

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300047

研究課題名(和文)革新的視線インタラクション技術基盤の開発

研究課題名(英文)Development of innovative basic technologies for gaze interaction

研究代表者

長松 隆(Nagamatsu, Takashi)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80314251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：3次元眼球モデルを用いて高精度かつキャリブレーションフリーの3次元視線計測技術を開発した。さらに、視線計測可能空間の広範囲化手法とそれを実環境に適用させるための視線計測可能空間シミュレータの開発を通して、多様な環境での視線インタラクションを可能とする技術基盤を開発した。それらの技術基盤を用いて、博物館、車等を対象としたアプリケーションを開発した。

研究成果の概要(英文)：We developed a highly accurate and calibration-free 3D gaze measurement technology by using a 3D eyeball model. We developed a wide range gaze tracking technology and a gaze measurable range simulator. Then, we developed basic technologies that enable gaze interaction in a variety of environments. By using their technologies, we developed applications for museums, cars, etc.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：視線計測

1. 研究開始当初の背景

視線計測技術は、ライフログの記録、案内システムなどの研究に応用され始めている。しかし、様々な視線計測装置が市販されているものの、一般には視線を計測したことがある人自体少なく、未だ一般に利用できる技術とは言えない。市販の装置が高価であるだけでなく、利用時に、頭部に装置を装着するか、コンピュータの前だけといった限定された状況でしか視線を計測できないことが大きな問題である。

我々は、眼球の幾何モデルに基づく3次元視線計測手法について研究を行っており、ユーザによるキャリブレーションのいらぬ視線計測手法や高精度視線計測を実現する非球面眼球モデルを考案している。これらの技術を基に、従来にはない状況での計測として、携帯端末、ペンタブレット、テーブルトップでの視線計測を実現している。計測技術自体をさらに発展させる研究としては、キャリブレーションの簡易化、装置の低コスト化などの研究は海外でも行われているが、非装着型で様々な状況での計測を高精度で実現させるものは見当たらない。そのため、次世代インタフェースとして有力である視線計測の応用可能性を広げる技術を世界に先駆けて生み出すことは不可欠である。

2. 研究の目的

本研究は、我々が開発した最新の眼球の幾何モデルに基づく手法を発展させ、視線計測を必要とする環境に柔軟に対応するというアプローチにより、様々な条件での視線計測を実現するものである。これにより、多様な環境での視線インタラクションを可能とする技術基盤を確立する。具体的には以下の実現を目的とする。

(1) 高精度かつキャリブレーションフリーの3次元視線計測

(2) 視線計測可能空間の広範囲化およびシミュレータの開発

(3) 実アプリケーションへの適用による視線インタラクション技術基盤の応用展開

3. 研究の方法

(1) 高精度かつキャリブレーションフリーの3次元視線計測技術

画像処理技術の向上と両眼モデルを用いることにより、新たなキャリブレーションフリー手法の開発を行う。

(2) 視線計測可能空間の広範囲化およびシミュレータの開発

視線計測可能空間は眼球を頂点としてカメラを底辺の中心とした円錐(Gaze cone)の中に限られるという知見から、これを定式化し視線計測可能空間の広範囲化手法を明らかにする。さらに、実環境に設置する場合のシミュレーションを可能とする。

(3) 実アプリケーションへの適用による視線インタラクション技術基盤の応用展開

プレゼンテーションルーム、海事博物館、車等について、光源、カメラ位置を(2)で開発したシミュレータにより求め、実際に利用できるシステムを開発する。それにより、出てきた課題を解決する。

4. 研究成果

(1) 高精度かつキャリブレーションフリーの3次元視線計測

視線計測の精度を上げるには、眼球画像の処理の精度を上げる必要がある。そこで、低解像度画像でロバストに高速に処理する手法として、画像からの顔の検出と、検出した顔のパーティクルフィルタによる追跡手法を開発した。パーティクルフィルタにおける尤度関数については、ハールライク特徴量を用いた。また、瞳孔中心を求める場合、一般的な瞳孔輪郭のモデルフィッティングを用いる方法では、フィッティングに瞳孔輪郭以外の点を含めると精度が著しく低下し、低解像度画像においては特に形状が曖昧になるという問題があった。そこで、放射状プロットによる方向情報の利用と輝度分布を用いたノイズ除去を試み、径方向のエッジ極値を候補点とし、候補点周囲の輝度パターンを用いることでノイズ点を高い割合で除去する新たな方式を考案した。

また、新たなユーザキャリブレーション手法として、遠方を見ている場合の自動キャリブレーション手法を2つ開発した。1つ目は、両眼の視軸が平行になることを拘束条件にしたキャリブレーション手法で、事前に指定された場所ではなく、自由に遠方を見ることにより、ユーザ依存のパラメタを求めることを可能とした。2つ目は、スキャンパスを解析することにより、車から見た景色を見ているときの眼球の光軸と景色内の特徴点を関連付けることにより、自動的にキャリブレーションを行う方法である。

また、ディスプレイを見ている場合の自動キャリブレーション手法については、カーネル密度推定を利用し、より精度良く計算できる手法を開発した。

(2) 視線計測可能空間の広範囲化およびシミュレータの開発

角膜の球状モデルの視線計測手法では、角膜を球とモデル化し、角膜での反射光を用いて計算を行っている。眼球を大きく傾けると、光源からの光は、角膜で反射なくなってしまう。そのことから、眼球の向きについて、計測限界が存在する。この視線計測可能な範囲は、光源とカメラと眼球の位置関係によって決まる多数の円錐(Gaze cone)の重なりによって表せることを明らかにし、この円錐の組み合わせを定式化した。この式に基づき、環境にどのようにカメラを設置したら、どの範囲で、視線が計測可能になるかをシミュレ

ーションし、コンピュータグラフィックスにより可視化できるシステムを開発した。

また、角膜の非球面（光軸中心の回転体）モデルを用いた場合には、モデルに強膜（白目）部分を含んでいるが、強膜に反射した場合、即ち眼球を大きく回転させた場合についての精度評価も行った。

(3)実アプリケーションへの適用による視線インタラクション技術基盤の応用展開

プレゼンテーションルーム型、テーブルトップ型、博物館のショーケース型、自動車搭載型について、視線計測可能範囲シミュレータを用いて、シミュレーションを行った。

シミュレーション結果から、光源の設置位置、カメラの設置位置を導き、実際に、テーブルトップ型と実車を用いた運転シミュレータに光源とカメラを設置して、必要な範囲の計測が可能であるかどうかの評価を行った。

その他、実機に応用する際の課題として、一部の反射光が撮影できなかった場合の視線計算手法や、視線計測装置のデータと同期して視線を3次元表示するソフトウェアも開発した。さらに、視線計測装置の更なる性能の向上のため、OpenMPを用いたソフトウェアの並列化による高速化、顔追跡部の処理画像のサイズ最適化による高速化、眼球位置の追跡機能の追加、画像処理部の2値化時の閾値の自動調整機能の追加などの改良を行った。

これらの成果については、主に、視線計測の技術開発をメインとした ACM の ETRA (ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications) や、ヒューマンコンピュータインタラクション系の CHI (Human factors in computing systems) などの国際会議で発表し、国内外ともに高い評価を得ている。

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6件)

江川 晃一, 山本 倫也, 長松 隆, 角膜反射法における視線計測可能ボリュームシミュレータの開発とマルチユーザ視線インタラクションシステムへの適用、情報処理学会論文誌, 査読有、Vol.55, No.11, pp.2476 - 2486, 2014

山本 倫也, 米田 宗弘, 長松 隆, 渡辺 富夫, 百人 eye 首: 視線と札取り動作の予測に基づくテーブルトップ対戦型百人一首ゲーム、情報処理学会論文誌, 査読有、Vol.54, No.4, pp.1551-1562, 2013

Takashi Nagamatsu, Yukina Iwamoto, Ryuichi Sugano, Junzo Kamahara, Naoki Tanaka, and Michiya Yamamoto, Gaze Estimation Method Involving Corneal Reflection-based Modeling of the Eye as a

General Surface of Revolution about the Optical Axis of the Eye, 査読有、IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.6, pp.1656-1667, 2012

長松 隆, 鎌原 淳三, 田中 直樹: 両眼モデルを用いたユーザキャリブレーションフリー視線計測手法, 画像ラボ, 査読無、日本工業出版, Vol.23, No.6, pp.29-34, 2012

佐藤 広志, 吉田 圭介, 山本 倫也, 長松 隆, 渡辺 富夫, 身体的インタラクション解析のための Eye-Tracking 液晶ペンタプレットの開発、情報処理学会論文誌, 査読有、Vol.52, No.12, pp.3647-3658, 2011

Takashi Nagamatsu, Ryuichi Sugano, Yukina Iwamoto, Junzo Kamahara, and Naoki Tanaka, User-calibration-free Gaze Estimation Method Using a Binocular 3D Eye Model, IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有、Vol. E94-D, No.9, pp.1817-1829, 2011

[学会発表](計30件)

Daiki Sakai, Michiya Yamamoto, and Takashi Nagamatsu, Framework for Realizing a Free-Target Eye-tracking System, Proceedings of the 20th ACM international conference on Intelligent User Interfaces (IUI2015), pp.73-76, 29 March - 1 April, 2015, Atlanta, GA, USA. 査読有

Takashi Nagamatsu, Michiya Yamamoto, and Gerhard Rigoll, Simulator for Developing Gaze Sensitive Environment Using Corneal Reflection-based Remote Gaze Tracker, Proceedings of the ACM Symposium on Spatial User Interaction 2014 (SUI2014), p.142, 4-5 Oct., 2014, Honolulu, HI, USA, 査読有

Takashi Nagamatsu, Kaoruko Fukuda, and Michiya Yamamoto, Development Of Corneal Reflection-Based Gaze Tracking System For Public Use, Proceedings of the 3rd International Symposium on Pervasive Displays (PerDis 2014), pp.194-195, 3-4 June, 2014, Copenhagen, Denmark, 査読有

Koichi Egawa, Hiroaki Takai, Michiya Yamamoto, and Takashi Nagamatsu, Eye-Tracking Volume Simulation Method to Configure Hardware Settings for Tangible and Multi-User Tabletop Interaction, Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and

Surfaces 2013 (ITS 2013), pp.369-372, 6-9 Oct., 2013, St. Andrews,UK, 査読有

Takashi Nagamatsu, Tatsuhiko Ueki, Junzo Kamahara, Automatic User Calibration for Gaze-Tracking Systems by Looking into the Distance, Proceedings of 3rd International Workshop on Pervasive Eye Tracking and Mobile Eye-Based Interaction (PETMEI 2013), 13 August, Lund, Sweden, 査読有

Michiya Yamamoto, Hironobu Nakagawa, Koichi Egawa, Takashi Nagamatsu, Development of a Mobile Tablet PC with Gaze-Tracking Function, Proceedings of HCI International 2013 (HCII 2013), 21 - 26 July 2013, Las Vegas, USA, 査読有

Michiya Yamamoto, Munehiro Komeda, Takashi Nagamatsu, Tomio Watanabe, Development of a Gaze-and-Touch Algorithm for Tabletop Hyakunin-Isshu Game with Computer Opponent, Proceedings of 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-man2012), pp.203-208, 9-13 Sep., 2012, Paris, France, 査読有

Keisuke Yoshida, Syu Miyake, Michiya Yamamoto, Takashi Nagamatsu, Tomio Watanabe, Analysis of the Presenter's Gaze Interaction Features in Information Indication at a Presentation, Proceedings of the first International Symposium on Socially and Technically Symbiotic System (STSS2012), 29-31 August, 2012, Okayama, Japan, 査読有

Tatsuhiko Ueki, Ryuichi Sugano, Takashi Nagamatsu, Junzo Kamahara, Remote Gaze-Tracking System with Automatic User Calibration Using Particle Filter, Proceedings of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI 2012), pp.2225-2230, 5-10 May, 2012, Austin, Texas, USA, 査読有

Takashi Nagamatsu, Ryuichi Sugano, Junzo Kamahara, Michiya Yamamoto, Mathematical model for wide range gaze tracking system based on corneal reflections and pupil using stereo cameras, Proceedings of ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications (ETRA 2012), pp.257-260, 28-30 Mar., 2012, Santa Barbara, CA, USA, 査読有

Hiromi Yoshida, Naoki Tanaka, Takashi

Nagamatsu, A New Method of Character Strings Extraction based on Blanket Binarization, 10th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems (DAS 2012), 27-29 Mar., 2012, Gold Coast, Queensland, Australia, 査読有

Michiya Yamamoto, Hiroshi Sato, Keisuke Yoshida, Takashi Nagamatsu, Tomio Watanabe, Development of Eye-Tracking Pen Display for the Analysis of Embodied Human Interaction, Proceedings of HCI International 2011, LNCS 6771, pp.651-658, 9-14 July 2011, Orlando, Florida, USA, 査読有

Takashi Nagamatsu, Ryuichi Sugano, Junzo Kamahara, Michiya Yamamoto, Method for Increasing Area over which User's Gaze can be Estimated Based on Gaze Cones Poster presentation, Novel Gaze-Controlled Applications 2011(NGCA 2011), 26-27 May, 2011, Karlskrona, Sweden 査読有

Michiya Yamamoto, Munehiro Komeda, Takashi Nagamatsu, Tomio Watanabe, Hyakunin-Eyesshu: a Tabletop Hyakunin-Isshu Game that Enables Versus Game with Computer Character by the Action Prediction Based on Gaze Detection, Proceedings of Novel Gaze-Controlled Applications 2011(NGCA 2011), 26-27 May, 2011, Karlskrona, Sweden 査読有

〔図書〕(計 1 件)
Takashi Nagamatsu, Michiya Yamamoto, and Hiroshi Sato, MobiGaze: Gaze Interface for Mobile Devices, in Cognitively Informed Intelligent Interfaces: Systems Design and Development, pp.56-66, 2012.

〔産業財産権〕
出願状況(計 2 件)
名称: 視線計測装置、視線計測方法および視線計測プログラム
発明者: 長松 隆, 植木 達彦
権利者: 神戸大学
種類: 特許
番号: 特願 2013-108441
出願年月日: 平成 25 年 5 月 22 日
国内外の別: 国内、国外

名称: 視線計測装置および方法
発明者: 長松 隆, 山本 倫也
権利者: 神戸大学, 関西学院大学
種類: 特許
番号: 特願 2011-116372, 特開 2012-239849
出願年月日: 平成 23 年 5 月 24 日

国内外の別： 国内

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長松 隆 (NAGAMATSU, Takashi)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号： 8 0 3 1 4 2 5 1

(2) 研究分担者

田中 直樹 (TANAKA, Naoki)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号： 9 0 1 8 8 3 1 8

(2) 研究分担者

鎌原 淳三 (KAMAHARA, Junzo)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号： 6 0 2 8 3 9 1 7

(2) 研究分担者

山本 倫也 (YAMAMOTO, Michiya)
関西学院大・理工学部・准教授
研究者番号： 6 0 3 4 7 6 0 6