Technology Reports

ヘッドマウントディスプレイ　VR　視野角

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

先進技術研究所　山田（やまだ）　渉（わたる）　真鍋（まなべ）　宏幸（ひろゆき）

現在，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特長である没入感や存在感を高めるためには，視野角を広くする必要があるが，複数枚のディスプレイや複雑な光学系が必要となり，製造コストや重量の点で課題があった．そこでドコモでは，中心視野と周辺視野の特性の違いに着目し，異なる倍率のレンズを配置することで，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ことが可能な手法を開発した．

1. まえがき

ヘッドマウントディスプレイ（Head-Mounted Display）とは，頭部に装着することでユーザに映像を提示するタイプのディスプレイ装置である．近年，高精細なディスプレイや，処理速度の高いCPU・GPUなどの低価格化によって，消費者向けのヘッドマウントディスプレイが数多く発売されるようになった．

図1に示すPlayStation® VR[*1]やGoogle Cardboard™[*2]などのヘッドマウントディスプレイは没入型または非透過型ヘッドマウントディスプレイと呼ばれ，不透明なディスプレイをユーザの眼球の前に置き，映像を提示する仕組みである．

現在，市販されている没入型のヘッドマウントディスプレイは，その実装形態によって大きく2種類に分けることができる．

①1つは，ヘッドマウントディスプレイ向けに設計された専用のディスプレイやCPUなどがあらかじめ組み込まれたタイプのヘッドマウントディスプレイ（以下，一体型のヘッドマウントディスプレイ）である．一体型のヘッドマウントディスプレイは，先ほど挙げた例のうち，PlayStation VRが該当する．

②もう1つのタイプは，Google Cardboardのようにレンズとケースのみを提供し，それに対してスマートフォンを後付けすることでヘッドマウントディスプレイとして利用するタイプ（以下，

©2017 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

＊1　Play Station® VR：㈱ソニー・インタラクティブエンタテインメントより発売されているVRシステム．PlayStationおよびそのロゴは同社の登録商標．

＊2　Google Cardboard™：Google, Inc.より提供されているヘッドマウントディスプレイで，同社の商標または登録商標．

(a)Play Station VR

(b)Google Cardboard

※SONYおよびSONYロゴはソニー㈱の登録商標.

図1　市販されているヘッドマウントディスプレイの例

後付け型のヘッドマウントディスプレイ）である．後付け型のヘッドマウントディスプレイの最大の利点は，ユーザが普段使っているスマートフォンを利用できるため，非常に安価に実現できることである．しかし，一体型のヘッドマウントディスプレイは両目それぞれに専用の高解像度なディスプレイを利用することも可能なのに対し，後付け型のヘッドマウントディスプレイは，通常のスマートフォンを利用するため1台のディスプレイしか搭載できない．また，このディスプレイはヘッドマウントディスプレイ向けに設計されたものではない．よって，後付け型のヘッドマウントディスプレイは，専用のサイズと解像度をもったディスプレイを搭載可能な一体型に比べて性能は劣る．

ヘッドマウントディスプレイの性能に対する評価基準はさまざまなものがあるが，特に重要なものとして視野角がある．ヘッドマウントディスプレイにおける視野角とは，ヘッドマウントディスプレイを装着した際に，ユーザが見える範囲を示す指標である．視野角が広がると，バーチャルリアリティ（VR：Virtual Reality）環境において，不快感や吐き気を催すいわゆるVR酔い（VR Sickness）と呼ばれる症状が引き起こされやすくなるものの，没入感と存在感を向上させることができるとされている［1］．没入感とはユーザがVR環境に入り込んでいることを示す度合いであり，存在感とはVR環境上の物体や人物がいかにそこにあるかのように見えるかを示す度合いである．没入感と存在感はどちらもVR環境下におけるユーザ体験の質に大きく影響するため，それらを向上させる広い視野角の実現に向けて，従来から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（屈折や反射などを利用した器具や装置の総称）や複数枚のディスプレイが必要になるなど，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．

そこでドコモでは，人間の視野の特性に着目して，

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［2］．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（Fresnel Lens）*3を周囲に配置する．そして周辺視野領域にフレネルレンズを通してボケた映像をユーザに提示することで，視野角の広角化を実現している．本稿では本技術と対応する手法について解説をする．

2. 人間の視野特性と関連技術

2.1 中心視野と周辺視野

諸説はあるものの，人間の視界はおよそ水平方向に180度，垂直方向に90度と言われている．しかし，人間はその視界中のものをすべて平等には認識していない．モノを注視している人間の視野は，注視しているモノとその近傍の中心視野と，その外側の領域の周辺視野の2種類に分けることができる．中心視野と周辺視野では，形状や色の知覚，時間的変化に対する反応など，さまざまに異なる特徴があることが知られている［3］．その特徴の1つとして，解像度がある．人間は，中心視野に比べて周辺視野の解像度が低く，曖昧にしか認識できない．

そこでそのような特性に着目したヘッドマウントディスプレイの研究が提案されている．

2.2 関連技術

Robertら［4］は，ユーザの眼前の凸レンズの外側に，多数のフルカラーLED（Light Emitting Diode）と拡散板*4を備えつけたヘッドマウントディスプレイの提案をしている．この研究では，ヘッドマウントディスプレイ内の映像と，凸レンズ周囲のLEDの色を同期させる．同期したLEDの光が，ユーザの周辺視野領域に照射され，それが解像度の低い映像のように見えるため，ユーザにはあたかも視野角が広がったかのように見える．この手法は，ユーザが周辺視野領域を曖昧にしか認識できないという特性によって，解像度の低い映像でも映像全体としての不自然さが抑えられることを利用している．また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，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電子部品，およびそれらの駆動用のバッテリが必要になる．そのため，後付け型のヘッドマウントディスプレイに適用することは，製造コストの面から困難である．

2.3 提案手法

そこでドコモは，倍率の異なった2組のレンズを用いた，一体型および後付け型のいずれにも適用可能な，安価かつ軽量に視野角を広げる手法を提案している．この手法はRobertらの手法のように，ユーザは周辺視野領域を曖昧にしか認識できない特性を利用している．

図2は提案手法のプロトタイプである．提案手法では，図2のように，倍率の異なる2種類のレンズを備えている．1つはユーザの両眼の前面に配置されている凸レンズである．この凸レンズ（焦点距離*5 44mm，直径25mm）は，ユーザの中心視野領域に明瞭な映像を提示するために備えられている．もう1つのレンズは，凸レンズを囲む，より高倍率なフレネルレンズ（焦点距離25mm，幅70×高さ68×厚み2mm）である．この高倍率なフレネルレンズは，ユーザが曖昧に認識している周辺視野部分に広くボケた映像を提示するために備えられている．またフレネルレンズを用いている理由としては次が挙げられる．ディスプレイのサイズが限られているため，より広範に映像を提示するためには倍率を上げ，レンズ自体を大きくする必要がある．しかし，通常の凸レンズだと倍率の上昇に伴い，レンズの厚みも増えてしまうため，重量が大きく増大してしまう．そこで倍率が上昇しても，薄く軽量にできるフレネル

*3 フレネルレンズ（Fresnel Lens）：同心円状に刻まれた溝によって光を屈折させ，発散または集光するレンズ．通常のレンズに比べて，薄型かつ軽量にできると言う特徴がある．

*4 拡散板：入射した光を拡散させ，光の指向性を弱める板のこと．

*5 焦点距離：凸レンズの場合，平行光がレンズの光軸に入射したとき，ある1点に収束する．この収束する点を焦点と呼ぶ．焦点距離とはレンズの中心から焦点までの距離のことである．

図2　プロトタイプ

レンズを用いている．なお各レンズの中心は，それぞれディスプレイの表面から39mm離れている．

この仕組みは，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ボケて見える．眼鏡の外側のボケて見えている領域が全く見えないと，ユーザは視界が狭いと感じるだろう．つまり，提案手法は，近視用の眼鏡の内側に相当する凸レンズ部分に加えて，眼鏡の外側に相当する場所に映像を生成するための高倍率なフレネルレンズを備えることで広い視野角度を実現している．なお，図2を見ると，フレネルレンズ部分の映像が非常に強く歪んでいるが，これは離れて撮影したためであり，実際の装着時にはこのように映像が提示されるわけではない．

図3(a)はプロトタイプの凸レンズとフレネルレンズの両方を備えたものの近接撮影写真である．図3(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て，撮影した画像である．どちらの写真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した．どちらも凸レンズから見える映像は明瞭に見えるが，図3(b)では凸レンズの周りが黒いのに対して，図3(a)では写真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のプロトタイプを装着した際には，図3(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．

なお，周辺視野に提示されるボケた映像にはいくつかの特性がある．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（図3(a)）．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ほとんど見えない．

以上のように提案手法では，通常の後付型のヘッドマウントディスプレイに対して，高倍率のフレネルレンズを追加し，周辺視野領域にボケた映像を表

(a)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　(b)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

図3　プロトタイプの凸レンズの近接撮影写真

示することで，視野角を広げる．提案手法の特長として，2種類の倍率の異なるレンズのみが必要であり，複雑な光学系や電子パーツなどを必要としない点が挙げられる．そのため製造コストおよび重量の面で優れている．さらに専用の映像再生ソフトウェアなどは必要ないため，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もある．

3. あとがき

本稿では，2種類の倍率の異なるレンズを用いて，安価かつ軽量に視野角を広げる技術の解説をした．今後は，より詳細な光学系の設計の研究開発を行い，技術の高度化を進めるとともに，新たなVRサービスの創造に向けた事業化検討に取り組んでいく．

文　献

[1] J. J.-W. Lin, H. B. L. 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 Proc. of IEEE Virtual Reality 2002, pp.164–171, Mar. 2002.

[2] 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, pp.141-142, Oct. 2016.

[3] 石黒 祥生，暦本 純一：“Peripheral Vision Annotation：拡張現実感環境のための視線計測による周辺視野領域情報提示手法，” 情報処理学会論文誌，Vol.53，No.4，pp.1328-1337，Apr. 2012.

[4] R. Xiao and H. Benko: “Augmenting the Field-of-View of Head-Mounted Displays with Sparse Peripheral Displays,” In Proc. of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1221–1232, May 2016.