

凸面鏡を用いた可搬型没入ディスプレイ環境

Carriable Immersive Display Environment using a convex mirror

橋本渉, 吉田恭平

Wataru HASHIMOTO and Kyohei YOSHIDA

大阪工業大学 情報科学部

(〒573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1)

Abstract : Immersive display is the device that can give us high sense of presence by surrounding around user with the projected imagery. In general, it is hard to move the environment. The device occupies huge space. This paper proposes an movable immersive display environment. Our environment uses general wall as screen. In order to miniaturize that device, we utilizes a convex mirror to spread the projected image. This paper also reports the distortion correction method of the projected image on the various shapes of the wall.

Key Words: Immersive projection technology, convex mirror, wall

1. はじめに

人間の周囲を大型の映像で覆ってしまう装置は没入型ディスプレイと呼ばれる。この装置は人間が注視している方向だけでなく、周辺の視野に映像を呈示することができるため、通常の映像装置に比べ高い臨場感を表現できることが知られている。また映像が人間を取り囲んでしまうので、装置自体が人間に同時に表現できる情報量が多いのも特徴のひとつである。

ところで没入型ディスプレイの最大の欠点は、その装置に要する配置コストである。一般的な没入型ディスプレイは、スクリーンで人間を取り囲み、プロジェクタなどによってスクリーンに投影する仕掛けである。このとき、人間が囲まれた空間のほかにプロジェクタの光路を確保しなければならないため、設置に要する空間が大きくなる。さらに一度設置してしまうと、装置やスクリーンの大きさなどの物理的制約や映像のキャリブレーションといった問題から、移動して再設置することはきわめて困難である。

そこで本研究は常設ではない移動型の没入映像投影環境を目指すものとして、一般的な室内の壁面に映像を投影することによって、スクリーン自体を装置から除いてしまう(図1)。このことには投影場所を問わないという利点がある反面、投影面の形状が一意に決まらないため、映像のフォーカスが合わないといった問題を引き起こす。この問題に対しては、映像を凸面鏡で反射させて焦点深度を大きくする手法をとる(図2)。その一方、投影面の形状によって映像に歪みが生じることになるが、凸面鏡で映像を反射させると特殊な歪みが生じることから、同時に歪み補正を実現することが期待できる。

ここでは、上記のような環境を実現するための投影装置を試作したので報告するとともに、歪み補正方法について説明する。

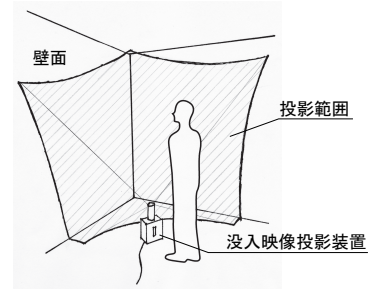


図1: 可搬型没入ディスプレイの概念図

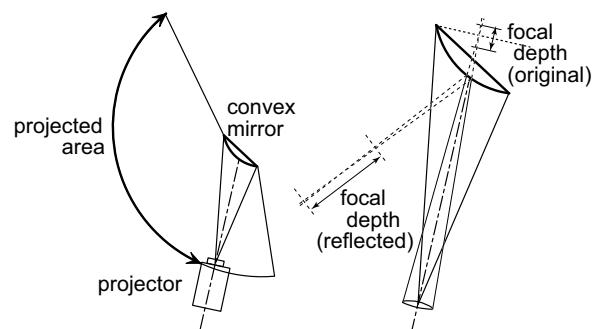


図2: 凸面鏡による反射と焦点深度

2. 移動可能な没入ディスプレイへのアプローチ

没入型ディスプレイに関して様々な研究がなされているが、先にも述べたように空間コストは無視できない問題である。最近では個人用の小型没入型ディスプレイが開発され、製品化されるに至っている。例えば松下電工の CyberDome[1] や Elumens の VisionStation[2] などが挙げられる。これらの小型ディスプレイでは、球面スクリーンの内側から投影するものが大半で、球殻と投影系が固定されており、移動するにはスクリーンごと移動する必要がある。ただし、投影系が固定されているので、移動しても光学的構成は変わらず、キャリブレーションはほとんど不要という利点がある。

一方、小型の没入型ディスプレイとは異なるが、通常の壁をスクリーンとして見立て、没入ディスプレイと同様の効果を得ようとするものもある。これはノースカロライナ大の "Office of the Future"[3] がよく知られている。起伏のある壁面上で、通常のプロジェクト映像を投影できるよう、観察用のカメラを用いてキャリブレーションする手法がとられている。

本研究ではスクリーン自体を装置から除いてしまう工夫として、通常の壁をスクリーンとして利用する手法に着目する。しかしながら、普通のプロジェクトを使用すればフォーカスの問題が生じてしまう。プロジェクトの焦点面から大きく外れるような起伏や面があれば、フォーカスが合わなくなってしまうという問題である。そこで本研究では、プロジェクト映像を凸面鏡で反射させると焦点深度が大きくなるという性質を利用する。このことは、映像が空間的に拡散することを意味し、没入型ディスプレイとしての利点にもなる。次節ではこれを実現するような投影系の設計・試作方法について説明する。

凸面鏡を利用すると、フォーカスの合いやすい映像が出来る反面、投影映像に歪みが生じることになる。正しい画像を得るためには、凸面鏡などの光学系に起因する歪みと、壁面の形状に起因する歪みの両方を同時に補正しなければならない。これについては観察用のカメラを利用し、両方の歪みをまとめて補正することが考えられる。このことについても後述する。

3. 設計と試作

これまで述べてきたような、通常の壁面をスクリーンとして利用し、凸面鏡で拡散投影させるような装置を試作する。手軽に壁面に投影できるという特徴を生かすため、投影系は可能な限り小型軽量であるのが望ましい。この方針に基づいて、以下の手順で試作をおこなっている。

1. プロジェクトの選択

投影系を構成する部品で、最も重量があるのがプロジェクトである。装置の小型軽量化を図るため、ここではモバイルタイプの DLP プロジェクト (PLUS V-1100) を使用している。プロジェクトの重量は約 1kg で、1000ANSI ルーメンである。

2. 焦点距離の短縮

選択したプロジェクトは焦点距離が長く、カタログ値で 120cm、実測値でも 95cm である。凸面鏡を利用した拡散投影系では、焦点面の直前に凸面鏡を配置しなければならないため、装置の全長が 1メートルにもなってしまう。また、焦点距離が長くなるとそれに比例して投影範囲も広がり、必然的に凸面鏡のサイズは大きくなる。これは投影系の小型化をさまたげる要因となるので、凸レンズを用いて焦点距離の短縮化を図っている。ここでは有効焦点が 500mm の平凸レンズをプロジェクトに配することで、焦点距離を 30cm 程度に短縮している。

3. 画角の実測

プロジェクトにレンズを配した状態でプロジェクトの画角を測定する。まず、プロジェクトの光軸に対して垂直になるようなスクリーンを置く。投影される映像の大きさと焦点距離を測れば画角が求まるが、このままでは測定誤差が大きいため、スクリーンを光軸方向に少しずつ移動させて十数回程度測定する。焦点距離と投影サイズの関係を直線で近似すると、画角の近似値が得られる。ここで得られた画角は垂直が 5.39 ~ 29.12 度、水平が -15.90 ~ 15.90 度である。

4. 投影系の設計

プロジェクトの焦点距離と画角が決まれば、シミュレーションによって凸面鏡の曲率とプロジェクトの配置を決定する。シミュレーションにはバーチャルプロジェクト [4] を改良して利用している。このプログラムにプロジェクトの画角や凸面鏡の位置、壁面の形状などを与えると、プロジェクトから投射される光線がどこに反射・結像するかという光線追跡結果がわかる。それと同時にフォーカスの状態が把握できるようになっている。シミュレーションに与える壁面の形状はさまざまなものが想定されるが、さしあたり研究室の白い壁をテストデータを用いている。そのときのシミュレーション結果は図 3 の通りである。ワイヤーフレームで表示されているのが研究室の壁面で、壁面上の黒い点が映像の結像している点を表している。観察者は投影系の横あるいは後ろに立つことを想定している。

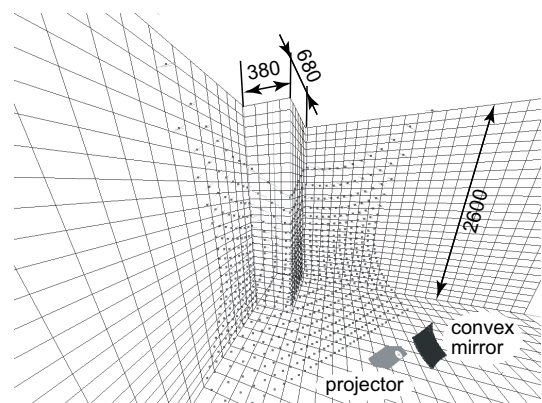


図 3: 試作段階での投影環境

5. 投影系の試作

シミュレーションによって投影系の配置関係が決まれば、それによって光学系を固定する。得られた配置が図4の左で、それによって試作した投影系が右の写真である。フレームはアルミ製で全長は約60cmである。凸面鏡は曲率半径が256mmの亚克力製で、全体の重さは2.5kg程度である。

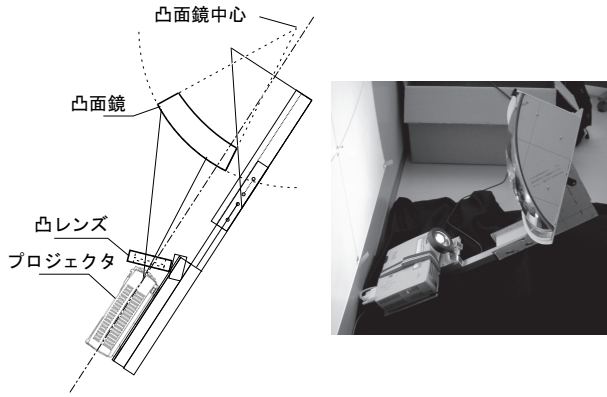


図4: 試作した投影系

4. 画像の歪み補正

前述のような試作機で映像を投影する場合、歪みをキャンセルするような補正が必要となる。この歪みは、投影環境に起因するものと、凸面鏡などの光学系に起因するものに大きく分けることができる。ここではこれらの歪みについて整理しておく

1. 投影環境による歪み

この歪みは壁面と投影装置、観察者の位置関係など、投影環境に依存する歪みである。図5のようにプロジェクタをコーナーに当てた場合には多角形に歪むが、観察者が光源に近づくほど歪みは小さくなる。プロジェクタの位置や光軸の方向、壁面の形状によって歪みかたが変化するが、その変化は観察者の位置に強く依存する。

先に述べた小型球面ディスプレイでは、スクリーンの形状を既知とすることができ、観察者のスイートスポットも限られていることから、この歪み要因の動的な変化は考慮しなくてよい。逆に壁面をスクリーンとして利用する場合は、壁面の形状や投影装置の位置、観察者の位置関係をあらかじめ決めておくか、実時間で取得しなければ正しい映像が得られないことを意味する。本研究のように投影装置を可動式とする場合には、投影装置を移動するたびに投影環境が変わるので、環境の変化に対応させる必要がでてくる。

2. 投影装置による歪み

この歪みは投影装置の光学系に依存する静的な歪みである。凸面鏡や魚眼レンズを用いて映像を投影すると、非線形な歪みをもった映像が出力される。例えば凸面鏡で映像を反射させると糸巻型のような歪曲が生じる。この歪みは光学系に依存しているため、予め調べておくことが可能である。

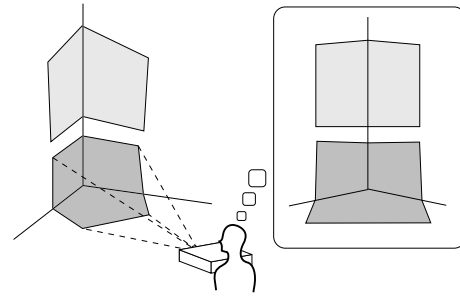


図5: 投影環境による歪み

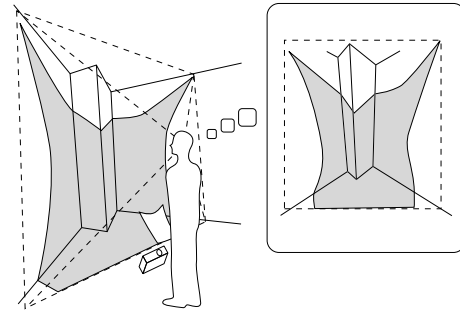


図6: 投影環境 + 投影装置による歪み

試作した装置で得られる歪みは、上記の1と2による歪みが組み合わさったものである。この歪みを完全に把握するためには、1. 壁面の形状、2. 投影装置の位置姿勢、3. 観察者の位置、そして4. 投影装置の光学系について調べる必要がでてくる。しかしながら、環境が変わるたびに全ての要素を調べるのは現実的とはいえない。そこで、本研究では投影された状態からの歪み補正について考える。

ある壁面に投影装置が映像を投影した場合、図7の $ABCD$ に投影される環境があるとする。観察者は図の左下のような状態でたっており、ちょうど図の右上のようなパースペクティブで投影映像を見ていることとする。この壁の稜線に模様を描きたい場合、最初に図左上のような映像をレンダリングすることになる。一方、プロジェクタの映像は $ABCD$ に変形するわけだから、あらかじめ変形を見越した補償映像が必要となる。補償映像は、プロジェクタ画像 $A'B'C'D'$ が $ABCD$ に射影されるという関係を使えば、逆にマッピングすることで生成できる。すなわち $ABCD$ からテクスチャマッピングなどを用い、 $A'B'C'D'$ に変形することになる。

ここで $A'B'C'D'$ を $ABCD$ に変形させるような射影関係が必要となるが、これはカメラなどの撮像装置を用いて取得できる。カメラを視点の位置に配置し、プロジェクタで正方格子を投影すると、カメラからは壁に映った格子模様を得られる。格子の形状を画像解析によって抽出すると、射影関係が得られることになる。

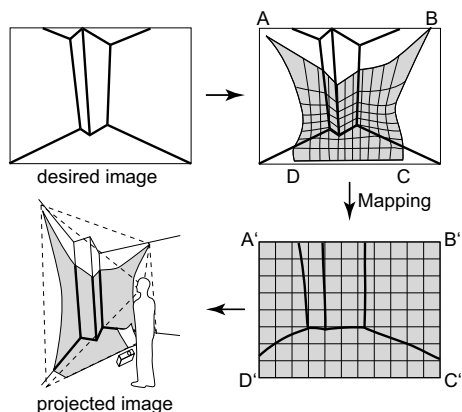


図 7: 壁面形状や配置関係による歪み

5. 投影環境と性能

実際に投影された画像の状態から射影関係を取得し、補正を試みた。図 8 の左側のようなパターンを試作機で投影した場合、右側のようなパターンを取得した。図では A' が A に対応していることを意味する。凸面鏡で反射させているため左右が反転している。この射影関係に基づいてテクスチャマッピングによって歪み補正をおこなう。

図 9 は、実測された射影関係に基づいてテクスチャマッピングをおこなった例で、格子模様を表示したものである。この観察者の視点から大きく移動すると正しい見えは得られないが、観察者の視点ではおおむね格子模様に補正されているのがわかる。

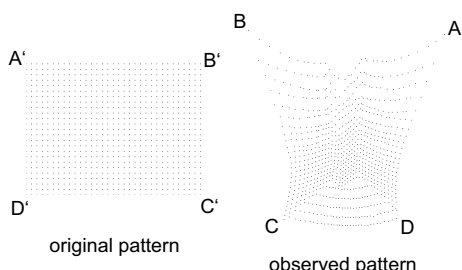


図 8: 投影したパターンと観察されたパターン

6. おわりに

投影面の形状を問わない、移動可能な投影装置の試作をおこなった。また、現時点では視点の移動に対応していないが、壁面の形状や投影装置の位置姿勢、投影装置の光学系を問わず、投影状態から歪み補正をおこなう方法について述べた。このような装置が持つ問題点と今後の展望は次の通りである。

・投影面と影

投影装置の位置関係によって、映像が投影されない影の領域が発生する。影の生じない位置を選ぶか、複数の投影装置が必要となってくる。

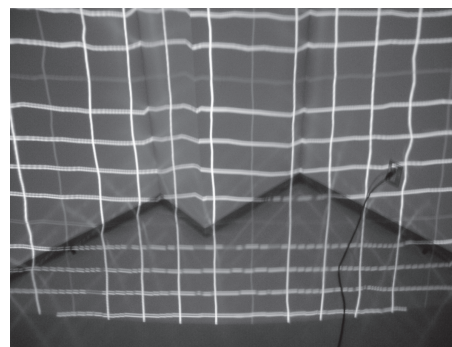


図 9: 歪み補正後の画像

・投影面の模様と材質

投影面の形状や材質が映像の見え具合に大きく影響する。壁の模様については予想はしていたが、壁がつや有り材質だと映像を拡散、反射させてしまい、良好な映像を得られないことがわかった。壁の模様や反射を打ち消すような補償がカメラキャリブレーションによってどこまで可能か試してみたい。

・照度

凸面鏡で拡散反射させている以上、照度不足の問題は避けられない。複数の投影機を同時に使用することによってこの問題は解消するが、各映像生成の同期機構が複雑となったり、輝度にムラが生じるなど新しい問題を引き起こすことも予想される。

今後はこうした問題に対して、人間にとって自然な見えを得られることを模索したい。このような小型没入ディスプレイ環境があれば、搬入が困難であった施設での使用が可能となる。たとえば病院などの施設はそうである。リハビリ現場など患者が画面をみて実際に体を動かす場合には、等身大の表示環境が望ましく、このような装置が効果を発揮すると思われる。

謝辞 本環境の開発に携わった卒業生の橋本大作氏に感謝する。

参考文献

- [1] 柴野伸之, 柏木正徳, 澤田一哉, 竹村治雄: 小型半球面スクリーンを用いた没入型視覚ディスプレイの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 6 回大会論文集, pp.393-396, 2001
- [2] <http://www.elumens.com/products/visionstation.html>
- [3] Greg Welch, Henry Fuchs, Remash Raskar, Herman Towles, Michael S. Brown: Projected Imagery in Your "Office of the Future", IEEE CG&A, Jul/Aug 2000, pp.62-67
- [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, pp.479-486, 1999