

K-004

## 3 方向以上に表示可能な指向性ボリュームディスプレイの開発 Development of directional volume display that can display in three or more directions

村瀬 大心\*<sup>1</sup>  
Taishin Murase

白木 厚司\*<sup>2</sup>  
Atsushi Shiraki

中山 弘敬\*<sup>3</sup>  
Hiroataka Nakayama

角江 崇\*<sup>1</sup>  
Takashi Kakue

下馬場 朋禄\*<sup>1</sup>  
Tomoyoshi Shimobaba

伊藤 智義\*<sup>1</sup>  
Tomoyoshi Ito

### 1. はじめに

近年、公共機関や交通機関などで効果的に映像を表示する手段としてデジタルサイネージが注目されている。その中でも 3 次元上に映像を直接表示するボリュームディスプレイは、芸術性や秘匿性が高く、メディアアートや暗号化への応用も期待できる。

これまでの研究において我々の研究グループは、正面と側面に異なる映像を表示する 20×20 本の糸で構成された指向性を持ったボリュームディスプレイを開発した[1][2]。しかしこれは、正面と側面の 2 方向のみにしか対応していない。また、観察者の位置は固定されており、観察者の移動に合わせて任意の方向に表示することはできない。そこで本研究では、任意の 3 方向以上に異なる映像を表示する指向性ボリュームディスプレイの開発を目的とする。

### 2. 指向性糸ボリュームディスプレイの概要

図 1 に示すように、2 枚の原画像 A, B から 1 枚の投影画像 C を生成し、それをプロジェクタから糸ボリュームディスプレイの奥行きを考慮して投影すると、正面と側面の 2 方向に原画像 A, B が表示され、それ以外の位置からは何も情報が得られない構造になっている。

#### 2.1 糸ボリュームディスプレイの概要図

図 2 に先行研究で実際に作成した糸ボリュームディスプレイの概要図を示す。ミシン糸の両端にナットを取り付け、片方に磁石をつけホワイトボードに貼り付け垂らす。糸の本数は原画像の水平方向の解像度の 2 乗の 20×20 本で、0.8m 四方の正方形に配置した。

#### 2.2 投影画像の生成

投影画像 C を生成する手法として、まず図 3 のような  $P \times Q \times R$  の仮想物体を考える。仮想物体内の座標  $(X, Y, Z) = (i, j, k)$  のボクセル値  $V(i, j, k)$  は式(1)で求められる。このとき、 $a_{ij}$  は原画像 A の座標  $(X, Y) = (i, j)$  におけるピクセル値、 $b_{kj}$  は原画像 B の座標  $(Z, Y) = (k, j)$  におけるピクセル値を表す。 $\lambda$  はボクセル値  $V(i, j, k)$  を正規化するための定数である。

$$V(i, j, k) = \lambda a_{ij} b_{kj}. \quad (1)$$

糸ボリュームディスプレイは、正面と側面から見たときに糸が重ならないこと、プロジェクタの光線と糸が 1 対 1 に対応すること、糸は空間内に偏りなくランダムに配置されることを条件に、糸配置シミュレータを用いて予め糸の

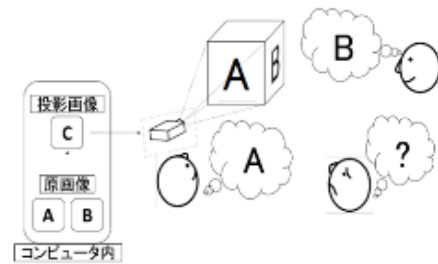


図 1 ボリュームディスプレイの仕組み

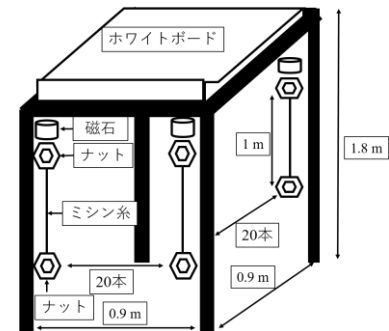


図 2 糸ボリュームディスプレイの概要図

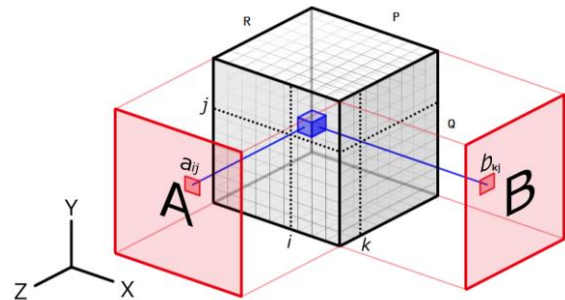


図 3 投影画像の生成アルゴリズム

配置場所を決めておく。求めた仮想物体のボクセル値と糸の配置場所を基に、投影画像 C を作成する。このとき、糸の奥行きを考慮して各光線の高さを補正している。

### 3. 任意の 3 方向以上に画像を表示する手法

2.2 節で説明した、投影画像の生成方向は、正面と側面の 2 方向のみを想定したものである。本章では任意の方向へ表示する手法と 3 方向以上に拡張する手法を述べる。

#### 3.1 任意の方向に表示する手法

図 4 の様な仮想物体を考える。座標  $(X, Y, Z) = (x, y, z)$  におけるボクセル値  $V(x, y, z)$  は式(2)で求めることができる。この時、 $I_1(u_1, v_1)$  および  $I_2(u_2, v_2)$  はそれぞれ 1 番目と 2 番目の原画像におけるピクセル値を示す。

\*<sup>1</sup> 千葉大学工学研究院, Graduate School of Engineering, Chiba University

\*<sup>2</sup> 千葉大学統合情報センター, Institute of Management and Information Technologies, Chiba University

\*<sup>3</sup> 国立天文台, Center for Computational Astrophysics, National Astronomical Observatory of Japan

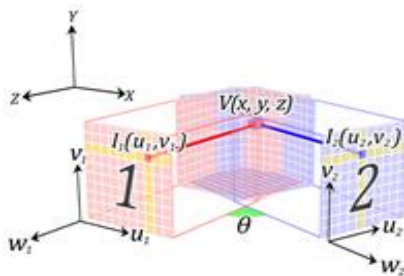


図 4 任意の方向に表示するデータの生成

$$V(x, y, z) = \lambda I_1(u_1, v_1) I_2(u_2, v_2). \quad (2)$$

またここで図 4 より, 1 番目の座標系と  $(X, Y, Z)$  座標系を同一の座標系, 2 番目の座標系と  $(X, Y, Z)$  座標系のなす角を  $\theta$  とすると, 座標系はそれぞれ  $(u_1, v_1, w_1) = (X, Y, Z)$ ,  $(u_2, v_2, w_2) = (X \cos \theta + Z \sin \theta, Y, -X \sin \theta + Z \cos \theta)$  と表すことができる. そのため, 式(2)は式(3)とできる. この処理によって任意の方向への画像表示が可能となる.

$$V(x, y, z) = \lambda I_1(x, y) I_2(x \cos \theta + z \sin \theta, y). \quad (3)$$

### 3.2 3 方向以上に拡張する手法

式(3)を任意の  $N$  方向へ表示する場合, 式(4)で表すことができる. このとき,  $i$  番目の原画像におけるピクセル値を  $I_i(u_i, v_i)$ ,  $(X, Y, Z)$  座標系と  $i$  番目の座標系  $(u_i, v_i, w_i)$  のなす角を  $\theta_i$  とする.

$$V(x, y, z) = \lambda \prod_{i=1}^N I_i(x \cos \theta_i + z \sin \theta_i, y). \quad (4)$$

## 4. 研究結果

本研究には  $10 \times 10$  本の糸で構成された糸ボリュームディスプレイを使用し, 投影画像は 3 章で説明したアルゴリズムを用いて, 異なる 3 種類の画像を基に生成した. また, プログラム上で画像を表示する方向を設定できるようにし, 本研究ではそれぞれ  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  とした.

### 4.1 $10 \times 10$ ピクセルの画像を用いた結果

使用した  $10 \times 10$  ピクセルの原画像を図 5 に示す. PC(Personal Computer)上で行ったシミュレーション結果を図 6 に, 実際に糸ディスプレイに投影した結果を図 7 にそれぞれ示す. 図 6 と図 7 より, 異なる 3 方向に異なる画像を表示できていることが確認できる. しかし, 図 7 の結果は図 6 と比べるとノイズが多く, 画像自体が歪んで見える.

### 4.2 $40 \times 40$ ピクセルの画像のシミュレーション結果

使用した  $40 \times 40$  ピクセルの原画像を図 8 に, PC 上で行ったシミュレーション結果を図 9 にそれぞれ示す. 結果より, 4.1 節より大きな画像を用いたときも異なる 3 方向に画像が表示できていることが確認できる.

## 5. まとめ

任意の 3 方向以上に異なる映像を表示する指向性ボリュームディスプレイの開発という目的に対し, 3 章で説明したアルゴリズムを提案し実際に行った結果, 任意の 3 方向に異なる画像を表示するボリュームディスプレイの開発に成功した. しかし図 7 より, 人の手による環境構築のため

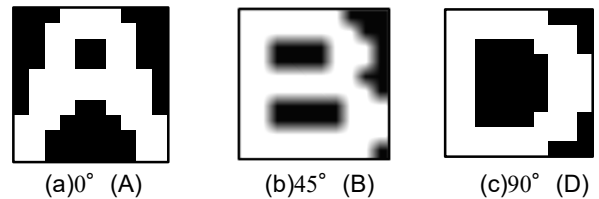
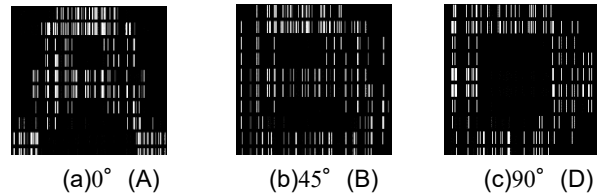
図 5 使用した原画像 ( $10 \times 10$  ピクセル)

図 6 シミュレーション結果

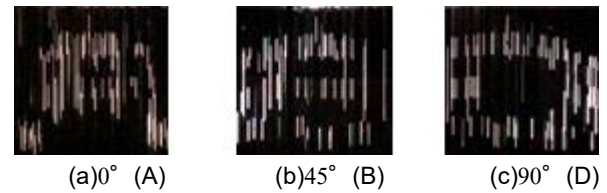
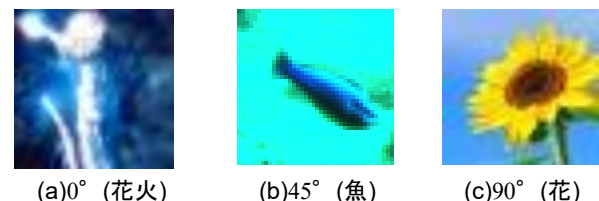
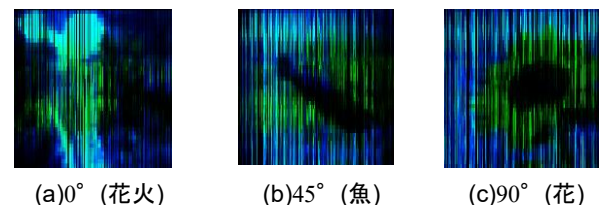


図 7 実際に投影した時の観察結果

図 8 使用した原画像 ( $40 \times 40$  ピクセル)図 9  $40 \times 40$  ピクセルのシミュレーション結果

実際に観察された画像は鮮明ではない. そのため今後の課題として, 環境構築の精度の向上が挙げられる. また, 図 9 の結果より, 表示画像の解像度を上げた場合でも指向性を持った画像を表示させることが確認できた. 今後は高解像度画像を表示する指向性ボリュームディスプレイを製作し, 投影実験を行う予定である.

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 (18K11599) の助成を受けたものである. ここに謝意を表す.

### 参考文献

- [1] Atsushi Shiraki, Masataka Ikeda, Hiroataka Nakayama, Ryuji Hirayama, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba, Tomoyoshi Ito, "Efficient method for fabricating a directional volumetric display using strings displaying multiple images," Applied Optics, Vol. 57, Iss. 1, pp. A33-A38, (2018).
- [2] Masataka Ikeda, Atsushi Shiraki, Ryuji Hirayama, Takashi Kakue, Tomoyoshi Shimobaba, and Tomoyoshi Ito, "Simulation of the Projection Mapping to a Directional Volumetric Display," The 24th International Display Workshops (IDW'17), PRJp1-1, pp.1199-1201, Sendai, Japan, (2017).