

眼球運動による残像を利用した情報提示システムの評価実験

金澤宏介^{†1} 奥村万規子^{†1}

概要: 本研究では点滅している LED 光点列をサッカードと呼ばれる高速な眼球運動により、眼球の動きだけで残像を知覚させるという仕組みを利用して情報の提示を行う。光点列は表示情報を縦に分割して順次点滅させているため、表示情報を知覚するためには眼球運動と点滅パターンのタイミングを合わせる事が重要である。

本論文では、光点列を二つ用意し、それらを横に設置し被験者には光点列を交互に見させることによりサッカードを誘発させる。実験の項目としては、光点列間の距離と点滅タイミングの関係性、光点列と被験者の位置関係による点滅周波数の関係性、光点列の実験環境などの明るさが知覚にどのような影響をもたらすかということが挙げられる。これらの実験を行いより鮮明に情報が知覚できる条件を検討する。

キーワード: サッカード, 残像, POV (Persistent Of Vision), ディスプレイ, 眼球運動, 視覚情報提示

Evaluation experiment of the information-display system by using afterimage according to eyeball movement

KOUSUKE KANAZAWA^{†1} MAKIKO OKUMURA^{†1}

Abstract: We optimized an afterimage type display using a line display with the “saccade” mechanism of high speed eyeball movement. In the afterimage type display, it is important to adjust the flashing frequency of line display with eyeball movement speed. In this paper, we developed novel afterimage display with two line displays located side by side and optimized the distance of them, displayed timing, frequency, brightness and illumination environment to control “saccade” eyeball movement speed.

Keywords: Saccade, Afterimage, POV(Persistent Of Vision), Display, Eyeball movement, Visual presentation

1. はじめに

二次元の広がりを持った情報提示手法として、バーサライト (POV-Persistent Of Vision) と呼ばれる手法がある。これは、あるパターンで点滅している光点列を物理的に高速移動させ、残像を発生させて二次元の情報を提示させるデバイスである。光点列を移動させて情報を提示する手法に対して、光点列は固定し人間の眼球が移動することによって生じる残像を知覚させる手法が発表されている[1][2]。この手法にはサッカードと呼ばれる眼球運動が使用されている。サッカードは日常の視覚環境において、興味を惹く対象物が視野の中で動いている場合に、その対象物を見るために視線を高速で向ける一過性の眼球運動である。この手法は少ないエネルギーと少ないスペースで実現できるので、ウェアラブル端末の情報提示手法としての利用や、既存の照明機器や電源ランプなどの発光体を用いることができれば情報提示の幅が広がると考えられている[1]。また、眼球を動かさなければ情報を提示することができないので、眼球の動きを電位の変化などで計測すれば決まった人だけに情報提示させるという情報の選択性がある[3][4]。他にも、光点列を舞台などでパフォーマンスを行っている人間に装

着すれば動いている身体によってサッカードが誘発され観客に情報が提示可能であったり、観測者が高速で移動している状態にある場合、周りに光点列を配置することによって残像を知覚できるという研究もされている[5][6][7]。このことよりこの情報提示手法は幅広い分野で活かされると考えられる。

本研究では光源の点滅によって情報を提示している光点列を二つ用意し、その光点列二つのみでサッカードを誘発させる。光点列が二つの場合とどのような情報提示が行えるか、光点列を一つのみ使用した場合と比較し違いを考察する。光点列二つで情報提示が行えると、無意識にサッカードが誘発され、まばたきによって発生する微小な眼球運動で情報の提示が行えるのではないかと考えられる。本実験では、デバイス二つと被験者の三点の位置関係が知覚に影響を及ぼすと考えられるため、被験者数名に光点列と被験者間の距離を変化させ、知覚にどのような変化が得られるか官能評価実験を実施する。またその官能評価を光点列一つの場合での情報提示能力と、デジタルカメラで光点列二つの実験と同じような要領で計測したデータと比較する。デジタルカメラで撮影した際に光点列の発光タイミングも変化させことによって、点滅の周期や速さが知覚にどのような影響があるのか検討する。これらの検証より光点列二つの場合の情報提示能力を明らかにする。

本論文の流れとして、第二章では本研究に使用した情報

^{†1} 神奈川工科大学 電気電子工学専攻
Kanagawa Institute of Technology, Electrical and Electronic Engineering.

提示手法の原理を説明し、第三章では今回使用した情報提示手法の概要を、第四章では実験の内容として光点列一つの場合と二つの場合、デジタルカメラで撮影する場合の具体的な内容を述べ、その結果と考察を第五章に示す。最後に第六章としてその結論から今後の課題や展望を記す。

2. 本研究で使用する情報提示手法の原理

図 1 のような光点のある速度で移動させている最中に、光点を決まったパターンで点滅させると残像によって連続した線に知覚される。このパーサライト (POV) と呼ばれるシステムは玩具など多くの情報提示手法として使用されている。この原理を利用し、図 2 のように点滅している光点は固定し、サッカードと呼ばれる眼球運動を使用しても同じように残像により連続した線が知覚させられることが知られている。サッカードの例として「本を読んでいるときに次の行へと目線をジャンプさせる」などが挙げられる。この現象は我々の日常生活で自然かつ頻繁に発生している。このサッカードは注視点と呼ばれるあらかじめ注目している点から目線を移動させる先の視標の光点二つで人工的に誘発させることができ、その注視点と視標の間に点滅している光点列を設置することにより残像を知覚させられる[1]。この原理を情報提示手法とする。



図 1 POV による残像表示
 Figure 1 Afterimage display by POV.

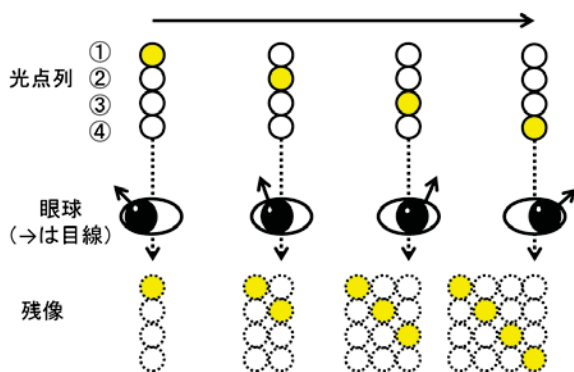


図 2 眼球運動による残像知覚
 Figure 2 Afterimage perception by eye movement.

3. 光点列を二つ利用した情報提示

今回は今までの情報提示手法の応用として、光点列を二つ用意し、注視点や視標などでサッカードを誘発させるのではなく、光点列自体でサッカードを誘発させる手法を用いる。この手法が情報提示に有効であるならば光点列を複数個設置しても同様の知覚結果得られると考えられる。また、注視点や視標を使わないので無意識的にサッカードを誘発できるのではないかと考えられる。

4. 実験内容

この実験では 16 個の LED が一列に配置されている光点列デバイス一つ、または二つ使用し、ある一定のパターンで点滅させ、被験者にどのように情報を提示できるかを評価する実験を行った。ここで使用するデバイスは二つとも同じものを用意し、LED は角型フルカラー LED (OSTA71A1D-1)、npn トランジスタ (2SC1815GR)、抵抗 270Ω と 2.7kΩ をそれぞれ 32 個使用した。実際に作成したデバイスを図 3 に、設計した回路図を図 4 に示す。実験では赤色の単色のみを使用して実験を行った。左右非対称の像を提示すると眼球を動かした方向に依存して像の向きも変化してしまうことが知られている[8][9]。今回は被験者に文字を知覚させるにあたり左右非対称の文字による混乱を避けるために情報提示には図 5 にあるような左右対称である「◎」の文字を使用した。この「◎」の LED 点滅プログラムは 16×16 ドットのディスプレイを想定し縦は LED16 個、横はある時間に対して 16 列に分割するイメージで構成されている。LED 点滅制御には Arduino MEGA を使用した。

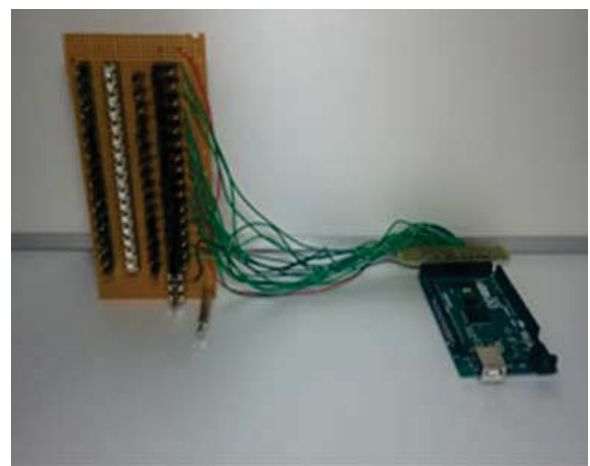


図 3 作成デバイス
 Figure 3 Prototype device.

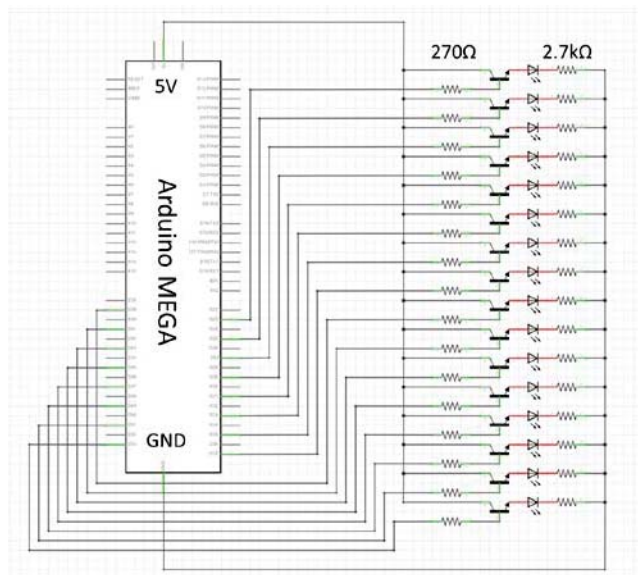


図 4 回路図

Figure 4 Circuit diagram.

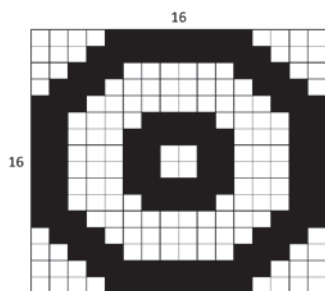


図 5 表示文字

Figure 5 Displayed character.

4.1 光点列の数と距離に関する実験

本実験では被験者数名に官能評価実験を実施する。光点列一つまたは二つの場合の官能評価の結果と、デジタルカメラで撮影したデータを取得する。官能評価はリッカート尺度で行い、見えやすさの度合いを6段階で評価した。この官能評価の結果とカメラで撮影したデータと比較し最終的にデバイス被験者の位置関係による見え方の特性を検討する。プログラムとして発光タイミングは横に16分割しているうちの1分割を1ms発光させ、その後に消灯時間として10ms設けている。全体で一文字表示するのに26msの時間を使用している。また、消灯時間を設けた理由としてはこのプログラムはループしているため文字と文字の間に隙間を作るためである。

4.1.1 光点列を一つ使用した場合

光点列を一つ使用した場合の被験者とデバイスの位置関係を図6に示す。光点列を目線の高さに設置し、被験者は距離180cmの位置にある椅子に腰をかける。この光点列一つの実験は、光点列二つの場合との見え方の違いを明確にするのが目的である。

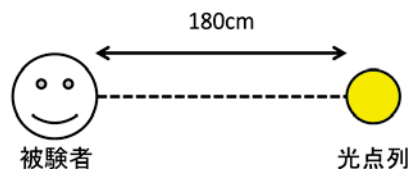


図 6 光点列一つの位置関係

Figure 6 The physical position relationship of one luminous point line

4.1.2 光点列を二つ使用した場合

光点列を二つ使用した場合の被験者とデバイスの位置関係を図7と図8に示す。二つの光点列間の距離を100cmとし、被験者はそのデバイス間の中間地点、両方から50cmの位置から垂直に80cm、130cm、180cm、230cm、280cmの5パターンの距離でそれぞれの見え方について評価する。対応角度は 32.0° 、 21.0° 、 15.5° 、 12.3° 、 10.1° となる。プログラムは光点列一つのとおりものを使用する。

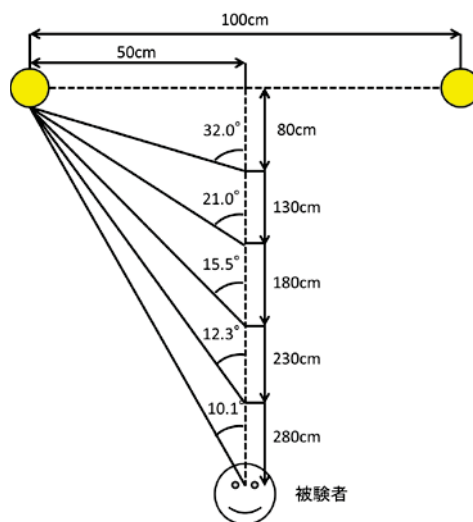


図 7 光点列二つの位置関係(上)

Figure 7 The physical position relationship of two luminous point line(up).

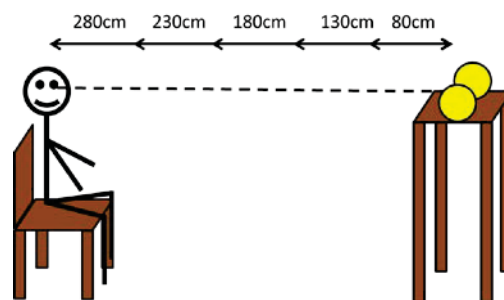


図 8 光点列二つの位置関係(横)

Figure 8 The physical position relationship of two luminous point line(side).

4.1.3 カメラを使用した数値的データの取得

今回は被験者数名に官能評価実験を行うが、この結果だけでは二次元情報を知覚させるためのデータとしては不十分と考えられるため、数値的なデータとしてカメラで眼球の運動を時間的な面から撮影し、比較することによってより最適な結果を導き出す。方法としては光点列を二つ使用した場合の実験と同じ環境にし、被験者をカメラに置き換え、第 4.1.2 章と同様の実験を行う。サッカーの持続時間が約 50ms と知られている[4]。そこでシャッタースピードはサッカー持続時間に対応させ 1/20[s]に設定し、左の光点列から右の光点列またはその逆の方向へカメラを移動させ残像を撮影する。

4.2 点灯時間と表示文字に関する実験

光点列の点灯時間を変化させることによって表示文字がどのように変化するのかデジタルカメラを用いて検証する。これには光点列被験者間の距離の変化による知覚の変化とは別要素で、点滅周期の面から知覚にどのような影響があるのかを検証する意図がある。前節では 1 ドットの点灯時間を 1ms として実験を行っていたが、今回は 1ms とは別に 1 ドットの点滅時間を 2ms, 3ms, 5ms と変えて光点列被験者間の距離が 180cm の位置から撮影した。

5. 実験結果および考察

官能評価から得られた光点列の数の違いによる知覚の違いについての結果を表 1 に、光点列二つの場合の距離を変化させた知覚の違いについての結果を表 2 にまとめる。小数点は第三位を切り捨てる。表から読み取れるように距離 180cm, 角度 15.5° のときの知覚率が一番高かった。一方、一番知覚率が低かったのは距離 280cm, 角度 10.1° のときであり、その他の距離角度に関しては大差のない結果になった。また距離が離れていくにつれて、表示文字が横に伸びたように知覚された。これより、15° 程の角度を保った位置関係であれば光点列間、光点列被験者間の距離を変化させても情報を知覚できると考えられる。例えば光点列間の距離を 50cm としても角度 15.5° を保ち被験者光点列間の距離を約 92cm にすればより良く知覚できると考えられる。また、光点列が一つの場合でも知覚はできることが確認できた。しかし眼球を光点列の周りで無理やり動かさなければならず、極度の眼球疲労感も感じられた。これは、サッカーが無意識的に発生せずなおかつ誘発するような条件が存在しなかったからである。これより、光点列が一つの場合、情報提示には適さないデバイスであると考えられる。デジタルカメラでの撮影結果を図 9 に示す。図から読み取れるように、サッカーの持続時間である 50ms と対応するシャッタースピード 1/20s で撮影した結果、プログラムの一周期が 26ms であり光点列の周りに残像文字が二つ出ているので撮影に関しては成功したと言える。しかし、官能評価より距離が離れていくにつれて表示文字が横

に伸びるという結果になったが、デジタルカメラで撮影した際にはそのような横伸びは確認されなかった。これはデジタルカメラのシャッタースピードは一定だったのに対し、人間の眼球運動、つまりサッカーは距離によってその持続時間または移動スピードが変化しているからだと考えられる。図 10 は 1 ドットの点灯時間を 2ms, 3ms, 5ms と変化させて撮影したものである。この結果より点灯周期は長くなるにつれて横に伸びることが確認できる。これより表示ディスプレイの縦サイズも比例して大きくでき、点滅周期はディスプレイのサイズに関連があると考えられる。

表 1 光点列の数と見やすさに関する官能評価結果

Table 1 Sensory evaluation result of relations between the numbers of the lines and visibility.

| 光点列数 (距離 180cm) | 見え方 (最高 6 点) |
|-----------------|--------------|
| 1 個 | 3.8 |
| 2 個 | 5.2 |

表 2 光点列二つの距離と見やすさに関する官能評価結果

Table 2 Sensory evaluation result of relations between the distance of two lines and visibility.

| 光点列被験者間距離 | 見え方 (最高 6 点) |
|-----------|--------------|
| 80cm | 4.7 |
| 130cm | 5 |
| 180cm | 5.2 |
| 230cm | 4.8 |
| 280cm | 3.6 |

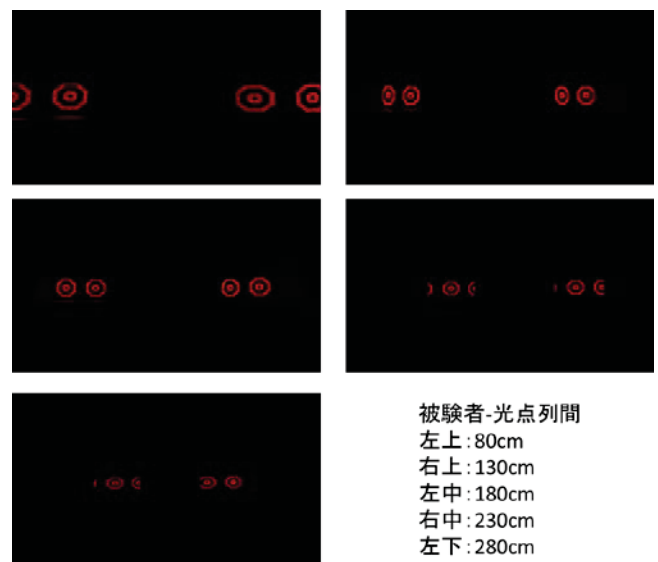


図 9 デジタルカメラでの撮影結果
 Figure 9 Photography of display image.

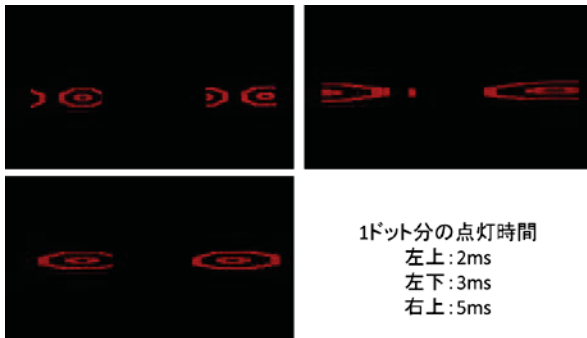


図 10 時間変化による表示文字の変化

Figure 10 Display character's dependency on illumination time.

6. まとめおよび今後の展望

本実験では、光点列を二つでサッカードを誘発させ、光点列を二つ使用することによって知覚にどのような影響があるのかを官能評価を通して明らかにした。また、光点列の点灯時間を変化させることによって知覚にどのような影響があるか検証した。

光点列を二つにすると、光点列一つの場合よりサッカードが誘発されやすくより知覚でき、光点列の数が知覚に影響があることが分かった。二つの光点列と被験者の位置関係を 15.5° のラインに光点列配置すればより良く知覚できることがわかった。また、デジタルカメラで光点列二つの実験と同じ環境でデータを取得した結果、サッカードは距離によってその持続時間または移動スピードが変化していることがわかった。また、点滅周期を変えることによっても知覚に影響があることがわかった。具体的には周期を長くすると残像は横に伸びるので、それをディスプレイの縦のサイズで補うことが可能と言える。この点滅周期には表示させたい横ドットの数や縦のディスプレイのサイズに関係があることがわかった。

今後は今回の結果を踏まえ、光点列を二つより多い複数個設置した場合にどのような結果が得られるか、また、表示文字をフルカラー化し、色や形が知覚に影響を及ぼすかどうかの検証も行う。デバイスも LED の数を増やし、大きなディスプレイを想定して実験を行える環境に整え、改めて点滅周期をディスプレイサイズの関連性を検証する。

参考文献

- [1] 渡邊淳司, 前田太郎, “サッカードを利用した新しい情報提示手法の提案”. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.2, pp.79-87, 2001.
- [2] 渡邊淳司, 前田太郎, 館暉 “サッカード前中後に渡って提示される連続点滅光点刺激の知覚と眼球運動との時間関係”. 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86, No.7, pp.1350-1357, 2003.

- [3] 渡邊淳司, 安藤英由樹, 関口大陸, 前田太郎, 館暉 “網膜再帰反射を利用した遠隔サッカード検出手法の研究”. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.9, No.1, pp.105-113, 2004.
- [4] 安藤英由樹, 渡邊淳司, 雨宮智浩, 前田太郎 “ウェアラブル・サッカード検出を利用した選択的視覚情報の研究”. 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.
- [5] 渡邊淳司 “VR 技術の舞台芸術への応用”. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.9, No.1, pp.25-27, 2004.
- [6] 渡邊淳司, 田畑哲稔, 前田太郎, 館暉 “眼球運動を利用したディスプレイとパフォーマンスの融合”. 電子情報通信学会, HIP2003 15-28, pp.19-23, 2003-7.
- [7] 渡邊淳司, 坂本憲久, 則武厚, 前田太郎, 館暉 “移動している観察者に対する Saccade-based Display を利用した情報提示の研究”. 電子情報通信学会, HIP2004-22, pp.69-73, 2004-7.
- [8] 有賀玲子, 斉藤英雄, 安藤英由樹, 渡邊淳司 “Saccade-based Display の特性を活かした呈示コンテンツの生成”. 日本バーチャルリアリティ学会, 第 13 回大会論文集(CD-ROM), ROMBUNNO.1A3-4, 2008-9.
- [9] 有賀玲子, 斉藤英雄, 安藤英由樹, 渡邊淳司, “Saccade-based Display のためのコンテンツ設計と印象評価”. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.3, pp.471-474, 2010.