

解像度制御を用いた視線誘導

畑 元^{1,a)} 小池 英樹^{2,b)} 佐藤 洋一^{3,c)}

受付日 2014年6月30日, 採録日 2015年1月8日

概要: 本研究では, ユーザに気づかれない視線誘導を目的とした手法の提案を行う. 人の視覚の特性から画像の動的な解像度制御を提案する. 具体的には, 誘導したい領域を高解像度, それ以外の領域を人が気づかない範囲で低解像度にする事で, 高解像度領域へと視線の誘導を行う. 2つの被験者実験を通して提案手法がユーザに気づかれないで視線誘導を行える可能性が示唆された.

キーワード: 視線インタフェース, 視線誘導, 視覚的顕著性, 動的解像度制御

Visual Attention Guidance Using Image Resolution Control

HAJIME HATA^{1,a)} HIDEKI KOIKE^{2,b)} YOICHI SATO^{3,c)}

Received: June 30, 2014, Accepted: January 8, 2015

Abstract: This paper proposes a method for guiding viewers' attention without being recognized by viewers. By focusing on a characteristic of human visual system, we propose a dynamic resolution control method. In brief, our method gradually decreases the resolution of the display to the threshold at which viewers are aware of the modulation of the display, while the resolution of the region where viewers' attention should be guided is remained as in high resolution. Two subjective experiments were conducted to show that have a possibility of viewers attention can be guided without being recognized by them.

Keywords: attentive user interfaces, gaze direction, visual saliency, dynamic resolution control

1. はじめに

近年, ディスプレイ上の特定の領域に視線を誘導したいという要求がある. たとえば, デジタルサイネージでは広告主は自分の作った広告に視線を誘導したい. また, webページでは広告バナーへと視線を誘導したい, 電子マーケットではその日のキャンペーン情報へと視線を誘導したい, といった要求があげられる. 視線誘導は広告情報以外にも用いることができる. たとえば, ユーザが地図アプリを見ているときに目的地周辺の領域へと視線を誘導させる

ことで, 目的地を探すのを補助できる. こういった情報探索補助は, 情報がたくさんあるときや複雑な情報があるときにユーザに有益となる [1].

ディスプレイ上の特定の領域に視線を誘導させる手法はいくつかある. 代表的なものとしてデザインを用いて視線を誘導させる手法があげられる. たとえば, 集中線といったデザインを用いることで, 集中線の中央にある領域に視線を誘導させることができる. デザインを用いて視線を誘導させるときの問題として, 広告はある全体の中の一部であることがあげられる. たとえば, 電子マーケットで羅列されている商品はそれぞれ目を引く商品デザインをしているため, その商品を見ているときには効果的だが, その商品を見るまでは他に埋もれてしまい効果が薄いと考えられる. そのため, まずデザインされているものへ視線を誘導させることで注目させる必要があると考えられる.

デザイン以外で視線誘導を行う手法として, 誘導したい領域を点滅させる, 振動させるなどがあげられる. このような能動的な視線誘導は, 画像を激しく変化させたり, 大

¹ 電気通信大学
The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

² 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology, Meguro, Tokyo 152-8550, Japan

³ 東京大学
The University of Tokyo, Meguro, Tokyo 153-8505, Japan

a) hata@vogue.is.uec.ac.jp

b) koike@cs.titech.ac.jp

c) ysato@iis.u-tokyo.ac.jp

幅な変化させたりすることで視線誘導を行っている。そのため、強い視線誘導効果を持つ。しかし、ユーザが視線誘導させようとする意図に気づいてしまうとといったことが問題としてあげられる。これにより、ユーザは誘導を作為的に感じてしまい、不快感を持ってしまう、もしくは誘導先の情報の好感度が落ちてしまうといった報告がある [2]。また、強い刺激をユーザに対して与えることで、ユーザの作業を妨害してしまうなどといった問題もあげられる。

一方、画像の変化を少なくし、気づかれずに視線を誘導させることに注目した手法がある。このような受動的な視線誘導は人の視覚の特性に着目して、変化を認識されることなくユーザの視線を誘導させることがあげられる。多くのものは中心視野と周辺視野の機能の差を利用している。中心視野は視野角が狭く変化に対して鈍感だが高解像度で色覚に対しての感度が高く、周辺視野は視野角が広く変化に対して敏感だが低解像度で色覚に対しての感度が低い。最近の研究として、Ittiらの顕著性マップモデル [3] を用いた色変化による視線誘導 [4] があるが、処理後の画像が不自然になるという問題がある。

本研究の目的は画像を動的に解像度制御することで気づかれない視線誘導を実現することである。気づかれない視線誘導を行うためには、視線が誘導される時の解像度が解像度変化に気づく限界点よりも低い必要がある。そのため本研究では、視線が誘導される時の解像度を調べる実験と解像度を動的に変化させたときに変化に気づく限界点を調べる実験を行った。

2. 関連研究

人の視線を誘導させるとき、能動的な視線誘導がよく用いられる。これらの手法は、特定の領域を目立たせたり、振動させたりすることによって視線誘導が行われる。しかし、ユーザは視線誘導させようとする意図を察することができる。また、ユーザの作業を妨害してしまうといった問題がある。

点滅刺激による視線誘導 [5] では、ユーザの周辺視野に点滅刺激を与えることで視線の誘導を行う。周辺視野で発生する刺激を確認しようとする人の習性から視線の誘導が行われる。動的に激しく変化する刺激を与えているため、視線が誘導されたのちに刺激をなくすことでユーザに視線が誘導させられているという意図を察しにくくしている。また、低解像度の視覚情報処理である周辺視野にのみ刺激を与えることも同様の効果をもたらしている。複数人で行った場合、1人でも誘導させたい領域を中心視野で見ているときに点滅刺激を行うとどのような刺激を与えていたのか気づかれてしまうことから、複数人に対応できないことも問題点としてあげられる。

一方で、受動的な視線誘導は激しい変化や大幅な変化をすることなく視線の誘導を行う。受動的な視線誘導を行う

ときに用いられる手法は顕著性マップが用いられることが多い。顕著性とは画像の中でどの部分を注目しやすいかを示したものであり、顕著性マップを注目のしやすさを分布で示したものである。顕著性マップにはトップダウンとボトムアップによるものの2種類がある。トップダウンの顕著性マップは、ユーザの記憶に基づいて作られた顕著性マップである。そのため、人の顔といったものの顕著性が他のオブジェクトと比べて高くなる。ボトムアップの顕著性マップは、人の視覚処理の仕組みに基づいて作られた顕著性マップである。そのため、緑の円の集団の中にある赤い円があったときは赤い円の顕著性が高くなる。これから述べる関連研究と本研究はボトムアップの顕著性マップに基づいたものである。

Ittiらの顕著性マップモデル [3] は顕著性マップをモデル化したものである。Ittiらは画像の輝度、色相、エッジ方向についての顕著性を計算し、それらを統合することで顕著性マップに近いものができることを示した。Hagiwaraら [4] は誘導させたい領域の顕著性が画像の中で最も高くなるように画像を変化させることで、視線の誘導を行った。具体的には、誘導させたい領域とそれ以外の領域の色相を変化させることによって、誘導させたい領域の顕著性を画像中で最も高くする。顕著性の高い領域を優先的に見るという人の習性から視線の誘導が行われる。また、Veasら [6] は輝度と色相を変化させることで、動画においても視線を誘導させられることを確認した。Veraらは複数の値を使い画像を変化させ、被験者実験を通して、その中のいくつかの値を用いることで気づかれない視線誘導が可能であることを示した。これらの問題点として、誘導させたい領域の色情報が変わってしまうことがあげられる。このことから、視線の誘導が成功しても間違った情報をユーザに与える恐れがあり、またユーザが色情報変更前の状態を知っていたときはその情報と比較して視線を誘導させようとする意図を察せられる可能性がある。

解像度制御と似た手法を用いた研究として、Kadabaらによる Semantic Depth of Field (以下、SDOF) を用いた作業支援 [1] があげられる。Kadabaらは、複数の候補があったときに、ユーザに直観的に必要なものが分かるようにする手法として、SDOF という手法を提案している。SDOF は、必要な情報との近似具合に応じてその情報にぼけをかける。このようにすることで、必要な情報に近いものほど鮮明になり、必要ない情報にはぼけがかかるようになる。したがって、ユーザはその情報の鮮明さ具合を見るだけで、自分の必要な情報とそれとの類似度が分かるようになる。Kosaraらはいくつかのユーザテストを通して、SDOF が作業支援において有益であることを示している。しかし、この手法を作業支援として用いていることからぼけがユーザに気づかれることを前提としているため、視線誘導に用いることはできない。

3. 手法

本研究では、ユーザに気づかれない視線誘導を実現するための手法として動的な解像度制御を提案する。

本手法の基本的なアイデアを図 1 に示す。図 1 のような画像を見たとき、図 1(a) だと中央の家に、図 1(b) だと左側の家の部分に視線が集まる。このように誘導させたい領域以外を低解像度にすることで、高解像度領域に注目を集めることができ、視線の誘導が行われる。誘導させたい領域以外にのみ処理を行うことによって、誘導先の情報を変えずに視線の誘導を行うことができる。また、複数人がどの領域を見ていても提示する刺激に変化がないため、対象が複数人であっても視線を誘導することができる。

本研究では、平滑化処理を行うことでぼけている画像を作り、原画像と合成することで、一部の領域が高解像度、その他の領域が低解像度な画像を作る。また、高解像度領域とそれ以外の領域との境界線部分はアルファブレンドを



(a) 中央の家が高解像度，その他の領域が低解像度



(b) 左側の家が高解像度，その他の領域が低解像度

図 1 解像度制御を行った例

Fig. 1 Visual guidance of users' attention using resolution control. (a) The house at the center is displayed in high resolution while other areas are blurred. (b) The house on the left is displayed in high resolution while other areas are blurred.

用いることで滑らかに接続している。このような手法を解像度制御とする。

平滑化処理にはガウシアンフィルタを用いた。カーネルのサイズは 13×13 とした。ガウシアンフィルタとは移動平均フィルタであり、注目画素とその周辺の画素を平均化する際にガウス分布の関数で重みづけを行う。ガウス分布の関数を用いることで、注目画素に近いほど重みが大きくなり、離れると小さくなるフィルタを用いることができる。ガウス分布の関数は以下の数式で用いた。

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

ただし、 $\sigma = 0$ のときは平滑化処理を行わず、原画像を用いた。

ぼけにガウシアンフィルタを用いることで、ぼけの強さを σ のみで制御することができ、他のフィルタと違いぼけの強さを細かく決めることができる。また、他手法と統合して視線誘導を行うときにも組み合わせるのが容易になる。

高解像度領域に視線が集まる仕組みについて述べる。本研究では、解像度制御を用いて画像のエッジの強弱を制御し、エッジの顕著性を変える。解像度制御を用いることで、高解像度領域ではエッジの強さは変わらず、それ以外の領域は低解像度であることからエッジが弱いため、高解像度領域でのエッジの顕著性が高くなる。Itti らによる顕著性マップモデル [3] から、エッジに関する顕著性が変化したことで、統合されてできる顕著性マップも変化したこと、高解像度にした領域の顕著性が高くなる。そのため、人は無意識のうち高解像度領域へと視線が誘導される。

本手法では、解像度制御を動的に行うことで、気づかれない視線誘導を実現する。動的な解像度制御の流れとしてはまず、画像のぼけを強くしていき、ユーザが視線誘導される時のぼけの強さ以上でかつ、ぼけに気づく強さ以下になったときに変化をやめる。そして、ユーザの視線が誘導されるまで待つ。視線が誘導されたらぼけを弱くしていき、原画像へと戻す、といった処理を行う。以上のような手順で刺激を与えることで、解像度制御された画像を見せる時間を極力少なくし、また原画像と解像度制御された画像を動的につなぐことでユーザに画像がぼけていることに気づきにくくする。また、動的に解像度制御を行うことで、誘導させたい領域を変えるといったことが可能になる。これにより、状況に応じて適したオブジェクトへと視線を誘導させることが可能になる。

ぼけの強さが $\sigma = 0$ (原画像), 1, 2, 3, 4, 5 のときの画像を図 2 に示す。

4. 実験 1

実験 1 では解像度制御を行ったときに視線が誘導されるかを確認する。また、視線が誘導されるのならば、ぼけの



図 2 σ の強さを変えたときの画像 (400 × 279 pixels)
 Fig. 2 Blurred images with different σ .

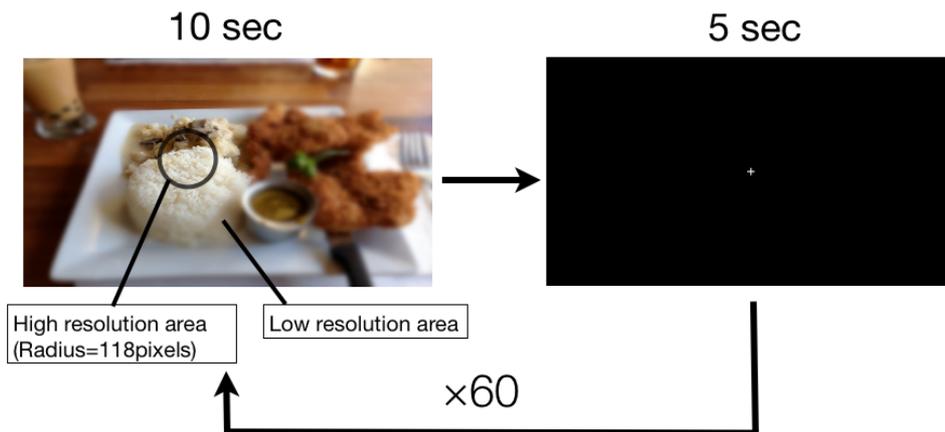


図 3 実験 1 手順
 Fig. 3 Process of experiment 1.

強さに応じてどの程度視線が誘導されるのかを確認する。

4.1 実験手順

被験者には解像度制御された画像を 10 秒間見せ、そのときの視線の位置を計測した。10 秒経過後、画像中央に十字が入った黒い画像を 5 秒間見せ次の画像を表示した。被験者には画像中央に十字が入った黒い画像が表示されている間は目を休ませ、そして次の画像が表示されるまでに画像中央を見てもらうように指示した。これを 1 試行とし、見せる画像とぼけの強さを変え、計 60 試行行った (図 3)。

画像の数は 10 枚 (1,920 × 1,080 pixels) である。使用した画像は flickr [8] からぼけのない画像を抽出し、さらにその中からランダムに選択した。ぼけの強さは σ が 0 (原画像), 1, 2, 3, 4, 5 のときの 6 種類である。画像の表示

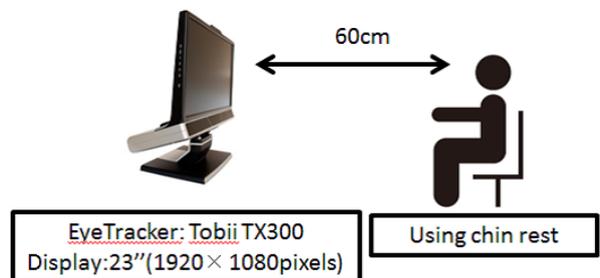


図 4 実験環境
 Fig. 4 A set up of the experiments.

する順番とぼけの強さはランダムだが、同じ組合せは 1 回しか表示されない。中心視野の大きさが視野角 1.5° であることから、高解像度領域の大きさもそれと同じに半径 118 pixels とした。高解像度領域とそれ以外の領域の境界



(a) $\sigma = 0$ のときの画像



(b) $\sigma = 0$ のときのヒートマップ



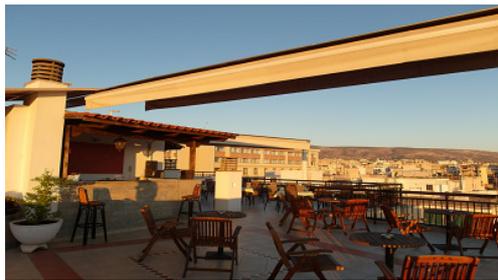
(c) $\sigma = 5$ のときの画像



(d) $\sigma = 5$ のときのヒートマップ (白円内側が高解像度領域)

図 5 実験 1 で被験者に見せた画像とそのときのヒートマップ (静物写真)

Fig. 5 The images used in the first experiment and their heat maps.



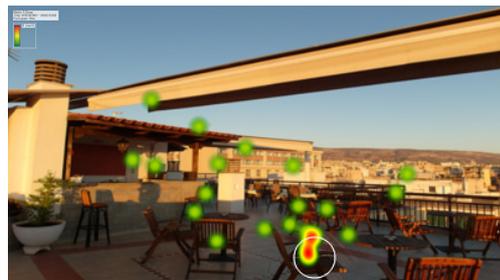
(a) $\sigma = 0$ のときの画像



(b) $\sigma = 0$ のときのヒートマップ



(c) $\sigma = 5$ のときの画像



(d) $\sigma = 5$ のときのヒートマップ (白円内側が高解像度領域)

図 6 実験 1 で見せた画像とヒートマップ (風景写真)

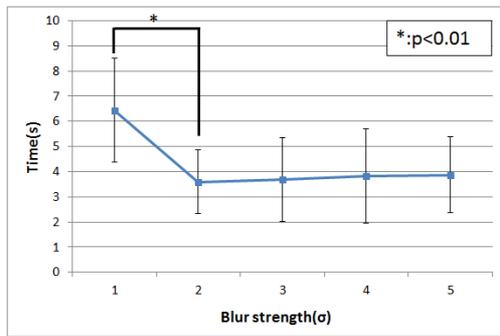
Fig. 6 Other images used in the first experiment and their heat maps.

線の境界線領域は 80 pixels かけてアルファブレンドを用いて、滑らかに接続した。画像が切り替わったときに高解像度領域が被験者の中心視野に入らないようにするため、高解像度領域は画像中央から 300 pixels 以上離れたランダムな位置とした。300 pixels は境界線領域を含む高解像度領域にさらに高解像度領域の大きさを加えたものである。被験者は 15 名 (22~28 歳, 平均 25.2 歳) 男性 12 名, 女性 3 名である。すべての被験者はメガネやコンタクトレンズなどで視力を補正した状態で実験を行った。

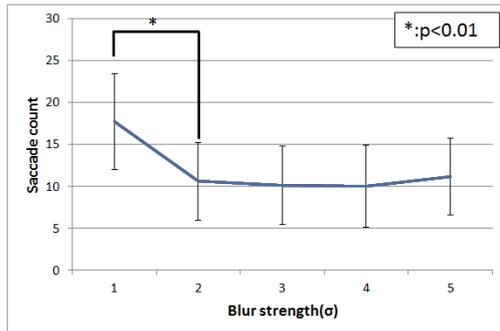
実験環境を図 4 に示す。顎乗せ台を使用して、被験者の目とディスプレイの距離は約 60 cm の位置で固定した。ディスプレイの大きさは 23 inch, 解像度は $1,920 \times 1,080$ pixels である。視線計測装置には Tobii TX300 を使用した。実験を行う際は周りに人がおらず、部屋は電気をつけた状態で行った。

4.2 実験結果

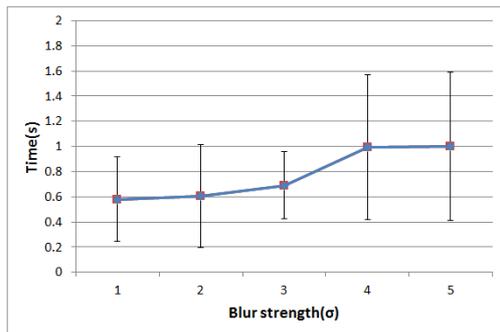
実験結果を図 5, 図 6, 図 7 に示す。



(a) 視線位置が高解像度領域に入るまでの時間



(b) 視線位置が高解像度領域に入るまでのサッカードの回数



(c) 高解像度領域に視線位置が停留した最長の時間

図 7 実験 1 結果

Fig. 7 Results of the experiment 1. (a) The relation between the blur strength and the time to fixation. (b) The relation between the blur strength and the saccade count to fixation (c) The relation between the blur strength and the fixation time.

図 5 と図 6 は実験で使用した画像とその画像を見たときのヒートマップである。ヒートマップとは視線の分布図であり、図 5 と図 6 では被験者が見た領域を黄色く示され、中でも特に長く見た領域を赤く示した。

$\sigma = 0$ のときの画像 (図 5(a)) を見たときのヒートマップは図 5(b) である。また、 $\sigma = 5$ のときの画像 (図 5(c)) を見たときのヒートマップは図 5(d) である。図 5(d) の高解像度領域は白い円で示してある。図 5(b) と図 5(d) を比較すると高解像度領域があったときはその領域に視線が集まっているのが確認できる。図 6 でも同じことが確認できる。このことから解像度制御を用いることで視線を誘導されることが分かった。

表 1 視線位置が高解像度領域に入るまでの時間を多重比較した結果
Table 1 Tukey's test results of blur strength and the time to fixation.

	1	2	3	4	5
1					
2	6.698 ¹				
3	6.490 ¹	0.2089			
4	6.162 ¹	0.5376	0.3286		
5	6.051 ¹	0.6481	0.4392	0.1105	

¹ 5.56 以上なら $p < .01$

² 4.37 以上なら $p < .05$

本研究では、視線位置が高解像度領域に入るまでの時間、視線位置が高解像度領域に入るまでのサッカードの回数、高解像度領域に視線位置が停留した最長の時間から視線誘導効果について確認を行う。視線誘導効果が強まることによって、視線位置が高解像度領域に入るまでの時間は短く、視線位置が高解像度領域に入るまでのサッカードの回数が少なく、そして高解像度領域に視線位置が停留した最長の時間が長くなると考えられる。

図 7(a) は各ぼけの強さのときに高解像度領域に視線位置が入るまでの時間、(b) は各ぼけの強さのときに高解像度領域に視線位置が入るまでのサッカードの回数、(c) は各ぼけの強さのときに高解像度領域に視線位置が停留した最長の時間を示している。点はデータの平均値を示している。

サッカードは最低でも $100^\circ/s$ である [10] ことから本研究では前回の視線位置から 30 pixels 以上移動したものをサッカードと判定した。また高解像度領域に視線位置が入るまでの時間、高解像度領域に視線位置が停留した最長の時間のときの視線位置はサッカード時のものは含まない。

本研究では、各 σ におけるすべての被験者の結果を群として一元配置の分散分析を行うことで各 σ の平均値に差があるかを確かめた。

視線位置が高解像度領域に入るまでの時間を群として分散分析を行った結果、 $F(4, 65) = 2.51304$, $p < .05$ となり、有意な傾向が得られ、平均値に差があることが分かった。

視線位置が高解像度領域に入るまでのサッカードの回数を群として分散分析を行った結果、 $F(4, 65) = 2.51304$, $p < .01$ となり、有意な結果が得られ、平均値に差があることが分かった。

高解像度領域に視線位置が停留した最長の時間を群として分散分析を行った結果、 $F(4, 65) = 2.51304$, $p > .05$ となり、有意な差が得られず、平均値に差がないことが分かった。

次に分散分析で有意な差を得られたものについてどの σ 間で有意な差があるか調べるため、Tukey 法による多重比較を行った。

視線位置が高解像度領域に入るまでの時間を多重比較した結果、表 1 となった。 σ が 1 と 2 以降で有意な差が得ら

表 2 視線位置が高解像度領域に入るまでのサッカードの回数を多重比較した結果

Table 2 Tukey's test results of blur strength and saccade count to fixation.

	1	2	3	4	5
1					
2	5.924 ¹				
3	6.326 ¹	0.4021			
4	6.433 ¹	0.5089	0.1068		
5	5.472 ²	0.4514	0.8536	0.9604	

¹ 5.56 以上なら $p < .01$

² 4.37 以上なら $p < .05$

れたため、視線を誘導させる効果は $\sigma = 1$ と $\sigma = 2$ の間で発生すると考えられる。

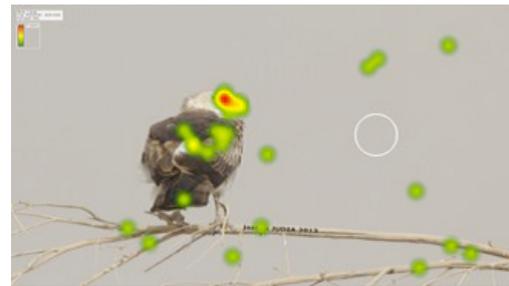
視線位置が高解像度領域に入るまでのサッカードの回数を多重比較した結果、表 2 となった。 σ が 1 と 2 以降で有意な差が得られたため、視線を誘導させる効果は $\sigma = 1$ と $\sigma = 2$ の間で発生すると考えられる。

実験結果からぼけを強くすると視線位置が高解像度領域に入るまでの時間は短くなり、またサッカードの回数は少なくなることが分かったことから、視線誘導効果が得られることが分かった。また、その効果は $\sigma < 2$ のときに得られることが分かった。しかし、高解像度領域を見続けている時間が長くなることは確認できなかった。

実験中の視線位置と視野の関係に注目すると、視線位置が高解像度領域に入るまでは高解像度領域は周辺視野で見ることになり、視線位置が高解像度領域に入ったときは高解像度領域は中心視野で見ることになる。視線位置が高解像度領域に入るまでの時間と視線位置が高解像度領域に入るまでのサッカードの回数は周辺視野で高解像度領域を見ており、高解像度領域に視線位置が停留した最長の時間は中心視野で高解像度領域を見る。このことから解像度制御を行うと、周辺視野で高解像度領域を見ているときは視線誘導効果が得られ、中心視野で高解像度領域を見ているときは視線誘導効果が得られないと考えられる。

図 7(a) から視線位置が高解像度領域に入るまですべてのぼけの強さにおいても 3 秒以上かかることが分かった。これは、画像を見せたときにユーザが画像中にあるオブジェクトを見る優先順位を決めるのに必要な時間であると考えられる。

ある特定の画像を見せたときに、視線が誘導されない、もしくは誘導されにくいことが確認された。たとえば、エッジのない領域が高解像度になるとき (図 8(a)) や、画像中に顔のようなトップダウンの顕著性マップで強い顕著性を持つオブジェクトがあるとき (図 8(b)) にその傾向が見られた。図 8 の白い円の領域が高解像度になるよう $\sigma = 5$ で解像度制御を行っているが、視線が誘導できていないことが確認できる。これはエッジがない領域を高解像度にし、



(a) テクスチャのない領域が高解像度になる



(b) 他に顕著性の高いものがある

図 8 視線誘導に失敗したときの画像例 (白円内側が高解像度領域)

Fig. 8 Images with heat map which failed to navigate attention. A white circle indicates the high resolution region. (a) The high resolution region was set in less textured region. (b) There are high saliency object (i.e., faces) in the image.

その他の領域を低解像度にしても高解像度領域でのエッジの顕著性が変化しないからである。画像中に顔のような強い顕著性を持つオブジェクトがあるときに視線誘導されないのは、Itti ら [3] が指摘するように、人は顔などのようにトップダウンで認識されるものに視線を集めやすいという特徴がある。したがって、画像に顔のような映像がある場合には、そちらに注目がいってしまい、視線が誘導されなくなると考えられる。

被験者のコメントとして、ぼけが強すぎると高解像度領域が分かってしまう、などがあげられた。

5. 実験 2

実験 2 では、動的にぼけの強さを変えたときに変化に気づく限界点を確かめる。

5.1 実験手順

被験者には数秒間原画像を見せ、そのち動的な解像度制御を行いぼけを強くしていった。そのときの被験者の視線位置を計測し、被験者には画像がぼけていることに気づいたらマウスクリックするよう指示した。マウスクリックが行われたら、画像中央に十字が入った黒い画像を 5 秒見せた。被験者には、画像中央に十字が入った黒い画像が表示されているときは目を休ませ、そして次の画像が表示されるまでに画像中央を見てもらうよう指示した。これを 1

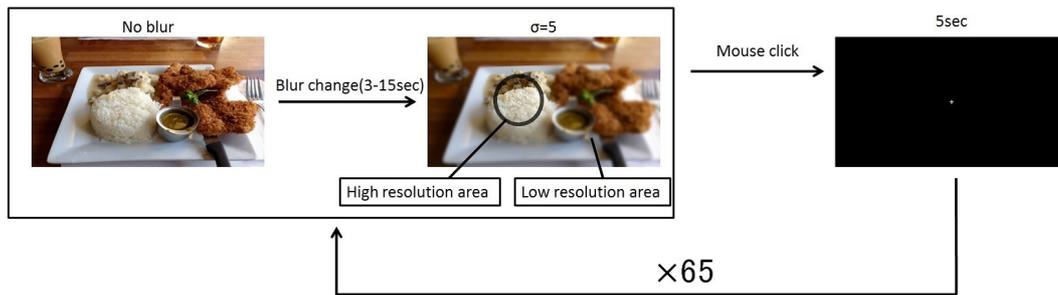


図 9 実験 2 手順

Fig. 9 Process of experiment 2.

試行とし、被験者には見せる画像とぼけが一番強くなるまでの時間を変化させて、計 65 試行を行った (図 9)。

画像は 5 枚 (1,920 × 1,080 pixels) である。ぼけが最も強くなる ($\sigma = 5$) までの時間 (以下ぼけ変化時間) は 3~15 秒 (1 秒刻み) である。画像の順番とぼけ変化時間はランダムであるが、同じ組合せは 1 回しか表示せず、また学習効果を考慮し同じ画像が連続して表示されないようにした。中心視野の大きさが視野角 1.5° であることから、高解像度領域の大きさもそれと同じに半径 118 pixels とした。高解像度領域とそれ以外の領域の境界線は 80 pixels かけてアルファブレンドを用いて、滑らかに接続した。画像が切り替わったときに高解像度領域が被験者の中心視野に入らないようにするため、高解像度領域は画像中央から 300 pixels 以上離れたランダムな位置とした。300 pixels は境界線領域を含む高解像度領域にさらに高解像度領域の大きさを加えたものである。画像を見せ始めてから最初の数秒間は鮮明な画像を表示するのは画像がぼけ始めるときを分からないようにするためである。

被験者は 15 名 (22~28 歳, 平均 25.2 歳) 男性 12 名, 女性 3 名である。すべての被験者には、メガネやコンタクトレンズなどで視力を補正した状態で実験を行った。実験 1 の被験者になった人は実験 1 の終了後 1 時間以上経過後に実験 2 を行った。

実験環境は実験 1 と同じである

5.2 実験結果

実験結果を図 10 に示す。

図 10 は各ぼけ変化時間で被験者がマウスクリックしたときのぼけの強さを示している。図の点は各ぼけ変化時間のときのすべての被験者のデータの平均、青い点線はそのときの直線近似を示している。赤い点線は、被験者がぼけに気づいてからマウスをクリックするまでの時間を 300 [msec] [9] としたときに、被験者がぼけに気づいたときのぼけの強さの近似直線を示している。

本実験では、被験者には画像がぼけていくことを事前に伝えているため、ぼけに対して敏感な状態で実験を行っている。そのため、得られたデータは何もタスクを与えてい

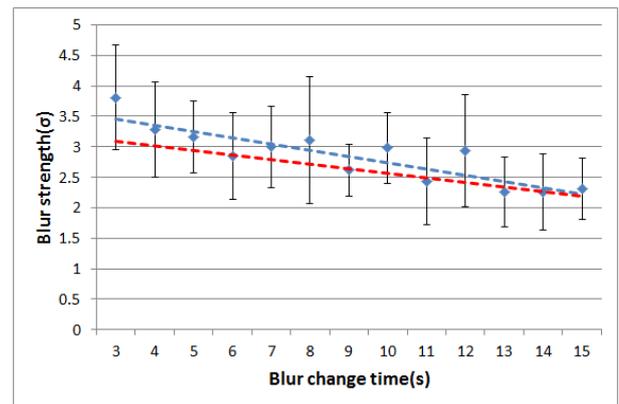


図 10 各ぼけ変化時間で被験者がマウスクリックしたときのぼけの強さ

Fig. 10 Results of the experiment 2.

ないときと比べ、ぼけに気づくときのぼけの強さが低くなっていると考えられる。

図 10 の点から、ぼけ変化時間が 3 秒のときは $\sigma = 3.84$ でぼけに気づき、ぼけ変化時間が 15 秒のときは $\sigma = 2.31$ でぼけに気づくことが分かった。実験結果から得られたすべてのぼけ変化時間のときのぼけの強さにおいて $\sigma > 2$ となったことから、実験 1 の結果から得られた視線誘導可能なぼけの強さ ($\sigma < 2$) よりも大きいことが分かった。

マウスクリックするまでに高解像度領域を見たデータは全試行に対して 5% 以下しか得られなかった。そのため、統計的に有意な結論を出せるデータ量に達しなかったため、視線誘導効果を確認できなかった。その原因として、視線が誘導されるよりも早くぼけの強さの変化に気づいてしまうからだと考えられる。実験 1 の結果から、視線が誘導されるにはぼかされた画像を見せてから 3 秒以上の時間が必要である。したがって、視線が誘導されるぼけの強さになっても視線が誘導される前に、被験者がぼけに気づく強さになってしまうからだと考えられる。他の原因としては、与えたタスクがあげられる。ぼけを見つけマウスをクリックするというタスクを与えたために、ぼけを探すことに集中してしまい、視線が誘導されにくくなっていると考えられる。

高解像度領域があるときとないときのパターンがあったという被験者のコメントと中心視野のほうが周辺視野よりも高解像度であることから、ぼけの変化の知覚は主に中心視野で行っていると考えられる。また、高解像度領域に気づいたときと気づかなかったときがあったのは、高解像度領域を中心視野で知覚できたかどうかによって変わるものだと考えられるからである。

6. 考察

本システムの特性や可能性、課題について考察を行う。2つの実験の結果から動的な解像度制御によって気づかれない視線誘導を行える可能性が示唆される。

実験1の結果から $\sigma < 2$ で視線が誘導されていることが分かった。また、実験2の結果から解像度を変化させたとき、ユーザは解像度を制御したことに気づくのは $\sigma > 2$ であることが分かった。このことから、ユーザに気づかれる解像度よりも視線誘導される解像度のほうが小さいため、解像度変化に気づかれることなく視線を誘導できる可能性が示唆される。しかし、エッジのない領域に視線誘導できない、ほかに強い顕著性があったときは視線誘導がうまくいかない、といったことがあるため、解像度制御を用いるときにはそういったことを考慮する必要がある。

本研究結果から、視線誘導を行うためには3秒以上必要であることが分かった。そのため、街頭広告などといった一瞬だけ見るような広告などには本研究で提案している手法だと効果が小さい。しかし、デジタルサイネージや電車内にある広告といった短時間見るものやwebなどといった長時間見るものには効果があると考えられる。

今後は、動的な解像度制御を行うことでユーザに気づかれることなく視線が誘導されることを確認するために実験を行う。具体的には、解像度を落としていき、視線誘導される解像度になったら変化をやめユーザの視線が誘導されるまで待ち、誘導できたら解像度をあげ原画像へと戻す、という一連の流れがユーザに気づかれずにできるのかを確認する。また、より気づきにくく、効果のある視線誘導の実現を目指す。今回の実験を通して、解像度制御を行ったときの中心視野と周辺視野がどのように貢献しているのか分かったため、これらの役割と特性をふまえてより効率の良い視線誘導について検討する。

次に、本研究の問題点について考察する。本研究では、解像度変化に気づくときの解像度より低い値を使用して視線を誘導していることから、人に気づかれないように刺激を与えているという点でサブリミナル刺激の同様の要素がある。サブリミナル刺激とは、知覚できる閾値よりも小さい刺激を与えることで、人に知覚されずにその人の行動や考えに変化を与えることができる、といったものである。それにより、人に認識できていない情報を刷り込ませるなどといった社会的問題がある [11]。本研究では、つねに表

示されているユーザが認識可能な情報に視線を誘導させており、ユーザの意図しない情報を刷り込ませるわけではない。したがって、サブリミナル刺激のような社会的問題は、本研究の適用では生じないと考えている。

7. まとめ

本研究では気づかれない視線誘導を目的とし、そのために手法として動的な解像度制御を提案した。2つの実験を行い、1つ目の実験では解像度制御によって視線が誘導されるか、誘導されるなら視線誘導されるときの解像度を調べ、2つ目の実験では解像度を動的に変化させたときに変化していることに気づく解像度を調べた。その結果、

- 視線は高解像度領域に誘導される、
- 視線を誘導させる効果は $\sigma < 2$ で得られる、
- 解像度を変化させる時間が3秒のときは $\sigma = 3.84$ で、15秒のときは $\sigma = 2.31$ で解像度が変化にしていること気づく、
- 動的に解像度制御を行ったときに、変化にかかる時間が長くなると小さい変化量で気づくようになる、

といったことが分かった。そして、これらの結果から視線誘導されるときの解像度が解像度変化に気づいてしまうときの解像度よりも低いことが分かり、本研究では気づかれない視線誘導ができる可能性が示唆された。また、どういう場面などで本手法が有用であるかを述べた。今後は、視線方向に基づき解像度制御を動的に変化させるインタラクティブシステムの開発に取り組む予定である。

謝辞 本研究は、科学技術振興事業団「JST」の戦略的基礎研究推進事業「CREST」における研究領域「人間と調和する情報環境を実現する基盤技術の創出」の研究課題「日常生活空間における人の注視の推定と誘導による情報支援基盤の構築」の支援により行った。

参考文献

- [1] Kadaba, N.R., Yang, X.-D. and Irani, P.P.: Facilitating Multiple Target Tracking using Semantic Depth of Field (SDOF), *CHI EA '09*, pp.4375–4380 (2009).
- [2] McCay-Peet, L., Lalmas, M. and Navalpakkam, V.: On Saliency, Affect and Focused Attention, *CHI '12*, pp.541–550 (2012).
- [3] Itti, L., Koch, C. and Niebur, E.: Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp.1254–1259 (1998).
- [4] Hagiwara, A., Sugimoto, A. and Kawamoto, K.: Saliency-Based Image Editing for Guiding Visual Attention, *PETMEI '11*, pp.43–48 (2011).
- [5] Bailey, R., McNakara, A., Sudarsanam, N. and Grimm, C.: Subtle Gaze Direction, *ACM Trans. Graphics (TOG)*, Vol.28, Issue 4 (Aug. 2009).
- [6] Veas, E., Mendez, E., Feiner, S. and Schmalstieg, D.: Directing Attention and Influencing Memory with Visual Saliency Modulation, *CHI '11*, pp.1471–1480 (2011).
- [7] Kadaba, N.R., Yang, X.-D. and Irani, P.P.: Facilitating

- Multiple Target Tracking using Semantic Depth of Field (SDOF), *CHI EA '09*, pp.4375-4380 (2009).
- [8] flickr 入手先 (<https://www.flickr.com/>), (2013/9/21 アクセス).
- [9] 山崎昌廣, 坂本和義, 関 邦博 (編): 反応時間, 人間の許容限界事典, pp.445-448, 朝倉書店.
- [10] Henderson, J.M., McClure, K.K., Pierce, S. and Schrock, G.: Object identification without foveal vision: Evidence from an artificial scotoma paradigm, *Perception & Psychophysics*, Vol.59, No.3, pp.323-146 (1997).
- [11] Karremans, J.C., Stroebe, W. and Claus, J.: Beyond Vicary's fantasies: The impact of subliminal priming and brand choice, *Journal of Experimental Social Psychology*, pp.792-798 (2006).



畑元

1989年生。2012年電気通信大学電気通信学部知能機械工学科卒業。2015年電気通信大学大学院情報システム学研究科情報メディアシステム専攻に入学。HCIの研究に従事。



小池 英樹 (正会員)

1991年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。電気通信大学助手, 助教授, 教授を経て, 2014年より東京工業大学教授。この間, UC Berkeley 客員研究員, Sydney 大学客員研究員。2002~2005年内閣事務官併任。HCIの研究に従事。特にコンピュータビジョンを利用した対話型システム, 大規模データの視覚化等に興味を持つ。1991年JSSST高橋奨励賞, 2001年IEEE-VR Honorable Mention, 2008年VR学会論文賞, 2013年Laval Virtual Grad Prix Award等。ACM, IEEE/CS, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。



佐藤 洋一 (正会員)

1990年東京大学工学部機械工学科卒業。1997年カーネギーメロン大学大学院計算機科学部ロボティクス学科博士課程了。Ph.D. in Robotics。東京大学生産技術研究所研究機関研究員, 講師, 助教授, 同大学大学院情報学環准教授を経て, 2010年より同大学生産技術研究所教授。コンピュータビジョンに関する研究に従事。2010年度日本学術振興会賞, 2009年, 2008年および2006年電子情報通信学会論文賞, 2010年情報処理学会50周年記念論文賞, 1999年情報処理学会山下記念研究賞, 1999年日本VR学会論文賞, ICPR2008 Best Industry Related Award等を受賞。