

1ZF-07

## ストライプ状LED群における Structure from Motion による LED の3次元位置推定手法

飯田 ゆい†小池 崇文† 山崎 夏奈‡伊藤 弘大‡ 伊藤 雄一‡  
法政大学情報科学部†青山学院大学理工学部‡

### 1. はじめに

現在、視覚的な情報提示手法として平面で強硬なディスプレイが広く普及している。これに対し、情報提示の幅を広げるために立体的な表面形状の物体を用いた情報提示手法が数多く提案されている。その中で、ストライプ状LED群を用いたCoiLED Display[1]と呼ばれるフレキシブルディスプレイがある。このCoiLED Displayは形状の自由度が高く、センサと組み合わせて使用できるため、様々な用途に使用できる。

CoiLED Displayは、適切に情報を提示するために、ディスプレイを変形させた後に各LEDの位置検出を行う必要がある。現在、Suzunagaらの手法[1]により、LEDの2次元位置情報を、カメラとユニット上のLEDの光を利用して取得できる。

2次元位置情報を取得することで、CoiLED Displayで情報提示を行えるようになるが、ディスプレイ全面を用いた情報提示を行うためには、各LEDの3次元位置を取得する必要がある。また、現在のシステムは室内での使用を想定しており、利用時にPCが必要である。

本研究では、利用形態を広げるため、小型のデバイスであるスマートフォンのカメラを用いて、場所を問わず3次元位置取得を行う手法を提案する。

まず、カメラの自動露出調整機能を考慮した提案アルゴリズムに基づき、スマートフォンのカメラで円柱に巻き付けたCoiLED Displayを動画撮影し、LEDの輝度の調整を行う。次に、設定した輝度でLEDを規則的に点灯させている様子を撮影し、2次元位置の取得を行う。その後、複数画像間の対応位置から3次元位置を推定するStructure from Motion (以下SfM) と呼ばれる方法を用いて、ディスプレイを構成する各LEDの3次元位置を推定するシステムを提案する。

### 2. 提案手法

#### 2.1. LED輝度調整法

Szunagaらの位置推定手法[1]では、以下の手順でLEDの2次元位置を推定している。まず、LEDのIDに合わせて点灯を複数回行い、それぞれカメラで撮影する。次に、撮影された画像をグレースケール画像に変換し、閾値で2値化を行い膨張と縮小による処理を行う。最後に2値化画像の足し引きを行うことでLEDの位置を推定している。

図1, 図2, 図3は撮影した画像と、閾値242で2値化し行い膨張と縮小による処理を行った画像を並べた図である。LEDが過度に暗い場合、図1のように、カメ

ラがLEDの位置を正確に検出できないことがある。逆にLEDが過度に明るい場合、図2のように、LEDの周囲も明るくなりLED部分以外の位置を検出する可能性や、CoiLED Displayの周囲にある障害物に光が反射してしまい、LED部分を正確に検出できない可能性がある。加えて、カメラによる自動露出調整が行われ画像全体が暗くなり、LED部分が検出できないことがある。図2, 図3は同じ輝度で周辺環境を変えて撮影した図である。比べるとわかるように、適切な輝度は周辺環境によって変化するため、撮影環境に合わせて決定する必要がある。



図1. 左:白色照明をつけた室内で、輝度を5に設定して撮影した画像, 右:画像の2値化を行い、発光しているLED部分を抜き出した画像

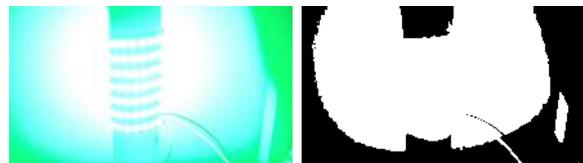


図2. 左:照明を消した室内で、輝度を50に設定して撮影した画像, 右:画像の2値化を行い、発光しているLEDの部分を抜き出した画像



図3. 左:白色照明をつけた室内で、輝度を50に設定して撮影した画像, 右:画像の2値化を行い、発光しているLEDの部分を抜き出した画像

このことを踏まえて、LED輝度の調整アルゴリズムを提案する。まず、個々のLEDに割り振られているIDに合わせて、輝度を変更しながらCoiLED Displayを点灯する。輝度は0~255の256段階で設定できる。その様子を位置を固定したカメラで撮影することで、2次元位置推定を行う。各LEDは図3のように円形に光るが、位置推定結果は、円を囲う四角形の左上の座標と高さ・幅の値で取得する。CoiLED Displayを構成するLEDユニットの大きさは一定であるので、位置推定の結果、円を囲う四角形の面積の範囲は限定される。したがって、同じくらい大きさの領域がCoiLED Displayを構成するLEDの個数の半分弱ほど検出された時、その領域を

A Method for Estimating 3D Position of LEDs on a Striped LED Tape by Structure from Motion

† Yui Iida and Takafumi Koike

Faculty of Computer and Information Science, Hosei University

‡ Kana Yamazaki, Kodai Ito and Yuichi Itoh

College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

LED 位置を示す領域とする。領域の個数を、その輝度の LED 検出数とする。次に、検出された LED の位置座標を全体と比較する。他の輝度で推定された位置と大きく位置がずれている時に誤検出と判断し、誤検出された LED の数をその輝度の誤検出数とする。検出数から誤検出数を引いた数を正検出数として、正検出数が安定している輝度の範囲を求める。同様に、適切な輝度の範囲を複数回求め、範囲が安定してきた時、その範囲の中で輝度を決定する。

## 2.2. Structure from Motion (SfM)

SfM は、複数画像間の対応点とカメラ位置の情報から 3次元位置推定を行うステレオビジョンの手法に、カメラの位置推定を組み合わせた手法である。したがって、SfM は画像撮影時のカメラの位置が未知である場合でも、物体の 3次元位置推定を行うことができる。本手法では、LED の ID と座標から 3次元位置を推定するために、SfM を用いる。SfM は以下の手順で構成されている。

- 1) 複数視点から画像を取得する。
- 2) 複数視点の中から基準となる視点(カメラ)の向きと位置を決定し、その座標系をワールド座標系とみなす。
- 3) 画像のペアを選び、対応点を複数求める。
- 4) 対応点から、片方のカメラ位置と向きに対する、相対的なもう一方のカメラ位置と向きを推定する。
- 5) 基準となる視点と比べ、相対的なカメラ位置と向きをワールド座標系に変換する。
- 6) 全ての画像におけるカメラ位置と向きを推定した後、画像間で同一特徴点を見つける。
- 7) 同一特徴点の画像間位置追跡を行い、カメラ位置と向きを補正する。
- 8) ステレオビジョンを用いて 3次元位置座標を求める。

通常、ステレオビジョンや SfM では、画像の特徴量を使って特徴点を検出し、対応点として用いる。しかし、CoiLED Display は同じ LED ユニットが連なって構成されているため、特徴量を使った特徴点の対応付けが難しい。そこで、本手法では特徴点の座標に、2次元位置推定で求めた各 LED の座標と LED の ID を用いることで対応付けを行う。

## 3. 実験

### 3.1. LED 輝度決定

適切な輝度を決定するために、白色照明をつけた室内で、輝度を変更しながら 2次元位置推定を行い、正しく位置推定できていた LED の個数が多い輝度を調べた。カメラを台に固定し、画角に LED ができる限り多く収まるように、直径 4cm の円柱に巻き付けた CoiLED Display の位置を調整し、動画撮影を行った。実験には、iPhone11 の標準のカメラアプリを使用し、HD 画質、30fps に設定して動画撮影を行った。その動画から各フレームの画像を取得し、2次元位置推定を行った。この実験では輝度の値を 10 から始め、10 ずつ 240 まで高くしていき、24 段階の輝度で位置測定を行った。

結果を図 4 に示す。この環境下では輝度を高くして LED を明るくするほど LED の検出数は増えている。し

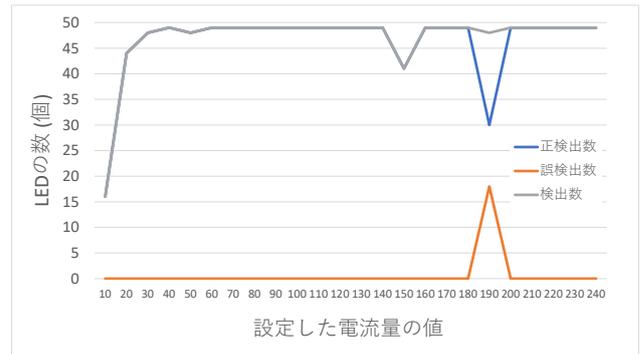


図 4. 設定した輝度ごとの LED の検出数，正検出数と誤検出数

かし、輝度 150 の時は検出数が減り、輝度 190 の時は誤検出数が増えている。

輝度 10, 20 の時は、輝度が足りず、2 値化を行った時に LED 部分を抜き出せないことが原因で LED の検出個数が減少している。輝度 150, 190 の時は、2次元位置推定のために出力した画像の中に、他の画像と比べ画像全体が暗くなっている画像を含んでいた。これは、LED が明るいためカメラが自動で露出調整を行ったことが原因と考えられる。そのため、露出調整が行われた画像で 2 値化を適切に行うことができず、検出数の減少や誤検出数の増加が起きている。この結果から、正検出数が安定している輝度の範囲を 70~130 として、この環境での位置測定は輝度 100 で行うことを決定した。

### 3.2. SfM による LED の 3次元位置推定

白色照明をつけた室内で、LED 輝度推定時と同じ条件の CoiLED Display とカメラを使用し、動画撮影を行った。

1 視点から見た LED の 2次元位置検出が終わるたびに円柱をその場で回転させた。本実験では、全体で円柱を 1 回転させて、70 視点の 2次元位置情報を得た。

この 2次元位置情報に SfM を適用する。SfM を使用した LED の 3次元位置推定システムは MATLAB を用いて実装し、推定したカメラの向きと位置の情報、LED の 3次元位置を 3次元プロットにより図示する。SfM では相対的な位置情報の推定のみ行えるため、隣り合う LED 同士の間隔の大きさから原寸大の LED の位置関係を推定する。

## 4. 結論

輝度調整アルゴリズムにより、周辺環境に合わせた輝度調整ができるようになり、暗い環境や屋外といった今まで使用を想定されていなかった場所で、CoiLED Display の 2次元位置推定を行えるようになった。また、推定した 2次元位置から 3次元位置を推定するシステムを実装した。

## 参考文献

- [1] S. Suzunaga, Y. Itoh, K. Fujita, R. Shirai, and T. Onoye, "CoiLED Display: ストライプ状 led 群を用いたフレキシブルディスプレイ", ヒューマンインタフェース学会研究会研究報告集, no. 6, pp. 89-92, 2021.