

単眼ヘッドアップディスプレイの広視野化と奥行き知覚

奥村 治彦・佐々木 隆・堀田あいら

Development of Wide Viewing Monocular Head-Up Display and the Depth Perception

Haruhiko OKUMURA, Takashi SASAKI and Aira HOTTA

We found a new depth perception mechanism for monocular augmented reality displays (ARDs) that we recognize the superimposed virtual images seen with monocular vision at the same depth as that of real background images seen with binocular vision. Based on the new finding, we have developed a monocular head-up display (HUD) with free depth controllable capability up to 120 meters as one of the ARDs that limits the scattering angle of the virtual images to the monocular viewing zone while seeing the backgrounds with binocular eyes. Novel wide-viewing optical system (Fresnel Reflector) for HUDs has been also proposed to solve the trade-off issue between compact size and wide viewing.

Key words: depth perception, monocular display, head-up display

近年、奥行き感を知覚できる 3D ディスプレイが注目されている。われわれはそのひとつとして、空間の奥行き感は広視野から生まれるという発想のもとに、2004 年から、160 度以上の広視野と頭部追尾技術を使ったトラッキングにより、360 度視野の超広視野ドームディスプレイを開発して¹⁾、人間の奥行き感の知覚原理について研究を進めてきた。その結果、両眼ではなく単眼（片目）で表示画像を見せることで、ドームスクリーンのスクリーン面を知覚させずに、両眼方式に比べて奥行き感を主観評価値（±3 段階）で 1 ポイント以上向上させることが可能であることがわかった²⁾。

この結果は、単眼で見ることによりスクリーン面が感じられなくなり、映像によって奥行き感を自由に制御できることを意味しており、新たな 3D ディスプレイ技術（単眼 3D 表示技術）として応用市場の開拓が可能と考えられる。本稿ではそのひとつとして、運転しながら視線を動かすことなくナビゲーションが可能な車載用ヘッドアップディスプレイをターゲットに、この単眼 3D 技術を適用した結果について報告するとともに、ウィンドシールド全体に視野を広げるために、ウィンドシールド自体に光学的なパワーをもたせたフレネル型コンバイナー方式の提案を行う。

1. 単眼ヘッドアップディスプレイの奥行き知覚方式

単眼ヘッドアップディスプレイ（HUD）の原理図と特徴を図 1 に、システム図を図 2 に示す。本ディスプレイは、HUD 像を片目でしか知覚できないように光源の方向や集光を制御することにより（図 2）、従来問題となっていた HUD の虚像位置と背景位置のミスマッチによる二重像の発生が原理的に起こらない（図 1）。つまり、HUD の虚像を表示する物理的位置がどこにあっても、道路などの背景位置とのミスマッチによる輻輳ずれが発生しないため、あたかも背景と同じ位置に HUD 像があるかのように感じさせることができる³⁾。

1.1 動的、静的遠近法

この原理をうまく活用した、自由に奥行き感を制御することが可能な奥行き増強方式を図 3、図 4 に示す。単眼方式では、光学的、物理的な虚像位置などでの奥行き制御ができないため、矢印の大きさと位置などの心理的な奥行き感を使って奥行き知覚を制御する。そのために、図 4 に示すような奥行き制御方式の中で、表示位置や大きさを制御することで奥行き感を知覚させることができる遠近法（静的遠近法、動的遠近法）をベースに、車の振動や個人差に強い単眼の奥行き表示方式として、大きさや位置を距離によって変化させる静的遠近法と、それらを動かしながらダ

(株)東芝 研究開発センター（〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町 1） E-mail: haruhiko.okumura@toshiba.co.jp

単眼ヘッドアップディスプレイ(HUD)

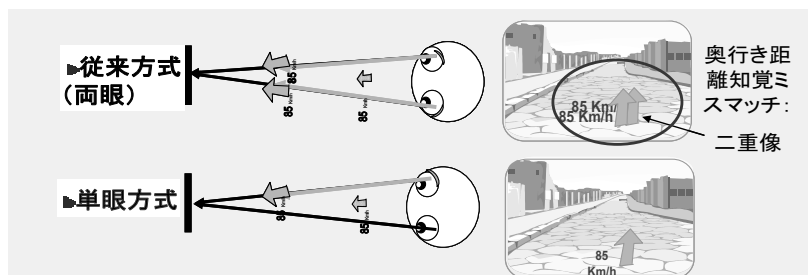
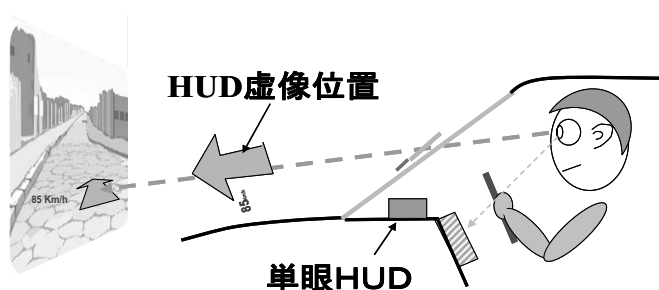


図1 単眼ヘッドアップディスプレイ原理図(上)と単眼/両眼方式比較図(下).

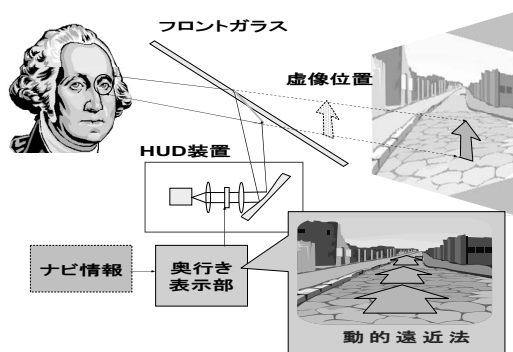


図2 単眼ヘッドアップディスプレイシステム構成図.

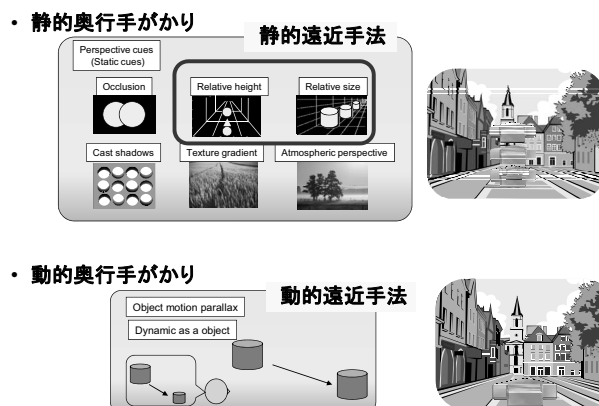


図4 奥行き制御方法.

デモ表示例



図3 動的遠近手法(例).

イナミックに変化させる動的遠近法を提案した.

1.2 奥行き知覚実験結果

片目にしか仮想の矢印が知覚できないように光を制御した単眼 HUD プロトタイプを試作し、それを実際の自動車に搭載することで、静的、動的遠近法による奥行き知覚効果の実験検証を行った。その結果、図5に示すように、仮想矢印の虚像距離は2.5 mと一定であるにもかかわらず、個人差を含めて、120 mの奥行きまで精度±30%以下と、カーナビに適用するには十分な精度で知覚させることができた。これは、仮想矢印を動的に徐々に変化させることにより、動いた位置や大きさに応じて、リアルな道路とバーチャルな矢印の奥行き位置の比較を常に脳内で繰り返すこ

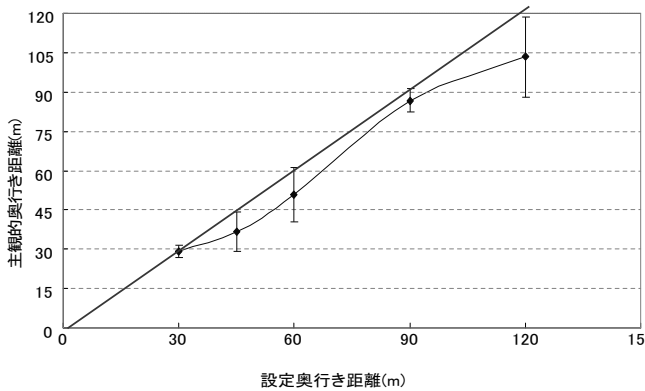


図5 単眼ヘッドアップディスプレイを用いた奥行き知覚結果.

とで、対応づけを学習させ、リアルな空間での奥行き手がかりをうまく活用して、バーチャルな矢印の奥行き感を安定して知覚させることができるためと考えられる。

2. 広視野化手法：フレネル型コンバイナー方式

さらに、奥行き感だけでなく、HUDの視野も広げることで、まさしくその場に仮想空間を体験することができる。しかし、視野を広げるためには、従来方式ではどうしても最終段のミラーが大きくなり、その結果HUD本体が大きくなるという根本的課題があった(図6(a))。

このサイズと視野のトレードオフを解決するために、図6(b)に示すように、最終段のフロントウィンドウ自身をハーフミラー構造をもたせたフレネルレンズ構造として光学的なパワーをもたせることで、サイズを大きくすることなくウィンドシールド全体にまで視野を広げることが可能なフレネル型コンバイナー方式を提案した。通常はこのよ

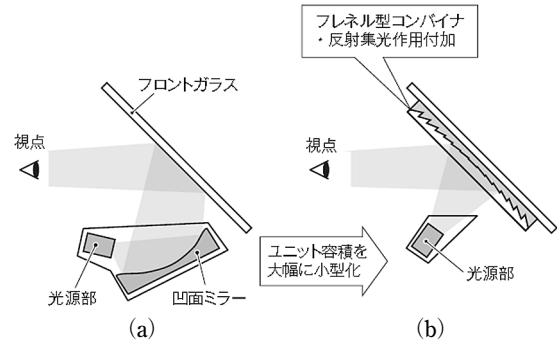


図6 広視野化のためのフレネル型コンバイナー方式原理図。(a)従来のヘッドアップディスプレイ、(b)フレネル型コンバイナーを適用したヘッドアップディスプレイ。

うな構造にすると、反射だけでなく、シースルーで見える外界、背景に対してもレンズ効果が発生してしまうが、フレネル型コンバイナー方式では、2枚のフレネルレンズ間に挿入する接着剤の光学特性をマッチングさせることで、1枚のガラス板のように動作させることができる独特な構造により、この問題を解決することができた。

文 献

- 1) H. Okumura, T. Sasaki, A. Hotta and N. Okada: "Hyperreality head dome projector (HDP) using LED light source," *Society of Information Display (SID) Digest*, 72-4 (2006) pp. 2003-2006.
- 2) H. Okumura, T. Sasaki, A. Hotta and N. Okada: "Monocular hyper-realistic display: WARP," *Proc. of IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, T01-S7 (2011).
- 3) T. Sasaki, A. Hotta, A. Moriya, K. Horiuchi, N. Okada, H. Okumura and O. Nagahara: "Hyperrealistic display for automotive application," *Society of Information Display (SID) Digest*, 64-2 (2010) pp. 1208-1211.

(2014年6月11日受理)