

高解像度な映像を表示する指向性ボリュームディスプレイの開発

今村友哉^{†1} 干川尚人^{†2} 中山弘敬^{†3} 伊藤智義^{†1} 白木厚司^{†1}

^{†1}千葉大学 ^{†2}国立高等専門学校機構 小山高専 ^{†3}国立天文台

1. はじめに

我々の研究グループでは、体積を持ったディスプレイを用いて多方向に異なる2次元情報を同時に表示する手法を提案している[1]。この手法で作られたディスプレイは、特定の視点方向にのみ情報を伝えることができるため、指向性ボリュームディスプレイと呼ばれている(図1)。現在では、糸とプロジェクタを用いることでカラー動画を表示できるようになった[2]。また、人とシステムが相互に作用するインタラクティブなディスプレイの開発を目的として研究が行われており、観察者に追従しながら映像を伝送するシステムや、観察者の言語や位置に応じて映像を表示するシステムなどが開発されている[3,4]。このように、指向性ボリュームディスプレイはエンターテインメント性の高いディスプレイとしての利用が期待されている。

しかし、現状の指向性ボリュームディスプレイには、表現できる水平方向の解像度が低いなどの課題がある。解像度を上げるためにはより多くの糸を配置する必要があるが、水平解像度の2乗本の糸が必要となるため、解像度が上がるにつれて設置する手間が膨大になってしまう。そこで本研究では、指向性ボリュームディスプレイの高解像度化を実現するために新たな設計アルゴリズムを提案し、その有効性を検証する。



図1 糸とプロジェクタを用いた指向性ボリュームディスプレイ

2. 提案手法

糸とプロジェクタを用いた指向性ボリュームディスプレイのボクセル生成における従来手法

Development of a directional volumetric display that displays high-resolution images

^{†1} Tomoya IMAMURA, Tomoyoshi ITO, Atsushi SHIRAKI, Chiba University

^{†2} Naoto HOSHIKAWA, National Institute of Technology, Oyama College

^{†3} Hirotaka NAKAYAMA, National Astronomical Observatory of Japan

の構成図を図2に、提案手法の構成図を図3に示す。両手法とも糸16本を用いた場合を例とする。従来手法では、解像度 $P \times Q$ (水平 \times 垂直)ピクセルの映像を表示する場合、水平解像度1ピクセルにつき P 本の糸で表現しているため、ディスプレイ全体で合計 P^2 本が必要である。そのため、映像の解像度が高くなるほどディスプレイの作製が困難となる。ただし、水平解像度1ピクセルに対して P 本の糸を配置する冗長構成となっており、割り当てる糸の数を減らしても画質に影響しないことが想定される。そこで、水平方向1ピクセルに必要な糸の本数を $1/N$ 倍に減らし、減らした糸を新たな画素に割り当てることで高解像度な映像を表示する手法を提案する。本手法により、正面方向に表示される画像 $a_{i'j}$ と側面方向に表示される画像 $b_{k'l}$ を N 倍に拡張した解像度 $PN \times QN$ ピクセルの画像から生成される大きさ $P \times Q \times P$ のボクセル値 V_{ijk} は式(1)から算出される。

$$V_{ijk} = \lambda(a_{i'j} + b_{k'l}). \quad (1)$$

このとき、各画像の座標 i', k' は各ボクセルに対応する $X-Z$ 平面上の糸配置の座標を t_x, t_z とすると、式(2), (3)から算出される。

$$i' = t_x \times N + \frac{t_z}{N+1}. \quad (2)$$

$$k' = t_z \times N + \frac{t_x}{N+1}. \quad (3)$$

従来手法では、16本の糸で 4×4 ピクセルの映像を表示していたが、提案手法を用いることで、図3のように、同じ糸の本数で 8×8 ピクセルの映像を表示することが可能となる。また、本手法によって、水平解像度 P ピクセルの映像を最小 P 本の糸で表現することが可能となる。しかし、糸の本数を削減することによって、表示映像の情報が欠けてしまい、画質が落ちる可能性がある。そこで、1ピクセルにつき何本の糸を用いることで、ある程度、従来手法で出力される画像の画質を保ち、高解像度化が実現できるか検証する。

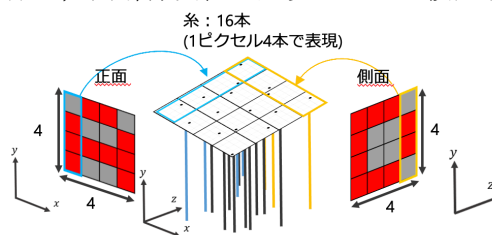


図2 従来のボクセル生成手法(N=1)

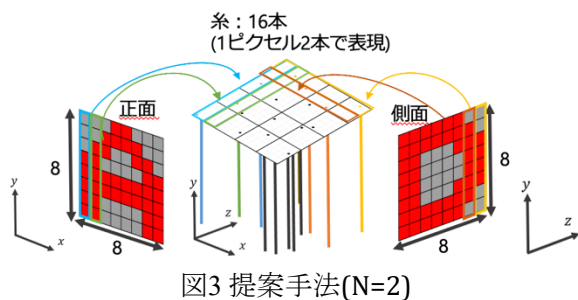


図3 提案手法(N=2)

3. 結果

本研究で用いた 64×64 ピクセルの元画像を、図4に示す。また、図5に投影結果のシミュレーション画像を示す。図4(a)と図4(b)の画像を用いて、シミュレーションを行った結果が図5(a)、図4(c)と図4(d)の画像を用いて、シミュレーションを行った結果が図5(b)である。図5の1行目は正面から観察される画像、2行目は側面から観察される画像、3行目は糸の本数である。また、出力画像をSSIMで評価した結果を表1に示す。なお、SSIMによる評価では人間の感性に近い評価指標であり、値が大きいほど画質が良いとされている。結果から、本手法によって高解像度な映像を出力することが確認できた。また、表1から、320~384本以上の糸を用いた場合の出力画像のSSIMの値と4096本の糸を用いた場合の出力画像のSSIMの値が近いことが確認できた。

よって、元画像の水平解像度1ピクセルにつき、糸を5~6本使用することで、従来手法の表示画像と近い画質を保ちつつ、映像を表示することが可能であると確認できた。

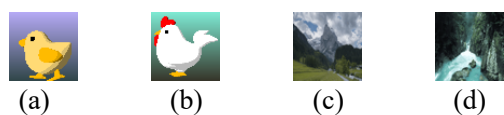


図4 入力画像

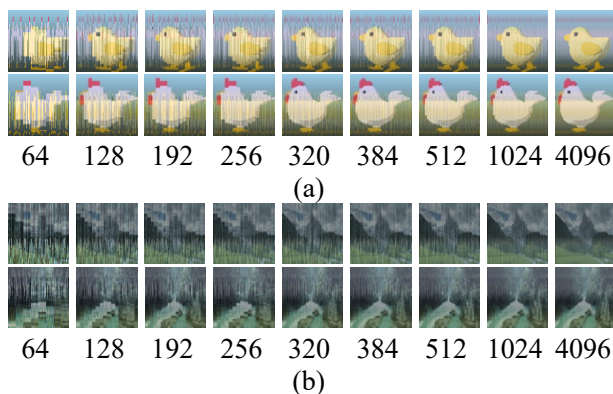


図5 出力結果

- (a) 図4(a)(b)を用いた出力結果
- (b) 図4(c)(d)を用いた出力結果

表1:SSIMによる評価

糸の本数	図5(a)		図5(b)	
	正面	側面	正面	側面
64	0.2536	0.3270	0.1431	0.1645
128	0.2502	0.3544	0.1693	0.2147
192	0.2572	0.3652	0.1841	0.2217
256	0.2563	0.3680	0.1643	0.2405
320	0.2784	0.3811	0.1769	0.2812
384	0.2705	0.3866	0.1729	0.2830
512	0.2696	0.3757	0.1670	0.2738
1024	0.2779	0.3909	0.1596	0.2824
4096	0.2861	0.4061	0.1674	0.3021

4. まとめ

本研究では、糸とプロジェクタを用いた指向性ボリュームディスプレイの高解像度化を目的として、新たな設計アルゴリズムを提案し、検証を行った。その結果、従来手法では、指向性ボリュームディスプレイを構築するために、水平解像度の2乗本の糸が必要であったが、本手法により、少なくとも水平解像度分の糸で表現することが可能となった。

また、元画像の水平解像度1ピクセルにつき、糸を5~6本使用することで、従来手法を用いた場合の出力結果の画像と同等な画質を保ちつつ、映像を表示することが可能であると確認できた。

今後は、表示映像の画質の向上や3方向以上の映像表示を実現、新たなインタラクティブシステムの導入を行い、指向性ボリュームディスプレイのマルチメディアへの応用を行っていく。

謝辞

本研究は矢崎財団 (Yazaki Memorial Foundation for Science and Technology) の支援を受けた。

参考文献

- [1] H. Nakayama, A. Shiraki, R. Hirayama, N. Masuda, T. Shimobaba and T. Ito, "Three-dimensional volume containing multiple two-dimensional information patterns", Scientific Reports, 3, Article number 1931, pp. 1-5, 2013.
- [2] A. Shiraki, M. Ikeda, H. Nakayama, R. Hirayama, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, "Efficient method for fabricating a directional volumetric display using strings displaying multiple images", Applied Optics, Vol. 57, No. 1, pp. A33-A38 (2018).
- [3] D. Matsumoto, R. Hirayama, N. Hoshikawa, H. Nakayama, T. Shimobaba, T. Ito, and A. Shiraki, "Interactive directional volumetric display that keeps displaying directional image only to a particular person in real-time," OSA Continuum, vol. 2, no. 11, pp. 3309-3322, (2019.11).
- [4] M. Baba, T. Imamura, N. Hoshikawa, H. Nakayama, T. Ito, and A. Shiraki, "Development of a multilingual digital signage system using a directional volumetric display and language identification," OSA Continuum, Vol. 3, Issue. 11, pp. 3187-3196, (2020.11).