

形状に沿った映像投影技術による空間演出システムの開発

Development of Space Illumination System of Projection Images Fitted onto Spatial Form

○吉田 和人*¹, 出原 立子*²
Kazuto Yoshida*¹ and Ritsuko Izuhara*²

*1 金沢工業大学大学院工学研究科システム設計工学専攻 大学院生
Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kanazawa Institute of Technology
*2 金沢工業大学情報フロンティア学部メディア情報学科 教授 博士(芸術工学)
Dept. of Media Informatics, Kanazawa Institute of Technology.

キーワード：生成イメージ；キャリブレーション；プロジェクションマッピング
Keywords: generative image; calibration; projection mapping.

1. はじめに

近年、建造物の形状に合わせて、プロジェクターより映像を投影するプロジェクションマッピング技術は様々な目的で活用されている。従来のプロジェクションマッピングは、特定の建造物に対して事前に設計制作された映像を投影する機会が多い。それに対して、本研究では投影対象物を特定せず、その3次元形状の特徴を基に投影イメージが生成される、汎用性のある手法を構築し、日常的な室内空間の形状に合った空間演出を行うシステムを開発する。

2. システム概要

本システムは、プロジェクターの位置合わせのためのキャリブレーションと形状に沿ったイメージの生成から構成される。以下に示す手順で処理を行う。点群データの取得には、センシングデバイス(Azure Kinect DK)を用い、システムの構築環境としてゲームエンジン(Unity)を用いた。

- ① 点群データの取得
- ② プロジェクターの位置合わせ
- ③ ユニーク特徴点の取得
- ④ 形状に沿ったイメージ生成

3. プロジェクターの位置合わせ

プロジェクターの位置合わせを行うために、カメラで撮影した画像と3次元空間との対応関係について解析するためにコンピュータビジョンで用いられるカメラキャリブレーションを用いた¹⁾。本研究では、センシングデバイスとプロジェクターとのキャリブレーションを行うことで、実空間の位置関係と同じになるように推定し、CG空間上にプロジェクターを配置する。このような、キャリブレーションのシステムは、RoomAlive²⁾という研究プロジェクトにおいて提案されており、同様の手法を用い以下の①②の

手順で処理を行った。

- ① 世界座標と画像座標の対応関係の取得
- ② プロジェクターの位置と姿勢の推定

3.1 点群座標と画像座標の対応関係の取得

プロジェクターとセンシングデバイスのキャリブレーションを行うには、Figure 1.に示すカメラ行列を推定する必要がある。

$$\begin{matrix} \text{image} & & \text{camera} & & \text{world} \\ \text{coordinates} & & \text{matrix} & & \text{coordinates} \\ \begin{matrix} u \\ v \\ 1 \end{matrix} & = & \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{matrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{matrix} \\ \text{intrinsic} & & \text{extrinsic} \\ \text{parameters} & & \text{parameters} \end{matrix}$$

Figure 1. Camera matrix

また、その前段階として、世界座標（点群の座標値）と画像座標（プロジェクター上の画像座標値）を対応付けるために、以下に示すような輝度値を反転させたパターンを分割数を変化させて投影していくことで、対応関係を取得する Gray Code Sequence という手法を用いた (Figure 2.)。



Figure 2. Gray code sequence

3.2 プロジェクターの位置と姿勢の推定

プロジェクターの位置と姿勢の推定値を得るためには、カメラ行列の外部パラメーターに含まれる回転行列と平

行移動ベクトルを推定する必要があり、内部パラメーターを固定値として、以下の流れでプロジェクターの位置と姿勢を推定する。

- ① 非平面のサブセットを取得
- ② DLT 法により、外部パラメーターを取得（初期位置合わせ）
- ③ サブセットを用いて LM 法により外部パラメーターを推定（再投影誤差を最小化）
- ④ 点群全体からインライアーを探索
- ⑤ インライアーを用いて LM 法により外部パラメーターを推定（再投影誤差を最小化）
- ⑥ 外部パラメーターからプロジェクターの位置と姿勢位置と姿勢を推定

4. ユニーク特徴点の取得

投影対象の形状の特徴を得るために、PFH(Point Feature Histograms) という手法を用いた³⁾。PFH では各点の特徴量をヒストグラム形式で表し、点群全体からユニーク特徴点を選ぶことで、空間の形状の特徴を示している(Figure 3.)。本来 PFH は、異なる点群同士の位置合わせを行うレジストレーションに用いられており、ノイズに対して比較的頑健であり点群の形状として特徴的な点をより適切に示すことができることより PFH を用いた。

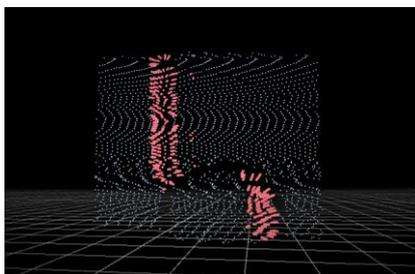


Figure3. Unique feature points

5.形状に沿ったイメージの生成

5.1 生成イメージの検討

本研究での部屋のような日常的な空間における空間演出では、屋外などでのプロジェクションマッピングの観賞よりも個々の人の視点がより動くことを想定しているため、立体感や没入感を生み出そうとすると、遠近法によりどの視点からの映像をレンダリングするかという問題が発生してしまう。また、部屋のような日常空間では、従来のプロジェクションマッピングの観賞時間よりも長時間過ごすことが想定され、常に立体感や没入感がある演出ではなく、空間形状をより活かした間接照明として空間に緩やかに溶け込んだ空間演出が良いのではないかと考えた。

5.2 生成イメージの設計

個々の人が様々な視点から観賞しても、映像が破綻することなく空間形状に沿って、空間に溶け込んだイメージを

生成するために、空間形状の特徴的な箇所から光が流れていくようなイメージが生成されるように設計した。イメージ生成のアルゴリズムを以下に示す(Figure 4.)。

- ① 各ユニーク特徴点を近傍ごとのグループにまとめ流れのグループをつくる（各グループに含まれる点について進行方向が重ならないように進行方向ベクトルを算出する。）
- ② 各点からの次の進行方向を直線的になるように決定する（各点の進行方向ベクトルと次の点へのベクトルの内積が最大になるように次の点を探し、次の点の位置を流れのグループの重心点へと近づけた位置と現在位置とのベクトルを進行方向ベクトルとする。）
- ③ 流れのグループに含まれる次の点が見つかる場合は②の処理を続け、見つからない場合は、①の処理へと戻る。（各点の進行方向ベクトルと次の点へのベクトルの内積が0未満となり、反対方向となる場合は次の点が見つからないことを示す。）

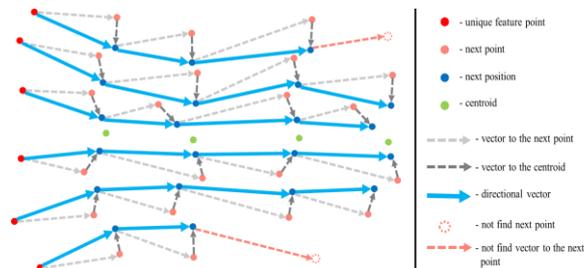


Figure 4. Image generation flow

6.検証実験

検証実験の結果、以下に示す通り空間形状の特徴に沿って変化していく空間演出となった(Figure 5.)。今後の課題として、キャリブレーションの精度向上やより繊細な表現にしていくことで、空間に緩やかに溶け込んだイメージを生成できるようにしていく必要がある。



corner and cushion

corner

Figure 5. Demonstration experiment

[参考文献]

- 1) 米谷 竜,ほか, ” コンピュータビジョン-広がる要素技術と応用-37” ,pp. 4-21, 2018. 6
- 2) Brett Jones, etc., ” RoomAlive:Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-Camera Units” ,UIST’ 14 Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User Interface software and technology, 2014.
- 3) Radu Bogdan Rush.etc., ” Semantic 3D Object Maps for Everyday Robot Manipulation” , pp. 44-50, 2013. 1