

## ストライプ状LED群の3次元位置推定手法における課題の検討

秋山凜太郎† 伊藤 弘大‡ 伊藤 雄一‡ 小池 崇文†  
 法政大学情報科学部† 青山学院大学理工学部‡

## 1. はじめに

近年、物理的に柔軟な構造をもつフレキシブルディスプレイが多く提案されている。有機ELやエレクトロクロミック技術などを用いたものが実用化されているが、これらのディスプレイは依然として、取り付ける対象箇所が限定的である。例えば、凹凸や球面の形状をもつ物体には取り付けられない。

任意の立体形状に巻き付けて使えるディスプレイとして、鈴永らはCoiLED Displayを提案している[1]。CoiLED Displayを構成するのは、LEDがストライプ状に並んだLED群である。物体の形状に沿ってこのLED群を巻き付けることで、物体に映像情報を表示する機能を持たせられる。ユーザが任意の映像をLED群に表示するには、LEDの位置を推定する必要がある。

本研究では、ストライプ状LED群を用いたCoiLED Displayの形状推定手法における課題を検討する。飯田らはStructure from Motion (以下SfM)によるLEDの3次元位置推定手法を提案している[2]が、精度が低いという課題がある。提案手法では、飯田らの実装ではLEDの3次元位置推定精度が低い原因の仮説を立て、実験を行う。実験の結果から、飯田らが提案した独自の特徴検出手法に原因があることがわかった。

## 2. 提案手法

## 2.1. 既存手法

CoiLED Displayを任意の物体に巻き付けた際、ディスプレイを構成するLEDの位置を推定する必要がある。鈴永らは、物体に巻き付けたLED群を撮影し、その画像から各LEDの相対的な位置関係を推定する方法を提案している[1]。この手法では、一視点から撮影した画像で位置を推定するので、その画像に収まらない位置にあるLEDは検出できない課題がある。そのため、LED群において映像情報を表示できる範囲に限られる。物体に巻き付けたLED群の全面に映像情報を表示するためには、LEDの3次元位置を推定する必要がある。

飯田らは、SfMによりLEDの3次元位置を推定する手法を提案している[2]。飯田らの手法では、次の流れに沿ってLEDの位置を推定する。まず、巻き付けたLED群を撮影する。次に、その画像からLEDの2次元位置検出を行う。位置検出が終わるたびに、LED群を巻き付けた物体を10度回転させ、再度撮影する。これを全体が撮影できるまで繰り返す。全体が撮影出来たら、推定したLEDの領域から重心の位置座標を計算する。算出した重心位置を特徴点として他の画像とマッチングを行い、カメラの位置や方向を推定する。カメラの位置や方向が求められた状態で、マッチングしたLEDの重心に対する3次元位置を推定する。

## 2.2. 課題

飯田らは実験で、黒い円筒にLED群を巻き付けて、LEDの3次元位置を推定している。この際、円筒の表面をLED群が覆い隠すように規則的に巻き付けている。円筒を10度回転するごとに撮影しているため、カメラ位置はLED群を巻き付けた円筒の周囲を円を描くように、カメラ方向は、同円筒の中心を向くように推定できるはずである。しかし、そのようにカメラの位置と方向を推定できなかった。また、LED群を円筒に巻き付けた場合、LEDの位置は円筒形に推定できるはずである。しかし、そのようにLEDの位置を推定できなかった。

LEDの位置はカメラの位置と方向が求められた状態で推定するため、カメラの位置と方向の推定精度を向上する必要がある。カメラの位置や方向の推定精度が低い原因は、下記の2点いずれかにあると考える。

- 1) LED群の巻き方や、巻き付ける物体
- 2) LEDの重心位置をマッチングする方法

## 2.3. 原因の特定手法

2.2節で挙げた2つの原因を検討するため、下記2点の実験を行う。

- 1) LED群の巻き方や巻き付ける物体を変更し、カメラの位置と方向を推定した結果を比較する
- 2) カメラの位置と方向を推定した結果について、飯田らの手法とフリーのSfMソフトを比較する

1)については、LED群の巻き方や巻き付ける物体に原因がある可能性を検討するため、巻き方や巻き付ける物体を変えてカメラの位置と方向を推定する。まず、飯田らが実験で用いたものと同じ物体に、異なる巻き方でLED群を巻き付け、カメラの位置と方向を推定する。この結果を、飯田らの巻き方でカメラの位置と方向を推定した結果と比較する。次に、巻き付ける物体を変えてカメラの位置と方向を推定し、飯田らが実験で用いた物体でカメラの位置と方向を推定した結果と比較する。

2)について、LEDの重心位置を特徴点としてマッチングする方法に原因がある可能性を検討するため、飯田らとは異なる方法で特徴を検出しマッチングするSfMソフトで、カメラの位置と方向を推定する。フリーのSfMソフトは、COLMAP[3][4]を用いる。

## 3. 実験

## 3.1. LED群の巻き方や巻き付ける物体を変更した場合の位置推定結果の比較

まず、黒い円筒に2通りの巻き方をする。1つ目は、図1aに示すように、円柱面を覆い隠すように規則的に巻き付ける。2つ目は、図1bに示すように、巻き付けたLED群同士が重なったり隙間が空いたりするように巻き付ける。こうしてLED群を巻き付けた円筒を中心

Analysis of Issues in a Method for Estimating 3D Position of LEDs on a Striped LED Tape

† Rintaro Akiyama and Takafumi Koike

Faculty of Computer and Information Science, Hosei University

‡ Kodai Ito and Yuichi Ito

College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

に、カメラを1周動かして18枚撮影し、高さを変えてもう1周動かして18枚撮影する。計36枚の画像で位置を推定する。

図1aの巻き方で推定した結果が図1cで、図1bの巻き方で推定した結果が図1dである。いずれも撮影した物体を真上から見た様子である。青点がLEDの3次元点群で、赤いカメラのアイコンが推定したカメラの位置と方向を示している。飯田らの実験における結果を2.2節に示したが、カメラの位置や方向と、LED位置の推定精度に同様の課題がある。

次に、LED群を巻き付ける物体をぬいぐるみに変更して位置を推定する。ぬいぐるみにLED群を巻きつけた様子を、図2aに示す。撮影は、円筒に巻き付けた時と同様の方法で撮影し、36枚の画像で位置を推定する。

結果を、図2bに示す。カメラの位置は円を描くように位置推定できるはずだが、そうならなかった。また、LEDを巻き付けたぬいぐるみを中心にカメラを動かしているためカメラ位置の中心にLEDの位置が推定できるはずだが、カメラ位置の外側に推定されている。

飯田らの実装では、LED群の巻き方や巻き付ける物体を変えてもカメラの位置と方向の推定精度とLEDの3次元位置推定精度は低いという結果になった。推定精度が低いのは、巻き方や巻き付ける物体以外に原因があると考えられる。

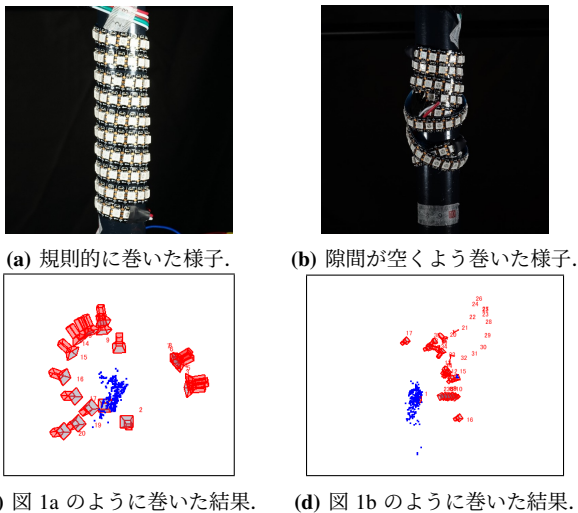


図1: 黒い円筒に2通りの巻き方でLED群を巻き付けた様子と、それぞれの巻き方で位置推定した結果。結果画像は、青い点がLEDの3次元点群で、赤いアイコンがカメラの位置と方向を示す。



図2: 実験で用いたぬいぐるみの様子と、ぬいぐるみでカメラの位置や方向を推定しLEDの3次元位置推定をした結果。結果画像は、青い点がLEDの3次元点群で、赤いアイコンがカメラの位置と方向を示す。

### 3.2. COLMAPによる形状推定

COLMAPを用いて、カメラの位置や方向と、LED群を巻き付けた物体の形状を推定する。3.1章の実験と同様の撮影方法で、図2aのぬいぐるみを撮影する。計36枚の画像を使用する。

結果を図3に示す。被写体の上に視点をとっている。赤いカメラのアイコンが、推定したカメラの位置と方向を示している。飯田らの手法でカメラの位置と方向を推定した図2bと比較すると、COLMAPで形状を推定した図3の方が、カメラ位置は被写体の周囲を円を描くように推定できている。LED群を巻き付けた物体の形状を示す点群は、COLMAPを使用した実験では、カメラ位置の中心にある。カメラの位置や方向と、LED群を巻き付けた物体の形状について、いずれの推定精度も相対的にCOLMAPを使用した方が高い。

SfMは、特徴点の誤ったマッチングが発生することがあり、誤ったマッチングの影響を除きながらカメラ位置と方向を推定する必要がある。COLMAPでは、特徴点の誤ったマッチングによる影響を防ぐRANSACという処理が実装されている。飯田らの手法と比較してCOLMAPの方が精度が高いのは、この処理によると考えられる。

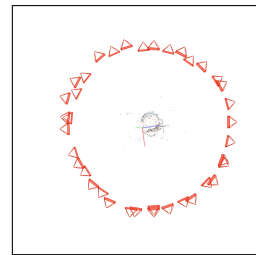


図3: COLMAPでぬいぐるみの3次元形状を推定した結果。赤いアイコンがカメラの位置と方向を示す。

### 4. 結論

本研究では、SfMによりLEDの3次元位置を推定する手法の課題を検討した。LED群の巻き付け方や巻き付ける物体を変えてカメラの位置や方向とLEDの3次元位置を推定したが、いずれも精度は低く、SfMの処理のうちLEDの重心位置でマッチングを行うことに原因があることがわかった。

LEDの重心位置を特徴点として画像間のマッチングを行う処理に課題があることを示すため、COLMAPでカメラの位置や方向とLED群を巻き付けた物体の3次元位置を推定した。LEDの3次元位置推定精度を向上するためには、LEDの重心を算出しマッチングを行う際に、誤った対応を除く処理をする必要がある。

### 参考文献

- [1] 鈴永, 伊藤, 藤田, 白井, 尾上, “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報告集, Vol.22, No.6, pp.89-92, 2020.
- [2] 飯田, 山崎, 伊藤, 伊藤, 小池, “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”, 情報処理学会第84回全国大会講演論文集, 2022.
- [3] J. L. Schönberger, and J. M. Frahm, “Structure-from-Motion Revisited”, CVPR, 2016.
- [4] J. L. Schönberger, E. Zheng, M. Pollefeys, and J. M. Frahm, “Pixelwise View Selection for Unstructured Multi-View Stereo”, ECCV, 2016.