

修士学位論文要約（令和4年3月）

# 複数プロジェクターの連携により 環境変化に対応する情報投影システムの研究

三田 昌輝

指導教員：菅沼 拓夫， 学位論文指導教員：阿部 亨

## A study of information projection systems that can adapt to environmental changes by cooperating multiple projectors

Masaki MITA

Supervisor: Takuo SUGANUMA, Research Advisor: Toru ABE

We propose a novel information projection system for projecting contents onto a plane surface such as a wall in various environments. The proposed system is composed of mobile Projector-Camera Terminals (PCTs) held by individual users. In each PCT, an agent installed on it controls its projection while cooperating with the agents of other neighboring PCTs. Through the cooperation of the agents, contents are shared among them, and each content is projected separately from a suitable PCT in the appropriate position to project it onto a projection surface. By sharing contents projection among suitable PCTs, this system covers a necessary area on the projection surface, improves the resolution of contents projected onto the surface, and reduces shadows on the projected contents, even if the PCTs move, some of them withdraw, or new ones join in.

### 1. はじめに

プロジェクターはスクリーン等の現実の物体に対し画像を投影することで、ユーザへ情報を提示するデバイスである。このことから、現在、打ち合わせのような複数人での情報共有や、機械の操作指示といった作業支援の分野等での活用が進められている。

このような利用用途において、投影の質を向上させることを目的として、プロジェクターとカメラを組み合わせた、プロジェクターカメラシステムを利用することで、投影対象の位置や形状・材質に適應するよう投影状態を変更する手法[1]や、また、近年登場した携帯可能なプロジェクターを複数利用することで、大型端末による投影に劣らない、高い解像度や広い投影範囲を目指すといった研究[2]が行われている。しかし、これらの既存手法では、各端末の台数や位置を固定としていたり、高い処理能力をもつサーバを必要とするなど、即席の環境や変化する環境での利用に対する考慮が不十分である。

本提案では、独立に動作する、プロジェクター・カメラ・処理用の小型PCからなる複数のプロジェクターカメラ端末(Projector-Camera Terminal: PCT)を効率的に連携させるシステムの提案を行う。これにより、複数人が端末(と投影したいコンテンツ)を持ち寄り、即席の環境での情報共有を行うといったシナリオを効果的に実現できる。各端末では連携用のエージェントを動作させ、それらが通信を行うことによりコンテンツの投影を分担して行う。各エージェントは、各コ

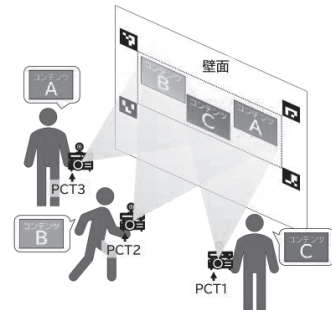


図1 提案システムの概要

ンテンツを自身が投影した際の品質を推定し、値を共有する。最も高い品質で投影可能な端末が代表して投影を行うことで、投影の高解像度化と、品質のみをやり取りすることで通信帯域の削減を図る。

### 2. 提案システム

図1に提案システムの構成を示す。

環境中の壁などの平面を投影面とし、そこに少なくとも2つのマーカを配置し、マーカで囲われた範囲を投影領域とする。各ユーザはPCTを所持しており、各端末に自身が投影したいコンテンツを投影位置や投影領域に対するサイズとともに格納する。各PCTで稼働するエージェントの連携により、コンテンツがPCT間で共有される。各コンテンツについて、各PCTが投影品質を推定し、最も高い品質で投影できるPCTを決定する。この結果を基に、各コンテンツを適切なPCTが投影する。図1の場合、コンテンツA、B、Cは、

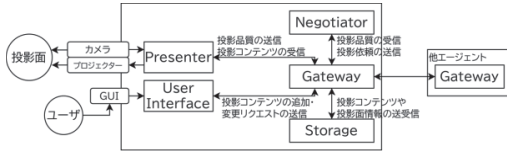


図2 エージェントの構成

最初 PCT3、PCT2、PCT1 に格納され、それぞれ PCT1、PCT2、PCT3 から投影される。

各 PCT があるコンテンツを投影する品質  $Q$  は以下の式(1)で定義される。

$$Q = \alpha \frac{1}{r_m} r + \beta p \quad (1)$$

ここで  $r_m$  は投影領域面積であり、 $r$  はコンテンツ分解能、 $p$  が投影率であり、以下で定義される。  
**分解能**：投影面上のコンテンツ投影領域の分解能  
**投影率**：投影が正しく行える面積の割合

また、 $\alpha$  と  $\beta$  は係数であり、分解能と投影率のどちらを重要視するかを指定する。

また、エージェントは図2のように、以下に述べる5つのモジュールから構成される。

**Gateway**：エージェント・モジュール間での通信メッセージを中継や接続の管理を行う。

**Storage**：コンテンツ情報を保持し、共有する。

**User Interface**：ユーザによるコンテンツ追加や位置・サイズ変更などのリクエストを処理する。

**Negotiator**：自身が所有するコンテンツの品質を集計し投影を担当する PCT を決定・依頼する。

**Presenter**：プロジェクターとカメラに接続し、投影面のマーカ検出やコンテンツの品質推定、投影を実行する。

### 3. 性能評価実験

3つの実験を行うことで提案システムの動作確認と性能評価を行った。

まず、1台の PCT による1コンテンツの投影を

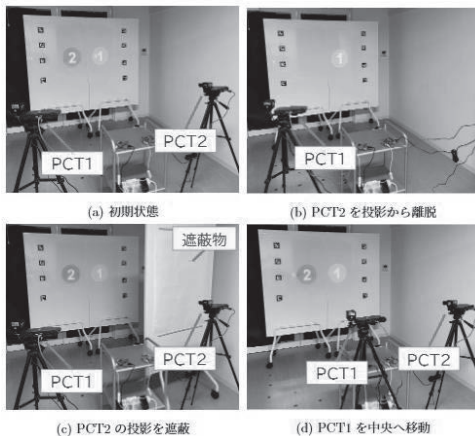


図3 投影状況変化の検証結果

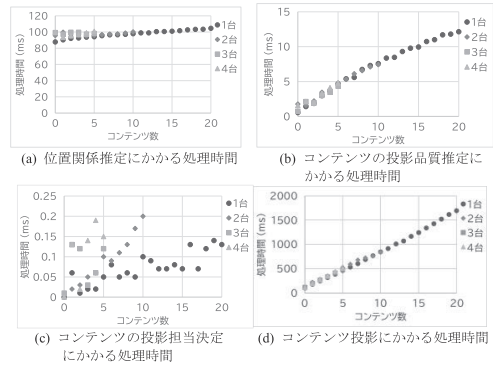


図4 処理性能評価の結果

行った。分解能と投影率の推定値と実測値を比較したところ概ね一致し、投影品質の推定が正しく行われていることを確認した。

次に、2台の PCT による2コンテンツの投影を行った。図3に示す通り、PCTの移動や遮蔽などの投影状況変化を発生させ、その状況でもエージェントの協調によりコンテンツの投影が維持されることを確認した。

最後に、接続 PCT 数と投影コンテンツ数を増加させたときの処理性能を評価することで処理のボトルネックを調査し、処理の高速化方法の検討を行った。図4が各接続 PCT 数におけるコンテンツ投影にかかる平均処理時間を表すグラフである。これらの結果から、コンテンツ数に比例し提案システムの処理時間が増加することや、1台の PCT にコンテンツ投影が集中した場合、投影更新に大きな遅延が発生することが分かった。

### 4. おわりに

複数のプロジェクターカメラの高度な連携を目指し、独立に動作するプロジェクターカメラ端末の連携による情報投影システムの提案を行った。各端末で稼働するエージェントが相互に連携し、コンテンツを投影する適切な端末をリアルタイムに決定することで、投影中の端末台数や位置の変化、投影コンテンツの変更に対し柔軟な投影を可能とする。また性能評価実験から、提案システムの動作を確認し、環境変化へ対応可能し、現実的な速度で動作することを示した。

### 文献

- 1) P. Romanet et al., "A scalable distributed paradigm for multi-user interaction with tiled rear projection display walls," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*, vol. 16, no. 6, pp. 1623–1632, 2010.
- 2) D. Iwai, M. Nagase, and K. Sato, "Shadow removal of projected imagery by occluder shape measurement in a multiple overlapping projection system," *Virtual Reality*, vol. 18, pp. 245–254, 2014.