

# 観測者の視線運動に応じた 残像効果による指向性ディスプレイ

池田 遼<sup>1,a)</sup> 早川 智彦<sup>1</sup> 栃岡 陽麻里<sup>1</sup> 石川 正俊<sup>1</sup>

概要：高速に提示される一連のパターンが、観測者の移動や視線運動に伴い残像として合成されることを利用して、ユーザごとに選択的に画像を提示する手法を提案する。高速に切り替わる映像では情報が時系列に分散されているため、観測者がディスプレイに対して静止している場合や設定された速度と異なる相対運動を伴う場合には、ターゲットの画像は埋め込まれたままとなり知覚される像として顕在化しない。観測者の位置に依存した従来のシステムとは異なり、複数のユーザが個々の画像を同時に認識できるため、観測者の移動速度に合わせたカスタマイズ情報を提供すべき場面等で応用が可能である。

## 1. はじめに

近年、画像提示技術は広告や標識など様々な場面で用いられ、複数のユーザに対して異なる内容を知覚させる技術が注目されている。例えばレンチキュラーを用いた空中ディスプレイシステムには、ユーザの位置に応じて角度が異なるように見える映像を提示する立体ディスプレイ [1], [2], 複数の視点から異なる角度の映像を投影するシステム [3] 等が存在する。複数のユーザが個別にカスタマイズされた情報を同時取得可能なシステムは、デジタルサイネージ技術等への応用が検討されている [4]。上記手法はいずれも、通常時に知覚されない埋め込まれた情報が観測や撮影の方式・パラメータに依存して顕在化する技術といえるが、観測者自身が必要な情報を能動的に取得する操作を要するか、あるいは観測者が特定の位置にいることを前提として、異なる角度からディスプレイを観測するとその条件に応じたコンテンツを提示する、位置依存型の情報提示システムであった。

一方で、観測者の速度や視線の方向に依存して提示する内容を制御するシステムは少なく、レンチキュラーを床面に埋め込むことで、ユーザが移動する方向に応じてベクションにより異なる誘導を行う手法 [5] も、複数情報を提示する光学的な基本原理は特殊レンズに依存している。また、例えばアイトラッキングを行いユーザからのフィードバック情報を高速に用いることで提示する情報を変化させることは可能だが、複数の観測者に対して異なる情報を同時に提示することはできない。

そこで本稿では、計測によるフィードバックが不要で、観測者や視線の動きに対応して選択的に情報を提示する、速度依存型ディスプレイを提案する。すなわち、静止した状態の観測者に対しては情報を与えずに、特定の速度で観測を行うユーザに対してのみ画像を知覚させることを目的とする。情報が特定のユーザに対してのみ選択的に提示されるようになれば、情報の提示側が意図した対象者にのみ必要な情報を提供できるため、有用である。

## 2. 基礎原理

本章では、本稿で提案する速度依存型両義ディスプレイの基礎原理となる、画像要素の重ね合わせによる復号及び視線運動に伴う残像効果による像の知覚について述べる。

### 2.1 画像要素の分散と重ね合わせ

ある特定の条件下でのみ情報が顕在化する技術は、暗号やセキュリティ分野で特に実応用が期待され、様々な研究が行われてきた [6]。例えば、デジタルカメラでの撮影を用いたステガノグラフィ技術 [7]、構造照明を用いた不正撮影防止技術 [8]、ステガノグラフィのデジタルサイネージへの応用 [9] 等が挙げられる。ただし、これらのシステムはユーザに対して直接知覚を与えるものではなく、観測者はときに特別な記録装置を組み合わせる必要があった。

一方で視覚復号型暗号 (Visual Cryptography) は、複数の画像のレイヤーを適切に重ね合わせることで、隠されていた情報が浮かび上がることを可能にする [10], [11]。これは秘密分散法と呼ばれる手法の一種であり、入力画像を2枚のレイヤーに情報を分散して保持させることで、分散さ

<sup>1</sup> 東京大学

<sup>a)</sup> h.ikeda.1995@gmail.com

れた単独のレイヤーからは情報を抽出することができないが、両者を重ね合わせたときにのみ元の画像が複合される。

本稿では、視線運動中に生じる視野内での画像の重ね合わせを応用することで、視覚復号型暗号と類似の画像再構成を、時間軸を用いて再現する。すなわち、異なるタイミングで提示された複数の画像レイヤーを、次に詳細を述べる人の視覚における残像効果によって擬似的に合成し、埋め込まれた画像を復元できることを示す。

## 2.2 残像効果による像の知覚

一般に、人が対象を知覚した際、視野に入る光刺激が直ちに消失することはなく、高速に切り替わる連続したフレームは、動画として認識される。すなわち、時間連続な複数のフレームが重ね合わされた状態の画像として認識される。特に、暗い環境の中で明るい光源を見た場合、知覚した光の像が消えた後も、直前まで存在していた位置に継続して光源の像があるように認識される。この残像効果を用いて空中像を生み出す身近な応用例として、LEDが高速に点滅しながら左右に振れることで、電光掲示板のように文字が浮かび上がる時計は広く知られている。

残像効果を用いた応用研究である Saccade-based Display [12], [13], [14] では、高速に点滅する縦1列の光刺激を、人が視線を左右に動かしながら観測することで、視線運動に伴ってLEDの残像が空間方向にずれながら重なり合い、空中に2次元画像が知覚されることが示された。

## 3. 提案手法

本章では、前述した画像要素の重ね合わせによる復号原理と人の視覚における残像効果を用いて、移動する観測者や視線を動かした観測者に対して、画像情報を伝達するディスプレイを提案する。特徴として、従来手法で用いられた1次元の光源列の代わりに、水平成分も同時に持つ2次元の光源パターンを用いることで、特定の速度帯域で観測するユーザ以外には情報を提示しないという指向性、すなわち選択的情報提示を可能にする。観測者が視線を動かす方向や速度は、投影時に既知でありさえすれば任意に設定することが可能であるため、以下では簡単のため、左右に視線を動かすことを前提とする。

### 3.1 画像情報の埋め込み

図1(1)に示すように、ユーザに知覚させるターゲットとなる二値画像を入力とする。次に、同図(2)で示すように、投影画像の水平方向に対して45度の方向に画像の構成要素を抽出し投影を行う。これは、一定間隔を持つ45度の方向の縞模様と入力二値画像との画像の積を取る操作とみなすこともできる。この際、抽出を行う座標を1pxずつ走査させることで得られる画像を、連続する投影フレームとする。これらをディスプレイやプロジェクタからの投影

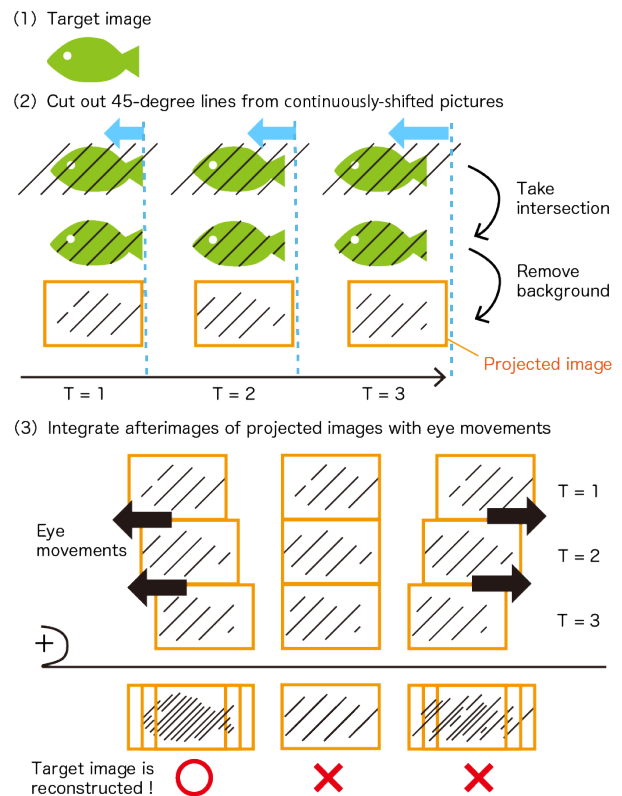


図1 (1) 入力二値画像。(2) 45度方向の斜線との共通部分を抽出する。(3) 観測者の移動や視線速度が適切な場合のみ、残像の重ね合わせにより元の画像が復元される。

により、高速に連続表示する。

提示される各フレームには、入力画像から抽出した画像の一部成分しか含まれておらず、また、静止状態で観測を行うと、高速に切り替わる要素が全て重なって知覚されるため、ターゲットの画像は認識されない。一方、同図(3)に示すように、スクリーンに対して相対的に視線を左右に動かしながら投影された映像を観測すると、動きを伴う分だけ水平方向にずれた位置で、毎フレームを知覚する。その結果、投影された画像の残像も、速度方向のずれを伴いながら合成される。このとき、投影画像を生成した際の45度成分の座標のずれと、生じた残像のずれが等しい場合に、各投影フレームに分散された画像要素が正しく合成されて、元の入力画像が知覚される(同図(3)左列)。

また、設定された速度とは異なる速度で観測された場合や静止状態での観測時には、左右方向と上下方向でピクセルの相対関係が保たれないため、画像は復元されず、意味をなさないノイズとして知覚される(同図(3)中央及び右列)。これは、45度方向に抽出された画像要素は、視線を動かす左右方向には画像の座標が速度に伴うずれが生じるが、視線の動きと直交する鉛直方向については生じない、非対称性に基づいている。

以上から、特定の速度を持つユーザに対して選択的に、目的の情報を知覚させることが可能となる。

### 3.2 複数画像の同時埋め込み

前述の原理に新たに2枚目の入力画像を用いて、同様の手法で1枚目とは逆方向の45度方向の線分要素を埋め込むことを考える。これにより、複数のユーザが同時に異なる方向に視線を動かした際に、それぞれの動きに対応した知覚を生じさせることができる。すなわち、右から左へと動く観測者には画像 **A** が知覚され、左から右へと動く観測者には画像 **B** が見えるという状況が成立する。

### 3.3 制約条件1：知覚可能性

本システムで提示する映像のフレームレートは、高速であるほど同一の時間内により多くの画像情報を埋め込むことができるため、有利である。ただし、投影を行う斜線の間隔は、人が視線を移動させる際の速さを考慮して決定する必要がある。過去の研究によると、視線運動に伴い知覚される残像の継続時間は、約100msから300ms程度である[15], [16], [17], [18]。よって、例えば1000fpsのプロジェクタで100msの間に提示される画像は、1つの残像として合成され、1px幅の投影は(1px/ms × 100ms =) 100px幅の2次元画像として観測可能である。そのため、斜めの画像要素を100pxごとに並べることで、欠落を伴わない連続した2次元画像を知覚させることができる。

### 3.4 制約条件2：容易な知覚の防止

投影画像について、静止した状態の観測者からは、ターゲットの画像が認識できない状態であることが望ましい。しかし、元の入力画像から抽出する画像の成分の密度が高い場合は、欠落したピクセルの情報を人の脳が補完するため、意図せず画像が知覚されてしまう場合がある。そこで、投影画像中のピクセル密度を低く抑える手法を検討する。ただし、投影画像中のピクセルの密度を下げることは、観測者の画像内容に関する認識率を低下させることにつながるため、必要に応じて調整を行う。

図2では、ターゲット画像であるアルファベットのシルエット **A**, **B** が、それぞれ右斜め上方向、及び左斜め上方向の成分として、埋め込まれている。このうち、図2(a)では、ピクセルの密度が高すぎるため、静止した状態でも容易に **A** や **B** という文字を読み取ることができてしまう。同図(b)は密度が(a)よりも低いが、なおターゲット画像の情報を認識する可能性はあると言える。そこで同図(c)のように、投影に水平方向の成分のみを持つノイズの線を加えると、認識率を制御することができる。水平成分のみの投影を行うと、ユーザが左右に運動した際、合成される2次元画像の中でノイズは1pxの高さしか持たないため、再構成すべき画像情報を大幅に劣化させることはないが、静止状態では斜線と同程度の面積を持つため、知覚を阻害する。結果、移動時にのみ認識可能な条件が成立する。

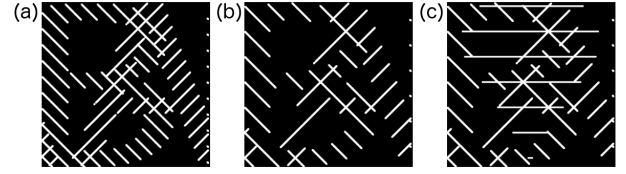


図2 アルファベットの形状 **A**, **B** をターゲット画像に用いた提示画像の例：(a) 密度が高い場合。(b) 密度が低い場合。(c) 水平成分のノイズがある場合。

## 4. 投影実験

### 4.1 実装とパラメータ

本システムの実現にあたり、解像度  $1024 \times 768$  px の8bitモノクロ画像を1000fpsで投影可能な高速プロジェクタ(東京エレクトロニクス社製, DynaFlash)を用いて投影を行った。はじめに、2枚のターゲット画像 **A**, **B** を定義し、観測者が視線を右から左へと動かした際には画像 **A** が現れ、左から右へと動かした際には画像 **B** が現れる投影を目的とする。適切な速度で視線を動かした場合のみ、それぞれ元画像である **A** または **B** が残像として復元されるように、45度方向の成分を抽出する。投影に用いる画像 **P** の各座標  $(X, Y)$  における画素値  $p := \mathbf{P}(X, Y)$  は、次式によって定めることができる：

$$p = \begin{cases} \mathbf{A}((X - T)\%N, Y), & \text{if } (X + Y)\%k = 0, \\ \mathbf{B}((X + T)\%N, Y), & \text{if } (X - Y)\%k = 0, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

ここで  $T$  は投影のフレーム番号であり、投影開始時点からの経過時間 (ms) と等しい。2項演算子  $\%$  は剰余を出力する。パラメータである  $k \in \mathbb{N}$  は、投影に用いるスライスの成分同士の距離 (px) を表す。例えば  $k = 100$  であるとき、45度の抽出された成分は100pxごとに等間隔で並ぶ。この成分間の距離が、残像継続中に視線が通過する距離よりも短ければ、観測者は隙間なく像を合成し観測することが可能となる。パラメータ  $N \in \mathbb{N}$  は、観測者が画像全体を知覚するためにかかる時間を決定する。例えば  $N = 100$  であるとき、ターゲット画像は100msごとに繰り返し投影が行われる。

さらに、3.4節で述べた水平ノイズを加える場合は、(1)式を下記のように拡張して、投影画像を定めればよい：

$$p = \begin{cases} \mathbf{A}((X - T)\%N, Y), & \text{if } (X + Y)\%k = 0, \\ \mathbf{B}((X + T)\%N, Y), & \text{if } (X - Y)\%k = 0, \\ \mathbf{C}(X, (Y + T)\%N'), & \text{if } Y\%k' = 0, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

ここで **C** はノイズを構成する図形のソース画像であり、パラメータである  $N', k' \in \mathbb{N}$  はそれぞれ  $N, k$  と独立して設定して良い。再び図2(c)で示した投影画像を例にとると、右上、右下、及び左右方向のスライスが、それぞれ(2)式

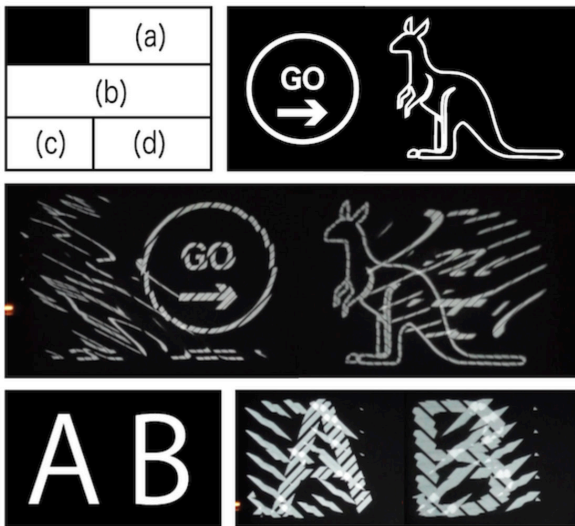


図 3 入力画像 (a) に対する結果 (b) と、入力画像 (c) に対する結果 (d)。それぞれ左半分の図形は左方向に視線を移動した観測者、右半分の図形は右方向に視線を移動した観測者の知覚を再現した画像であり、異なる方向に運動する観測者に対して、埋め込まれた 2 枚の画像のうち一方のみが選択的に出現する。

における第一、第二、第三条件文によって抽出された成分と対応する。

#### 4.2 投影結果

図 3 は提案システムを用いて投影を行うターゲット画像、及びそれを適切な視線の移動を伴って観測した際に知覚される画像を示している。図中 (b) 及び (d) はそれぞれ、入力画像である (a) : GO サインとカンガルーのシルエット、及び (c) : アルファベットの A, B と対応した結果である。これらはその図形や文字が認識するのに十分な精度で再現されていることから、同時に埋め込まれた 2 種類の画像のうち、一方のみが選択的に知覚されたことが認められる。観測者は、投影面が見える限りは、どの地点からであっても埋め込まれた双方の画像を知覚することができる。そのため、複数のユーザが同時に異なる画像を観測することが可能である。ただし、図中では、視線を動かした際に知覚される残像を紙面上で示すために、ビデオカメラを左右に振りながら 30 fps で撮影を行い、その連続する 3 フレームにわたり取得された画像を重ね合わせた合成画像を用いている。これは、人間が平均的に残像を継続して知覚する時間が 100 ms であり、3 フレームの撮影を行うのに必要な時間が  $(1000 \text{ ms} / 30 \text{ fps} \times 3 \text{ frames} =) 100 \text{ ms}$  であることに基づいており、以降も本稿において同様である。また、(1) 式における投影パラメータは、 $N = 1000$ ,  $k = 96$  とした。

次に、水平方向のダミーノイズを加えて投影を行った結果を図 4 (a) に示す。加えたノイズによって知覚が大幅に制限されることはなく、図 3 (b) と比較しても遜色なく、カンガルーのシルエットを認識することが可能であることが分かる。このように、2次元に広がる画像の中に存在する

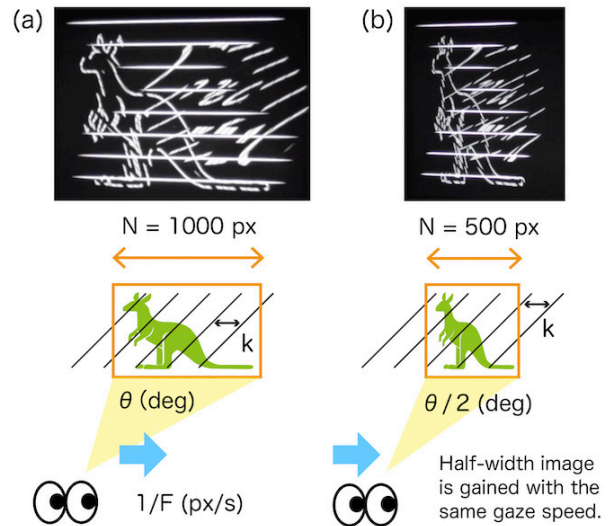


図 4 同一の入力画像を用いて、異なる縦横比率を設定し投影を行った際に知覚される画像の再現。(a)  $N = 1000$ , (b)  $N = 500$ 。

1次元のノイズ成分は、人間が対象を認識する上での障害とはなりにくい。なお、ノイズを構成する図形にはダイヤモンドのシルエット形状 ( $\diamond$ ) を用い、(2) 式における追加のパラメータは、 $k' = 76$ ,  $N' = 768$  とした。

### 5. 制約条件と拡張可能性

#### 5.1 画像パラメータと合成像

提案手法において、観測者の視線速度が目標値と異なる場合は、画面の縦方向と横方向の相対的なピクセルがずれることで、元画像は合成されないため、ノイズとして観測される。すなわち、埋め込まれた画像は正しい比率で認識可能であるか、あるいは全く認識されないかのいずれかに限定されるため、縦横の比率が保持されない像が誤って知覚されることを防止できる。

投影者は、投影画像を生成する段階で (1) 式におけるパラメータ  $N$  を適切に定め、任意のアスペクト比を設定して意図した歪みを知覚させることも可能である。図 4 では、それぞれパラメータを (a) :  $N = 1000$ , (b) :  $N = 500$  とし同一の入力画像から生成した投影画像を用いた場合に、同じ速度を持つ観測者から観測される画像を比較して示している。同一の速度で観測した際、(b) の観測者は (a) の観測者に比べて、横幅が半分縮小された、アスペクト比の異なる画像を認識する。

#### 5.2 投影速度と知覚可能条件

画像の投影フレームレートが  $F$  (fps) であり、1 フレームごとに 1 px 幅の画像要素が投影されるとき、観測する際に必要な視線の速度は、 $1/F$  (px/s) と計算される。このとき、観測可能な視野の範囲内にある限り、投影スクリーンの解像度に比例して、より多くの画素を含む画像を知覚させることができる。

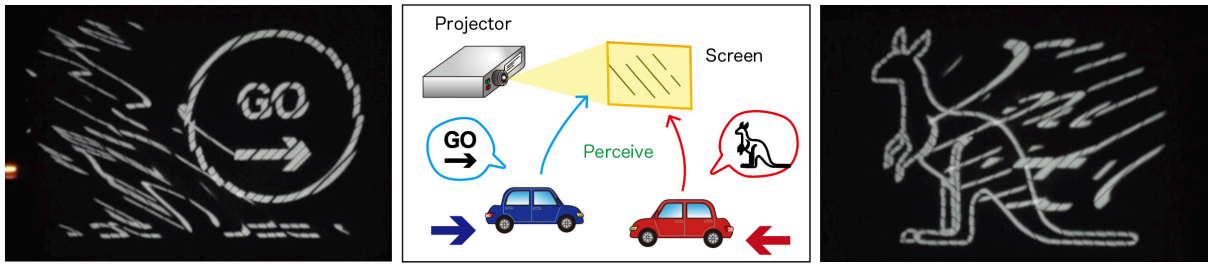


図 5 観測イメージ及びシステムの応用例. 投影パターンは、異なる方向に特定の速さで移動する観測者に、それぞれ異なる画像を知覚させる。

フレームレートに応じた表現可能画素数の拡大に関して、例えば今回の実験と同様の条件で 1000 fps の投影を用いた場合には、表現可能な画像が視線方向におよそ 1000 px であるところ、240Hz の高速カラーモニターを用いるとすると、同一の条件で観測者が運動した際に知覚可能な 1000 px の残像に含まれる線素がおよそ  $(240/1000) \sim 4$  分の 1 となる。よって、この解像度の低下を伴っても認識可能な程度に単純な図形であれば、当該モニターでも同様の結果が得られる一方、失われる細部の特徴量が重要である図形は、認識が困難になることが考えられる。例えば、16 px 幅のドットで表現された文字情報が 4 px 幅に落ちると、複雑な漢字の識別は行えないことが想定される。以上から、高速なモニターやプロジェクタを用いることがより知覚を鮮明にすることに寄与するものの、フレームレートは必要な解像度との兼ね合いで決定すべき条件であり、必ずしも一般用途程度の性能を持つデバイスを用いたシステム構成の有用性を否定する制約ではない。

また、フレームレートとは独立して、単位時間あたりに提示する情報量を増加させ、観測者に必要な速度を調整することも可能である。それは、入力画像から抽出して投影するスライスの成分を新たに  $n$  (px) の幅を持つ 45 度の平行四辺形とすることである。すなわち、1 フレームあたりに提示するピクセル数を増やし、観測者の速度もそれに対応したものとすれば、一定の時間内に投影された情報から合成して知覚することができる画像のサイズも増大する。次に示す (3) 式に従って、 $n$  (px) ( $n \geq 2$ ) を同時に投影したものとすれば、観測される残像の解像度は保存しつつ、観測に必要な速度は、 $n/F$  (px/s) へと拡大される：

$$p = \begin{cases} \mathbf{A}((X - nT)\%N, Y), & \text{if } (X + Y)\%k < n, \\ \mathbf{B}((X + nT)\%N, Y), & \text{if } (X - Y)\%k < n, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

このように異なる速さを要請することで、同一方向においても、低速や高速という複数の条件で異なる画像を埋め込むことが、原理上可能である。ただし、人間の視覚系は、ある程度のずれを伴う画像であっても意味を抽出して認識することから、方向が異なる速度における観測条件を想定した場合に比べて、埋め込まれた他方の画像が認識されな

い条件がより厳しくなる。すなわち、知覚可能条件としての観測者の移動速度は、理論上導かれる理想的な値を含みつつ、一定の幅を持った範囲として捉える必要があるが、画像から情報を抽出する際のパラメータは様々であり一概には論じられないため、実検証を要する定量評価について、今後の課題とする。

また、観測者自身が速度を持つ場合と、注視点の移動等に伴う眼球運動（サッカード）が生じる場合の、いずれにおいても、ディスプレイと視線運動との相対速度が同一であれば同様の知覚が実現される。よって、厳密に意図した特定の条件においてのみ知覚を実現するためには、条件の分離が必要となるが、例えば観測者とディスプレイ面との距離を調整することで、ディスプレイ面に対する並進運動と、眼球単体の動きに由来する角度方向の運動とを区別し、知覚実現条件を分離する解決策が考えられる。

### 5.3 画像特徴量に依存した制約

制約となるその他の観点として、知覚される残像の鮮明さが、ターゲットとして設定する入力画像の特徴量自体に依存することが挙げられる。例えば、細い線で構成された密度の小さい画像は認識することが容易である一方で、内部が塗りつぶされた図形や白い面積の占める割合が大きいシルエット画像は、比較的認識が困難となる。その理由は、後者の場合、投影画像において埋め込まれている 2 枚の入力画像に由来する成分が、互いに重なり合い認識の妨げになり得るからである。前掲の図 3 においても、(b) のように細い線で構成された GO サインとカンガルーと比較して、(d) のように太い線で構成されたアルファベットのシルエット A と B は、認識が困難になっていると言える。

上記の制約に対応するため、今後は、ターゲット画像の輝度や密度に応じて抽出する画像成分の配置を重ならないように位置をシフトさせるなど、2 枚の入力画像に対して最適化を行うことによって、面積が大きな画像の場合も不利にならず、鮮明な知覚が得られるようにするアルゴリズムを検討する余地がある。

### 5.4 提示画像の拡張可能性

提案システムを用いて知覚可能な画像はモノクロの二値

画像に限られていたが、このうちモノクロという制約が伴う原因は、第一に、通常のカラプロジェクタのように、時系列に異なる加法混色の成分が低速に切り替えられつつ投影されるデバイスを用いると、残像が高速にずれて重なり合う際に色割れノイズが生じる可能性があること、第二に、できるだけ高いフレームレートで映像を切り替えることが、同条件において知覚可能な画像の解像度を高めることに寄与するという性質から、用いることのできるデバイスに性能上の制約があることであった。そのため、カラーかつ高速投影可能なモニターやプロジェクタを用いれば、カラーの二値画像は提示可能であるが、それ以上の階調を持つカラー表現を行うためには、カラーレイヤーごとの重なり合いが、知覚上のずれを引き起こさないように、視線の動きに合わせたずれを考慮して高速提示する必要がある。さらに、ターゲットではない方向の埋め込み画像のカラー成分がノイズとして知覚されるかどうかに関する検証を行う必要がある。

二値画像に限られるという階調表現の制約に関しては、各時間フレームの提示画像を生成するアルゴリズムに伴うものであることから、現状の方式で直ちに拡張することは困難と言える。ただし、知覚される残像において、単位時間あたりに積算されるピクセル数に応じて濃淡の差異が生じるという性質を用いて提示画素を設計することで、ターゲット画像を構成する諧調が拡張された場合にも適用できる余地はあると考えられる。この場合も、双方向に埋め込む画像の組み合わせによって画素の重なり合いが制限されることから、解消するためのアルゴリズム等を導入することを要する。

動画コンテンツを知覚させたいという要望については、投影画像を作成するための入力画像をフレームに応じて変動させれば良いため原理上可能であるが、知覚可能な時間が、視線が横切る数秒以内の時間に限られることを考慮すると、本システムの適用場面における拡張の方向性としては重視する観点ではないと考える。

### 5.5 指向性ディスプレイの応用可能性

本システムには、達成された大きく2つの特徴がある。1点目は、異なる速度で観測するユーザに対してそれぞれに意図した画像を知覚させる特徴である。図5のように、道路標識として異なるドライバーに対してそれぞれ必要な情報を提供できるなど、社会インフラ事業や広告、エンターテインメント分野にも応用の可能性がある。

2点目は、不必要な画像はターゲットであるユーザ以外には知覚されないという、画像埋め込み技術としての特徴である。複数の画像を同時に埋め込んだ際に、残りの成分は意味をなさないノイズとして広がることを述べてきたが、このノイズ自体もセキュリティ分野への応用が考えられる。CAPTCHA (Completely Automated Public Turing

test to Tell Computers and Humans Apart) [19], [20] として知られるノイズを含む画像は、コンピュータと人間とを区別するためのテストとして、ウェブサイトの認証や本人確認等の場面で用いられる。近年は機械学習を用いて画像中の物体を区別して認識し、ラベル付けするなどコンピュータによる画像認識の技術が広がっている [21]。本システムで導入したノイズ成分も CAPTCHA と同様に、人間がその像を認識する上では障害とはならずとも、コンピュータにとっては対象をラベリングする上で困難さを増す要因となる可能性がある。すなわち、セキュリティが必要とされる場面で本システムを導入すれば、特定の速度を知り必要な情報を取得するユーザ以外には情報を開示せず、それがコンピュータによる画像認識によってもすぐには認識できない点で有用である。

## 6. 結論

高速に提示される一連のパターンが観測者の特定の視線運動に伴い残像による重ね合わせが行われることで、ターゲットとする2次元像を提示する手法を提案した。高速に切り替わりながら投影される映像では情報が時系列に分散されているため、観測者がディスプレイに対して静止している場合や設定された速度と異なる相対運動を伴う場合には、ターゲット画像は顕在化しないことから、情報を他のユーザに対して隠す必要のあるセキュリティ分野での実応用可能性がある。

観測者の速度が特定の範囲である場合に選択的に情報を提供する技術は、観測者自身の動きに1次元の方向性がある際に、その方向とそれに直交する成分を同時に用いた投影とすることで、ピクセル毎の相対位置が速度に依存して変化することを利用して設計された。本システムの構成には、フレームレートの高いプロジェクタや画像提示デバイスを除いて特別な機材やスクリーンを必要としないため、ユーザ毎の指向性画像を提供すべきデジタルサイネージやエンターテインメントでの応用が検討され得る。また、同時に複数のユーザがそれぞれの認識を行うことができ、ディスプレイとの相対的な角度に知覚が依存していた従来のシステムとは異なり大規模なシステムにも適用が容易であることから、多面的なオーディエンスを想定した演出も可能にするなど、インタラクティブな情報通信技術が進む近年の社会において広く役割を担うものと期待する。

## 7. 補遺

本稿の内容は文献 [22] において発表された内容をもとに新規に執筆したものであり、「国際査読付学会にて発表された内容は既発表とは見なさない」との本学会規定による。

## 参考文献

- [1] Omura, K., Shiwa, S. and Miyasato, T.: Lenticular autostereoscopic display system: multiple images for multiple viewers, *Journal of the Society for Information Display*, Vol. 6, No. 4, pp. 313–324 (1998).
- [2] Lincoln, P., Nashel, A., Ilie, A., Towles, H., Welch, G. and Fuchs, H.: Multi-view lenticular display for group teleconferencing, *Proceedings of the 2nd International Conference on Immersive Telecommunications*, ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), p. 22 (2009).
- [3] Kooima, R., Prudhomme, A., Schulze, J., Sandin, D. and DeFanti, T.: A multi-viewer tiled autostereoscopic virtual reality display, *proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, ACM, pp. 171–174 (2010).
- [4] Clinch, S.: Smartphones and pervasive public displays, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 12, No. 1, pp. 92–95 (2013).
- [5] 吉川博美, 蜂須拓, 福島政期, 吉川正紘 and 梶本裕之: ベクシオン場による歩行誘導手法の提案, *情報処理学会インタラクシオン*, Vol. 2011 (2011).
- [6] Provos, N. and Honeyman, P.: Hide and seek: An introduction to steganography, *IEEE security & privacy*, Vol. 1, No. 3, pp. 32–44 (2003).
- [7] Shogenji, R. and Ohtsubo, J.: Hiding information using a checkered pattern, *Optical review*, Vol. 16, No. 5, pp. 517–520 (2009).
- [8] Ishikawa, Y., Uehira, K. and Yanaka, K.: Practical evaluation of illumination watermarking technique using orthogonal transforms, *Journal of Display Technology*, Vol. 6, No. 9, pp. 351–358 (2010).
- [9] Hossain, M. A., Lee, Y. T., Lee, H., Lyu, W., Hong, C., Nguyen, T., Le, N. and Jang, Y.: A Symbiotic Digital Signage system based on display to display communication, *2015 Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks*, IEEE, pp. 124–128 (2015).
- [10] Naor, M. and Shamir, A.: Visual cryptography, *Workshop on the Theory and Application of Cryptographic Techniques*, Springer, pp. 1–12 (1994).
- [11] Ateniese, G., Blundo, C., De Santis, A. and Stinson, D. R.: Visual cryptography for general access structures, *Information and computation*, Vol. 129, No. 2, pp. 86–106 (1996).
- [12] Ando, H., Watanabe, J., Amemiya, T. and Maeda, T.: Full-scale saccade-based display: Public/Private image presentation based on gaze-contingent visual illusion, *Proceedings of the 2007 workshop on Emerging displays technologies: images and beyond: the future of displays and interacton*, ACM, p. 12 (2007).
- [13] Bell, B., Parks, T. E., Post, R. B. and Richards, P.: Elusive imagery of the lightstick, *Leonardo*, Vol. 19, No. 1, pp. 3–10 (1986).
- [14] Watanabe, J., Maeda, T. and Ando, H.: Gaze-contingent visual presentation technique with electro-ocular-graph-based saccade detection, *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, Vol. 9, No. 2, p. 6 (2012).
- [15] Duncan, J., Ward, R. and Shapiro, K.: Direct measurement of attentional dwell time in human vision, *Nature*, Vol. 369, No. 6478, p. 313 (1994).
- [16] Hoffman, J. E. and Subramaniam, B.: The role of visual attention in saccadic eye movements, *Perception & psychophysics*, Vol. 57, No. 6, pp. 787–795 (1995).
- [17] Liversedge, S. P. and Findlay, J. M.: Saccadic eye movements and cognition, *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 1, pp. 6–14 (2000).
- [18] Sperling, G. and Weichselgartner, E.: Episodic theory of the dynamics of spatial attention., *Psychological review*, Vol. 102, No. 3, p. 503 (1995).
- [19] Von Ahn, L., Blum, M., Hopper, N. J. and Langford, J.: CAPTCHA: Using hard AI problems for security, *International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques*, Springer, pp. 294–311 (2003).
- [20] Gossweiler, R., Kamvar, M. and Baluja, S.: What’s up CAPTCHA?: a CAPTCHA based on image orientation, *Proceedings of the 18th international conference on World wide web*, ACM, pp. 841–850 (2009).
- [21] Duygulu, P., Barnard, K., de Freitas, J. F. and Forsyth, D. A.: Object recognition as machine translation: Learning a lexicon for a fixed image vocabulary, *European conference on computer vision*, Springer, pp. 97–112 (2002).
- [22] Ikeda, H., Hayakawa, T. and Ishikawa, M.: Bilateral Motion Display: Strategy to Provide Multiple Visual Perception Using Afterimage Effects for Specific Motion, *25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, ACM, p. 17 (2019).