

# Volu-Me Fan : 高速プロジェクタと多層ファンを用いた立体ディスプレイ

夏山 英高\* 宮藤 詩緒\* 幸谷 有紗\* 小池 英樹\*

**概要.** 本論文では高速に回転する多層のファンに対してプロジェクションを行い、複数枚の画像立体的に表示する Volu-me Fan を提案する. このシステムでは, ファンの各層を位相をずらして取り付け, ファンの回転に沿うように高速プロジェクタで映像を投影する. それにより, 観測者からは各層に異なる映像が投影されるように見える. ファン側には回転を計測するためのセンサーを取り付けて投影画像と同期するため, 回転速度が一定ではない安価なファンにも用いることができる. また, 観測者に特殊な器具を必要としないため, 多人数でのインタラクションに応用可能である. 本論文では, このシステムの概念実証のために高速プロジェクタと2層のファンを用いたプロトタイプを構築した. このプロトタイプの動作結果を示したうえで, このシステムの今後の将来性について議論する.

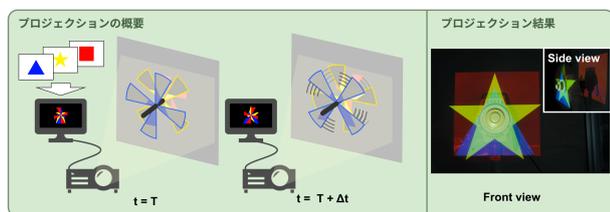


図 1. システムの全容. プロジェクションの流れ: 高速プロジェクタが多層のファンに沿うように映像を投影する. 観測者からは各層に別々の画像が映っているように認識される.

## 1 はじめに

ハードウェアの進化に伴い, 3次元立体映像を表示するディスプレイはより一般的になってきた. 特に3Dディスプレイ(ポリュメトリックディスプレイ)は3次元物体をディスプレイの光学的, 機械的仕組みに依って表現するものであり, ユーザが複雑な機器を付けなくても良いという特徴がある.

物理的に形状を再現する形状ディスプレイ [3], 光学的な仕組みで立体映像を投影するポリュメトリックディスプレイ [5], ディスプレイを重ねて立体を表現するレイヤードディスプレイ [2, 4] など様々な3Dディスプレイが提案されてきた. しかしそれらの多くは立体映像の「解像度」に制限がある. LEDや回転盤とプロジェクタを用いたシステム [1, 6] もあるのだが, 立体映像の表現力や拡張性に着目して議論したものは少ない.

そこで, 本論文では, 互いに重なり合わない多層のファンと高速プロジェクタを用いて立体映像を投

影する Volu-Me Fan を提案する (図 1). このシステムではファンの回転速度や角度を計測して投影を合わせるため, 投影先であるファンの制約が少ない. 市販されているハンディファンにも拡張可能である. さらにプロジェクタを用いることで高解像度で表現力の高い投影ができ, 多人数で同時に観測することも可能である. この論文ではそのシステムのプロトタイプを実装して概念実証を行い, システムの今後の拡張について議論する.

## 2 実装

システムは投影対象としてのファン, 投影機器としての高速プロジェクタ<sup>1</sup>, 投影を制御するコンピュータからなる (図 2). ファンの回転に応じた投影を行うため, システムは主に次の二つの機能を備える.

**1. ファンの回転速度計測 :** このシステムは安価で手に入るファンを想定しており, 実機では入手しやすい一般的な扇風機のモータを利用している. このようなモータでは回転数が一定ではなく, ファンの回転に応じた投影が難しい. 本システムでは M5 Stack<sup>2</sup>とホールセンサを用いて, 現在のファンの回転数と位相を計測する. その結果は, シリアル通信によってホストコンピュータへ送られる (図 3). プロトタイプでは, ファン2層とバックスクリーンに対して画像を投影するため, 各ファンは4枚羽で, 中心角が30度となるような扇型のものを採用した. 2層目のファンは1層目に対し反時計回りに30度ずらして取り付けられている. ファンはすべて一本の軸に固定されており, 同時に回転する.

**2. 投影画像の生成 :** 生成する手順は図3に示す. まず, センサによって計測された値から, 現時点で

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

\* 東京工業大学

<sup>1</sup> <https://us.teldevice.com/product/tb-6v-dynaflash/>

<sup>2</sup> <https://m5stack.com/>

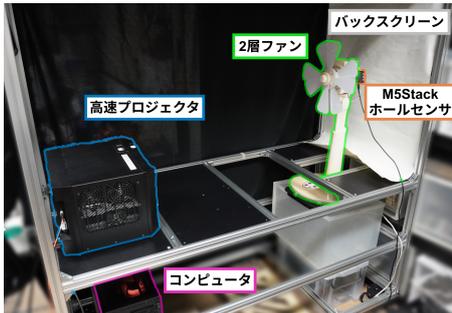


図 2. システムのセットアップ.

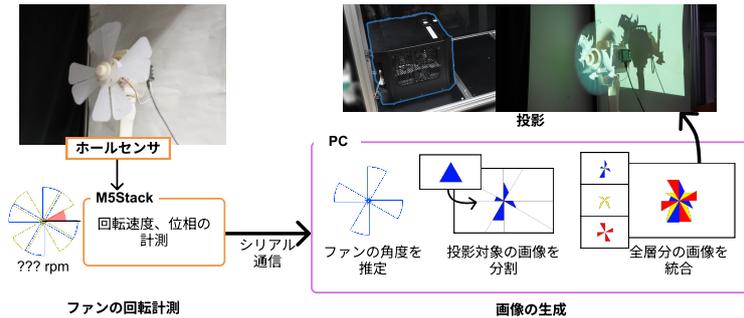


図 3. プロトタイプの処理の流れ. ファンの回転速度や角度をセンサーで取得し、ファンの形状に合わせた画像をコンピュータで生成する. その映像を高速プロジェクタでファンに投影する.

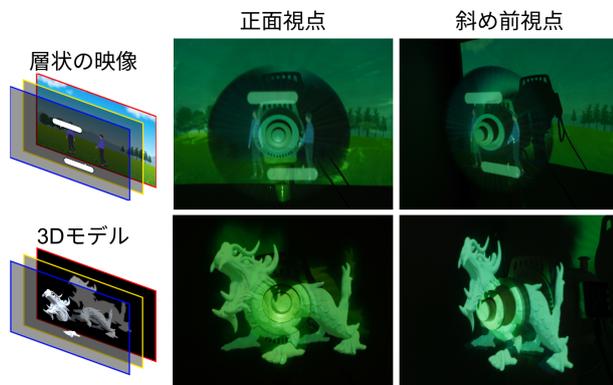


図 4. 投影結果. 上段: 層状の立体映像. 下段: 3D モデルの立体映像.

各層のファンが何度傾いているかを推定する. 表示してほしいターゲット画像を全層分用意し, それぞれの層のファンだけに映像が当たるよう分割, 合成する.

このようにして生成された画像をファンに対して投影する. 投影には, 925FPSで投影可能な高速プロジェクタを用いる. 高いフレームレートで投影することにより, 高速で回転するファンに対しても映像がずれることなく投影することができる.

このように画像を生成, 投影することにより, それぞれの層のファンにのみ, ターゲット画像の一部が投影されることになる. 人間の目で回転するファンを見ると, 残像効果によりそれぞれの層には別々のターゲット画像が投影されているように見える.

### 3 結果

作成したシステムを用いて投影した結果を図4に示す.

**1. 層状の立体映像** : 図4上段は3層からなる立体レイヤー画像を投影している. ファンの2層には手前から吹き出し, 男女のイラストが表示されており,

スクリーンには背景の草原のイラストが表示されている. 斜め前からの図からもわかる通り, それぞれの映像が立体的に投影されている. この結果から分かる通り, このシステムでは層ごとに全く異なる映像を投影できる. これにより, 背景映像を流しながら, それに干渉しないように説明文を載せるなどの表現に応用できる.

**2. 3Dモデルの立体映像** : 図4下段は3Dモデルを2つのレイヤーに分割して投影している. 頭と左前足が手前のレイヤー, 後ろ足が奥のレイヤーに投影されており, 上段と同様に立体的に見える. 投影したのは2層のファンだが, より層を増やせば解像度の高い立体映像が得られるだろう.

### 4 結論

この論文では多層のファンと高速プロジェクタからなる Volu-Me Fan を提案した. このシステムは立体映像をより高い解像度で表現でき, 特殊な機器を身につけることなく, 同時に多人数で観察することができる.

プロトタイプの投影結果より, 各レイヤーごとに別の映像が安定的に投影でき, 立体的に見えることが確認された.

今回作成したプロトタイプでは2層のファンを用いた. しかし投影映像はプログラムによって自動で生成でき, 追加の工夫無く層の数を増やすことができる. また, 層ごとに別の映像を投影できることを生かし, 3Dモデルの影や光源, 素材, テクスチャなどの要素を別々に投影することもできる. これらを利用してより表現の質を向上させる手法について検証したい. 将来的にはトラッキングを併用してハンディファンにも投影できるようにし, インタラクティブなアプリケーションを構築していきたいと考えている.

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費 20H04221 の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] R. Asahina, T. Nomoto, T. Yoshida, and Y. Watanabe. Realistic 3D Swept-Volume Display with Hidden-Surface Removal Using Physical Materials. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 113–121, 2021.
- [2] P. C. Barnum, S. G. Narasimhan, and T. Kanade. A Multi-Layered Display with Water Drops. In *ACM SIGGRAPH 2010 Papers*, SIGGRAPH '10, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery.
- [3] S. Follmer, D. Leithinger, A. Olwal, A. Hogge, and H. Ishii. InFORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints through Shape and Object Actuation. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, p. 417–426, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [4] R. Hirayama, T. Suzuki, T. Shimobaba, A. Shiraki, M. Naruse, H. Nakayama, T. Kakue, and T. Ito. Inkjet printing-based volumetric display projecting multiple full-colour 2D patterns. *Scientific Reports*, 7, 02 2017.
- [5] S. K. Nayar and V. N. Anand. 3D Volumetric Display Using Passive Optical Scatterers. In *ACM SIGGRAPH 2006 Sketches*, SIGGRAPH '06, p. 106–es, New York, NY, USA, 2006. Association for Computing Machinery.
- [6] T. Yoshida, Y. Watanabe, and M. Ishikawa. Phyxel: Realistic Display of Shape and Appearance Using Physical Objects with High-Speed Pixelated Lighting. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, p. 453–460, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.

## 未来ビジョン

本論文では、高回転のファンと高速プロジェクタを用いて立体映像を投影するシステムを提案した。このシステムには主に、透過映像を重ねて表示できるという点と、ファン側の仕組みが単純であるという特徴がある。ファンをハンディファン等の安価で動かしやすいものを使えるようになれば、プロジェクションを用いる展示の体験を向上させられると考えている。投影対象をハンディファンとし、立体映像を使ってインタラクションするアプリケーション例を図 4 に示す。このアプリケーションではハンディファンをトラッキングし、それに合わせて投影する。今後は、このような手元で立体映像を再生しつつ、ファンを動かすことで作

用するインタラクティブなアプリケーションの可能性を探っていきたい。

