

視野特性を考慮したヘッドマウントディスプレイの広視野角化手法

山田 渉* 真鍋 宏幸*

概要. ヘッドマウントディスプレイの普及が急速に進んでいる。ヘッドマウントディスプレイの視野角は、ユーザが感じる没入感と存在感に大きく影響するため重要である。広視野角を有したヘッドマウントディスプレイの実現のために多くの研究がなされてきたが、それらの研究の多くは複数枚の高解像度のディスプレイや複雑な光学系が必要となるため、製造コストや重量の点で問題があった。そこで我々は、中心視野と周辺視野の特性の違いに着目して、安価かつ軽量にヘッドマウントディスプレイの視野角を広げる手法を提案してきた。提案手法では、両眼の前面に配置された凸レンズに加えて、より高倍率なフレネルレンズを周囲に配置し、周辺視野領域にフレネルレンズを通して見えるボケた映像を提示することで、視野角の広角化を実現する。本稿では、提案したヘッドマウントディスプレイのプロトタイプの実装及びその評価について述べる。

1 はじめに

高精細なディスプレイや高い処理速度の CPU や GPU などの低価格化により、消費者向けのヘッドマウントディスプレイ (Head-Mounted Display, HMD) が数多く発売されるようになった。現在、市販されている HMD はその形態によって大きく 2 種類に分けることができる。一つは、HMD 向けに設計された専用のディスプレイや CPU などが予め組み込まれたタイプの HMD である。本稿ではこのような種類の HMD を“一体型の HMD”と呼ぶ。一体型の HMD の例として、STAR VR¹がある。STAR VR では、2 枚の高精細なディスプレイ (2560 x 1440 ピクセル) とフレネルレンズを備え、その視野角は人間の視野角の 75% に相当する水平方向 210 度、垂直方向 130 度に及ぶ。もう 1 つのタイプは、Google Cardboard をはじめとした、レンズとケースのみを提供し、それにスマートフォンを後付けすることで、HMD として利用出来るタイプである。本研究ではこのような種類の HMD を“後付け型の HMD”と呼ぶ。後付け型の HMD ではユーザーの普段使っているスマートフォンを利用出来るため、一体型の HMD と比較すると非常に安価に提供出来るという大きな利点がある。しかし、スマートフォンの画面の大きさや解像度などの制約があるため、一体型の HMD と比較して性能面では及ばない。

HMD の視野角の広さは、いわゆる VR 酔いと呼ばれる症状を引き起こしやすくなるものの、Virtual Reality 環境下での没入感や存在感を向上させる [1]。そのため、HMD の視野角を広くするための数多くの研究がなされてきた。しかし、それらの研究の多くは複雑な光学系や、複数のディスプレイを必要と

し、コストや重量の増加などの理由から実用化することは難しかった。それに対して Robert ら [2] は、周辺視野では、人間は中心視野と比べて曖昧にしか映像を見ていないという特性に着目して、凸レンズの外側に、多数のフルカラー LED と拡散板を備えた HMD を提案した。HMD の映像と同期した LED の光がユーザーの周辺視野領域に照射されるため、ユーザーから見るとあたかも HMD の視野角度が広がったかに見える。この手法は複雑な光学系や、大幅な重量の増加などは必要としないが、多数のフルカラー LED やバッテリー、映像と LED の同期処理用のマイクロコントローラなどの多数の部品が必要となるため、製造コスト面から後付け型の HMD に適用することは難しい。

そこで著者らは、倍率の異なった 2 組のレンズを用いた、一体型、後付け型のいずれの HMD にも適用可能な、安価かつ軽量に視野角を広げる手法を提案している [3]。提案手法は、通常の凸レンズに加えて、その周囲に更に高い倍率のフレネルレンズを配置し、周辺視野領域にボケた映像を提示することで、視野角を向上させる。この手法は近視用眼鏡のアナロジーで説明することができる。眼鏡を通して見える領域は明瞭に風景が見えるのに対して、眼鏡の外側の領域は曖昧に見える。提案手法の凸レンズ部分が、眼鏡の内側に相当し、高倍率のフレネルレンズは眼鏡の外側に相当する。

複雑な光学系や追加の電子パーツなどを必要とせず、高倍率の 2 枚のフレネルレンズのみで実現可能であるため、製造コスト及び重量の面で優れている。また一体型及び後付け型のどちらの HMD でも適用可能である。さらに Robert らの手法のように専用の映像再生ソフトなどは必要としないため、提案手法は既存のコンテンツをそのまま流用できるといった、実用化における強みがある。本稿では提案手法

Copyright is held by the author(s).

* NTT ドコモ

¹ InfinitEye. StarVR, <http://www.starvr.com/>

の実装及びその特性について紹介する。

2 提案手法

実装したプロトタイプを図1に示す。プロトタイプの各辺の大きさなどは Google Cardboard の設計図を基にしている。このプロトタイプは凸レンズ（焦点距離 44mm, 直径 25mm）2 枚と、凸レンズを囲む焦点距離 25mm のフレネルレンズ（幅 70 x 高さ 68 x 厚み 2mm）2 枚で構成されている。また各レンズの中心は、それぞれディスプレイの表面から 39mm 離れている。

図1を見ると、2枚のフレネルレンズの全体の大きさ（幅 140 x 高さ 68mm）は、iPhone 6 の大きさ（幅 104 x 高さ 59 mm）よりも大きいにもかかわらず、フレネルレンズの両端まで映像が届いていることが確認できる。また、プロトタイプを実際に装着した際にもフレネルレンズの両端まで映像が行き届いていることが確認できた。また図1では、フレネルレンズの焦点距離が非常に短く、さらに離れた位置から撮影したため、大きく映像が歪んでように見えるが、実際の装着時にはこのような歪んだ映像が見えるわけではない。

図2(a)はプロトタイプの凸レンズの近接撮影写真である。図2(b)はプロトタイプのフレネルレンズを不透明な黒い板に置換し、撮影した画像である。また、どちらの画像も凸レンズを通して見えるディスプレイ上に焦点を合わせて撮影をした。どちらの写真も凸レンズから見える映像は明瞭に見えるが、図2(b)では凸レンズの周りが黒いのに対して、図2(a)ではディスプレイのボケた映像がフレネルレンズを通して見えている。このようにユーザが提案手法を装着した際には、図2(a)のように周辺視野にボケた映像が提示され、視野角が広がる。また周辺視野に提示されるボケた映像には幾つかの特性がある。例えば、周辺視野領域の映像は凸レンズよりも、焦点距離が短いフレネルレンズを通して見えるため、一部の映像が両方のレンズで重複かつ非連続に見える。またフレネルレンズを通して見える映像は高い倍率で拡大して表示をするため、ディスプレイの各ピクセルの境界が目立つようになる。しかし、実際には、フレネルレンズの映像はボケて見えるためピクセルの境界は隠れて見える。

3 結論

本稿では、人間の中心視野と周辺視野の特性の違いに着目した、凸レンズとその周囲に焦点距離距離の短いフレネルレンズを備えることで視野角の拡張する手法の紹介した。本手法では、凸レンズの映像に加えてフレネルレンズによってボケた映像をユーザの周辺視野領域に提示することで視野を拡張する。本稿では提案手法のプロトタイプを作成をし、その



図1. プロトタイプ全体写真。プロトタイプは2枚の凸レンズと周囲にそれぞれ2枚のフレネルレンズを備える。写真中の凸レンズ周囲の映像が強く歪んでいる領域がフレネルレンズ部分である。

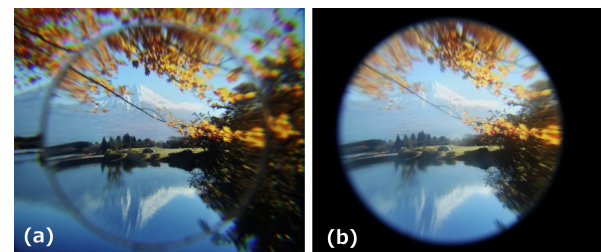


図2. プロトタイプの凸レンズの近接撮影写真。(a)は凸レンズとフレネルレンズの両方を備えたプロトタイプの写真。(b)はフレネルレンズを不透明な黒い板に取り替えたプロトタイプの写真。

特性を調査した。その結果、提案手法では、凸レンズのみを用いたときに比べて、HMDの視野角が拡張していることを確認できた。また映像の一部領域の重複といった特性も明らかになった。今後の課題としては、より詳細な光学系の設計及び、提案手法のVR酔いに対する影響や没入感、存在感の向上といった要素のユーザ調査が挙げられる。

参考文献

- [1] J. J.-W. Lin, H. B. Duh, D. E. Parker, H. Abi-Rached, and T. A. Furness. Effects of field of view on presence enjoyment memory and simulator sickness in a virtual environment. In *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2002*, pp. 164–171, 2002.
- [2] R. Xiao and H. Benko. Augmenting the Field-of-View of Head-Mounted Displays with Sparse Peripheral Displays. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1221–1232, 2016.
- [3] W. Yamada and H. Manabe. Expanding the Fields-of-View of Head-Mounted Displays with Peripheral Blurred Images. In *Adjunct Proc. of 29th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 2016.