

# 災害時可視光通信における 計算量を低減した多色光源追跡手法の提案

林田滉世† 笈真弥† 塚田晃司†‡

和歌山大学システム工学部†‡

## 1. はじめに

近年、電波が利用できない環境における無線通信手法として、可視光通信の活用が期待されている。電波をほとんど透過しない水中においては、音波を用いた通信が主であるが、例えば、ソフトバンク(株)によって、音波よりも外乱耐性や通信速度で勝る通信手法として、可視光による無線ネットワークが研究されている[1]。

同様に、電波による通信が期待できない状況として、自然災害発生時が考えられる。災害時には既存の通信インフラが機能しない場合があるため、非常時においても機能する通信手法の一つとして、光の色変化を利用した可視光通信に着目した。

先行研究[2][3]では、多色光源の自動認識手法[2]を用いて、多色光源による色の変化によって文字情報を伝える災害時可視光通信[3]を提案した。しかし、[2]の光源認識手法では、カメラから取得した複数のフレームにおける色の変化量を計算に用いて識別するため、計算量の増大によって動作の遅延が発生する。したがって、実証時にはハードウェアの処理能力に依存するという問題があった。

本研究では、その問題を解決するために、カメラから取得したフレームと画素すべてを計算に用いるのではなく、特定のフレーム間の画素の差分から色相の変化量を算出することで、機能を維持しつつ計算量を低減した光源追跡処理手法を提案する。

## 2. 関連研究

可視光を用いた光源追跡手法の研究として、[4]がある。[4]は、赤色 LED を搭載したドローンをカメラで追跡する手法で、深層学習による物体検出から LED の位置を検出し、検出部の明度を測定することで、OOK(On-Off Keying)変調されたビット列を受信する。この手法は、LED を搭載したドローンを、日中の屋外という外乱の多い環境においても位置を追跡することが可能であるが、単色光による可視光通信であるため本研究に活用することはできない。

## 3. 先行研究

本研究グループにおける先行研究として、災害時可視光通信における多色光源追跡手法の提案[2]がある。[2]は、カメラから取得した複数のフレーム画像における色相の

Method to Reduce Computational Complexity of Tracking Multicolor Light Source for Disaster Communication System Using Visible Light Communication

† Hayashida Kosei, Kakehi Mami, Tsukada Koji

Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

変化量についてベクトルを用いて計算し、光源位置を特定するもので、昼夜を問わず利用が可能である。

しかし、前述したように、計算量が多いことから動作の遅延が目立つ。また、カメラ映像内に複数の多色光源が存在した場合、最も大きい多色光源の輪郭を求め、その面積から重心を求めて追跡を行うため、1つの多色光源の位置しか識別することができない。

## 4. 提案手法

本研究では、先行研究における問題を解決するために、特定フレーム間の画素の差分を求め、色相の変化量を計算することによって光源の位置を特定する。また、複数の多色光源が存在した場合は、それぞれの座標を割り出して特定する。

光源追跡処理の処理手順を図1に示す。

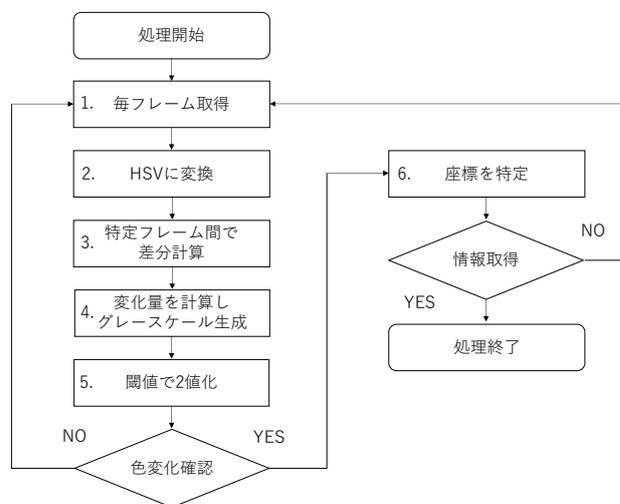


図1：光源追跡処理のフローチャート

1. カメラからフレームを随時取得する。
2. カメラから取得したフレームは RGB で構成されているため、HSV に変換する。
3. フレーム間の H 成分 (色相) の差の絶対値を求める。6~nフレームの取得後、一定間隔でフレーム間差分を計算する。間隔は実際の可視光通信の色変化間隔を考慮した値に設定する。本研究の場合は、先行研究[3]と同じ災害時可視光通信システムを想定する。送信側の発光間隔を 200ms、カメラ映像のフレームレートを 30fps であるとして、フレーム間隔は 3 フレーム毎に設定した。

4. フレーム間差分画像の平均を求める．総フレーム数を6枚，フレーム間隔を3枚，各フレーム間の差分をそれぞれ  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_5$  としたときのイメージ図を図2に示す．

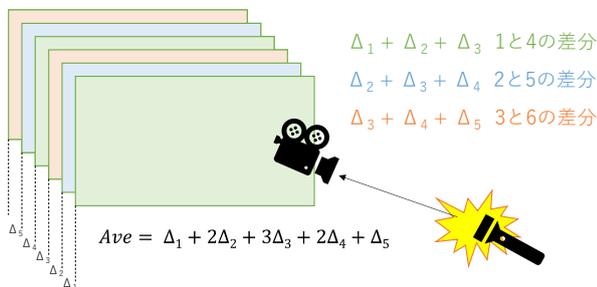


図2：フレーム間差分の平均計算

フレーム間差分画像の平均をグレースケール変換し，色相の変化量を表す画像データを生成する．

5. 4. で生成した画像データをもとに，変化量が大い部分をもとに，変化量が大い部分を白(1)，変化量が小さい部分を(0)として2値化を行い，白色部分の重心座標を特定する．  
6. 1. に戻り処理を繰り返すことで，色変化を行う光源を継続的に追跡する．

取得したフレームすべてを用いて計算を行うのではなく，間隔を設けて特定のフレーム間において計算を行う理由には，本研究における可視光通信の仕様が関係している．本研究では，非常時通信としての運用を想定しているため，送受信側共にハードウェアの性能は，一般的に普及しているカメラやPCと同程度のフレームレートである30fpsでの処理が可能な程度であると仮定している．その場合，カメラから取得したすべてのフレームについて計算処理を行うにしても，隣り合う2つのフレーム間においては，色層の変化はほとんど見られない．したがって，取得したすべてのフレームについて計算を行う必要性は低く，可視光通信システムの色変化速度を考慮した一定間隔ごとにフレーム間で計算処理を行った場合もほぼ同様の検出結果が得られると考える．この手法により，計算処理を行うフレーム数を減らし，計算量の低減を目指す．

また，カメラ映像内に複数の多色光源による情報源があった場合，先行研究[2]では，最も大きい多色光源1つの面積から輪郭を計算し重心座標を求めるため，1つの多色光源しか検出できないという問題があった．本研究では，その問題を解決するために，面積ではなくモーメントを用いて重心座標を求める．

空間モーメント

$$m_{ji} = \sum_{x,y} (array(x,y) \cdot x^j \cdot y^i) \quad (1)$$

中心モーメント

$$mu_{ji} = \sum_{x,y} (array(x,y) \cdot (x - \bar{x})^j \cdot (y - \bar{y})^i) \quad (2)$$

$x$ は  $x$  座標， $y$ は  $y$  座標， $array(x,y)$ は画像中の画素を示す．カメラ映像から検出した各多色光源について輪郭を

求め，それぞれの空間モーメント  $m_{ji}$  を計算する．その後，上で示した空間モーメント  $m_{ji}$  と中心モーメント  $mu_{ji}$  の式の関係から，重心座標である  $(\bar{x}, \bar{y})$  を求める．以上の工程により，カメラ映像内に複数の多色光源がある場合でも，それぞれの重心座標を検出することを可能にした．

## 5. 実装

Windows10のOSで，Visual Studio 2019を用いて実装を行った．画像処理機能にはOpenCV4.5.4を利用した．図3に実際のシステムの使用画面を示す．



図3：システムの使用画面

暗室において色変化を行う多色光源を，PCに搭載されているカメラで撮影を行い，本システムを用いて追跡している際のシステムの画面である．左がカメラから取得した映像であり，右がカメラ映像をもとに生成した色相の変化量を表すグレースケール画像である．このグレースケール画像をもとに計算処理を行い，特定した重心をカメラ映像上に緑の円で表示することで，重心の位置を可視化している．

## 6. おわりに

本研究では，災害時における多色光源による可視光通信において，夜間だけでなく昼間などの明るい環境でも利用可能な処理機能を保ちつつ，計算量を低減した多色光源追跡手法を提案した．今後，評価実験を行い，実際の通信時における動作を実証する必要がある．また，本手法は外乱の影響を受けやすいため，カメラが激しく動いた際の追跡精度の低下が課題である．

## 参考文献

- [1] ソフトバンク株式会社：プレスリリース，入手先 <www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2021/20211022\_01/> (参照 2022-01-06)
- [2] 藤尾智彰，下前知世，塚田晃司：災害時可視光通信における複数フレーム画像を利用した光源自動認識手法の提案，情報処理学会第82回全国大会，(2020)
- [3] 下前知世，藤尾智彰，塚田晃司：色空間ベクトルの想定時系列変化パターンとの類似度を用いて可視光通信の受信誤りを低減する手法の提案，情報処理学会第82回全国大会，(2020)
- [4] 高野宏紀，久野大介，中原睦貴，鈴置皓介，丸田一輝，小野寺幸仁，八重樫遼，中山悠：LED搭載ドローンと物体検出カメラ間可視光通信における実験評価，電子情報通信学会総合大会，(2021)