “0” の送信には  $T$  時間消灯後,  $T$  時間点灯する.  
“1” の送信には  $T$  時間消灯後,  $2T$  時間点灯する.  
(データ部)
- (3) 最後に  $5T$  時間点灯しデータ送信の終了を伝える.  
(トレイラ部)

## 3 フラッシュライトの点滅制御に関する調査

スマートフォンのフラッシュライトは可視光通信用に設計されておらず, 正確な点滅制御ができない可能性がある. そこで, スマートフォンのソフトウェア上で設定した点滅時間と実際の点滅時間を比較し, フラッシュライトの点滅制御がどの程度正確であるかについて調査した. 具体的には, LED にオシロスコープを接続し,  $10\text{ ms}$  の点灯と  $10\text{ ms}$  の消灯を繰り返すソフトウェアを実行させ, フラッシュライトを当てた際に発生する電圧を観測した. LED は光を受けると電圧を発生する性質を持っており [2], 電圧の有無からフラッシュライトの受光を観測することができる. また, 本実験では Nexus 5X(Android バージョン: 6.0) という機種スマートフォンを使用した.

実験結果から得られた LED に発生する電圧の波形の一部を図 2 に示す. 図 2 は横軸が時間 (ms) となっており 1 目盛りが  $10\text{ ms}$  である. 縦軸は電圧 (mV) を表しており, 1 目盛りが  $200\text{ mV}$  になっている. 図 2 中の (A) は点灯時間を示しており, 時間は  $11\text{ ms}$  程度で設定した点灯時間とは  $1\text{ ms}$  程度のズレが生じている. また, その他の点灯時間もおおむね  $1\text{ ms}\sim 2\text{ ms}$  程度のズレが生じている. 図 2 中の (B) は消灯時間を示しており, 時間は  $18\text{ ms}$  程度で設定した消灯時間とは  $8\text{ ms}$  程度のズレが生じている. また, その他の消灯時間もおおむね

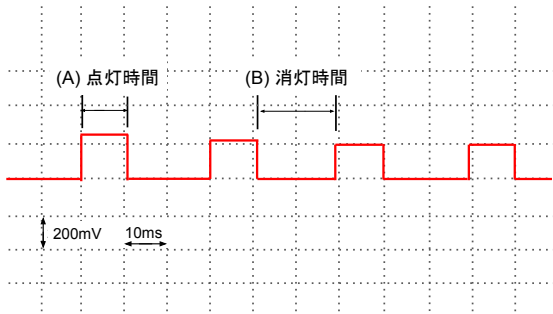


図 2 10 ms 周期で点滅させたフラッシュライトを LED に当てた際に発生した電圧の一部

8 ms~10 ms 程度のズレが生じている。

以上のことから、フラッシュライトの点滅制御において点灯時間のズレは 1 ms~2 ms 程度であり、消灯時間にはそれより大きい 8 ms~10 ms 程度のズレが生じることがわかった。

#### 4 通信プロトコルの改善案

実験結果から、スマートフォンのフラッシュライトの点滅制御にはズレがあり、特に消灯時間に大きなズレが生じることがわかった。文献 [1] 中のプロトコルでは、光信号の消灯時間と点灯時間の組み合わせによってデータ部のデータを表現している。そのため、消灯時間のズレによって正確な光信号を送ることができず、通信精度の低下に影響していると考えられる。そこで、光信号によるデータの表現を、消灯時間と点灯時間の割合ではなく、点灯時間の長さのみによって行う通信プロトコルを改善案として提案する。具体的には、データ部でのバイナリデータの表現を以下のように行う。

- (1) “0” の送信には、フラッシュライトの消灯後、T 時間点灯する。
- (2) “1” の送信には、フラッシュライトの消灯後、2T 時間点灯する。

改良した通信プロトコルと改良前の通信プロトコルのデータ部について比較したものを図 3 に示す。図 3 では上が改良前のプロトコルを、下が改良後のプロトコルをそれぞれ示している。改良前のプロトコルでは、“0” のデータを送る際に T 時間の消灯後に T 時間点灯する必要があり、この消灯は正確に T 時間である必要がある。改良したプロトコルでは、フラッシュライトの消灯後に T 時間点灯することで “0” のデータを送信する。この消灯時間の長さは正確には決めておらず、消灯時間を正確に制御できなくてもデータを表現できるようにしている。

#### 5 評価

4 章で提案した通信プロトコルによって、どの程度通信精度が向上したかについて評価を行った。評価方法と

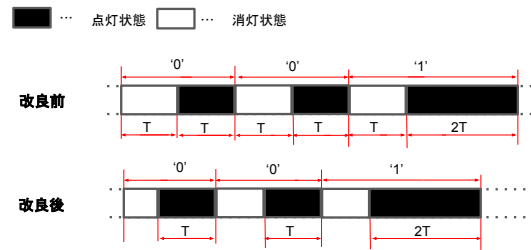


図 3 改良前および改良後の通信プロトコルのデータ部

表 1 通信プロトコルごとの通信精度の比較

基準時間 T	改良前プロトコル	改良後プロトコル
1 ms	72.1%	76.5%
5 ms	88.9%	91.8%
10 ms	91.8%	95.3%

して、10 bit のバイナリデータを 100 回送信し、正しく送信することのできたデータの数を集計する実験を基準時間 T を変化させて行い、改良前プロトコルと改良後プロトコルとの比較を行った。実験結果を表 1 に示す。表 1 を見ると、改良前プロトコルと改良後プロトコルでは、基準時間 T が 1 ms の時、通信精度が 4.4 ポイント向上した。このことから、改良した通信プロトコルは通信精度向上に効果があることがわかった。

#### 6 おわりに

本稿では、スマートフォンのフラッシュライトを用いた可視光通信手法における通信プロトコルの改善について提案した。フラッシュライトの点滅制御では消灯時間のズレが大きいと、点灯時間の違いによってデータを表現するプロトコルを提案した。改良した通信プロトコルでは、改良前プロトコルと比較すると通信精度が最大で 4.4 ポイント向上した。残された課題として、Wi-Fi 設定に本手法を用いた際の実用性について調査することが挙げられる。また、スマートフォンの機種によって点滅制御の性能が異なることが考えられる。たとえば、使用するスマートフォンによっては本実験で使用した Nexus 5X よりも点灯時間、消灯時間のズレが大きい可能性がある。そのため、機種ごとに適した基準時間を調整可能なプロトコルの開発が課題として残っている。

#### 参考文献

- [1] 濱本時空, 乃村能成: スマートフォンのフラッシュライトを用いた可視光通信による IoT デバイス設定手法の検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2022-DPS-190, No. 25, 第 190 回マルチメディア通信と分散処理, pp. 1-8 (2022).
- [2] Yang, Y., Luo, J., Hao, J. and Pan, S.: Counting via LED sensing: Inferring occupancy using lighting infrastructure, *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 45, pp. 35-54 (2018).