

令和 元年 6 月 14 日現在

機関番号：53203

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K12528

研究課題名(和文) サッケード実時間予測と高精度頭部位置・姿勢計測による中心暗点シミュレータの開発

研究課題名(英文) Development of central scotoma simulator with prediction of gaze position and measurement of head position and pose.

研究代表者

塚田 章 (TSUKADA, Akira)

富山高等専門学校・電子情報工学科・教授

研究者番号：40236849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：中心暗点シミュレータの開発を目指し、我々はサッケードの到達視点予測と頭部位置姿勢の高精度計測に挑戦した。その結果、後者は目標を達成したが、前者は高速に視点を検出する装置の精度が悪かった。そこで、我々はヒト視覚系の注視点の挙動に関する研究へと計画を変更した。ヒトは多くの選択肢の中から比較的短時間でターゲットを発見することができる。このような視覚探索の効率性を説明するために、探索画面上で観察される注視点の軌跡がスモールワールドネットワークの特徴をもち、探索時間の短縮に貢献するという仮説をたてた。注視点追跡実験により注視点移動長を測定し、その頻度がべき乗分布を示すことを確かめた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小型軽量の高精度マーカを開発した。本研究における実験で、本マーカは最近注目されているマイクロレンズアレイマーカ以上の精度が期待できること、さらに計測範囲が広いことが特長である。今回は頭部に装着することを試みた。頭部の位置姿勢が正確にわかれば生体工学の種々の実験やポインティングシステムに応用できる。さらに、このマーカはロボット等の正確な位置姿勢計測にも応用可能である。ヒト視覚系における効率的な探索メカニズムが解明できれば、それを工学的に応用することも可能になる。

研究成果の概要(英文)：To develop of the central scotoma simulator, we challenged the gaze position prediction of saccade and the high-precision measurement of the head position and pose. The latter achieved the goal, but the former couldn't it because the precision of gaze position was poor. Then, we changed the plan.

In a visual search task in which a specific target symbol is sought from a number of alternatives, one can find the target symbol efficiently in a relatively short time. In order to understand the mechanism for such an efficient visual search, we proposed a hypothesis that the trajectory comprising the sequential gaze positions within the search area establishes a small-world-network-like structure that contributes to reducing the search time. To confirm this hypothesis, we measured the gaze position dynamics during the visual search task, and showed that the frequency distribution of the distances between successive gaze positions obeys a power law.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：高精度マーカ 視覚探索 スモールワールドネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

中心暗点 (Central Scotoma) は弱視に分類される視覚障害のひとつであり、主に加齢黄斑変性症が原因となって生じる。米国では 2006 年に加齢黄斑変性症が失明の主原因になっており、超高齢社会を迎えた日本においても大きな問題となることが予想される。中心暗点の症状は、視野の中心部がぼける、ゆがむ、黒ずむといったものであり、「見たいところが見えない」「読みたいところが読めない」といった症状が現れる。

弱視者の不都合さを晴眼者が疑似的に体験することを目的に視覚障害シミュレータが開発されている。技術者は疑似体験を通して支援技術を開発できるようになる。しかしながら、中心暗点だけはシミュレータが開発できていない。なぜなら、ヒトはサッケード (急速眼球運動) と注視 (停留) の繰り返しでものを認識しているが、サッケード時間が 20-30 ms 程度と非常に高速なため既存の技術では注視点を実時間で追うことができなかったからである。

代表者は上肢不自由者用インタフェースとして、特殊マーカを用い頭部の向きを計測しマウス操作を行う研究、距離画像カメラを用いた顔認証の研究を通して、頭部位置・姿勢の計測に関する知識を有している。分担者の秋田は、高速度カメラと FPGA を用いてサッケードの到達視点予測の可能性を見いだした。さらに、分担者の前田はこれまでに中心暗点シミュレータの開発を試みたが、上述の問題に直面していた。3 者間での議論を通して 3 者が連携すれば中心暗点シミュレータの実現が可能であるとの着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、(1)ユーザの目を高速度 (500 fps 以上) で撮影し実時間で瞳孔重心を検出できる瞳孔センサを開発し、サッケードの初期挙動 (数 ms) で視線の行き先 (次の注視点) を予測し、(2)頭部の位置・姿勢を高精度で計測することにより、Head-free で視角 0.5 deg 以内で注視点予測を行う中心暗点シミュレータを開発し、(3)シミュレータの定量評価によりその有効性を検証する。

3. 研究の方法

(1) 瞳孔センサについては、高速度カメラと FPGA を用いシンプルな重心計算で画像中から瞳孔を比較的高精度に検出するシステムを構築する。

(2) 頭部の位置・姿勢計測については、これまでに提案している小型高精度マーカを改良する。

4. 研究成果

(1) 瞳孔センサについては、高速カメラと FPGA を用いたカメラシステムを開発した。500fps で撮影した画像に対して、FPGA 上で画素平面の列ごとに処理回路を設ける列並列処理アーキテクチャを用いることで、高速に瞳孔中心座標を計算することが可能になった。実際の動作では、撮像から 2 フレームのレイテンシ (4ms) で重心座標が得られるので、サッケード中の眼球運動を捉えることが可能である。

中心暗点をシミュレートするには視線の移動に応じて表示を高速に更新できるディスプレイが必要となる。そこで、LED を格子状に配列したディスプレイを設計・制作した。通信速度やマイコンと FPGA 内部の処理時間等の課題は残るが、中心暗点シミュレータとして暗点部分が遮蔽できる目途が立った。

しかしながら、これらのシステムを用いて視線計測を行った結果、種々の環境条件の影響により、視線推定精度が当初の計画の精度を満たさないことが判明した。

(2) 頭部の位置・姿勢計測については、姿勢推定の精度と正確度がシステムの性能を左右する。当初マイクロレンズアレイを用いたマーカ (ArrayMark) を用いて、マーカを固定した場合

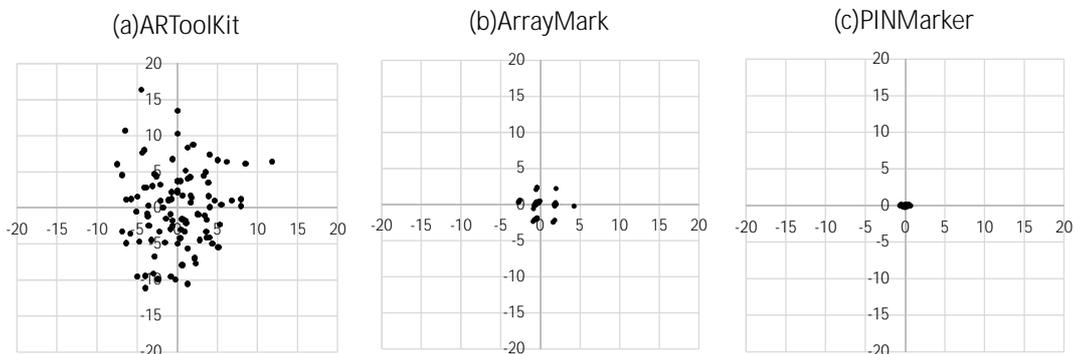


図 1 各種マーカのポインティング精度。図内の単位はすべて mm。(a)最もポピュラーな正方形マーカ ARToolKit, (b)マイクロレンズアレイマーカ, (c)本研究で開発したマーカ。2次元標準偏差は、それぞれ 4.73mm, 1.07mm, 0.21mm。

の姿勢推定精度は標準偏差で 0.1deg 以内に収まることを確認した。その後、新たな発想でより精度が高く、測定範囲を広げたマーカを開発した (PINMarker)。マーカは 3D プリンタにより軽量のプラスチック製で、20mm 角、数 g の小型軽量マーカが実現できた。金属性のプロトタイプと同等の精度が得られた。マーカを固定した場合の推定角度の標準偏差は 0.024deg (500mm 離れてディスプレイをポインティングした場合のターゲットの 2 次元標準偏差が 0.21mm 程度) であり、従来システムに比べかなり高精度である。

本マーカシステムを用いて頭部の位置・姿勢を推定した。ユーザが頭部を固定しているつもりでも頭部は微妙に揺動しており、2 次元標準偏差は 0.123deg に悪化した。頭部の姿勢推定精度としては十分な性能であると考えている。

(3) 以上の結果から、視線推定精度が悪くサックード予測が困難であることから、これまでの知見を活かしヒト視覚系の注視点の挙動に関する研究へと計画を変更した。

ヒトは多くの選択肢の中から比較的短時間でターゲットを発見することができる。このような視覚探索の効率性を説明するために、探索画面上で観察される注視点の軌跡がスモールワールドネットワークの特徴をもち、探索時間の短縮に貢献するという仮説をたてた。注視点追跡実験により注視点移動長を測定し、その頻度がべき乗分布を示すこと(べき指数が約 2.4)と、注視点移動長の時系列が長期記憶性を有すること(ハースト指数が約 0.7)の 2 点を確認した。さらに、注視点の移動長の時系列を数学的にモデル化した。モデルを用いたシミュレーションにより、べき指数が実験値に近づくにつれて探索時間が最短になり、視覚探索時の眼球運動は探索時間を短縮するように最適化される可能性を示唆した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 11 件)

松井 瑞季, 津野 将行, 小寺 龍之介, 小澤 誠, 野村 泰伸, 塚田 章, 前田 義信, 視覚探索時の固視微動とサックードの分類について, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 118, No. 416, pp. 45-48, 2019.

https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201902263956571450&rel=0

小寺 龍之介, 津野 将行, 小澤 誠, 野村 泰伸, 塚田 章, 前田 義信, 視覚探索を最適化する注視点時系列モデルの提案, 生体医工学, 査読有, Vol. 56, No. 5, pp. 190-197, 2018.

<https://doi.org/10.11239/jsmbe.56.190>

前田 義信, 小寺 龍之介, 津野 将行, 小澤 誠, 野村 泰伸, 塚田 章, 視覚探索時の眼球運動のモデリングの試み, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 118, No. 242, CAS2018-40, pp. 19-24, 2018.

<https://www.ieice.org/ken/paper/20181018J163/>

小寺 龍之介, 小澤 誠, 野村 泰伸, 塚田 章, 前田 義信, 視覚探索時における眼球運動の頻度分布の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 118, No. 44, MBE2018-5, pp. 23-26, 2018.

<http://www.ieice.org/ken/paper/20180519J1E8/>

津野 将行, 小寺 龍之介, 棚橋 重仁, 塚田 章, 前田 義信, 文字探索に関する注視点シミュレーションの試み, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 118, No. 44, MBE2018-5, pp. 19-22, 2018.

<https://www.ieice.org/ken/paper/20180519a1E8/>

Ryunosuke KODERA, Shigehito TANAHASHI, Atsuhiko IJIMA, Yoshinobu MAEDA, Measurement of Eye Movement in Visual Search for a Target Symbol and Simulation to Construct a Small-World Network, Advanced Biomedical Engineering, 査読有, 6: 129-133, 2017.

<https://doi.org/10.14326/abe.6.129>

澁谷 和帆, 塚田 章, マウス代用装置における眼球位置座標を用いたクリック手段の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 117, No. 63, MBE2017-5, pp. 23-26, 2017.

<http://www.ieice.org/ken/paper/20170526mbtN/>

西尾 海, 塚田 章, ポインティングシステムに用いる AR マーカの精度向上, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 117, No. 63, MBE2017-4, pp. 19-22, 2017.

<http://www.ieice.org/ken/paper/20170526hbtN/>

小泉 祐真, 塚田 章, 視線検出とわずき検出を用いたハンズフリーマウスの基礎的検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, 115(49), 11-14, 2015.

<http://www.ieice.org/ken/paper/20150523HbA7/>

塚田 章, 西尾 海, 田中 秀幸, マイクロレンズアレイマーカを用いたポインティングシステム, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, 115(49), 7-10, 2015.

<https://www.ieice.org/ken/paper/20150523mbAL/>

川上 隼斗, 笹田 裕太, 五十嵐 寛, 秋田 純一, サッケード追尾可能な視線計測カメラの開発とそれを用いるインタラクションの可能性, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 56, No. 4, pp. 1174-1183, 2015.

https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active_action=repository_view_main_item_detail&page_id=13&block_id=8&item_id=141591&item_no=1

〔学会発表〕(計 16 件)

小寺 龍之介, 津野 将行, 小澤 誠, 野村 泰伸, 塚田 章, 前田 義信, 視覚探索を最適化する注視点時系列モデルの提案, 生体医工学シンポジウム 2018, 1A-42 (名古屋工業大学), ポスターアワード受賞, 2018.9.14.

澁谷 和帆, Cooper Todd, 塚田 章, クリック手段に顎き動作を用いた視線ポインティングシステムの提案, ViEW2017 ビジョン技術の実利用ワークショップ, IS2-B5 (パシフィコ横浜), 2017.12.8

西尾 海, 塚田 章, 高精度マーカを用いたポインティングシステム, ViEW2017 ビジョン技術の実利用ワークショップ, IS1-D1 (パシフィコ横浜), 2017.12.8.

澁谷 和帆, 塚田 章, マウス代用装置のクリック手段における顎き検出法と従来法の比較, 生体医工学シンポジウム 2017, 1A-20 (信州大学), 2017.9.15.

西尾 海, 塚田 章, 高精度 AR マーカを用いたポインティングシステム, 生体医工学シンポジウム 2017, 1A-22 (信州大学), 2017.9.15.

塚田 章, 肢体不自由者のためのマウスポインティング手法 (招待講演), 平成 29 年度電気関係学会北陸支部連合大会, I-4 (富山大学), 2017.9.11

澁谷 和帆, Cooper Todd, 塚田 章, 顎き動作を用いた視線入力システムの提案, 平成 29 年度電気関係学会北陸支部連合大会, B-11 (富山大学), 2017.9.11

西尾 海, 塚田 章, 高精度マーカを用いたポインティングシステム, 平成 29 年度電気関係学会北陸支部連合大会, B-10 (富山大学), 2017.9.11

小寺 龍之介, 井田 彰信, 棚橋 重仁, 飯島 淳彦, 前田 義信, 文字探索時の注視点ダイナミクス分析の試み, 平成 29 年電気学会全国大会, 3-S8-4, pp. S8(5)-S8(8) (富山大学), 2017.3.16

澁谷 和帆, Cooper Todd, 塚田 章, マウス代用装置における眼球位置座標を用いた顎き検出, 平成 28 年度電気関係学会北陸支部連合大会, B-16 (福井工業大学), 2016.9.

澁谷 和帆, 塚田 章, マウス代用装置における眼球位置座標を用いた顎き検出方法の検討, 生体医工学シンポジウム 2016, 2A-1-8 (旭川市大雪クリスタルホール国際会議場). 2016.9.

澁谷 和帆, 竹中 宏兵, 小泉 祐真, 塚田 章, 顎き検出と視線検出を用いたマウス代

用装置の検討，第 55 回日本生体医工学会大会（富山国際会議場），2016.4.

辻野 高皓，秋田 純一，塚田 章，高速カメラと高速応答ディスプレイを用いたサッカー
ード追尾可能な中心暗点シミュレータ，第 55 回日本生体医工学会大会（富山国際会議場），
2016.4.

山村 聡史，秋田 純一，イメージセンサ製造プロセスを用いたサッカーード追尾可能な視
線検出 Vision Chip の設計と基礎評価，STARC フォーラム予稿集，P34（新横浜国際ホテル），
2015.11.27

澁谷 和帆，Cooper Todd，塚田 章，Kinect V2 を用いた顔の Roll 推定，平成 27 年度電
気関係学会北陸支部連合大会，F2-56（金沢工業大学），2015.9.13

小泉 祐真，塚田 章，視線入力システムにおけるうなずきを用いたクリックの検討，平成
27 年度電気関係学会北陸支部連合大会，B-3（金沢工業大学），2015.9.12

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：秋田 純一

ローマ字氏名：AKITA, Junichi

所属研究機関名：金沢大学

部局名：電子通信学系

職名：教授

研究者番号（8桁）：10303265

研究分担者氏名：前田 義信

ローマ字氏名：MAEDA, Yoshinobu

所属研究機関名：新潟大学

部局名：自然科学系

職名：教授

研究者番号（8桁）：90303114