

# 多重化映像表示における隠蔽映像生成アルゴリズム

Image Hiding Algorithm for Multiplex Projection

宇津木健<sup>1)</sup>, 長野光希<sup>2)</sup>, 谷中一寿<sup>3)</sup>, 白井暁彦<sup>3)</sup>, 山口雅浩<sup>4)</sup>

Takeru UTSUGI, Koki NAGANO, Kazuhisa YANAKA, Akihiko SHIRAI and Masahiro YAMAGUCHI

1) 東京工業大学 電気電子工学科 山口研究室

(〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-S3-31, [utsugi.t.aa@m.titech.ac.jp](mailto:utsugi.t.aa@m.titech.ac.jp))

2) 東京工業大学 社会工学科

(〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

3) 神奈川工科大学 情報メディア学科

(〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030)

4) 東京工業大学 像情報工学研究所

(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259)

**Abstract:** We have enabled the invisible image superimposition of multiplexed images on the same screen at the same time with special glasses taking on or off. Our supposed projection system is based on current 3D stereoscopic technology using polarization thus high compatibility with current contents industries. To realize multiplex contents displaying with a hidden image which is invisible to the naked eyes, but visible to the only users who wear the glasses, we propose an algorithms to create image sets and tested some experiments to optimize affects of gamma.

**Key Words:** *multiplex projection, hiding algorithm, 3D, polarization*

## 1. はじめに

近年、3D映画、3DTVをはじめとするメガネを用いた三次元ディスプレイが盛んに研究され、一般に普及しつつある。この三次元ディスプレイは、メガネをかけることで簡単に立体感を体感できるが、一方で、裸眼で見た場合に左右の像が重なって見えてしまうことや、長時間の視聴による目の疲労などの問題点がある。そこで、我々はこの三次元ディスプレイに、飛び出しと奥行き提示という用途のほかに新たな用途を加えることで、このディスプレイの普及をさらに促進できると考え、「多重化映像提示システム」を提案した[1]。これは、リビングルーム、パブリックスクリーンなどの大画面共有環境に新たなコンテンツの幅を与えることができる。しかし、メガネ等を装着していない裸眼の体験者に対して、選択的に情報を提示できない点が課題であった。この課題に対して現在我々は、「隠蔽映像提示システム」の開発を行っている。本稿では、そのシステムに不可欠な、任意の2つの画像から隠蔽画像を算出する「隠蔽映像生成アルゴリズム」を提案する。また、これによって生成された2つの画像を多重化することで、メガネ等により選択的に隠蔽画像を見ることができると実験により示す。

## 2. 関連研究

### 2.1 多重化映像表示

すでに述べたように、1つのスクリーンに複数の映像情報を多重化し、ユーザーが選択的にこの映像を見ることができシステムとして、我々は「ステレオ立体視技術と高い互換性を持つ多重化映像提示システム“Scritter”」を提案している[1]。これは、現在メガネを用いた三次元ディスプレイで一般に採用されている直線偏光フィルター方式のメガネを、左目用右目用(LR)のフィルターではなく左目用のフィルターのみ(LL)、または右目用のフィルターのみ(RR)に変更することで、多重化映像の選択を可能にしている。しかし、裸眼では2種類の映像が重なって観察されるという問題があり、本研究はこの問題を解決するものである。

また、1つのスクリーンに映像を多重化する手法として、レンチキュラーレンズを用いたものがある。これは、スクリーンを見る角度によって提示する映像を選択でき、デジタルサイネージなどで一般に普及している。Lumisight Table[2]のように視界制御フィルム Lumisty を用いることでこれを実現している例もある。これらは、ユーザーが提示映像の選択を行うために、自ら移動する必要があり、スクリーンの周囲に大勢の人がいる場合に適していない。

本研究の「隠蔽映像提示システム」では、同じ場所でメガネの装着のみにより映像の選択ができる。また、メガネを持っている特定のユーザーのみに映像を提示できるので、不特定多数に提示できない秘匿情報を扱うこともできる。

## 2.2 隠蔽映像表示

裸眼では見えない映像を付加したディスプレイは、これまでにいくつか提案されている。八谷和彦のFaryFinder[3]などの一連のメディアアート作品群や桜井智史らのテーブル型ディスプレイ[4]では、偏光を用いて映像を隠蔽するディスプレイを開発している。これは隠蔽する映像の輝度を下げ、ウェーバーの法則ないしマスクング効果を応用することで映像を隠蔽しているが、任意の映像を隠蔽するアルゴリズムについては触れられていない。

また、筑康明らのUlteriorScape[5]は、視界制御フィルム Lumisity の透過性と拡散性の角度依存性により、情報の多重化を行っている。テーブル型のディスプレイの上に拡散性のあるスクリーンをかざすことで多重化された映像を見ることができ、一般的なディスプレイとしての利用には適さない。

さらに関連する先行事例として、株式会社半導体エネルギー研究所による投影型の表示装置[6]が考案されている。これはカラー画像などの必要な情報と、全面または一部白色の画像の両者に特性の異なる偏光を施し、液晶プロジェクタから重畳投影することでメガネを持っている視聴者にだけ、必要な情報を提示することができる。しかしこれは、提示された複数の画像のうち、隠蔽用の白色画像は情報を持たず、また白色画像をカラー画像の上に重畳提示すると、カラー画像が裸眼で確認できてしまう可能性がある。本研究では、裸眼で表示される隠蔽用の画像も意味を持ち、さらにメガネ着用時のカラー画像を裸眼において完全に隠蔽することができる画像セットを生成するアルゴリズムを提案する。

## 3. 隠蔽映像生成アルゴリズムの提案

### 3.1 隠蔽映像の原理

裸眼では画像 A が表示されていて、偏光メガネをかけたユーザーにだけ画像 B が見えるようにする。画像 A, B はともに任意のフルカラー画像またはモノクロ画像とし、各ピクセルの RGB の輝度値を 256 段階 (0~255) で表示する。2 台のプロジェクタそれぞれから異なった映像を同一スクリーン上に投影すると、スクリーン上では、輝度値が加算される。例えば 2 台のプロジェクタそれぞれから輝度値 a, b の画像を投影すると、スクリーンでの理論上の輝度値は a+b となる。本提案では、これを用いて 2 台のプロジェクタから隠蔽用画像と、裸眼用画像との差分画像を投影し、スクリーン上で裸眼画像を合成する。このとき、差分画像の輝度値が負とならないために、裸眼画像の輝度値を隠蔽画像の輝度値より高くしておく必要がある。また、プロジェクタのガンマの影響を考慮して差分画像を算出し、プロジェクタの出力輝度値をキャリブレーションすることで、

確実に画像の隠蔽を行うことができる。

## 3.2 隠蔽画像生成の手順

### 3.2.1 輝度値の調整

まず、任意の画像 A, B (各ピクセルの輝度値 a, b) を、A 裸眼用画像、B 隠蔽画像とする。このとき裸眼画像、隠蔽画像ともに各ピクセルの輝度値 a, b は 0~255 とする。すべてのピクセルにおいて B より A の輝度値が高くなければならないので、そうなるように画像 A, B を処理する。画像 A, B を処理して、輝度値が a>b となった画像を A', B' (各ピクセルの輝度値 a', b') とする。このとき a', b' はそれぞれ、

$$\begin{aligned} a' &= a \times \frac{255 - a_{\min}}{255} + a_{\min} \\ b' &= b \times \frac{a_{\min}}{255} \end{aligned} \quad (1)$$

として求められる。ここで  $a_{\min}$  は a' の最小値 (定数) でガンマを考慮しない場合 256 階調の中間である 128、ガンマを考慮した場合は、出力輝度の中間の値とすれば、A, B ともに同程度のコントラスト低下とすることができる。ガンマ 2.2 (一般的なディスプレイで用いられているガンマ) の場合は、 $a_{\min}$  を約 186 とすると丁度出力輝度の中間となる。

また、裸眼画像、隠蔽画像どちらかの重要度が高い時は、 $a_{\min}$  を調節することで重要度の高いほうの画像のコントラスト低下を低減できる。例えば、隠蔽画像が字幕などの 2 値画像の場合は、 $a_{\min} = 50$  とすれば、裸眼画像の輝度は 50~255 の範囲で、本来のコントラストをほぼ保ったまま表示でき、隠蔽画像は 0 と 50 の 2 値で文字を十分認識できる。

### 3.2.2 差分画像の生成

画像 A', B' から差分画像を生成する。ガンマを考慮しない場合、差分画像 C (各ピクセルの輝度値 c) は、

$$c = a' - b' \quad (2)$$

として単純な差で求めることができるが、ガンマを考慮した場合は、

$$c = (a'^{\gamma} - b'^{\gamma})^{\frac{1}{\gamma}} \quad (3)$$

となる。ここで  $\gamma$  は、プロジェクタのガンマである。

### 3.2.3 多重投影

最後に図 1 のように、上記で得られた差分画像 C と、処理済みの隠蔽画像 B' を、それぞれ別々のプロジェクタ 1, 2 で同一スクリーンに多重投影する。隠蔽画像 B' を投影するプロジェクタ 1 には輝度調整フィルターを、差分画像 C を投影するプロジェクタ 2 には、直線、または円偏光

板を取り付ける。ここで使用するプロジェクタは、内部の光学系に偏光を使用していない DLP プロジェクタが望ましい。輝度調整フィルターは、プロジェクタ 2 の偏光板により低下した出力輝度レベルとプロジェクタ 1 の出力輝度レベルを合わせるために用いる。

ここまでで、裸眼のユーザーには裸眼画像 A' を、偏光メガネをかけたユーザーには隠蔽画像 B' を表示することができる。

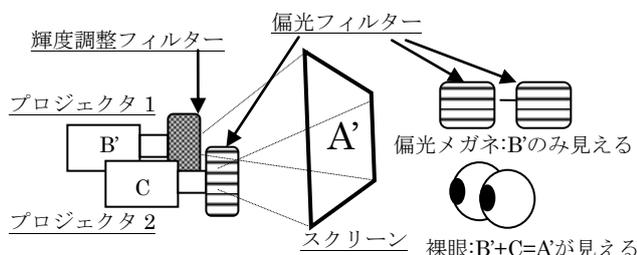


図 1: 隠蔽映像提示システム概念図

#### 4. 実験

提案した隠蔽映像生成アルゴリズムで生成した隠蔽画像を多重投影したとき、実際に裸眼では隠蔽された画像が視認できないかの確認を行った。

使用したプロジェクタは、DLP プロジェクタ MP-515 (BENQ) 2 台、スクリーンは、3D 立体視用シルバースクリーン SLPA-ST80 (KIKUCHI) を使用した。また偏光板は、直線偏光フィルターを使用した。

##### 4.1 プロジェクタのキャリブレーション

まず、差分画像算出時に用いるガンマの値を決める。今回はガンマ 2.2 とした。そして、ガンマが 2.2 となるようにプロジェクタをキャリブレーションする。キャリブレーション用ツールは DataColor 社「Spyder3」 [7] を用いて、通常暗室環境において行った。これにより、スクリーンの状態や環境光の影響を考慮してキャリブレーションを行うことができる。



図 2: プロジェクタ (2 台) 図 3: Spyder3 による測光

##### 4.2 テストチャートの隠蔽結果

図 4 のテストチャート (輝度レベル 0~255 を 9 段階とした双対するグレースケール) を 2 台のプロジェクタで重ねて投影する。合成された 2 つのテストチャートは、理想的には 1 本の境界のない白 (255) になるはずであるが、実際にはプロジェクタのガンマにより、合成されたテストチャートは真ん中部分の輝度が落ちる (図 5 左)。ガンマ

2.2 を考慮して設定したテストチャートを用いることで 1 本の境界のない白を得ることができた (図 5 右)。これは、全面白 (255) の画像にテストチャートを隠蔽することと等価である。カラーにおいても同様であり、ガンマ及びプロジェクタのカラー空間を考慮した補完関係を導出する必要があることが確認できた。



図 4: テストチャート (ガンマ考慮なし (左)、考慮 (右))

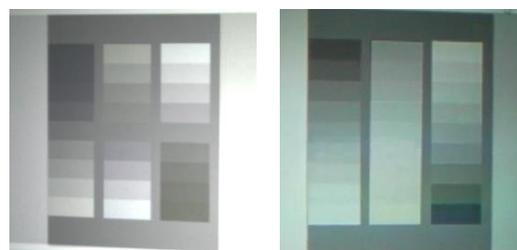


図 5: テストチャートの多重投影 (ガンマ考慮なし (左)、考慮あり (右))

##### 4.3 画像の隠蔽結果

次に任意の画像で確かめるために、図 6 のような 2 つの画像を用いて隠蔽を行った。図 7, 8 は生成された A'、B'、C 画像である。今回  $a_{\min}=128$ 、 $\gamma=2.2$  とした。

結果は、図 9 のように裸眼では全く隠蔽映像を確認することが出来ず、図 10 のように偏光メガネにより確実に隠蔽されていることを確認した。



図 6: 原画 (A, B)



図 7: 処理後の画像 (A', B')



図 8: 差分画像 (C)

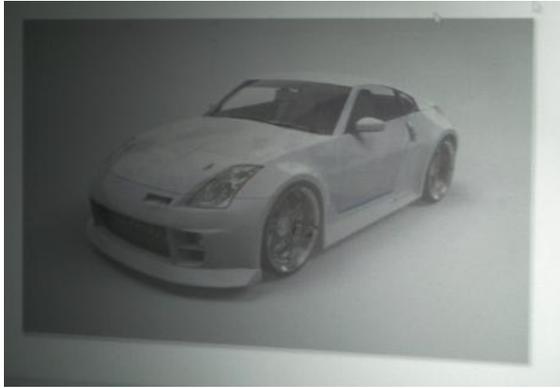


図 9: 裸眼画像結果



図 10: メガネを通した隠蔽画像(車体の内部が観察できる)

## 5. 考えられる応用例

今回提案したアルゴリズムを用いた隠蔽映像提示システムは、既存の3D映画や3DTVで採用されている偏光フィルター方式、液晶シャッター方式の立体ディスプレイと高い互換性があるので、幅広い分野で比較的容易に普及させることができると考えられる。応用例としては、聴覚障害者用の字幕を隠蔽画像とすることで、聴覚障害者向け字幕への応用が考えられる。CAD画像や人体などの医療用映像、教育のための資料、サイネージなどで、メガネを

着用しない状態で任意の画像を表示しつつ、メガネを着用することで「中身が見える」画像を作成することも考えられる。

さらに、ショッピングモールなどの、デジタルサイネージとして用いられている不特定多数用のディスプレイに、特定の消費者向けの情報やプライバシーに配慮した情報を隠蔽して表示することができる。

また、裸眼画像を3D画像における左目画像、隠蔽画像を3D画像における右目画像とすることで、裸眼で2D、メガネをかけると3Dとなるディスプレイの開発が可能となる。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では隠蔽映像生成アルゴリズムの提案を行った。また、実験により実際に本提案手法を用いて画像を隠蔽できることを確認した。

今後の課題として、コントラスト低下の削減方法の検討、利用するプロジェクタのカラー空間や輝度を考慮した色空間再現の向上、リアルタイム処理による動画への適用がある。

謝辞 本研究および実験は、神奈川工科大学情報学部情報メディア学科・平野研究室、服部研究室、東京工業大学中嶋研究室、山口研究室、世界文明センターおよび東工大 130年記念事業部の協力を得た。この場をお借りして感謝の意を示したい。

## 参考文献

- [1]Takeo HAMADA, Koki NAGANO, Takeru UTSUGI, Akihiko SHIRAI :”Scritter: A multiplexed image system for a public screen” Proceedings of VRIC Laval Virtual ReVolution 2010 (April 2010), pp.321–323.
- [2]寛康明、飯田誠、苗村健、松下光範 : Lumisight Table, インタラクティブ東京, 日本科学未来館, 2005.
- [3]八谷和彦 : FairyFinder, (<http://www.petworks.co.jp/~hachiya/works/FairyFinder.html>)
- [4]櫻井智史, 浅井和広, 北村喜文 : Mysterious POND, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15,No1, pp. 75-81, 2010
- [5]寛康明, 苗村健, : UlteriorScape, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15,No2, pp.165-172, 2010
- [6]株式会社半導体エネルギー研究所. 投影型の表示装置、特開 2005-092227、2004.10.22
- [7]Spyder3:DataColor (<http://www.colorvision.jp/>)