

平成 30 年 4 月 27 日現在

機関番号：25301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00282

研究課題名(和文) 視覚的顕著性に基づく投影型複合現実感技術による注視誘導インタフェースの実現

研究課題名(英文) Guiding Visual Attention Based on Visual Saliency Map with Projector-Camera System

研究代表者

滝本 裕則 (Hironori, Takimoto)

岡山県立大学・情報工学部・助教

研究者番号：10413874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：これまでに、人の注視を自然にさりげなく誘導する技術の実現を目指して、視覚的注意に基づく注視誘導のための映像・画像加工法が提案されている。しかし、既存技術はディスプレイへの表示を想定した技術であり、実空間でのHCIやHRIへの応用は困難であった。本申請課題では、人の日常的な活動を支援する情報提示空間の実現を目指し、自然かつ効果的に人の注視を誘導するため、プロジェクタとカメラから構成される投影型複合現実感技術による注視誘導の確立を行った。

研究成果の概要(英文)：It is commonly believed that human activity can be effectively facilitated by drawing viewer's attention to particular objects. One of the traditional approaches for guiding viewer's gaze is to present simple visual stimuli such as arrows or bounding-boxes. However, from the viewer's standpoint, this approach is coercive rather than persuasive. Therefore, several attention retargeting methods based on the visual saliency model of bottom-up attention to guide human's attention have been proposed. However, previous attention retargeting methods focus only on modulating an image or a movie presented to a display. In our research, we proposed the use of a projector-camera system to realize attention retargeting in real space. The proposed method calculates an ideal appearance based on the visual saliency map. Then, the optimum projection pattern is calculated from ideal appearance by a dynamic projector-camera feedback system.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：注視誘導 視覚的顕著性 画像処理 プロジェクタカメラ系

### 1. 研究開始当初の背景

近年、情報通信技術の発展と普及に伴い、視覚から得られる情報量が増加してきており、必要な情報を効率よく取得するための手段として注視誘導技術が注目されている。この技術は画像や映像に対して適切な加工を施す事により、周囲の情報を大きく損なうことなく対象へスムーズに視線の流れを誘導するものである。注視誘導技術を用いることでユーザは必要な情報にアクセスしやすくなるため、インタフェースのユーザビリティ向上が期待される。

メディア等で用いられている注視を誘導する古典的な方法として、周辺視野内に矢印や bounding-box などの視覚刺激を提示して注視を誘導するものが挙げられる。しかし、このような方法は誘導刺激に対して作為性を感じ悪い印象を持つことや、強制的でありユーザの現在の注視行動を阻害するなどの問題があり、また、提示した刺激を認識・解釈する時間が必要である。このようなユーザに対する負担を軽減するために、より自然に注視を誘導する技術が望まれている。

ところで、人は周辺視野内の情報により次に注視すべき対象を検出し、中心視によりその詳細を確認している。このとき、ユーザの興味やタスクといった要因を考慮しなければ、視野内で最も視覚的顕著性が高い領域が優先的に注視されると考えられている。また、視覚刺激が提示された直後の早い段階においては、注視対象の視覚的特徴により誘導されるボトムアップ型の注意が優位に働くとされている。そのため、注視を誘導することを目的とし、ボトムアップ型注意に影響する静的な視覚的特徴を強調、あるいは抑制する手法が数多く提案されている。ここで視覚的顕著性とは、人の注視の引きつけやすさを示す指標であり、それを空間的に定量化したものは視覚的顕著性マップと呼ばれている。しかし、いずれの手法も計算機上の画像・映像に対する加工であり、ディスプレイ等に表示することを想定しているため、実空間に存在する対象に対して注視を誘導することは困難である。

### 2. 研究の目的

実空間に対して注視誘導を実現するための手段の一つとして、近年注目されているプロジェクションマッピングに代表される投影型複合現実感技術が挙げられる。これはプロジェクタを用いて対象に光の投影を行うことで対象の見かけを変化させ、さまざまな視覚的効果を与える技術である。この技術の応用としてプロジェクタカメラ系があり、これはプロジェクタで投影した領域をカメラで撮影し、取得した画像と投影像の対応を求めることにより動的な幾何学補正および光学補正を行う。これにより、実空間での対象の輝度と色相を実環境に応じて動的に変更することが可能となる。

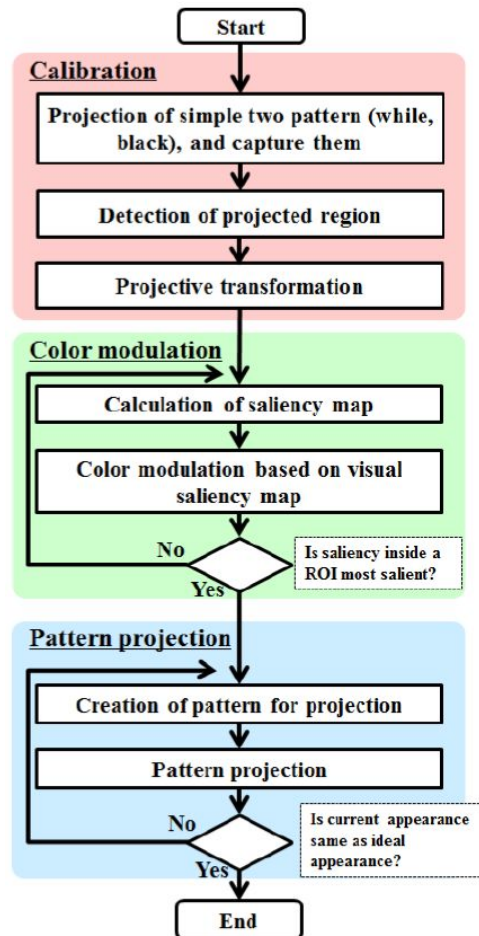


図1 提案手法のフローチャート

本研究では実空間に対する注視誘導の実現を目指して、プロジェクタカメラ系を用いた注視誘導のための補正光（以下、投影パターン）の投影法を提案する。投影パターンの算出には、任意の領域へ違和感を与えることなくユーザの注視を誘導するため、滝本らによって提案された  $L^*a^*b^*$  表色系に基づく視覚的顕著性マップを利用する<sup>(1)</sup>。

まず、実空間の見えをカメラで撮影し、カメラより取得した画像に対して、指定した領域（以下、ROI）の視覚的顕著性が最も高くなるように各画素値を調整する。ここでは、視覚的顕著性に基づいて画素値を調整し、理想的な実空間の見えを求める処理を画像再配色と呼ぶ。その後、再配色後の画像に基づいてプロジェクタより投影するパターンを求める。なお、研究の第一歩として、室内環境下での実平面を対象とした注視誘導の実現を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、実平面上の任意の対象及びその周辺領域にプロジェクタから光を投影し、投影領域の輝度と色相を変化させることによって、対象に注視を誘導することを目的としている。提案手法は、プロジェクタカメラ系のキャリブレーション、注視誘導可能な理想的な見えの推定、理想的な見えに基づくパターン投影の大きく3つから構成されてい

る。図 1 に提案手法のフローチャートを示す。まず、プロジェクタカメラ系を利用するために、プロジェクタから投影するパターンと実平面上での座標との対応を求める。続いて、注視誘導が可能である実世界での理想的な見えを求めるために、カメラより取得した画像に対しプロジェクタで変更可能な範囲を考慮しながら画像再配色を行う。最後に、実平面の見えが求めた理想的な見えと同じになるようにパターン投影を行う。

### プロジェクタカメラ系のキャリブレーション

プロジェクタから投影するパターンと実平面上での座標との対応を求める。黒色画素のみからなるパターンと白色画素のみからなるパターンをそれぞれプロジェクタから投影し、カメラを用いて投影領域ができる限り大きく含まれるように取得した画像 $I_B$ と $I_W$ を得る。次に、投影領域推定処理によって求めた投影領域のみを両画像から切り出し、プロジェクタ解像度と同サイズになるように射影変換を行うことで対象画像 $T_B$ と $T_W$ を得る。

### 注視誘導可能な理想的な見えの推定(画像再配色)

注視誘導のための画像再配色について述べる。視覚的顕著性マップにおいて、顕著度が高い領域は注目を引き付けやすい。よって、実環境の任意の対象領域 ROI に注視を誘導するため、視覚的顕著性に基づく画像再配色法を用いて対象領域 ROI とその周囲の理想的な見え $T_M$ を求める。なお、ROI 内の自然性を保持しつつ注視を誘導可能である理想的な実平面の見えを求めるために、滝本らによって提案された  $L^*a^*b^*$  表色系に基づく Bottom-up 型の視覚的顕著性モデルを用いる。

画像再配色アルゴリズムを以下に示す。なお、画素 $(i, j)$ における更新前の画素値を $R_{ij}$ 、 $G_{ij}$ 、 $B_{ij}$ 、 $t$  回更新後の画素値を $R_{ij}^t$ 、 $G_{ij}^t$ 、 $B_{ij}^t$ 、RGB 表色系から  $L^*a^*b^*$  表色系に変換した  $t$  回更新後の画素値を $L_{ij}^t$ 、 $a_{ij}^t$ 、 $b_{ij}^t$ 、顕著性マップ  $SM$  における顕著度を $SM_{ij}$ とする。また、対象画像 $T_B$ の画素ごとの各色成分を $\alpha_{ij}^{0,B}$  ( $\alpha = R, G, B$ )、対象画像 $T_W$ の画素ごとの色成分を $\alpha_{ij}^{0,W}$ とする。

Step 1: 対象画像 $T_B$ を再配色の初期値とし、各画素を RGB 表色系 $\alpha_{ij}^t$ から  $L^*a^*b^*$  表色系 $k_{ij}^t$  ( $k=L^*, a^*, b^*$ )に変換する。

Step 2: 各画素について、強度係数 $w_{ij}$ と色成分に対する基本修正量 $V_{k,ij}$ を求める。

Step 3: 以下の式に基づいて、1 回仮更新した画素値 $k_{ij}^M$ を求める。

$$k_{ij}^M = k_{ij}^t + w_{ij} V_{k,ij} \quad (1)$$

Step 4: 仮更新後の各画素を RGB 表色系に変換し、以下の式に基づいて 1 回更新後の

画素値 $\alpha_{ij}^{t+1}$ を求める。

$$\alpha_{ij}^{t+1} = \begin{cases} \alpha_{ij}^{0,B} & \alpha_{ij}^M < \alpha_{ij}^{0,B} \\ \alpha_{ij}^M & \alpha_{ij}^{0,B} < \alpha_{ij}^M < \alpha_{ij}^{0,W} \\ \alpha_{ij}^{0,W} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Step 5: 更新後の画素値 $\alpha_{ij}^{t+1}$ からなる再配色画像について、対象領域 ROI 内での顕著度の平均値を $SM_{ave,in}$ 、領域 ROI 外での顕著度の最大値を $SM_{max,out}$ とし、以下の条件を満たした場合、再配色画像を最終的な出力 $T^M$ として処理を終了する。そうでなければ Step 1 に戻る。

$$SM_{ave,in} > SM_{max,out} \quad (3)$$

基本修正量 $V_{k,ij}$ は各画素値を正負どちらの方向にどれだけ変化させるかを決定するものである。また、強度係数 $w_{ij}$ は各画素の基本修正量にかかる重みであり、それぞれ顕著度 $SM$ に基づいて決定される。なお、プロジェクタによる輝度・色相の変更可能な範囲は限られるため、Step 4 にて再配色後の画像 $T_M$ の各画素値に上限 $T_W$ と下限 $T_B$ を設けている。以上の Step 5 までを提案手法 1 とし、得られる再配色画像を $T^{M1}$ とする。

一方、Step 5 において再配色の更新終了条件である式(3)を満たした際、得られる結果 $T^{M1}$ に対してさらに以下を適用する場合を提案手法 2 とする。

$$T_{ij}^{M2} = \begin{cases} \alpha_{ij}^{0,W} & (i, j) \in \text{ROI} \\ T_{ij}^{M1} & \text{otherwise} \end{cases}$$

### 理想的な見えに基づくパターン投影

本来の実平面の見え $T_B$ が理想的な見えである $T^M$ と同じになるように、プロジェクタより投影するパターンを求める。しかし、カメラやプロジェクタはガンマ特性と呼ばれる非線形な入出力特性を持っているため、単に $T^M$ と $T_B$ の差分をそのままパターンとして投影するだけでは目標とする理想的な見えを実現することは困難な場合が多い。そこで、環境に応じた投影パターンを繰り返し計算により求める手法を提案した。

## 4. 研究成果

提案手法の有効性を検証するために評価実験を行った。EPSON 社製 プロジェクタ EMP-54 とロジクール社製 B910 HD Webcam を用いてプロジェクタカメラ系を実装した。投影対象は図 2(a)に示すように、灰色の布を貼り付けた板上に配置した A2 サイズの写真 1 枚とした。視誘導対象領域 ROI として、図 2(a)中で比較的顕著度の低い領域である中央のリングを指定した。なお、既存のアプローチとして ROI に対してのみスポットライト(白色光)を投影した場合との比較を行った。

本研究では、視覚的顕著度を用いることで



注視誘導効果についての評価を行う。図 2(c) ~ (h)に各手法の各投影結果と顕著性マップを

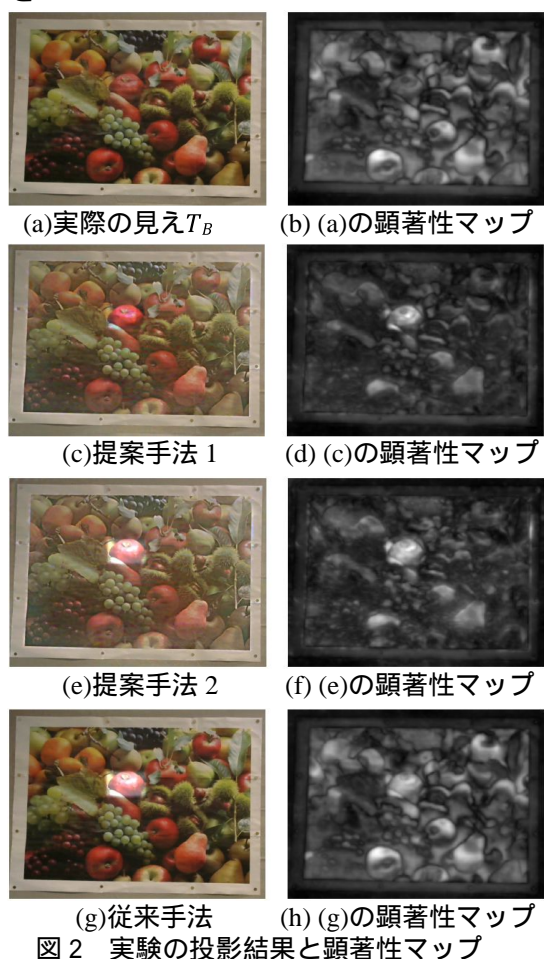


表 1 実験結果に対する顕著度の詳細

	Inside ROI			Outside ROI			Difference of Max.
	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	
Orig. app. $T_B$	0.078	0.477	0.297	0.000	1.000	0.253	-0.523
Our method $T_{cap}^{prob1}$	0.096	<b>1.000</b>	0.490	<b>0.000</b>	<b>0.650</b>	<b>0.172</b>	<b>0.350</b>
Our method $T_{cap}^{prob2}$	<b>0.181</b>	<b>1.000</b>	<b>0.579</b>	<b>0.000</b>	0.790	0.188	0.210
Spot light $T^{spot}$	0.149	0.847	0.519	<b>0.000</b>	1.000	0.237	-0.153

示す。顕著性マップでは白っぽい領域ほどより顕著である、いいかえれば、注意を引きつけやすいことを意味している。また、実験結果について、注視誘導対象領域 ROI の内外における顕著度の最大と最小、平均をそれぞれ表 1 に示す。結果より、提案手法 1 による投影が ROI の内の顕著度を最も向上させている。ここで、ROI 内外の顕著度の差が効果的な注視誘導には重要である。ROI 内外の顕著度の平均の差を確認すると、提案手法 1 による投影が最も効果的であった。

我々は、異なる ROI に対する評価実験、異なる対象（写真）に対する評価実験、環境光（室内照明）の変化に対する提案手法の頑健性についても評価を行った。結果として、提案手法は従来手法よりもより効果的に注視を誘導可能であることを確認した。

## 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 2 件)

1. H. Takimoto, S. Hitomi, H. Yamauchi, M. Kishihara, and K. Okubo: "Image Modification Based on Spatial Frequency Components for Visual Attention Retargeting", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E100-D, No. 6, pp.1339-1349 (2017)  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E100.D/6/E100.D\\_2016EDP7413/\\_article-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E100.D/6/E100.D_2016EDP7413/_article-char/ja)
2. 滝本 裕則, 山内 仁, 満倉 靖恵, 金川 明弘: "注視誘導のための視覚的顕著性を利用した動画再配色", 電気学会論文誌 C, Vol. 137-C, No. 1, pp.144-151 (2017)  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejc/137/1/137\\_144/\\_article-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejc/137/1/137_144/_article-char/ja/)

〔学会発表〕(計 10 件)

1. 山本 克海, 大森 史耶, 滝本 裕則, 金川 明弘: "プロジェクトカメラ系と視覚的顕著性を利用した実空間に対する注視誘導", ViEW2017 ビジョン技術の実利用ワークショップ 講演論文集, IS2-D2, (2017.12)
2. 山本 克海, 滝本 裕則, 金川 明弘: "視覚的顕著性を利用した実空間に対する注視誘導技術", 平成 29 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集, MC5-3, pp. 1144-1149, (2017.9)
3. H. Takimoto, K. Yamamoto, A. Kanagawa, M. Kishihara, and K. Okubo: "Guiding Visual Attention Based on Visual Saliency Map with Projector-Camera System", Proc. of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2017), Posters 2017, Part I, CCIS 713, pp. 383-390, (2017.7)
4. K. Yamamoto, H. Takimoto, and A. Kanagawa: "Attention retargeting in real space with projector camera system", Proc. of 13th International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV2017), 10338\_41 (2017.5)
5. 滝本 裕則, 山本 克海, 金川 明弘, 岸原 充佳, 大久保 賢祐: "視覚的顕著性とプロジェクトカメラ系を用いた実空間に対する注視誘導に関する研究", 知覚情報/次世代産業システム合同研究会, PI-17-038, (2017.3)
6. 山本 克海, 滝本 裕則, 金川 明弘: "投影型複合現実感技術を用いた実空間に対する注視誘導", 第 18 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 378-382, (2016.11)
7. 人見 修平, 滝本 裕則, 山内 仁, 岸原 充佳, 大久保 賢祐: "注視誘導のための空

- 間周波数成分に基づく画像加工", 電気学会 知覚情報 次世代産業システム 合同研究会, PI-16-024, IIS-16-067, (2016.3)
8. 滝本 裕則, 山本 克海, 山内 仁, 金川 明弘, 満倉 靖恵: ``注視誘導のための視覚的顕著性を利用した映像加工", 動的画像処理実利用化ワークショップ 2016 (DIA2016) 講演論文集, No.IS1-C1, (2016.3)
  9. 人見 修平, 滝本 裕則, 岸原 充佳, 大久保 賢祐: ``周波数成分に基づく視覚的顕著性を用いた視線誘導技術", ViEW2015 ビジョン技術の実利用ワークショップ 講演論文集, IS1-25, (2015.12)
  10. 滝本 裕則, 山田 華穂, 山内 仁, 上田 篤嗣, 金川 明弘: ``注視誘導技術に基づく誘目性を考慮したセールス・プロモーションツールのデザイン支援システム", SSII2015 第 21 回画像センシングシンポジウム講演論文集, IS1-35, (2015.6)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

滝本 裕則 (TAKIMOTO HIRONORI)  
岡山県立大学・情報工学部・助教  
研究者番号: 10413874

### (2) 研究分担者

満倉 靖恵 (MITSUKURA YASUE)  
慶應義塾大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 60314845