

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650049

研究課題名(和文) 追跡的光線投影による大空間情報提示手法

研究課題名(英文) Information display method in large space by ray projection on a tracked object

研究代表者

奥 寛雅 (Oku, Hiromasa)

東京大学・情報理工学(系)研究科・講師

研究者番号：40401244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高速で運動する動体に輝点を表示し、残像を通して対象より大きなパターンを提示する新たなディスプレイの実現を目標として、その実現のために必要となる人間の知覚特性について研究を行った。まず、提案原理での知覚確認実験から提案する手法での残像知覚が可能であることを示し、少なくとも目標とするディスプレイ手法が実現可能であることを示した。次により具体的に映像が提示できる条件を調べるために、人間の眼における残像特性の要因について静止スクリーン上と動体軌跡上で調査した。結果として、動体軌跡上では認識率が落ちるものの、特定の条件下では目標とするディスプレイ実現の可能性は十分に示された。

研究成果の概要(英文)：The final goal of this project is to create a new display method in large space by projecting light pattern on a moving object so that an observer integrates the "scanned images" into one large image due to the afterimage of his/her eye. In this project, the purpose was set to study the vision characteristics of human eye against such short and single scanned light sequence. A proof of concept experiment proved that the proposed method worked in a certain condition. Next, visual perception characteristics of human eyes were investigated by display experiments in the both case on a static screen and a dynamic screen. As a result, recognition rate of observer tended to be lower than the case of the static screen, and the recognition was found to depend on many factors. These results suggested that the proposed method has a significant possibility of working in a particular condition, and more investigations of visual characteristics against single scanned light image are needed.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインターフェイス 視覚特性 高速光学デバイス

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまで高速画像処理とその応用について、特に画像処理の高速性に整合した高速光学デバイスに注目して研究を進めており、 $2\text{ ms}$  の高速応答と高い結像性能と両立する高速液体可変焦点レンズであるダイナモフレレンズと、 $3.5\text{ ms}$  でカメラの視線方向を制御する光学ユニットであるサッカーカードミラーを研究・開発してきた。

その過程で、これらのデバイスを映像投影に利用すると、例えば飛んでいるボール等の高速運動対象を高速画像処理で認識し続け、その対象にレーザーなどで映像を継続的に投影することが可能であることに気がついた。さらに、対象位置により異なるパターンを投影すると、人間の視覚がもつ残像特性によって、物体が動いた軌跡全体に大きなパターンを提示できる可能性がある。しかし、高速に運動する対象にパターンを提示した場合に、どのような画像や情報を観察者が知覚するのかは未知の部分が多い。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究では、高速運動対象にパターンを投影する場合に、それを観察する人間がどのように知覚するのかという問題を解明し、運動対象をスクリーンとする新たな大空間情報提示手法の実現可能性について検証することを目的とする。より具体的には次の2点を目的とする。

(1) 高速に移動する輝点を人間に提示する場合、人間にその輝点がどのように知覚されるのかを解明する。特に、輝点の移動速度と知覚される空間的広がりとの関係と、さらに輝点の輝度を時間変調した場合にそれがどのように人間に知覚されるのか、とを解明する。

(2) 以上の結果から、高速運動対象をスクリーンとした新たな情報提示手法の実現可能性を検証し、可能なら応用実験からその有用性を示す。

## 3. 研究の方法

本研究では、提案原理による知覚可能性検証をまず行い、そもそもこの原理に有効性があるのかわからないのかを検証した。その結果として特定の条件で有効性を確認したため、動的なスクリーン上への提示と静的なスクリーン上への提示とについて人間残像特性を計測し、動体軌跡上に映像を提示する場合の知覚特性を評価した。

特に動体軌跡上に映像を提示するために、レーザーモジュールとサッカーカードミラーとを接続した実験系を構築した。サッカーカードミラーは、カメラの視線方向やプロジェクターの投影方向を、本体自体を動かす代わりに回転する鏡を用いることでミリ秒オーダーの高速な制御を可能にする機構である。その高速性を保持するため、使用する鏡は慣性が小さくなるよう可能な限り小型であるものが

望ましいが、広い画角の光線束すべてがその小さな鏡を通過するような設計である必要がある。これを可能にするため瞳転送光学系と呼ばれるレンズ系を利用しているところに特徴がある。本システムに高速ビジョンを搭載して対象の位置に合わせて視線方向を制御することで、動体を常に追従することができる。

このトラッキングシステムによって、動体中心を視野中心に捉えつつ、この装置の投影用ポートにレーザーモジュールからのレーザー光を入射させることで、動体の任意位置にレーザーの光点を投影できる。

レーザーモジュールは、それ単体でレーザーと2軸の回転鏡を持つもので、動作範囲内の任意の方向にレーザー光を投影可能なものである。これをサッカーカードミラーに接続すると、サッカーカードミラーによって制御されている視野内の任意の位置にレーザー光を投影することができるようになる。

静的なスクリーンに投影する際は、このレーザーモジュール単体で固定スクリーンに投影を行った。

### 3.1 提案原理による知覚可能性検証

提案原理による知覚可能性検証では、提案する手法が確かに人間にパターンを提示可能かどうかの確認を行った。被験者は、下顎と額が安定するよう、頭部を視線固定台に固定され、ピッチングマシンによって射出されたボールの軌道の一点を注視するよう指示される。その軌跡上で被験者の注視点近辺において、レーザーモジュールによって「点線」、「方形波」、「ジグザグ」の模様パターンのどれかがランダムに提示され、被験者がその模様パターンの判別を行うという試行を20回行う課題を設定した。被験者は提示の後、3つの選択肢の中から1つを選択して口頭で解答した。像は被験者の注視点位置に縦 $0.50\text{ deg}$ 、横 $2.00\text{ deg}$ の大きさで投影し、ボールの軌道がなるべく直線的になる速度とすることを優先し、描画時間は概ね $15\text{ ms}$ とした。実験結果は被験者(20代~30代、男性)の三名全員で正答率100%となり、提案する手法による動体軌跡上での残像知覚が可能であることが示された。

### 3.2 静止スクリーン上残像認識実験

次に、提案する手法の単走査・一瞬提示という特殊性を踏まえて、レーザーモジュールのみを利用して、静止したスクリーン上で輝点を一回走査してパターンを提示する場合の人間の眼の残像特性を測定した。

この実験では、(i) 空間特性と(ii) 時間特性のそれぞれを測定するために2種類の異なる実験を行った。ここで空間特性(i)とは、像の大きさとその像を認識できる視野位置の範囲のことであり、時間特性(ii)とは、描画の開始から描画の終了までの時間の中で始点と終点が同時に知覚されることでひとつの像として認識されるための描画限界時間の事である。

空間特性(i)の測定にはスパイク列の本数(1~4本)を解答する課題を設定し、その認識率が最も急激に低下する視野位置(閾値)を測定し、各視野位置におけるパターン認識能力について調べることを目的とした。ここで視野位置とは、視野中心からの偏角を指す。スパイクの本数と左右どちらかの提示位置はランダムに決定され、描画にかける時間は15msで一定とした。閾値の決定には、実験の試行回数を低減するために、ベイズ推定を用いてより少ない試行回数で閾値を推定できるQUEST法を用いた。スパイク列のサイズは被験者の目の位置からの視野角で次の3種(size1:0.25×1.00, size2:0.50×2.00, size3:0.75×3.00 deg)であり、各サイズごとに試行回数100回とした。

以上の実験を20代の男女8人の被験者に対して行った。この測定から、提示像の視野中心からの偏角と、像のサイズ、すなわち空間解像度によって認識率が変化することがわかり、その各サイズでの平均を取ると、size1からsize3のそれぞれについて認識可能範囲は4.68 deg, 11.60 deg, 18.65 degとなった。これから空間解像度とその認識可能位置は概ね線形に変化することがわかった。

時間特性(ii)の測定には短い時間間隔において一度だけ明滅する二点の光点の左右どちらが先に光ったかを解答する課題を設定した。この実験では二点の提示位置と各点の点灯時間(1ms)は固定し、二点の光る時間間隔を可変とした。そこで、二点の提示の時間的前後の認識率が急激に変化する時間間隔(閾値)を測定することを目的とした。二点の光る時間間隔をQUEST法によって各試行ごとに決定し、これが閾値へと収束する。この実験を3種(5.0, 10.0, 15.0 deg)の異なる二点の幅について行い、各幅ごとに試行回数100回とした。NDフィルタの透過割合は50%に固定した。以上の実験を20代の男女8人の被験者に対して行った。

この結果、二点の幅によらず平均して50msの時間間隔で二点の先に光った方を判別できなくなっていることがわかり、およそ50ms以下、目の良い観測者に対しても25ms以下の時間間隔での描画なら一つの像として認識されることがわかった。

### 3.3 動体軌跡上残像認識実験

動体軌跡上での残像の認識特性を特に空間特性について測定した。

まず、静止スクリーン上残像認識実験での空間特性の測定と同様の測定を動体軌跡上で行った。スパイク列の大きさは、前実験におけるsize1(0.25×1.00 deg)の大きさとし、ボールの軌道がなるべく直線的になる速度とすることを優先し、描画時間は概ね7.5msとした。提示位置は静止スクリーン上残像認識実験で得られた被験者ごとの閾値位置とし、注視点位置から左右どちらかランダムに閾値視野角分離された位置に提示した。

試行回数は30回とした。もし動体軌跡上への投影がスクリーン上への投影と人間の認知に関して等価であれば、閾値は正答率が25%から100%に急峻に変化する位置であるので、正答率60%付近となるはずである。

被験者4人に対して実験を行った結果、正答率は4人全員とも25%付近となった。4つの選択肢から解答したことを考慮すれば、認識はできていないという結果となった。

この原因として様々な要因が考えられるため、問題を切り分けるためにより認識しやすいと思われる設定に変更した。具体的には、被験者、並びに実験課題は変更せず、ただし試行回数は20回、スパイク列の大きさはsize2(0.50×2.00 deg)の大きさとし、描画時間は概ね15msとした。提示位置は被験者正面の注視点位置とし、NDフィルタの透過割合は100%とした。これらの条件は「静止スクリーン上残像認識実験」でのスクリーン上では正答率100%付近となる条件であり、できる限り人間が認識しやすい条件に対応している。この結果、一人の被験者は完全な認識ができ、他の三人においても完全な認識を実現しているわけではないものの、正答率が25%以上であるので認識が全くできていないということではない、という結果となった。

## 4. 研究成果

本研究では高速で運動する動体に輝点を表示し、残像を通して対象より大きなパターンを提示する新たなディスプレイ手法を提案した。次に提案原理での知覚確認実験から提案する手法での残像知覚が可能であることを示した上で、提案手法に関連する、人間の眼における残像特性の要因について閾値の計測を静止スクリーン上で行い、基本的な知見を得た。得られた知見を基に、提案手法による動体軌跡上での残像認識についての基本的な検証を行った。結果、動体軌跡上での残像認識は確立にまでは至っていないものの、その実現の可能性は十分に示された。さらに、これらの検証結果の考察から、認識の確立のため今後さらに調査するべき要素としては、サッカードや眼の反射運動などの要素が明確化された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. 宮下令央, 藏悠子, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊・高速光軸制御を用いた動的物体の非接触振動計測システム・日本バーチャルリアリティ学会論文誌(査読有, 採録決定)

〔学会発表〕(計 2 件)

1. Hirosasa Oku : Dynamic image control based on high-speed optical

devices (**Invited**), The 5th International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging (ISPDI2013) (China National Convention Center, Beijing, 2013.6.26) / Invited Talks, p. 59

2. 安井雅彦, カシネリ アルバロ, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 追跡的光線投影による残像を用いた大空間情報提示手法の提案と基礎検討, 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2013)(ナレッジキャピタル 大阪, 2013.9.20) / 論文集, pp.499-502

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 情報呈示装置

発明者: 奥寛雅, アルバロカシネリ, 安井雅彦, 石川正俊

権利者: 東京大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-141939

出願年月日: 2013年7月5日出願

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

奥 寛雅 (OKU HIROMASA)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号: 40401244

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし