

映像重畳による選択的情報表示手法の検討

福井 真理子¹ 阪口 紗季² 松下 光範^{1,a)}

概要: 本研究では、実物体に映像を足し合わせることによって、秘匿された情報を視覚化する手法を提案する。提案手法では、錯覚を応用したエンタテインメントであるスキャニメーションの技法をプロジェクションマッピングに応用する。それによって、実物体の外観に付与されたパターンに対し、プロジェクタからの投影映像のパターンを重畳することによって、情報を視覚化することを可能とする。これにより、それぞれ単体では意味をなさない物体の外観と投影映像が重なり合ったときにのみ、意味のある情報として視覚化できるといったインタラクションが実現できる。

1. はじめに

拡張現実感技術のひとつに、物体の任意の位置と映像の投影位置を対応させる技法であるプロジェクションマッピングがある。この技法は、物体と映像を組み合わせることでその物体の模様や質感といったそれら単体では表せない効果を創出することを可能としている。しかし、こうした重畳で用いられる物体の外観や映像は、どちらか一方のみでも意味をなす情報を持っており、鑑賞者はそれぞれを別々に見たとしても両者が重なり合った後にどのような情報が得られるのかが予測できる。それに対して、本研究では物体の外観と映像はそれぞれ単体では意味をなさない情報であるが、両者が重なり合った時にだけ意味のある情報が得られる仕組みを提案する。本研究では、スキャニメーション（スリットアニメーション）の方式をプロジェクションマッピングに援用する。

2. スキャニメーション

スキャニメーションとは2枚の紙を用いることで、紙に描かれたイラストを動いているかのように見せる錯視手法である。1枚の紙には縦方向に分割された複数種類の絵を重ねた絵（図1A参照）が、描かれている。もう1枚の紙には黒い縦線と透明（穴をあけるなどして背後が見えるようにしたもの）の縦線を交互に配置した縞模様（図1中B参照）が描かれている。Aには消去された部分と残された部分が等間隔で交互に並んだ絵が描かれており、消去された

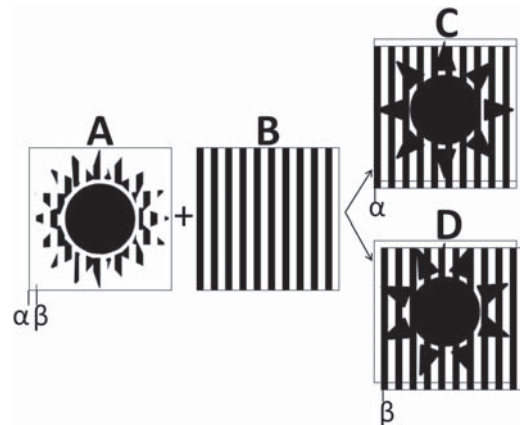


図1 スキャニメーションについて

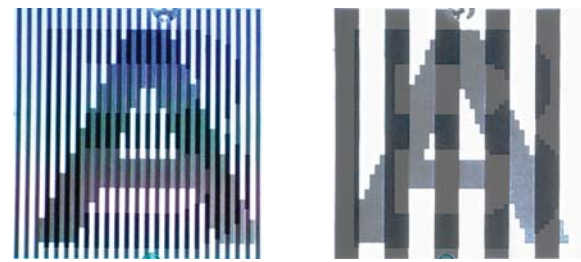
部分には他の絵の残された部分が入れ組むように配置されている。Aの上にBを重ね、Bを左右に動かすことで、遮蔽された部分と見えている部分がずれ、絵が順番に変わっていくように見える（図1参照）。B左端をAの α の位置で合わせた場合はCのように見え、B左端をAの β の位置で合わせた場合はDのように見える。

スキャニメーションで表示することのできる絵は6種類までである [1]。Aの消去された部分と残された部分の幅の比率は、Aに使用する絵の数により変化する。Aに使用する絵の数を n 種類とする場合、消去された部分と残された部分の幅の比率は、 $n-1:1$ となる（図2中左参照）。図2中左中 a の部分に該当する箇所はすべて、同じ絵の残された部分である。 b , c , d も同様に、それぞれの該当箇所はすべて、同じ絵の残された部分である。Bの黒い縦線と透明の縦線の幅の比率は、Aに使用する絵の数により変化する。Aに使用する絵の数を n 種類とする場合、黒い縦線と透明の縦線の幅の比率は、 $n-1:1$ となる（図2中右参照）。

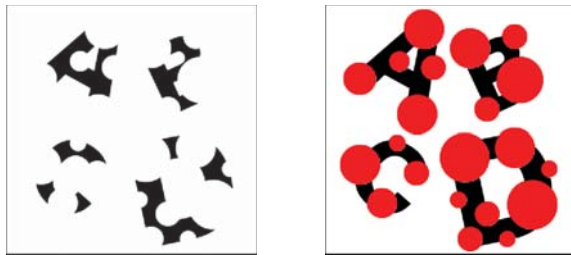
¹ 関西大学総合情報学部
Faculty of Informatics, Kansai University
² 関西大学大学院総合情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kansai University
a) m_mat@kansai-u.ac.jp



4種類の絵を表示する A 4種類の絵を表示する B
図 2 スキャニメーションの仕組み



1ピクセルのスリット 5ピクセルのスリット
図 4 スリット幅の比較



遮蔽前 [4] 遮蔽後 [4]
図 3 アモーダル補完の例

これにより A の上に B を重ねたとき、B の透明の部分から見える部分は、A の 1 種類の絵のみとなる。

スキャニメーションは、人間の脳が持つ 2 つの特性を利用した錯視技法である。ひとつは仮現運動である。これは少しだけ異なる 2 種類の画像を交互に切り替えて見せると、一方から他方へものが連続に動いたように知覚される特性のことである [2]。もうひとつはアモーダル補完である。これは、人間の脳は何か隠れていると解れば、隠れているものを瞬時に無意識にかつ正確に推測するというものである [3]。以下にアモーダル補完の例を示す。図 3 中左には複数の図形が配置されている。これらは 4 つのアルファベットの一部分であるが、この状態からアルファベットの認識を行うことは困難である。図 3 中右は図 3 中左に円を複数加えた図である。図 3 中右の状態のとき、A、B、C、D の 4 文字は簡単に認識できる。これは、脳が円形のパタンの背後には文字の一部が隠れていると解釈し、途切れた部分を補完するためである [3]。

3. 提案手法

本研究では、図 1 中 A を投影対象とし、図 1 中 B に相当する映像をプロジェクタで投影する手法を用いることによって、複数の情報を提示することができるプロジェクションマッピング手法を提案する。この手法ではスキャニメーションの方式を使用しているため、投影映像や投影対象のみでは提示する情報の内容を判別することはできない。これにより、単体では意味をなさない物体の外観と投影映像を重ねたときのみ意味のある情報として視覚化することが可能となる。また、紙で行う従来のスキャニメーションでは縦線のパターンが多く使用されているが、提案手

法では、紙で行うには難しい複雑なパターンが使用可能になると考える。

実装は、静止画が描かれた紙を投影対象としてを垂直な壁に貼り付け、真正面からプロジェクタにより映像を投影することとした。プロジェクタは投影対象の中心と投影映像の中心が一致する位置に配置した。

4. 素材の選定

本章では、前章で提案した手法で用いるための投影映像と投影対象についての検討を行う。紙で行う従来のスキャニメーションの手法が、提案手法であるプロジェクションマッピングで行うスキャニメーションの手法にも適応されるかを確かめるため、縦線のパターンを使用して検証を行う。なお、従来のスキャニメーションで使用される呼称の通り、投影映像の縦線のことをスリット、投影対象に使用された絵の数をコマとそれぞれ記述する。使用した投影対象の画像は、50 × 50 ピクセルで作成し、印刷時は 1 ピクセルあたり約 4mm (50 ピクセルあたり 180mm) であった。

4.1 投影映像のスリット幅の検討

投影映像を投影した際、映像の黒い部分により遮蔽された面積の合計が同じならば、どのような幅のスリットでも意味のある画像を視認することができるのかを検証した。まず、スリット幅が 1 ピクセルのスリットから、スリット幅が 9 ピクセルのスリットまでの映像をそれぞれ作成した。そして「A」と「B」の 2 コマの絵を秘匿した投影対象に映像を投影し、スリット幅による視認性の違いを比較した (図 4 参照)。投影対象の観察は、投影対象から垂直に 1m 離れた位置から行った。

実験の結果、スリット幅が短い場合の方が、スリット幅の長い場合よりも視認性が高かった。その結果の理由として 2 点が挙げられる。ひとつはスリット幅が長くなり、投影対象の遮蔽された部分が長くなるほど、アモーダル補完が成立しづらくなることである。もうひとつは、投影映像の黒い部分で投影対象が完全に遮蔽されていないため、スリット幅が長くなるほど、投影対象の遮蔽されるべき部分が視認されやすくなることである。以上の結果より、本システムではスリット幅が 1 ピクセルのスリットを投影映像

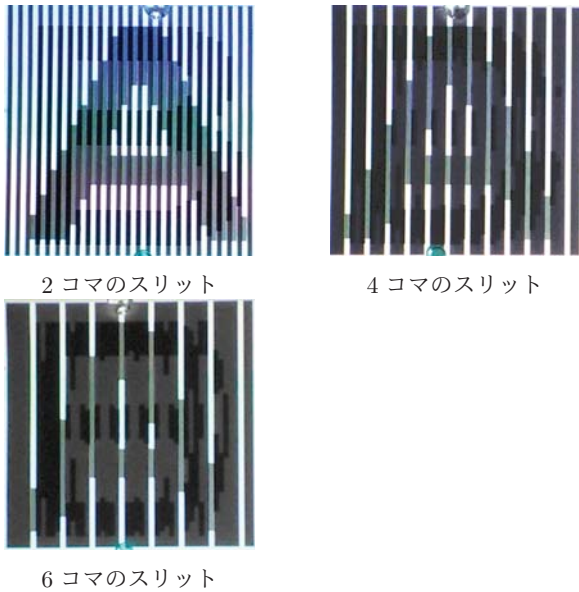


図 5 コマ数の比較

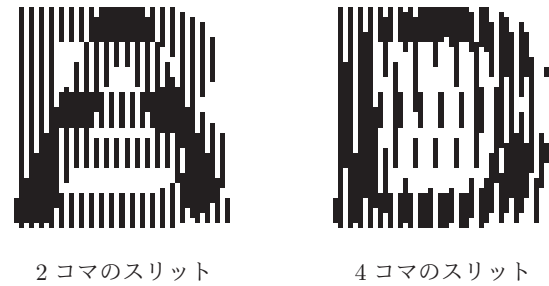
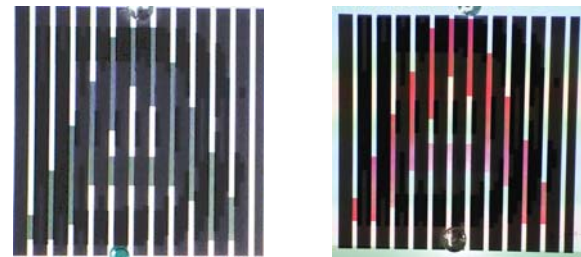
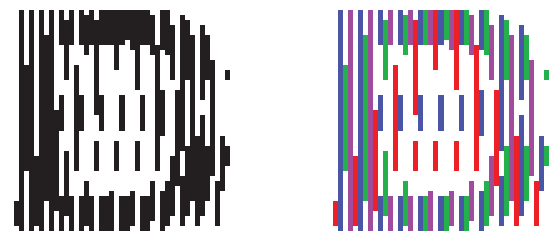


図 6 イラストの比較



黒のみ 色つき

図 7 投影対象の色の比較 (投影時)



黒のみ 色つき

図 8 投影対象の色の比較 (非投影時)

として使用する。

4.2 投影対象のコマ数の検討

前述の結果から、スリットで遮蔽された部分の幅が長くなると情報の視認性が下がることがわかった。スキャニメーションの手法では、コマ数が増えるにしたがって黒い部分で遮蔽された面積が大きくなるため、情報の視認性は下がると考えられる。その検証のため、映像投影時の投影対象のコマ数の違いによる視認性の差を比較した。また、本手法では映像を投影していない状態のとき、何が描かれているかわからないことが重要である。これは、映像を投影しない状態で何が描かれているかわかる場合、映像を投影した時のみ情報が提示されるという要件を満たさなくなるためである。そのため、映像非投影時の投影対象のコマ数の違いによる視認性の差も比較した。その方法として、2コマから8コマまでのスキャニメーションを行う投影映像と投影対象をそれぞれ作成した。2コマのスキャニメーションには「A」と「B」が、4コマのスキャニメーションでは「A」、「B」、「C」、「D」が、6コマのスキャニメーションでは「A」、「B」、「C」、「D」、「E」、「F」が、8コマのスキャニメーションでは「A」、「B」、「C」、「D」、「E」、「F」、「G」、「H」が表示される投影対象をそれぞれ使用した(図5, 6参照)。

実験の結果、投影時、非投影時の両方で、コマ数が増えるほど視認性が下がった。非投影時には、コマ数が少ないほど何が描かれているか予想されやすくなった。本システムでは、非投影時に何が描かれているか予想されないかつ、投影時の視認性を高くする為に、4コマの投影対象を使用する。

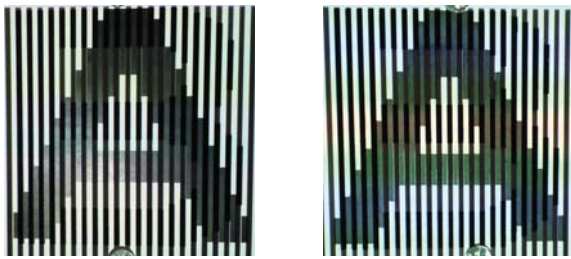
4.3 投影対象の色の検討

従来の紙のスキャニメーションでは、スリットによって隠された部分の投影対象は完全に見えなくなるため、色つきの投影対象も使用可能である。しかし、提案手法では前述の結果より、投影映像の黒い部分でコマが完全に遮蔽されていない。そこで、色つきの投影対象をスキャニメーションに使用できるか検証した。また、映像の非投影時、投影対象のみで描かれた内容が判別できるか検証した。そのために、黒のみの4コマの投影対象と、コマごとに色を変えた4コマの投影対象をそれぞれ作成し、投影時、非投影時の両方で比較した(図7, 8参照)。

実験の結果、映像投影時は、色つきの投影対象の方が、黒のみの投影対象よりも視認性が上がった。しかし、非投影時は、色つきの投影対象の方が、黒のみの投影対象よりも何が描かれているか予想されやすくなった。本システムでは黒のみを用いたものを投影対象として使用することとする。

4.4 投影対象の材質の検討

投影対象に使用されるインクの種類によって投影対象の



印刷 ホワイトボードマーカー

図 9 投影対象の素材の比較

視認性が変化するかを比較した。プリンタで投影対象を印刷したものと、ホワイトボード用マーカーで投影対象を描いたものについて、視認性を比較した(図9参照)。印刷に使用するインクは、キヤノン社のトナーカートリッジ 318(ブラック)を使用した。ホワイトボード用マーカーは、コクヨ社の再生樹脂ホワイトボード用マーカー 太字黒 PM-B103NDを使用した。用紙はコクヨ社のコピー用紙 PPC-WAA4(白色度 90%)を使用した。

実験の結果、正面以外から観察した時、視認性の違いは得られなかった。正面から観察した時、ホワイトボード用マーカーを使用したものの方がプリンタを使用したものよりも視認性が高かった。これはプリンタのインクを使用した場合、紙表面の凹凸が埋められて平らになるため、プロジェクタからの光が反射するためだと考えられる。よって、本システムではホワイトボード用マーカーで描いた投影対象を使用する。

5. 実装

通常時は意味のある画像を視認できないが、映像を投影することによって、4種類の画像を提示できるような映像重畳を行った。

5.1 映像の作成

投影映像には、4コマのスキュアニメーション用の映像を作成した。従来の紙のスキュアニメーションとの差別化の為に、紙では実現が困難な映像を作成を行う。紙では困難な映像として中心点から正方形が同心円状に広がっていく映像を提案する。以下のようにして映像を作成した。

- (1) 同一の中心点を持ち、大きさが異なる正方形の枠を互いに接するように配置する(図10中左参照)。
- (2) 図10中右のアルファベットに対応する部分の色を、表1中1枚目の行の対応した色に変更する。それを1枚目の画像(図11中左上参照)とする。
- (3) 同様に図10を、表1中2枚目の行の対応した色に変更して2枚目の画像を作成する(図11中右上参照)。
- (4) 同様に図10を、表1中3枚目の行の対応した色に変更して3枚目の画像を作成する(図11中左下参照)。
- (5) 同様に図10を、表1中4枚目の行の対応した色に変更して4枚目の画像を作成する(図11中右下参照)。

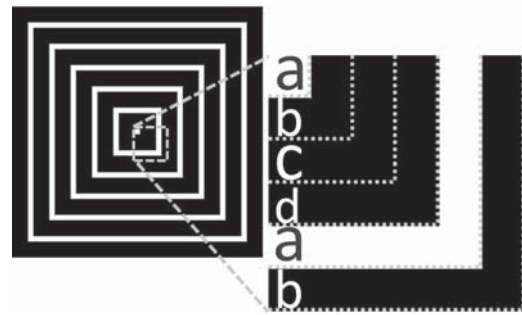


図 10 投影映像の作成

表 1 投影映像の配色

| | a | b | c | d |
|------|---|---|---|---|
| 1 枚目 | 白 | 黒 | 黒 | 黒 |
| 2 枚目 | 黒 | 白 | 黒 | 黒 |
| 3 枚目 | 黒 | 黒 | 白 | 黒 |
| 4 枚目 | 黒 | 黒 | 黒 | 白 |

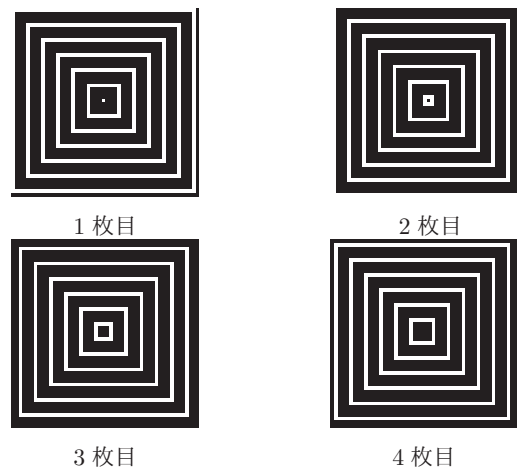


図 11 投影映像の作成

更して4枚目の画像を作成する(図11中右下参照)。

- (6) 作成した4枚の画像を順番に表示するGIFアニメーションを作成する。GIFアニメーションの作成にはGIF/MNG-LCアニメーション作成ソフト Giam*1を使用した。GIFアニメーションはループ再生をする設定にする。

5.2 投影対象の作成

投影対象には、映像投影時に「A」、「Y」、「K」、「O」(図12参照)の4種類の文字が順番に表示される画像を作成した。この4種類の文字は無作為に選出したものである。これらの画像は投影映像の画像と同じ大きさで作成している。以下のようにして投影対象を作成した。

- (1) 投影映像の1枚目の画像から、黒い部分を別の色に差し替えた画像を作成する(図13中左上参照)。
- (2) 投影対象の1枚目の画像の透過色を白色に設定し、前段階で作成した画像を貼り付ける(図13中右上参照)。

*1 <http://homepage3.nifty.com/furumizo/giamd.htm>



図 12 投影対象の元画像

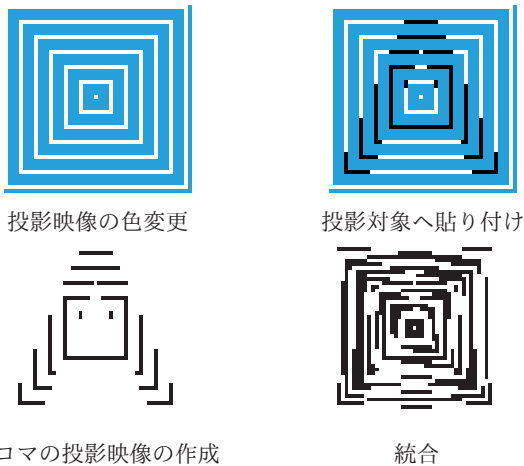


図 13 投影対象の作成

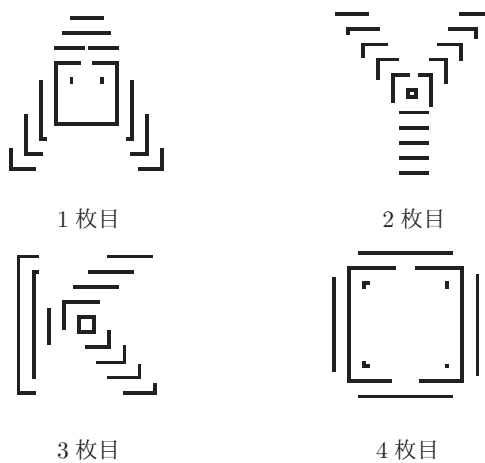


図 14 投影対象の加工画像

- (3) その画像から、前段階で差し替えた色の部分を消去する (図 13 中左下参照)。
- (4) 同様の処理を投影対象の 2, 3, 4 枚目の画像に行う。投影対象の 2 枚目の画像には投影映像の 2 枚目の画像を、投影対象の 3 枚目の画像には投影映像の 3 枚目の画像を、投影対象の 4 枚目の画像には投影映像の 4 枚目の画像を使用する。作成した画像は図 14 中右上, 左下, 右下のようになる。
- (5) 作成した画像をすべて統合し、1 枚の画像にする (図 13 右下参照)。

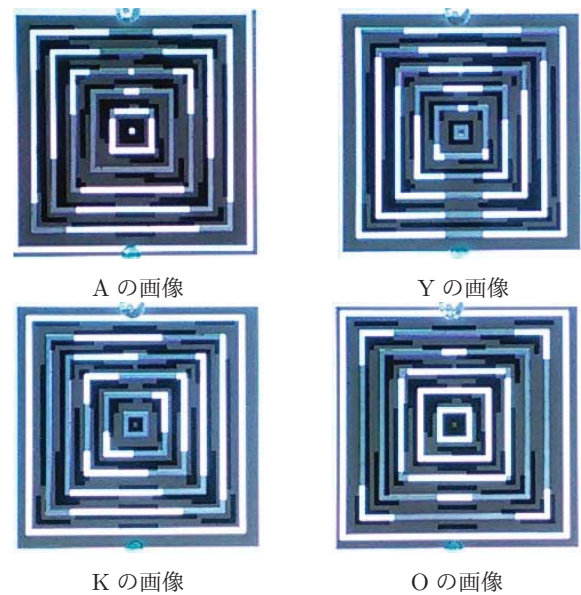


図 15 投影時

5.3 映像の投影

投影対象に秘匿された情報を可視化させるには投影映像と投影対象の位置関係を厳密に調整する必要がある。プロジェクタからの映像は、投影対象との距離が短いほど小さく、投影対象との距離が長いほど大きくなる。そのため、適切な距離からの映像以外では、投影映像の白い部分のスリット幅と投影対象の 1 コマの黒い部分の幅が一致せず、スキャニメーションとして成り立たない。また、縦線のスキャニメーションであれば、投影映像と投影対象の傾きを一致させることでスキャニメーションが成立する。しかし、本システムでは同心円状に広がる投影映像を使用しているため、投影映像と投影対象の傾きを一致させることに加え、投影映像の中心位置と投影対象の中心位置を一致させる必要がある。そのためプロジェクタの配置位置は、以下の条件を満たすこととした。

- (1) 投影映像の白い部分の幅と投影対象の 1 コマの画像の残された部分の幅が一致する。
- (2) 投影映像の傾きと投影対象の傾きが一致する。
- (3) 投影映像の中心位置と投影対象の中心位置が一致する。

投影映像の切り替わりに合わせて 4 種類の画像が表れることが確認された (図 15 参照)。反対に、上述の条件を満たしていない場合、元の 4 種類の画像は視認できなかった。

6. 実験

本章では、提案したシステムの、投影対象の位置と鑑賞位置間の距離による視認性の変化について述べる。

6.1 概要

前章で指摘したように、投影対象の遮蔽された部分の面積が広いほど情報の視認は困難になる。また、投影対象の鑑賞位置に近いほど投影対象とその遮蔽された面積は大き

表 2 視認率の変化

| | 視認率 |
|------|-----|
| 0.5m | 15% |
| 1m | 23% |
| 1.5m | 48% |
| 2m | 55% |
| 2.5m | 58% |
| 3m | 98% |

く見える。従来の紙のスキャニメーションでは、多くの場合、鑑賞距離は鑑賞者の顔から手元までの 50cm 程度である。しかし、本システムではプロジェクションマッピングの手法を援用しているため、鑑賞者は様々な距離から鑑賞することが想定される。そのため、投影対象の位置と鑑賞位置間の距離による視認率の変化を調べた。

6.2 手続き

今回の実験では、投影対象にプロジェクタ (ASUS 社製, P2E) で映像の投影を行った。1 辺 18cm であり、4 種類のアルファベットが提示できる投影対象に映像を投影し、それを 0.5m ごとの距離から鑑賞して文字の視認率を測る実験を 10 人に対して行った。その際、全ての距離で同じ文字を提示する投影対象を使用し続けた場合、文字が視認できない場合でも文字が予想されることにより、正しい結果が得られなくなる事を防ぐため、距離を変更するごとに違う投影対象を使用した。0.5m の距離では「F」、「J」、「M」、「X」を提示する投影対象を、1m の距離では「E」、「V」、「H」、「S」を提示する投影対象を、1.5m の距離では「N」、「W」、「Q」、「I」を提示する投影対象を、2m の距離では「P」、「T」、「Z」、「B」を提示する投影対象を、2.5m の距離では「U」、「R」、「G」、「D」を提示する投影対象を、3m の距離では「A」、「Y」、「K」、「O」を提示する投影対象をそれぞれ使用した。使用した文字は、視認した文字から残りの文字を判別できないように無作為に選出した。

今回の実験では、0.5m から 3m の各距離で、全ての実験参加者に対し同じ投影対象を使用している。予備実験を行った際に、視認率は個人によって大きく変動する傾向があること、使用する文字の形状により視認率が変動することが確認されていた。そのため、0.5m から 3m の各距離で、実験参加者に対しそれぞれ別の投影対象を使用した場合、認識率の違いの原因がどちらによるものなのか判別できなくなることを解消した。

6.3 結果と考察

投影対象の位置と鑑賞位置間の距離による視認率は表 2 のようになった。そして、それぞれの距離における視認された文字は表 3 のようになった。

投影対象からの距離が 1m 以下のとき視認率は 25% を下回った。これは、投影映像によって遮蔽した部分でも投影

表 3 視認された文字

| | | | | | |
|---------------|------|------|------|-----|------|
| 0.5m で視認された文字 | F | J | M | X | 他の文字 |
| 0.5m での視認率 | 0% | 10% | 20% | 40% | 2 種類 |
| 1m で視認された文字 | E | V | H | S | その他 |
| 1m での視認率 | 10% | 40% | 10% | 30% | 1 種類 |
| 1.5m で視認された文字 | N | W | Q | I | その他 |
| 1.5m での視認率 | 60% | 40% | 30% | 60% | 4 種類 |
| 2m で視認された文字 | P | T | Z | B | その他 |
| 2m での視認率 | 50% | 50% | 80% | 40% | 4 種類 |
| 2.5m で視認された文字 | U | R | G | D | その他 |
| 2.5m での視認率 | 30% | 70% | 90% | 40% | 6 種類 |
| 3m で視認された文字 | A | Y | K | O | その他 |
| 3m での視認率 | 100% | 100% | 100% | 90% | 0 種類 |

対象が視認できたため、文字の視認が困難になったことが原因として挙げられる。1.5m から 2.5m の距離では視認率があまり変わらず、3m で急激に視認率が上がった。これは、使用された文字の中に、別の文字として誤認される文字が多かったことが原因に挙げられる。

7. 関連研究

7.1 プロジェクションマッピングによる情報の付加

Movie-in-Shadow[5]では、上部の 2 つのプロジェクタからそれぞれ補色関係にある映像を同じ位置に重畳することで、床上に何も投影されていないように見せているが、その空間に人が立つと一方の映像が遮蔽されて鮮やかな影が生じる。本研究とは映像によって投影対象の一部を隠すという点で共通しているが、使用する投影対象が異なる。

変幻灯 [6] は、絵画などの静止画にゆらぎなどの動き情報を付与する映像を投影することで、リアルな動きを知覚させる錯視現象を利用した投影技術である。そして、この静止画と映像単体では動き情報を予測することはできない。本研究とは、プロジェクションマッピングによって片方からでは予測できない情報を表示する点で共通しているが、本研究は投影対象が意味のある静止画像ではない。

小規模空間における立方体への実時間プロジェクションマッピング [7] は、小さな立方体を複数組み合わせ、毎回設計可能な投影対象を使用している。映像は静止画像や静止画像を組み合わせた動画からなり、表示タイミングや速度を変化させて同一の画像素材で異なる表現を行う。本研究とは投影対象や投影映像が決まっている点で異なる。

7.2 錯視を利用したシステム

トリックアート制作支援のためのペイントツール [8] は、運動錯視 (静止画なのに動いて見える錯視) を利用したトリックアート制作を行うシステムである。任意の画像から輝度を変えた三種類の画像を作成し、作成した画像を一定の間隔で配置することで運動錯視効果を発生させている。

紙面に描かれた図形で、見た人が立体感をもつと同時にそんな立体は作れそうにないと感じる絵は、不可能立体の

絵とよばれる [2]. Dynafusion[9] は不可能物体のモデリングをすることのできるシステムである。

これらは錯視を利用している点で本研究と共通しているが、これらは錯視図形の制作支援システムであり、本研究は錯視を利用したプロジェクションマッピングである。

遠近錯視とは、凹である物体の上に凸の奥行きをかくことで、逆の遠近を感じる錯視である [4]. 逆遠近錯視を利用したプロジェクションマッピングの構築 [10] では、ユーザに逆遠近錯視を感じさせるために凹凸の立体物の立体のキャンバスに背後から映像を投影している。本研究とは錯視を用いたプロジェクションマッピングであるという点で共通しているが、本研究とは利用する錯視が異なる。

7.3 他のものを介して情報を表示させるシステム

The cyclone display[11] は、上部から投影される白色光を下部の回転する複数の円盤が反射することで、様々な色を表示することのできるディスプレイである。円盤の回転速度によって円盤の色が変化する。それぞれの円盤の回転速度を制御することで簡単な図を表示できる。

Saccade-based Display[12] は、光点列の点滅パターンを高速で時間変化させることで、サッカーと呼ばれる高速眼球運動中のみ二次元イメージを表示する。静止中は光の線のみが知覚され、サッカー中は光源の点滅パターンが空間パターンとして認識され二次元イメージが知覚される。

これらは映像で直接情報を表示させるのではなく、円盤や眼球など他のものを介して情報を表示するという点で本研究と共通しているが、本研究とは使用するものが異なる。

7.4 光によって情報を可視化するシステム

赤外可視変換素材を用いた選択的情報提示に関する基礎検討 [13] では、通常時は見ることができない赤外光による情報が、赤外光を可視光に変換する素材を使用することで肉眼で見えるようになる手法を提案している。

Restive Shadow[14] は、一定以上の波長の光を透過する IR フィルターを複数種用いて作成したオブジェクトに、波長の異なる赤外光を順番に照射することで、時間経過によって変化する不可視の影を生成している。その不可視の影を人間の肉眼で知覚できる映像として投影している。

赤外線透過顔料を用いた物体識別手法 [15] では赤外光を反射する布に通常のインクと可視光では光を吸収して黒色に見えるが赤外光では光を透過するため透明に見えるインクでそれぞれ画像を印刷することで、赤外光源下のみ見える情報を埋め込んでいる。

これらは光を投影することで通常では識別することのできない情報を得ることができる点で本研究と類似している。しかしこれらは人間の眼では不可視の赤外光を使用しているのに対し、本研究は可視光を使用している。

7.5 情報を隠すシステム

セキュアな情報秘匿と簡便な復号が可能なスクリーン復号型画像 [16] は、視覚複合型暗号とチェッカパターンキャリアスクリーン画像という 2 つの潜像技術を組み合わせている。低解像度の秘密画像と高解像度の秘密画像を組み合わせることで、2 種類の情報を秘匿することができる。

デジタルカメラによる復号を目的としたキャリアスクリーン画像 [17] では、デジタルカメラの液晶ファインダへ画像を表示する際のサンプリング処理を利用することで、デジタルカメラで覗くことによって復元するチェッカパターンキャリアスクリーン画像を提案している。

これらは何らかの処理を施すことによって、通常時には見えない情報を可視化している点で本研究と共通している。しかし、これらは単一もしくは 2 種類の画像のみを復元しているが、本研究では複数の情報を提示している。

8. おわりに

本稿では、それぞれ単体では意味をなさない物体の外観と映像が重なり合った時にのみ意味のある情報として提示する手法を検討するために、スキャニメーションを利用した映像重畳手法を提案した。実験の結果、鑑賞者と投影位置の距離が近く、視認できる投影対象が大きいほど、情報の認識が困難になったため、今後は鑑賞者の距離や投影対象の大きさに関係なく、情報を認識できる手法を検討する。

参考文献

- [1] スキャニメーション名人会: <http://scanimation-meijinkai.info/> (2016/1/31 確認).
- [2] 杉原厚吉: 錯視図鑑 ~脳がだまされる錯覚の世界~, 誠文堂新光社 (2012).
- [3] 竹内龍人: 脳の仕組みを活かせば描ける だまし絵練習帖~基本の錯視図形からリバースペクティブまで~, 誠文堂新光社 (2010).
- [4] Illusion Forum イリュージョンフォーラム: <http://www.kecl.ntt.co.jp/IllusionForum/> (2016/1/31 確認).
- [5] Minomo, Y., Kakehi, Y., Iida, M. and Naemura, T.: Transforming Your Shadow into Colorful Visual Media: Multiprojection of Complementary Colors., *ACM Computer in Entertainment*, Article No. 10 (2006).
- [6] 河邊隆寛, 吹上大樹, 澤山正貴, 西田真也: 変幻灯一止まっている対象を錯覚的に動かす光投影技術, *NTT 技術ジャーナル*, Vol. 27, No. 9, pp. 87-90 (2014).
- [7] 東 和信, 野地朱真: 実時間プロジェクションマッピングに関する研究, *エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集*, pp. 518-521 (2015).
- [8] 神田尚希, 渡辺賢悟, 宮岡伸一郎: トリックアート制作支援のためのペイントツール開発, 第 11 回情報科学技術フォーラム講演論文集, pp. 193-196 (2012).
- [9] Owada, S. and Fujiki, J.: Dynafusion: A Modeling System for Interactive Impossible Figures, *NonPhotorealistic Animation and Rendering*, pp. 65-68 (2008).
- [10] 小笠 航, 片寄晴弘: 逆遠近錯視を用いたインタラクティブプロジェクションマッピングシステムの構築, *エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集*

- 集, pp. 48-50 (2015).
- [11] Ochiai, Y. and Takai, H.: The Cyclone Display: Rotation, Reflection, Flicker and Recognition Combined to the Pixels., *ACM SIGGRAPH 2011 Posters*, Article No. 16 (2011).
 - [12] 安藤英由樹, 渡邊淳司, 雨宮智浩, 前田太郎: ウェアラブル・サッカー検出を利用した選択的視覚情報提示の研究, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 10, No. 4, pp. 505-512 (2005).
 - [13] 木村 翔, 箕 康明, 苗村 健: 赤外可視変換素材を用いた選択的情報提示に関する基礎検討, *情報科学技術レターズ*, Vol. 5, pp. 289-291 (2006).
 - [14] Sakaguchi, S., Tono, H., Tanaka, T. and Matsushita, M.: Restive Shadow: Animating Invisible Shadows for Expanding Shadowgraph Experience, *Proc. ACM SIGGRAPH ASIA 2013, Emerging Technologies*, Article No. 16 (2013).
 - [15] 山宮士郎, 牧野秀夫, 廣野幹彦, 前田義信, 石井郁夫: 赤外線透過顔料を用いた物体識別手法, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. 83, No. 7, pp. 797-803 (2000).
 - [16] 生源寺類: セキュアな情報秘匿と簡便な復号が可能なスクリーン復号型画像, *電子情報通信学会技術研究報告. EMM*, Vol. 111, No. 287, pp. 19-24 (2011).
 - [17] 生源寺類, 大坪順次: デジタルカメラによる復号を目的としたキャリアスクリーン画像, *電子情報通信学会技術研究報告. EMM*, Vol. 111, No. 123, pp. 1-6 (2011).