

全方位映像呈示技術

岩田洋夫
筑波大学 機能工学系

全方位映像を呈示する没入型ディスプレイは最近のバーチャルリアリティの中心的課題の一つである。著者は"Ensphered Vision"と名づけた、凸面鏡を用いて球体内部のほとんど全ての領域に映像を映すことを可能にする技術を開発した。球面スクリーンとして最もよく知られているのは、プラネタリウムのような半球面に映像を投影する装置であろう。しかし、この場合投影する半球内に人が入ると影を作ってしまうため、半球の外から見なければならない。そのため劇場としては使えても、人間の周囲を覆い尽くす没入型ディスプレイには適さない。Ensphered Vision は通常のプロジェクターの光を平面鏡と凸面鏡の組み合わせで拡散させることによって、球面スクリーンの全周面に映像を投影する。この方式の最大の特徴は、球体の中心部以外から全周面に投影することが可能であることであり、その結果非常に小型のスクリーンでも中心部から映像を見ることができる。また、市販のプロジェクタがそのまま使えるため、低コストでシステムが構築できる。

Full-surround Image Display Technology

Hiroo IWATA

Institutem of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba

Visual immersion plays an important roll in virtual environment. Ensphered Vision is an image display system for wide-angle spherical screen. Sphere is an ideal shape of a screen that covers human visual field. Distance between eyes and screen should be constant while a viewer rotates the head. We use single projector and a convex mirror in order to display seamless image. The optical system employs two mirrors: a plain mirror and a spherical convex mirror. The spherical convex mirror scatters the light from the projector in the spherical screen. The plain mirror provides the viewer to the sweet spot where he/she can see the image from the center of the sphere. This optical configuration enables seamless wide-angle image in a very limited space.

1. はじめに

バーチャルリアリティにおける映像呈示装置として、現在最もよく知られているのはゴーグル型のHMD（頭部搭載型ディスプレイ）である。しかし、HMDの応用が進むにつれて、脱着の煩雑さや視野角の狭さといった実用上の問題が顕著になってきた。最近ではこれと全く異なる映像呈示装置として注目を集めているものに、大型のスクリーンで人間を覆う没入型ディスプレイがある[1]。この方式はHMDより広い視野角が提供でき、複数の人間が同じ映像空間を共有できるといった利点がある。自動車のデザイン作業には没入型ディスプレイがすでに導入されており、開発期間を大幅に短縮したという事例が報告されている。

筆者は従来より没入型ディスプレイの構築方法として球面スクリーンを用いるものの研

究を進めてきた。本稿ではその最近の成果を紹介する。

2. 没入型ディスプレイの技術課題

人間を覆うスクリーンの形状としては、目から投射映像までの距離が一定な球形が理想的である。映像が人間を覆う立体角が大きくなると、一般には複数のプロジェクタを使う多面体のスクリーンを構築することになるが、この場合継ぎ目をうまく合わせる必要が生じる。平面スクリーンを多面体状に組み合わせる場合、視点位置からのパースペクティブを各スクリーンに正確に描画しないと直線が折れ曲がって見えてしまう。そのため、CAVE等の多面体型ディスプレイは位置センサで観察者の頭部を追跡する。このことは複数の観察者には折れ曲がりのない映像を提供することは極めて困難

であることを意味する。この画像の折れ曲がり問題はビデオカメラで記録した映像を呈示する際に深刻な問題になる。CG を実時間で描画している分には観察者の視点位置に応じて最適な画を描けばよいが、すでに録画されたものからそれを行うのは困難が伴う。カメラの取得した画像にイメージベーストレンダリングを施し、視点位置に応じた描画を行えばこの問題は解決できるが、任意の動画に対して完全なイメージベーストレンダリングを行うのは、極めて難しい。球面スクリーンに映像を投射する場合、曲率が連続であるためにこのような折れ曲がり問題は原理的に発生しない。歪補正を行っておけば、複数の観察者に破綻のない映像を提供することが可能である。

没入型ディスプレイを構築する際に実用上最も障害になる問題は、非常に大きな設置スペースが必要になることである。その主たる理由はスクリーンに背面投射を行うことにある。通常の前面投射を行った場合は、人がスクリーンに近づくと自分の体が投影光を遮るといった問題が出てくるため、スクリーンで観察者の周囲を覆うような構成には適さない。この遮蔽問題を解決するために、スクリーンの背面から映像を投射することになり、その結果、大きなバックヤードが必要になる。特に、上下の視野角を大きくとるようなスクリーン構成を実現するような場合には、2階建ての吹き抜けのような空間が必要になり設置場所が限られる。

著者は上記のような没入ディスプレイの諸問題を全て解決する方法として、Ensphered Vision と名づけた凸面鏡を用いた投影方式を開発した。この方式の本質は前面投射を用いながらも観察者の体による映像の遮蔽問題が発生しないことである。次章以降にその概要を紹介する。

3. Ensphered Vision の基本構成

球面スクリーンとして最もよく知られているのは、プラネタリウムのような半球状のドームに映像を投影する装置であろう。し最近では一人用の小型ドームが製品化されており、SIGGRAPH'2000では elumens 社から VISIONSTATION という 1.5m くらいのハーフ

ドームが展示されていた。しかし、この場合投影する半球内に人が入ると影を作ってしまうため、半球の外から見なければならぬ。したがって、原理的に 2π 以上の立体角で観察者を囲むことができなくなる。そのため劇場としては使えても、人間の周囲を覆い尽くす没入型ディスプレイには適さない。筆者は以前背面投射の球面ディスプレイを作ったが、背面投射の場合は外に逃げる湾曲面に光を当てると、1系統のプロジェクタで視野を覆える立体角は限られている。全方向を囲むためには多くのスクリーンを組み合わさなければならなくなり、大きなバックヤードが必要になってしまう。そこで、前面投射を用いながらも観察者の体による映像の遮蔽問題が発生しないような方法があるかどうか考えた。これが Ensphered Vision の出発点である。

Ensphered Vision の基本構成は以下のような考察に基づいて考案された。まず理論的な最適状態を求めるため、全ての方向に投影光が送り出されるような投影装置を仮定する。制約条件としては、光は直進しかできないので、投影装置は必ず球の内側になければならない。無論人も球の内部にいなければならない。この時、投影装置はすべての方向に光を出すので、必ず人の影が球のどこかに映る。そして、人から見た場合、投影装置の反対側にある映像は見ることができない。すなわち、人間と投影装置の作る死角の部分は原理的に映像を映すことができないことになる。したがって、これら2つの死角をいかに小さくし、さらに応用上損失の少ない位置に持っていかかが設計のポイントになる。

まず、人間の作る影の面積がもっとも小さくなるのは光源が真上にあるときである。そして、投影装置のつくる死角を小さくするためには、人から見た時の装置の立体角を極力小さくすることである。以上の考察から得られる、最適な投影装置と人の配置は図1のようになる。人間が外界を観察する場合に最もよく使う運動は首を左右にふったり、体を回転させたりすることである。図1の構成はこの運動に対して視野を完全に覆うことができる。頭の直上と足元直下のシーンを見ることはあまり多くはない

であろう。図1の構成において上を見たい時には、立ち位置を少し前にずらして見上げれば上方の映像を見ることが出来る。足元直下の映像は映すことが出来ないが、どうしてもそれが必要な時は、背面投射の床映像を別途作ればよいだろう。

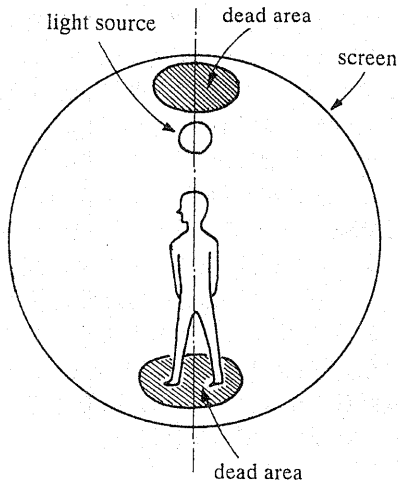


図1 理想的な光源配置

4. 凸面鏡を用いた投影装置

前章では投影装置がすべての方向に光を出していることを前提にしたが、図1の構成を実装するためには図中の球面スクリーン全面に映像を投影することができる光学系が必要になる。魚眼レンズを用いて光を拡散させるのは立体角で 2π 程度であり、図1のような 4π に近い立体角をカバーするレンズを作るのは事実上不可能である。レンズは収差があるので大きな立体角をカバーする拡散系は構造上無理がある。そこでEnsphered Visionでは凸面鏡を用いてプロジェクタの光を拡散させるという方式を用いた。プロジェクタからの投射光が本来のスクリーンに結像する直前に球面凸面鏡を置くと、 4π に近い非常に大きな立体角に光を拡散させることができる。

この凸面鏡に直接投射するとプロジェクタと凸面鏡の組み合わせが大きなスペースを占めてしまう。そこで、Ensphered Visionでは鏡をもう一枚使って投射光を途中で折りたたみ、プロジェクタを反対側に持っていくことを

行った。このような反射鏡の組み合わせによって、観察者の邪魔にならない位置に全周投影装置を配置することが可能になる。図2はこの原理を表した略図である。凸面鏡の中央に穴を空けてプロジェクタの投射光を通し、円形の平面鏡で反射させた後で凸面鏡に当て、球面スクリーン全周に向かって拡散される。この構成ならば、図1に示したものにほぼ等しいディスプレイが実現できる。また、この構成はプロジェクタを1系統しか使わないので投影される映像は継ぎ目が全くないという利点がある。

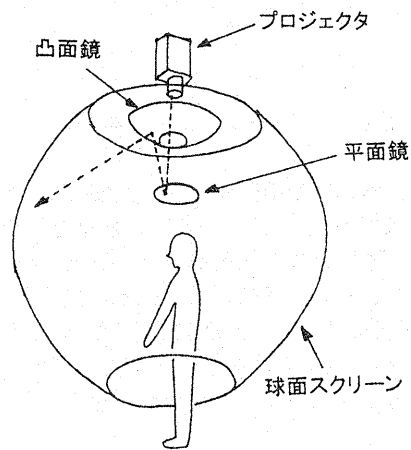


図2 Ensphered Vision の原理

ただし、この場合の凸面鏡は球面でなければならぬ。もしそうでないとすると、プロジェクタから出た光がサジタル面と子午線面(直交する二つの面)で同時に交点を持つことができなくなり、スクリーン上で結像できなくなってしまう。拡散系ではこの結像条件を満たすように設計することが重要である。撮像系は鏡に写るものは何でも撮り込むことができるが、投影する時はそれと同じわけにはいかない。

このように、凸面鏡の曲率や平面鏡との位置関係等は、スクリーンの形状に合わせて厳密に設計する必要がある。それを行うために著者は光線追跡を行うシミュレーションプログラムを開発した[4]。図3はプロジェクタのレンズを出た光がスクリーン上に結像する様子を示したものである。理想的にはスクリーン上で点

になるのが望ましいが凸面鏡の拡散によって若干ひしゃげた形になる。これが各ピクセルのボケと歪みになるので、極力これが点に近くなるように反射鏡の曲率や設置位置を選ぶ必要がある。

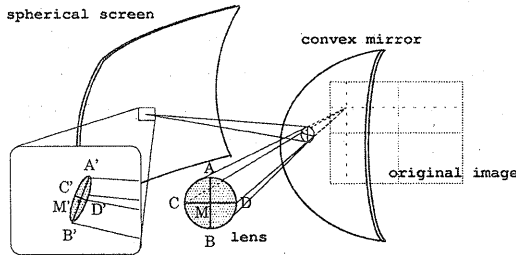


図2 結像シミュレーションの光線追跡

レンズ等の光学機器は一般に高価であるが、球面鏡はプラスチックにアルミを蒸着したものが極めて低コストで製造でき、その性能も使用に耐えるものが手に入る。また、プロジェクタも市販のものがそのまま使えるため、Enosphered Vision は低コストで没入型ディスプレイのソリューションが提供できる。

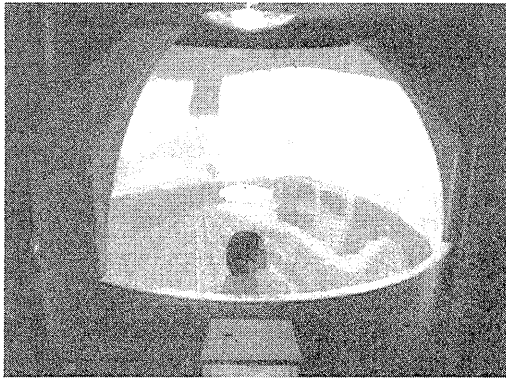


図3 試作 Enosphered Vision の概観

図3は試作機の概観である。これは、撮影のために球面スクリーンの一部をはずして内部が見えるようにしたもので、2つの反射鏡が観察者の上方に置かれているのがわかる。このディスプレイは水平に360度、上方に60度、

下方に70度の視野を提供する。

5. 球面歪みの補正

球面スクリーンに映像を投影した場合、プロジェクタの元の画像には歪みが発生する。そこで、投影する画像に予め歪みを与えておき、スクリーンに投影した時に観察者から見て歪みのないようにする必要がある。図2の投影装置では、プロジェクタの矩形映像のうち、図4に示すようなドーナツ状の円形領域が実際にスクリーンの上に現れる。図4の外側の円が球面スクリーンの上端に対応し、内側の円が下端に対応する。投影する画像をCGで作る場合には、まず観察者が球面スクリーン中央から見るべきシーンをレンダリングする。できた画像をテクスチャマッピングによって球面に張り付けると、図4に示すような歪みが与えられる。この処理を実時間で行うアルゴリズムは、筆者が背面投射球面ディスプレイの開発を行った時のものとほぼ同じである[2][4]。

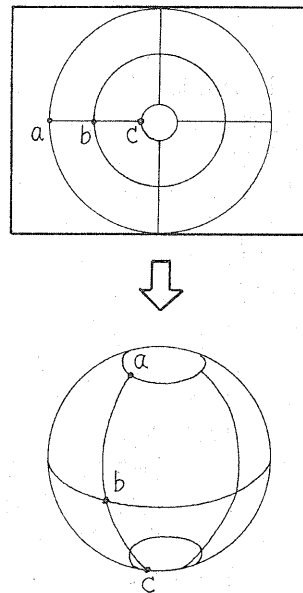


図4. 歪み補正

実写画像を投影する場合には、凸面鏡に映った画をカメラで撮影すれば上記の歪み補正と

同じ効果が得られる。前述のような全周球面スクリーンに投影する実写画像を得るためには、楕円体の形をした凸面鏡の下にカメラを置くと、歪みの与えられた全周映像が取得できる(図5)。楕円体の焦点の位置を適切に選ぶと、前述の球面ディスプレイの中心から見た時に歪みのない映像が投影される。しかし、非球面の凸面鏡は一般に製造が難しいので、球面凸面鏡に全周映像を写して撮影し、投影するときにテクスチャマッピングを用いたデジタル処理を加え調整を行う方が実用的である。



図5. 全方位カメラヘッド

6. 今後の課題

球面ディスプレイを実際に作った結果問題になったのは、球殻内部の光と音の反射である。全周型の場合における固有の問題として、球面の内側に当たった光がバウンドして反対側の球面に集まってしまう。その結果画像の一部に明るい部分があると全体が白っぽくなり、コントラストが低下する。この現象の対策として図6の全周球面ディスプレイではスクリーンゲインを0.47に抑えている。ゲインが低すぎて画質が低下するので、コントラストを確保す

るためには微妙なチューニングが必要である。

光の反射と同じ原理で音が反射するのも大きな問題である。自分が話した声が周り中からはね返ってくるため耳が痛くなってしまう。スクリーンを多孔質の材料で作って、音が外に抜けるような工夫が必要である。

また、別の課題として表示映像のステレオ化がある。本方式では単眼式プロジェクタでなければならないため、バーチャルリアリティのシステムでよく用いられる時分割式にステレオ映像表示を行う3管式のものは適さない。現在市販されている単眼式プロジェクタは時分割式ステレオ視に対応する仕様のもがないので、2台のプロジェクタを用いて、偏光を行うか、機械式のシャッターで時分割を行うかのいずれかになる。偏光の場合は凸面鏡で反射させるので円偏光フィルターを用いなければならない。

これまでに述べてきたように Ensphered Vision には解決すべき問題が多いが、極めて限られた空間において低コストで没入型ディスプレイが実現できるという利点は、この技術が広く普及するポテンシャルを持っていると考えられる。

文献

- [1] 澤田一哉、多様化する高臨場感没入型視覚ディスプレイ、映像情報メディア学会誌、Vol.53, No.7 (1999)
- [2] 岩田洋夫、橋本渉、背面投射球面ディスプレイ、Human Interface N&R Vol.12, No2 (1997)
- [3] 岩田洋夫、シームレス全周球面ディスプレイ、日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 Vol.3 (1998)
- [4] 橋本渉、岩田洋夫、凸面鏡を用いた球面没入型ディスプレイ：Ensphered Vision、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.4, No.3 (1999)