

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730119

研究課題名(和文) 視覚環境ダイナミクスとのイベント共起構造分析に基づく注視行動のクセ・コツの抽出

研究課題名(英文) Analyzing Event Co-occurrence Structures of Eye Movements and Visual Environment Dynamics to Extract Habits and Art of Gazing

研究代表者

平山 高嗣 (Hirayama, Takatsugu)

名古屋大学・情報学研究科・特任准教授

研究者番号：10423021

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：人間が事物をどのように見て理解するかという高次認知に関わる注視行動のクセやコツを計算機が認識できれば、その知識を応用したGaze Based Human Computer Interactionがユーザに自己や他者の潜在的な高次視覚能力への気づきを与え、人間を新しい視覚世界へと導くことを期待できる。そのためにはまず、人間の認知状態と注視行動との間の複雑な関係を解きほぐす必要があり、その鍵が視覚環境ダイナミクスであると考えている。本研究では、視覚環境ダイナミクスと視線運動間のイベント共起構造を指導の熟練者と未熟者との間で比較することで、熟練者に特有な注視行動を抽出する手法を提案し、評価した。

研究成果の概要(英文)：If computers can recognize habits and art of gazing that expose high-level visual cognition, we will anticipate that they give the users awareness of latent high-level visual function and show people into a new visual world through Gaze Based Human Computer Interaction based on the findings. We first need to unravel the complicated relationships between human cognition and gaze behaviors. The key is to focus on visual environment dynamics. In this work, we proposed and evaluated a data mining method that extracts skilled gaze behaviors by a comprehensive comparison of experts and novices in terms of event co-occurrence structures of eye movements and visual environment dynamics. We also proposed a classification method of human internal state, which analyzes relationships between them and applied the proposed method to classify different skill level groups.

研究分野：情報学

キーワード：注視行動 視覚的注意 認知状態 技能 熟達 データマイニング

1. 研究開始当初の背景

映像撮影機器の高性能化、低廉化、小型化、映像アーカイブ技術の高効率化および映像視聴メディアの普及により、ある一つの対象、事象を超高精細に撮影した映像や複数の視点から撮影した映像が日常的に蓄積され、それらに簡単にアクセスできる情報環境が整いつつある。しかしながら、映像コンテンツだけが極めて充実した情報環境が構築されても、我々人間は映像に対して局所的にしか注意資源を割り当てることができないため、時間的制約によってその全てに目を通すことも、あらゆる視点から目を向けることもできるわけではない。観察者は膨大なデータに圧倒され、反って心的負担を増大する可能性がある。この情報環境が持つ潜在的資源を余すことなく活かすためには、映像技術だけが進化するのではなく、観察スキルの向上を支援したり、不足を補い、自己の観察能力への気づきと新しい視覚体験を与えるような、人間の能力を真に拡張する情報環境を設計する必要がある。そのためには、まず、暗黙的な観察スキルとして、注視行動のクセとコツを定量表現することが重要になる。

観察スキルに関わる注視行動を分析する従来研究は主に、静的な被写対象や特定のダイナミクスを持つ単純な動的事象を観察する状況を扱い、少数の分析サンプルに対して仮説検証を行うアドホックなトップダウンアプローチが採用されてきた。視線計測技術が発展した現在、高精度の視線運動データを大量に蓄積することが可能であり、一方で、複雑な視覚環境のダイナミクスを、進展が著しいパターン認識手法を応用することで離散事象（イベント）系列として記述することができる。そのため、映像などの視覚環境のダイナミクスと視線運動との関係に基づいて、大量の分析サンプルからデータ駆動的なアプローチによって、網羅的に注視行動のクセとコツを抽出することができると考えられる。

2. 研究の目的

目は多くの情報を入力し、かつ内部状態を出力するインタフェースであるため、視覚情報をメディアとするヒューマンマシンインタラクションを設計する上で、視線は重要な要素とされている。人間が目を閉じ続けられない限り、システムは時間的に連続するデータとして視線を計測でき、人間はその中に無意識的に内部状態の情報を漏らしてしまう。しかしながら、人間の内部状態は多様な認知要因を基底とする一方で、視線運動は低次元情報であるため、それらの写像関係を取り出すことは難しい。その関係を解きほぐす鍵はコンテキストであり、外環境と視線それぞれのダイナミクスの関係が注目されている。

研究代表者は、外環境からの視覚的な働きかけに対する人間の反応に基づいて内部状態を推定する Mind Probing を提案しており、

視覚環境に溢れる視覚刺激のこういったダイナミクスが人間の内部状態を注視行動に引き出すかという観点で、視覚環境ダイナミクスと視線運動と内部状態の三者関係を体系化することを目指している[1]。本研究では、視覚環境ダイナミクスと視線運動との間のイベント共起構造を記述し、注視行動のクセを個人内の共通構造、コツを個人間の差異構造として捉え、それらを抽出するデータマイニングアルゴリズムを設計し、評価する。

3. 研究の方法

本研究では、①視覚環境ダイナミクスと視線運動間のイベント共起構造を記述する計算モデルの設計、②データセントリックアプローチによる注視行動のクセとコツの抽出、③大規模な被験者実験を通じた評価を計画した。研究開始当初は、これらに加えて、クセとコツの生成シミュレーションの実現を目指したが、本研究の主眼が注視行動のクセとコツの抽出であるため、多様な視覚環境に対して複数の抽出アルゴリズムを提案し、それらを分析、評価することを重要視した。そこで、下記の3つの方針で研究を推進した。

- (1) 視線運動パターンに基づく動作分類
- (2) 視覚環境ダイナミクスと視線運動の関係性分析に基づく内部状態識別
- (3) 視覚環境ダイナミクスと視線運動間のイベント共起構造分析に基づく注視行動のクセ・コツの抽出

4. 研究成果

(1) 視線運動パターンに基づく動作分類
視覚環境ダイナミクスと視線運動との間のイベント共起構造分析に基づいて、注視行動のクセとコツを抽出するために、視線運動が人間の内部状態を説明するための要素としてパターン分類されることができ、その上で視覚環境ダイナミクスとの三者関係を分析する必要があると考える。そこで、まず、内部状態のクラス分類より問題設定として容易である人物動作のクラス分類を扱い、それに貢献する視線運動パターンを抽出する手法を提案した。

視線情報を用いた動作分類に関する従来研究では、視線遷移のパターンの基本的な統計量を利用して数種類のデスクワークが識別された。提案手法では、視線の遷移だけではなく、集中状態を反映すると考えられる視線の停留と瞬きを含めて視線運動パターンを表現し、視線運動パターンの頻度分布に機械学習を適用した。そして、評価実験として、料理の調理動作の識別を一例として扱い、識別に対する寄与度が高い視線運動パターンを抽出した。定性的な分析ではあるが、抽出された視線運動パターンは調理動作の性質を表すものとして妥当であった。なお、調理動作識別の精度は従来手法より 25%程度の向上を得た。

(2) 視覚環境ダイナミクスと視線運動の関係性分析に基づく内部状態識別

視線運動が反映する人間の内部状態として、従来から集中度合いが盛んに研究されている。研究代表者は、自動車運転者の注視行動と周辺車状況の関係に基づいて注意散漫状態の検出に取り組んでいる。先行研究では、仮説検証型アプローチを採用し、周辺車が自車を追い抜くイベントの基準時刻に対する注視行動のタイミングが注意散漫の影響を受けるという仮説を立て、注意散漫状態の運転者が追い抜きイベントに対して表す注視行動が運転集中状態の場合より有意に遅れることを実証した。さらには、その時間関係を機械学習することによって、注意散漫状態と集中状態を識別する手法を提案し、従来研究で提案されている前方注視割合 (Percentage Road Center) を応用した識別に比べ、10%程度の精度向上を達成した。

しかしながら、得られた知見には、あらゆる追い抜きイベントに適用することができる汎用性がなく、そもそも追い抜きイベントが頻繁に生じる保証がない。つまり、注意散漫状態を検出することができる時区間に限りがある。また、この分析アプローチをあらゆる運転状況に適用するためには、分析者に多様な周辺車状況を分類させ、そのそれぞれに対して仮説を立て、検証させるという多大な労力を課すことになる。

そこで本研究では、運転状況を機械的かつ網羅的に分析するために発想を転換し、まず、運転者が視線方向を遷移した時区間を検出して、その際の周辺車状況を視線遷移パターンごとに統計解析するデータ駆動型アプローチを提案した。そして、実験により、視線方向の遷移を誘発する周辺車状況を抽出し、その時空間的な位置関係を機械学習することで、上述の先行研究よりさらに20%程度の高精度かつ高効率な注意散漫状態と集中状態の識別を実現した。なお、定性的な分析ではあるが、注意散漫状態の運転者の視線遷移が周辺車状況と同調しなかったことを示唆する妥当な結果が得られた (図1)。これらの結果から、注意散漫状態を検出するために運

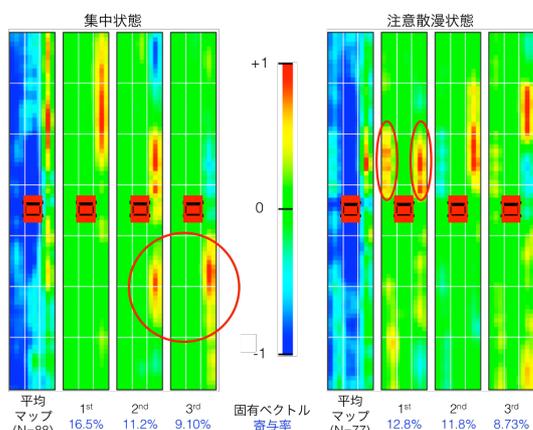


図1 前方から右側のミラーに視線が遷移した際の周辺車状況の分析結果

転者の視線遷移時における周辺車状況の分析が有効であると考えられる。

また、このデータ駆動型アプローチを、運転歴と運転頻度が異なる運転者の識別に応用したところ、注意散漫状態において、前方から右側のミラーに視線を遷移した際の周辺車状況に着目することで70%程度の精度を得た。

(3) 視覚環境ダイナミクスと視線運動間のイベント共起構造分析に基づく注視行動のクセ・コツの抽出

視覚環境ダイナミクスと視線運動間のイベント共起構造を記述し、熟練者と未熟者間での差異構造を注視行動のコツとして捉え、データ駆動的に抽出するアルゴリズムを設計し、評価した。具体的には、サッカーの試合映像を視聴する状況において、映像シーンに対する視線運動パターンの依存性を指導の熟練者と未経験者との間で比較することで、熟練者に特有な注視行動を抽出する手法を提案した。

提案手法はまず、映像と視線運動データそれぞれに短時間のダイナミクスを考慮した階層型クラスタリングを適用することで、映像シーンと視線運動パターンを分類する。次に、注視行動のコツを抽出する尺度として、映像シーンごとに表出された視線運動パターンの表出頻度とその独自性を算出する。未熟者に対する熟練者の注視行動の独自性を測る尺度として、文書検索で各文書の特徴として一般的に用いられる逆文書頻度 (Inverse Document Frequency: IDF) を拡張し、熟練者クラスと未熟者クラスそれぞれで表出される注視行動の IDF のクラス間差分 (Difference between classes in IDF: DBC-IDF) を提案した。映像シーンに対して独自性が高く、表出頻度も高い視線運動パターンを注視行動のコツとみなす。

そして、サッカーの試合映像の視聴実験を行い、指導熟練者と未経験者の視線運動データに提案手法を適用することで、8パターンの注視行動が映像の時間長に対して10%程度の割合で抽出された。これらの中には、視聴後のインタビューにおいて回答された熟

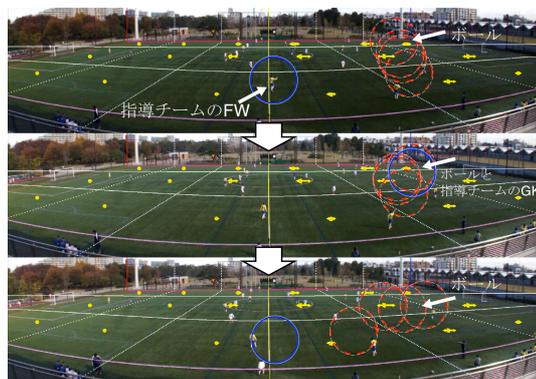


図2 抽出された注視行動のコツ (青円: 指導熟練者, 赤円: 未経験者)

練者が自覚しているコツに合致する注視行動が含まれた (図 2).

注視行動のクセについては, 研究開始当初は, 視覚環境ダイナミクスと視線運動間のイベント共起構造の個人内共通構造として捉えていたが, ある個人と他のとの差異構造として捉えることができると考えている. つまり, 提案手法には注視行動のコツもクセも抽出する汎用性があり, 提案手法を適用するデータ集合に含める人物の属性の組み合わせが重要であることになる.

人間が事物をどのように見て理解するかという高次認知に関わる注視行動のクセやコツを計算機が認識できれば, その知識を応用した Gaze Based Human Computer Interaction がユーザに自己や他者の潜在的な高次視覚能力への気づきを与え, 人間を新しい視覚世界へと導くことを期待できる. そのためにはまず, 人間の認知状態と注視行動との間の複雑な関係を解きほぐす必要があり, 本研究で得られた知見から, その鍵が視覚環境ダイナミクスであることを示した.

[1] 平山高嗣, “人間の内部状態を顕在化する視覚的インタラクション,” 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, 2013-CVIM-188 (27), pp.1-8, 2013

5. 主な発表論文等 (研究代表者には下線) [雑誌論文] (計 3 件)

- ① 井上裕哉, 平山高嗣, 道満恵介, 川西康友, 井手一郎, 出口大輔, 村瀬 洋, “視線遷移と瞬きの時系列パターンに基づく調理動作識別手法,” 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J100-A, No.1, pp.12-23, 2017 (査読有)
- ② Takatsugu Hirayama, Kenji Mase, Chiyomi Miyajima, Kazuya Takeda, “Classification of Driver’s Neutral and Cognitive Distraction States Based on Peripheral Vehicle Behavior in Driver’s Gaze Transition,” IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, Volume 1, Issue 2, pp.148-157, 2016, DOI: 10.1109/TIV.2016.2599786 (査読有)
- ③ Takatsugu Hirayama, Toshiya Ohira, Kenji Mase, “Top-down Visual Attention Estimation Using Spatially Localized Activation Based on Linear Separability of Visual Features,” IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E98-D, No.12, pp.2308-2316, 2015 (査読有)

[学会発表] (計 15 件)

- ① Atsushi Iwatsuki, Takatsugu Hirayama, Junya Morita, Kenji Mase, “Skilled Gaze Behavior Extraction Based on Dependency Analysis of Gaze

Patterns on Video Scenes,” The 9th Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications, Mar. 16, 2016, Charleston, SC, USA

- ② Hiroya Inoue, Takatsugu Hirayama, Keisuke Doman, Yasutomo Kawanishi, Daisuke Deguchi, Ichiro Ide, Hiroshi Murase, “A Classification Method of Cooking Operations Based on Eye Movement Patterns,” The 9th Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications, Mar. 15, 2016, Charleston, SC, USA
- ③ Takuya Inoue, Tomokazu Takahashi, Takatsugu Hirayama, Yasutomo Kawanishi, Daisuke Deguchi, Ichiro Ide, Hiroshi Murase, Takayuki Kurozumi, Kunio Kashino, “Image Transformation of Eye Areas for Synthesizing Eye-contacts in Video Conferencing,” The 11th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, Feb. 29, 2016, Rome, Italy.
- ④ 岩月 厚, 平山高嗣, 森田純哉, 間瀬健二, “映像シーンに対する視線パターンの依存性の観察者間比較に基づく熟練者特有の注視行動の抽出 ~サッカー試合におけるコーチングを例として~, ”電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 2015年3月19日, 慶應義塾大学矢上キャンパス
- ⑤ 平山高嗣, “人の内部状態を顕在化する視覚的インタラクションのデザインとマイニング,” 第 10 回犬山比較社会認知シンポジウム, 2015年3月1日, 京都大学霊長類研究所
- ⑥ Takatsugu Hirayama, Shota Sato, Kenji Mase, Chiyomi Miyajima, Kazuya Takeda, “Analysis of Peripheral Vehicular Behavior in Driver’s Gaze Transition: Differences between Driver’s Neutral and Cognitive Distraction States,” The 17th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Oct. 9, 2014, Qingdao, China
- ⑦ 岩月 厚, 平山高嗣, 森田純哉, 間瀬健二, “サッカー指導者における熟練者と未熟者の注視行動の違い,” 日本認知科学会第 31 回大会, 2014年9月19日, 名古屋大学東山キャンパス
- ⑧ 平山高嗣, “目は口ほどにものを言うか? -自動車運転者の内部状態と視行動-, ” 第 19 回日本バーチャリアリティ学会大会, 2014年9月17日, 名古屋大学東山キャンパス
- ⑨ Takatsugu Hirayama, “Driver Gaze Behavior Analysis Focused on Relationships with Driving Contexts,”

The 10th Asia-Pacific Conference on
Vision, July 19, 2014, Kagawa
International Conference Center

[図書] (計1件)

- ① 平山高嗣, 間瀬健二, 宮島千代美, 武田一哉, “周辺車状況変化に対する運転者の視行動に基づく注意散漫状態と集中状態の識別,” ドライバ状態の検出, 推定技術と自動運転, 運転支援システムへの応用, 第4章, 第8節, 技術情報協会, 2016

[その他]

ホームページ等

<http://www.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/~hirayamat/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平山 高嗣 (HIRAYAMA, TAKATSUGU)

名古屋大学大学院情報学研究科

特任准教授

研究者番号 : 10423021