

令和元年6月12日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K12129

研究課題名(和文)ヘッドマウント式輻輳計測装置による眼球運動計測からわかる視覚情報処理

研究課題名(英文)Advanced eye tracking system to measure coordinated movements of eye and head

研究代表者

河野 憲二(Kawano, Kenji)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・客員研究員

研究者番号：40134530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：視線を動かした時に起こる眼と頭の協調運動を計測するための高精度の頭部-眼球運動計測システムを開発した。眼の動きについては、赤外線で眼球を照射し高速ビデオカメラで撮像した瞳孔と角膜上に映る照明の反射像を利用して回転角を計測する。頭部の動きについては、頭に被ったヘルメットの上に装着した2つの赤外線LEDを高速ビデオカメラで撮像し、2点を結ぶ直線の回転角度から求める。双方とも同等のカメラを用い、画像処理を行うことで同時計測が可能になった。マーモセットを対象に新たな校正(キャリブレーション)手法を開発し、訓練のできない動物や幼児、認知症の高齢者等からも精度の高い眼球運動の計測が可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した高精度の頭部-眼球運動計測システムを用いることで、実世界環境の中での視覚情報処理の理解が進むと考えられる。また、訓練のできない動物や実験者の指示/説明を理解できない幼児、認知症の高齢者等からも精度の高い眼球運動の計測が可能で、眼球運動計測システムは幅広い分野のユーザーのニーズに応え、行動解析の分野に貢献すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We advanced our eye tracking system and developed an eye-and-head tracking system that has adopted a wide-field, hi-resolution, hi-frame-rate USB-3.0 digital camera. The infrared light illuminates both eyes, and the black image of the pupil and corneal reflection of each eye are captured by the camera. The centers of the pupil and the corneal reflection are calculated and tracked over time. To measure the head movement simultaneously, we attached two LEDs on the top of the helmet and adopted the same video-capture system as for measuring eye movements. We developed a passive calibration method which can be used on marmosets. A visual image, which attracts the animal's attention, is displayed and moved, leading the animal to track it. The comparison between the estimated gaze vectors relative to the camera and the corresponding visual angles of the visual image relative to the eye leads to a function that transforms the gaze vector in camera coordinates to the precise eye position.

研究分野：神経科学

キーワード：眼球運動

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

1. 研究開始当初の背景

脳における視覚情報処理の理解は、麻酔下の動物や注視タスクを訓練した無麻酔の動物など眼や体が動かない実験条件下での研究により急速に進んできている。しかし、実世界環境下での視覚情報処理を考えると、眼や体（特に頭）の動きを無視することはできない。私たちを取り巻く環境には豊富な視覚対象物があり、私たちは興味を惹かれた対象物に絶えず視線を移し、その対象物を観察し、知覚している。この視線の急速な移動は主にサッケード運動と呼ばれる、網膜周辺部に比較して高い感受性を持つ中心窩で対象物を見るために起こる眼球運動と頭部運動の協調した動きとして行われている。しかしながらこれまでの研究では視線の移動と視覚情報処理の関係について、主にサッケード運動との関連から研究が進められてきていて、眼球運動と頭部運動の協調した動きが視覚情報処理に果たす役割を調べる研究はあまり進んでいない。その要因として眼と頭の協調運動を計測する正確で扱いやすく、安価な装置が普及していないという状況がある。そこで、われわれのグループがこれまでに開発してきた高精度の両眼眼球運動計測装置をヘッドマウント式に発展させ、自由に視線を動かして興味を惹かれた物体を見た時の眼と頭の動きを計測する装置を開発し、この装置を用いることで実世界環境下での視覚情報処理についての新たな知見を得ることに貢献できると考えられる。

2. 研究の目的

われわれのグループでは、実世界環境下での視覚情報処理の理解を進めるため、新しい眼球運動計測システムの開発に取り組んできた。その結果、輻輳眼球運動とサッケード運動の間に相互の干渉作用があることが明らかになった。しかしながら、この計測結果は頭部を固定した条件で行われているため、実世界環境下での視線移動の理解として万全とは言えない。そこで、これまでに開発した高精度の両眼眼球運動計測装置をヘッドマウント式に発展させ、自由に視線を動かして興味を惹かれた物体を見た時に起きている視覚情報処理を理解するための眼と頭の協調運動の計測を可能にするヘッドマウント式輻輳計測装置を開発することが本研究の目的である。

また、実際に眼球運動を計測する場合、正確な校正（キャリブレーション）が必要となる。これまで開発を進めてきたシステムでは、主に眼球運動の訓練したサルや実験者の指示/説明を理解する成人などを計測の対象としていた。しかしながら、実験者の指示/説明の理解が困難な幼児、認知症の高齢者や訓練していないサル、訓練の困難なげっ歯類などを対象とした計測も必要になってきた。そこで本研究では、より多くの被験者や様々な動物を対象とした計測を可能にするための訓練不要な校正システムを開発することも重要な目的として設定した。

3. 研究の方法

この眼球運動計測システムでは赤外線で見えなく、高速ビデオカメラで撮像した瞳孔を楕円近似し、回転角を計測する手法を用いて両眼の目の動きを計測した。

頭部の動きは、「頭部を覆うヘルメットの上に2つの赤外線LEDを装着して計測した。

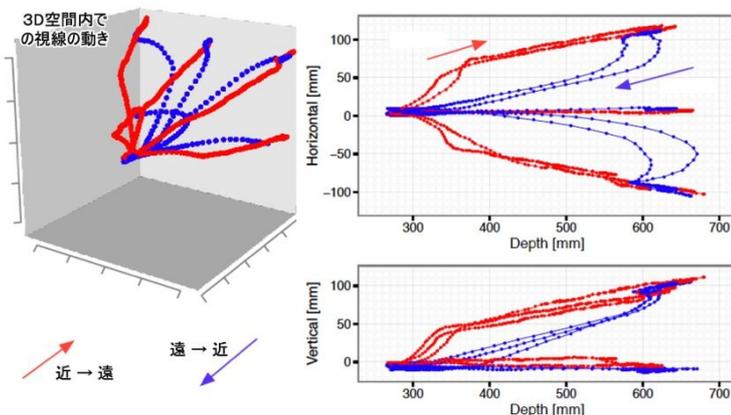
訓練不要な校正システムは、マーモセットを対象としてを開発を行った。

4. 研究成果

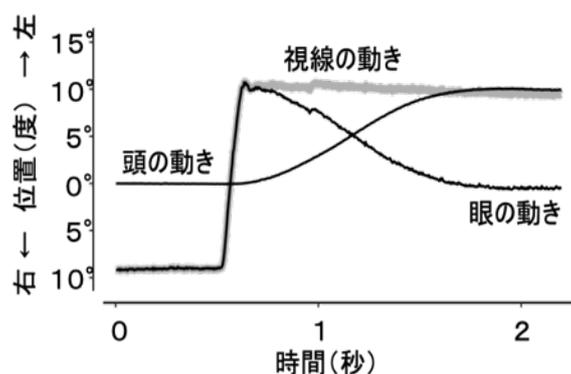
眼球運動計測システム

この研究でこれまで開発してきた USB3.0 デジタルカメラを用いた非侵襲かつ構築が容易な両眼眼球運動計測システムに改良を加えた。このシステムでは、近赤外線で見えなく、角膜上に映る照明の反射光と黒く見える瞳孔をカメラで撮影する。撮影された画像を即時に処理し、反射光重心および楕円で近似した瞳孔形状を求め、これらの値から眼球運動を算出する。測定した値は、DA コンバータにより電圧出力、ネットワーク経由での出力、ファイルへの記録を行うことができる。Windows 10 x64 上での動作を確認した。今回用いたカメラ (Point Grey Research Inc.) は 2048x2048pixel の解像度があり、広視野の撮像レンズ (焦点距離 35mm) を用いることにより各フレーム毎に両眼を撮影することができた。そこから十分な解像度の瞳孔像が得られ、両眼の動きを同時計測することが可能となった。また、最大 700Hz での計測が可能である。

両眼を有する模擬眼球を作成し、このシステムの性能の評価を行い、500Hz での計測で約 4 ミリ秒の遅れが生じることが示すことができた。ヒトで計測を行い、両眼の視線、輻輳開散運動、瞳孔間距離などがリアルタイムで計測できることを確認し、遠くの物体と近くの物体との間で視線を移す時、サッケード運動と輻輳開散運動が相互に干渉することを示すことができた (右図)。



頭部の動きは、頭部を覆うヘルメットの上に2つの赤外線LEDを装着し計測した。眼球運動計測に使用したカメラと同等のカメラを用い、画像処理を行うことで同時計測が可能となった。右に開発した装置で記録した一例を示す。被験者は、正面を向いて右10度を見ていて、左10度に現れた対象物に視線を向けた。対象物が現れるとサッケードが生じ、その後少し遅れて頭の動きが始まっている。サッケード終了後も頭は回転を続けるが、前庭動眼反射により視線の位置は対象物の上に保たれることが計測されている。



訓練不要な校正システムは、マーモセットを対象として開発を行った。右図のように視標としてのマーモセットの顔画像を背景としての自然風景画像の上に表示し、上下左右にゆっくりと動かした。視標の動きを適切にコントロールすることにより、マーモセットは高い頻度でその動きを眼で追跡するようになる。そこで、数学的に計算したカメラ座標系での瞳孔中心の位置の変化と画像上の視標(マーモセットの顔画像)の移動の値から頭部座標系での眼球位置(眼窩内での眼球位置)を正確に計測することが可能となった。



5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計12件)

Miura K, Takemura A, Taki M, [Kawano K](#). Model of optokinetic responses involving two different visual motion processing pathways. *Prog. In Brain Res.* 査読有 In press.

Miura K, Sugita Y, Furukawa T, [Kawano K](#). Two-frame apparent motion presented with inter-stimulus interval reverses optokinetic responses in mice. *Sci. Rep.* 査読有 8(1):17816. doi: 10.1038/s41598-018-36260-z, 2018.

[Matsuda K.](#), Nagami T., Sugase Y., Takemura A., [Kawano K](#). A Widely Applicable Real-Time Mono/Binocular Eye Tracking System Using a High Frame-Rate Digital Camera. *Lecture Notes in Computer Science*, 査読有 10271: 593-608, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-58071-5_45

Takemura, A, Ofuji, T, Miura, K. [Kawano, K](#). Neural activity in the dorsal medial superior temporal area of monkeys represents retinal error during adaptive motor learning. *Sci. Rep.* 7, 査読有 40939; doi: 10.1038/srep40939, 2017.

Ohnishi Y, [Kawano K](#), Miura K. Temporal impulse response function of the visual system estimated from ocular following responses in humans. *Neurosci. Res.*, 査読有 113:56-62, 2016, doi: 10.1016/j.neures.2016.08.001.

Matsuura K, [Kawano K](#), Inaba N, Miura K. Contribution of color signals to ocular following responses. *Eur J Neurosci*, 査読有 44(8):2600-2613, 2016. doi: 10.1111/ejn.13361.

Mochizuki Y, Onaga T, Shimazaki H, Shimokawa T, Tsubo Y, Kimura R, Saiki A, Sakai Y, Isomura Y, Fujisawa S, Shibata K, Hirai D, Furuta T, Kaneko T, Takahashi S, Nakazono T7, Ishino S, Sakurai Y, Kitsukawa T, Lee JW, Lee H, Jung MW, Babul C, Maldonado PE, Takahashi K, Arce-McShane FI, Ross CF, Sessle BJ, Hatsopoulos NG, Brochier T, Riehle A, Chorley P, Grün S, Nishijo H, Ichihara-Takeda S, Funahashi S, Shima K, Mushiake H, Yamane Y, Tamura H, Fujita I, Inaba N, [Kawano K](#), Kurkin S, Fukushima K, Kurata K, Taira M, Tsutsui K, Ogawa T, Komatsu H, Koida K, Toyama K, Richmond BJ, Shinomoto S. Similarity in Neuronal Firing Regimes across Mammalian Species. *J Neurosci.* 査読有 36: 5736-5747, 2016. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0230-16.2016.

Inaba, N, [Kawano, K](#). Eye position effects on the remapped memory trace of visual motion in cortical area MST. *Sci. Rep.* 6, 査読有 22013; doi: 10.1038/srep22013, 2016. doi: 10.1038/srep22013.

Sugita Y, Araki F, Chaya T, [Kawano K](#), Furukawa T, Miura K. Role of the mouse retinal photoreceptor ribbon synapse in visual motion processing for optokinetic responses. *PLoS One* 10(5): e0124132, 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0124132.

Nohara S, Kawano K, Miura K. Difference in perceptual and oculomotor responses revealed by apparent motion stimuli presented with an inter-stimulus interval. J. Neurophysiol. 査読有 113:3219-3228, 2015. doi: 10.1152/jn.00647.2014.

河野憲二、松田圭司、竹村文 協調運動とは何か The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine (リハビリテーション医学) 査読無 56: 82-87, 2019. doi:10.2490/jjrmc.56.82

稲場直子、竹村文、河野憲二 頭頂連合野と空間情報 Brain and Nerve, 査読無 68:1321-1333, 2016. doi: 10.11477/mf.1416200596

〔学会発表〕(計9件)

Kawano K. Memory remapping of moving stimuli in MST. Washington National Primate Center Seminar, 2018

Kawano K. Memory remapping of moving stimuli in cortical area MST. Seminar at Institut de Neurosciences de la Timone, 2018

松田圭司、林 隆介、河野憲二 両眼眼球運動計測システム iRecHS2b について 日本視覚学会夏季大会 2018

Sugase-Miyamoto Y., Matsumoto N., Mototake Y., Kawano K., Okada M. Upright and inverted faces are separately represented in feed-forward processing in the visual cortex. Society for Neuroscience 2017

Matsuda K., Sugase Y., Kawano K., Kaneko M. An advanced real-time eye tracking system using a new calibration method for untrained marmosets. Society for Neuroscience 2017

Matsuda K., Nagami T., Sugase Y., Takemura A., Kawano K. A Widely Applicable Real-Time Mono/Binocular Eye Tracking System Using a High Frame-Rate Digital Camera. Human-Computer Interaction 2017

Kawano K., Matsuda K. An experimenter-friendly inexpensive eye tracking system using a high frame-rate digital camera. A scientific meeting of eye movements to honor David A. Robibnson, 2017

松田 圭司、竹村 文、三浦 健一郎、河野 憲二 Vergence eye movements elicited by a new real 3-D display system for presenting visual stimuli of both near/far distances 第39回日本神経科学大会 2016

松田 圭司、竹村 文、河野 憲二 新しいリアルタイム両眼眼球運動計測システムによる輻輳開散運動の計測 第38回日本神経科学大会 2015

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計1件)

名称: 瞳孔部分を近似する楕円の検出を行う方法

発明者: 松田圭司

権利者: 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 5995217

出願年: 2016

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://staff.aist.go.jp/k.matsuda/iRecHS2/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：松田圭司

ローマ字氏名：Matsuda Keiji

所属研究機関名：産業技術総合研究所

部局名：人間情報研究部門

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：50358024

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。