

裸眼式3Dディスプレイにおける実写映像の自然な立体視に向けた疑似輻輳角の実装 Pseudo-Convergence Angle Implementation for Natural Stereoscopic in Glassless 3D Displays Using Live-Action Video

山城 未利果[†]
Mirika Yamashiro

佐藤 圭浩[†]
Yoshihiro Sato

1. はじめに

ディスプレイの技術発展は、映像のリアリティや没入感を体感することができる次世代ディスプレイである3Dディスプレイの実用化にも大きく貢献している。中でも裸眼式3Dディスプレイは、裸眼で左右の目にそれぞれ異なる映像を与えることで立体視を可能にした手法である[1]。しかし、裸眼式3Dディスプレイの仕様上、画像の切り替わり時にクロストークが発生するため、自然な立体視を再現するためには、視差の少ない画像を用いて表示をする必要がある[2]。視差の強い画像をそれぞれの目に与えた場合でも、立ち止まった状態での平行視 or 交差視の要領で観察すれば立体視が可能であるが、自然にディスプレイに視線を移した状態では不快感が大きく立体視できない。このため、裸眼式3Dディスプレイで表現可能な奥行きは、低視差によって制限がされる。特に裸眼式3Dディスプレイの立体感の多くは、自然なディスプレイ映像の観察による視線や頭部の動きによる視差の切り替わりによって起きる運動視差である[2,3]。

近年、裸眼式3Dディスプレイは、デジタルサイネージとして活用され、表示映像はCG空間によって生成された視差映像がほとんどである[4]。これは、前述した低視差という理由もあるが、大きな問題として両眼視差を一致させた焦点位置よりも手前か奥の位置の映像を観察すると、視差映像が二重に観察されることである。これは、顔の前に指を置き、焦点を合わせると奥の風景が二重に見えるとの同様の仕組みである。通常、人は注視した範囲は立体視が可能であり、その他の周辺については、立体的に観察しておらず映像情報だけを得ている。特定の注視領域から異なる領域に視線を移動する際、必ず眼球もしくは頭部を動かし、輻輳角を注視領域に合わせる[5]。裸眼式3Dディスプレイでは、この反応は映像を撮影しているカメラが人間の目の代わりとなり行っているが、映像内のカメラは固定されているため、輻輳角に対応することが困難である。この注視点位置の変化による裸眼式3Dディスプレイの不快感が、3D映像として、実写映像が適用しづらい根本の問題となっていると考えられる。

そこで本研究では、実写4連並行カメラに対して、疑似的に輻輳角を再現することにより、実写映像における自然で違和感のない立体感を体感できる裸眼式3Dディスプレイの開発を目的とする。

2. 輻輳角の再現

輻輳角の再現実験では、CG空間での理想的な再現実験を実施し、その後4連並行カメラを用いた実写映像での再現実験を実施する。

[†] 東京都市大学 Tokyo City University

2.1 CG (Unity) による輻輳角再現

CGソフトとしてUnityを用いた。Unityの空間内に、Unity内のカメラオブジェクトから1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、5.0、6.0 meterの8種類の位置に球体ソリッドオブジェクトを配置した。カメラオブジェクトは、9つ配置され、14.17mmずつ間を取り配置され、注視する球体ソリッドオブジェクトに対して、カメラの角度を向ける。表1にカメラオブジェクトの配置例を示す。

表1 CG内のカメラオブジェクトの配置例
(2.5 meterの球体ソリッドオブジェクト注視時)

カメラオブジェクト番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
カメラオブジェクトのx座標[mm]	-56.67	-42.50	-28.33	-14.17	0.00	14.17	28.33	42.50	56.67
カメラオブジェクトの角度[deg]	-1.30	-0.97	-0.65	-0.32	0.00	0.32	0.65	0.97	1.30

カメラオブジェクトによって取得された映像を集約し、裸眼式3Dディスプレイにて立体感を確認する。

2.1.1 実験結果

2.5m及び3.5mの球体ソリッドオブジェクトを注視する実験を実施した。図1にそれぞれの観察結果を示す。それぞれ注視している物体ははっきりと確認することができる。しかし、1.5mに配置されているオブジェクトが3.5mを注視する際に文字が認識できないほどのクロストークによるぼけが発生していることが確認された。



(a) 2.5 m



(b) 3.5 m

図1 CGによる輻輳角再現実験

2.2 4連並行カメラによる輻輳角再現

2.2.1 実験装置

4つのUSBカメラを並行に設置するカメラブラケットを製作した。本研究では、このブラケットにカメラを取り付けたものを4連並行カメラと呼ぶ。図2に製作した4連並行カメラを示す。



図2 製作した4連並行カメラ

2.2.2 実験方法

各USBカメラは、レンズ収差やレンズ焦点距離などの内部パラメータを補正するため、オープンソースライブラリOpenCVのカメラキャリブレーションを実施し、実写撮影を行う。撮影された映像は、注視点距離によって透視投影変換を実施し、疑似的な輻輳角を再現する。製作した4連並行カメラから、2.0m(画面左側)及び4.5m(画面中央)の位置に目印となる文字を印刷・配置した。透視投影変換された各カメラの映像を集約し、裸眼式3Dディスプレイにて立体感を確認する。

2.2.3 実験結果

2.0m及び4.5mの位置に合わせて透視投影変換された映像は、それぞれ目印の文字がはっきりと重なって観察することができ、その周辺の立体感を得ることができた。しかし、その目印付近外の距離に関しては、視差が大きくずれぼやけて観察された。



(a) 2.0 m



(b) 4.5 m

図3 4連並行カメラ(透視投影変換)による輻輳角再現実験

3. 考察

図1、3より、CG空間及び実写映像による実験により、どちらも注目した距離オブジェクトに対して、疑似輻輳角による自然な立体視が観察できた。特にCG空間における理想的な輻輳角の再現実験を実施し、注視領域以外の画像がクロストークの影響によって、複数視差が重なり、ぼやけて観察されることが確認された。これは、人の目のような動的な輻輳角変化が両実験の裸眼式3Dディスプレイに含まれていないからであると考えられる。人の目のように、物体や見る位置を変更する場合は、注視点移動に合わせて輻輳角も変化する必要がある。

また、人の目では注視したもののみが立体的に見え、周囲の映像は認知されないか平面的に認識をしているため違和感がない。今回の実験では、画像全体の視差を裸眼式3Dディスプレイに投影しているため、クロストークによる画像のボケが強調されているように観察される。そのため、注視領域以外の領域に対して、視差を表現しない2次元画像へのモーフィングも重要になると考えられる。

4. おわりに

裸眼式3Dディスプレイでは、両眼視差を一致させた焦点位置よりも手前か奥の位置の映像を観察すると、視差映像が二重に観察される問題があった。本研究では、注視する領域に合わせて映像に輻輳角を再現することによって、実写映像における自然で違和感のない立体感を目指し、注視点においては自然な立体視の確認ができた。今後、注視点の自動抽出及び実写映像の3次元空間による輻輳角再現処理を構築していく。

謝辞

本研究は、公益財団法人中島記念国際交流財団 令和6年度日本人独立研究者始動助成金の助成を受けて実施した。また、本研究の遂行にあたって4連並行カメラのブラケットを東京都市大学ものづくり支援センターによって製作支援をいただいた。

参考文献

- [1] Chen, F., Qiu, C., Liu, Z., "Investigation of Autostereoscopic Displays Based on Various Display Technologies", *Nanomaterials*, Vol. 12, No.3, 429 (2022).
- [2] Kang, D., Choi, J.-H., Hwang, H., "Autostereoscopic 3D Display System for 3D Medical Images", *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 9, 4288 (2022).
- [3] Huang, T., Han, B., Zhang, X., Liao, H., "High-performance autostereoscopic display based on the lenticular tracking method," *Opt. Express*, Vol. 27, pp. 20421-20434 (2019).
- [4] J. Hua, W. Qiao, and L. Chen, "Recent advances in planar opticsbased glasses-free 3D displays," *Front. Nanotechnol.*, vol. 4, No. 829011 (2022).
- [5] Hoffman, D.M., Girshick, A.R., Akeley, K., Banks, M.S., "Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue", *Journal of Vision*, Vol.8, No.3 (2008).