

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 30 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700124

研究課題名（和文）自由頭部運動状況下における三次元環境地図に基づく注視点推定

研究課題名（英文）Estimating 3D Point-of-gaze based on 3D Environmental Map under Natural Head Movements

研究代表者

竹村 憲太郎 (TAKEMURA KENTARO)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：30435440

研究成果の概要（和文）：視線計測技術は、ヒューマンインタフェースや認知心理学等に用いられる重要な技術である。そこで本研究では、装着型視線計測装置の問題点である移動時の計測を考慮し、三次元注視点の計測を行った。三次元環境地図を利用することによって、従来では難しかった実環境における定量的な計測を実現した。この成果によって、複数人の注視データを三次元注視軌跡や三次元注視ヒストグラムによって比較することを可能とした。

研究成果の概要（英文）：Eye-tracking is an important technique for Human interfaces and cognitive psychology etc. We proposed the method of estimating 3D point-of-gaze based on 3D environmental map. The proposed method can reduce measurement errors when an observer moves freely. Additionally 3D scanpath and 3D fixation map are proposed, and quantitative analysis of gaze data can be realized.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：視線計測，3次元注視点，3次元環境地図

1. 研究開始当初の背景

(1) コンピュータビジョン等の技術向上に伴い、頭部運動を考慮した視線計測技術が注目されている。従来研究では、頭部に装着した全方位カメラを用いて頭部回転量を推定し、視線運動に含まれる眼球と頭部運動量の計測が実現されている。また、頭部に装着したステレオカメラの情報から移動軌跡の計測が実現されており、広範囲な視線計測の先進的な研究も行われている。しかしながら、

環境モデルとの対応関係について考慮している例はなく、本研究の成果によって広範囲における注視行動の定量的な解析が可能となり、注視メカニズムの解明や新たなアプリケーションの開発等に向けて大きな貢献が期待できる。

(2) 申請者は、これまでの研究において非装着型視線計測システムによる視線推定及び注視対象の推定を実現し、その応用としてド

ライブモニタリングやコンピュータ・家電操作等を提案してきた。しかしながら、これまでの視線計測は、ユーザが主に座っている場合を想定しており、広範囲を移動した場合の計測は困難であった。そこで、ユーザが自由に移動した場合にも視線の定量的計測及び解析が出来るように本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

装着型視線計測装置を用いて、広範囲を移動する人の注視点を環境情報に対応した三次元情報として推定する技術の確立を目的とする。一般的に視線計測技術は、注視点が画像やコンピュータ画面の平面上にあるものとして求めるため、大きな頭部運動を伴う場合は、注視点そのものの高精度な計測や、注視点軌跡や注視頻度を定量的に解析することは困難であった。そこで、三次元環境地図を導入し、Visual SLAM から得られる頭部運動情報を手がかりに環境上の注視点推定の実現を目指す。環境上に注視点を投影することで、複数人のデータ(注視軌跡や注視頻度)を比較することが可能となり、注視メカニズムの解明や購買行動分析等に繋がることを期待している。

3. 研究の方法

本研究では、以下に示す4つの課題について取り組み、自由頭部運動状況下における中視点推定を実現する。

(1) 三次元環境地図の生成及び三次元環境地図を用いた注視点推定

視線情報と環境との対応を求めるため、その基準となる環境地図の生成が必要となる。高精度な三次元環境地図を生成するために、本研究では移動ロボットを用いた地図生成手法を採用する。屋内環境を対象とすることからSLAM (Simultaneous localization and mapping) の技術を用いて、幾何的情報及びテクスチャ情報を取得する。地図情報とカメラの対応問題を解くため、高解像度なカメラを搭載した移動ロボットを開発し、自然特徴点を含む三次元地図を生成する。

頭部装着型視線計測装置を用いて広範囲の注視点計測を実現するため、視線計測装置のカメラによって取得される自然特徴点と環境地図中に埋め込まれた自然特徴点との対応関係を解き、現在の頭部位置姿勢を明らかにする。また、推定された頭部位置姿勢を用いて、環境地図上の三次元注視点を推定する。

(2) 三次元環境地図を用いた注視頻度マップの生成

注視点の解析手法としては、注視軌跡や注

視頻度マップ(ヒートマップ, fixation mapとも呼ばれる)が一般的に利用されている。しかしながら、頭部装着型の場合には、カメラ画像が時々刻々と変化するため、画像上に投影しても頭部運動が原因で正確な注視軌跡、注視頻度を計測することは困難である。そこで、前述した三次元環境上に投影した注視点情報に基づき注視点軌跡、注視頻度マップを生成する。三次元環境上に生成することで、従来困難であった複数人データの定量的な比較が実現可能となる。

(3) 三次元環境地図を用いた奥行き変化への対応

従来の注視点計測は、キャリブレーション面と同じ距離に対して注視点が最適に計測できるアルゴリズムとなっている。このため、自由頭部運動状況下では、注視点を最適に計測することが出来ない問題があった。そこで、三次元環境地図を用いて、推定した頭部位置から注視点までの距離を求めることで、注視距離に応じて最適に注視点を求めるアルゴリズムを開発し、奥行き変化が生じた場合にも推定精度が著しく低下しない計測を実現する。

(4) 三次元環境地図を用いた注視行動解析

自由頭部運動状況下で頭部位置姿勢及び注視点を推定することができることを生かし、この結果と比較が可能な視野画像の生成を三次元環境地図から行う。Saliency Mapを三次元環境地図に適用することで、人の注視点と視野画像の顕著性が比較可能なシステムの構築を行う。この技術は、自由頭部運動状況下で、ユーザの注視行動を読み解く手がかりとなることを期待している。

4. 研究成果

(1) 三次元環境地図の生成及び三次元環境地図を用いた注視点推定

三次元環境地図を用いてカメラの位置姿勢推定を行うため、詳細な画像情報が三次元環境地図に含まれる必要がある。そこで、申請者がこれまで開発した三次元環境地図計測用ロボットの改良を行った。新しく開発したロボットには、カメラ6台からなるカメラシステム(Ladybug3)及びLIDARが水平方向と垂直方向に2台を搭載され(図1)、従来システムと同様に三次元形状の取得及び色情報の取得が可能である。地図の生成に関しては、これまで申請者が取り組んできたSLAMの技術を用いて行うことで実現した。また、従来の機能に加えて、カメラを全方位カメラから高解像度なカメラに変更したことで、自然特徴点を付与した三次元環境地図(図2)の取得が可能となった。カメラ6台からなる全方

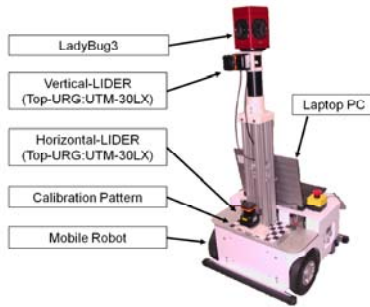


図 1. 三次元環境地図生成用ロボット

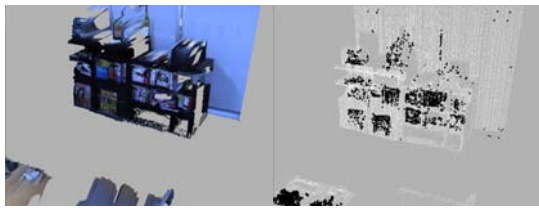


図 2. 構築された三次元環境地図
(左図：三次元環境地図，
右図：三次元自然特徴点地図)

位カメラを採用したことで、一般的なカメラでも計測可能な特徴量を取得でき、視線計測装置との対応関係を解く、手がかりとして利用できる。

構築された三次元環境地図には、様々な自然特徴点を付与することが可能であるが、本研究では、画像の回転・スケール、輝度変化に頑健である Scale Invariant Feature Transform (SIFT) 特徴量を採用し、環境地図と視線計測装置のカメラ位置の対応関係を求めた。推定されたカメラ位置は、ユーザの頭部の位置であることから、三次元環境地図上の注視点が、図 3 のように可能となった。図 3 (右上) は、オープンソースとして公開されている OpenEyes を利用し瞳孔、プルキニエ像の検出を行った結果である。図 3 (右下) で、視線計測装置から得られる画像上の注視

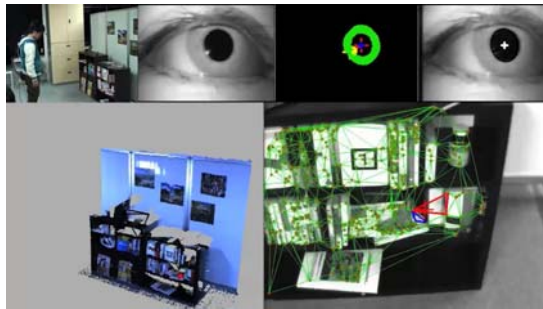


図 3. 三次元注視点推定結果

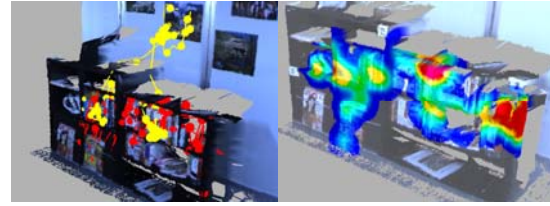


図 4. 注視点の三次元的可視化
(左図：三次元注視点軌跡，
右図：三次元注視ヒストグラム)

点を自然特徴点に関連づけて推定出来ていることが分かり、図 3 (左下) の結果では、環境モデルとの対応関係から頭部位置姿勢及び三次元注視点が表示されている。

(2) 三次元環境地図を用いた注視頻度マップの生成

装着型視線計測装置では、定量的な解析手法の確立が重要であることから、三次元環境地図を用いた可視化技術の研究を行った。注視点の定量的な記録手法としては、注視点軌跡と注視ヒストグラムがあるが、どちらもこれまでは、二次元的に扱われるにとどまっている。本研究では環境地図上に推定された三次元注視点を用いて、これらを三次元的に取り扱うことを実現した。図 4 は、それぞれ三次元注視点軌跡、三次元注視ヒストグラムとなっている。これらの結果を利用すると、複数人の注視点結果を同じ環境モデル上に投影することが可能であり、左図のようにその傾向を比較することが可能である。

また、三次元環境地図を用いることで、実空間とのインタラクションが可能となる。実現には、三次元環境地図上に物体情報を埋め込む必要があるが、環境中に登録する技術の開発はこれまで行われてこなかった。そこで、本研究では、自然特徴点に関連づけて、物体ごとにプリミティブなオブジェクトを配置



図 5. プリミティブなオブジェクト
に対する注視判定結果

する手法を確立した。図5はプリミティブなオブジェクト(直方体や球など)や、任意形状が自然特徴点に関連づけて登録されている様子であり、そのオブジェクトに関する注視判定が適切に行われていることが確認できる。ここでは、赤で表示されている直方体が注視されたオブジェクトである。

(3) 三次元環境地図を用いた奥行き変化への対応

従来の注視点計測手法では、注視面は平面であることを想定していることから、奥行きが変化する際に、誤差が大きく生じることが問題であった。そこで、キャリブレーション時の距離と注視対象までの距離の変化を考慮した注視点手法を開発し、距離が変化した場合にも誤差の増加なく計測することが可能となった(図6)。

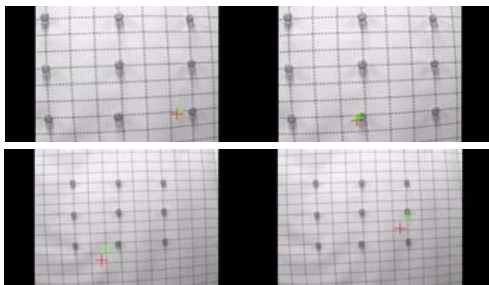


図6. 奥行き変化が生じた場合の注視点推定結果

具体的には、キャリブレーション時に注視点推定面までの距離を測定し、これ以降、推定された注視点はこの距離に求められたものとする。眼球位置からこの面の注視点を通るベクトル上に注視点が存在することから、そのベクトルと環境地図の交点を算出することで正確な注視点位置を求めることが可能となる。図6は、2種類の距離で注視点を推定した結果であるが、注視点までの距離が変化した場合にも、提案手法(緑のカーソル)は、注視誤差が大きくなることなく適切に推定されていることが分かる。

従来手法の角度誤差を E_c 、提案手法の角度誤差を E_o として、改善率を求めた。改善率を $R = (E_c - E_o) / E_c \times 100$ を定義すると、提案手法の改善率は従来手法に比べて 47.2% となり、大幅な改善を実現することが出来た。

(4) 三次元環境地図を用いた注視行動解析

実環境中で実際の注視点と顕著性マップから予測される注視点が比較できるように、従来の顕著性マップ生成法を発展させ、三次元顕著性マップの生成を開発した。獲得した環境情報を基に、図7に示すような三次元顕著性マップを生成することで、人の位置姿勢

に基づいた視野画像を生成し、注視点と顕著性マップの比較が可能となる。

この成果は、ユーザが運動中にも適用可能な注視モデルの検討に利用できるものであり、これを用いて本格的な人間の注視点傾向の解析に今後は注力することができる。

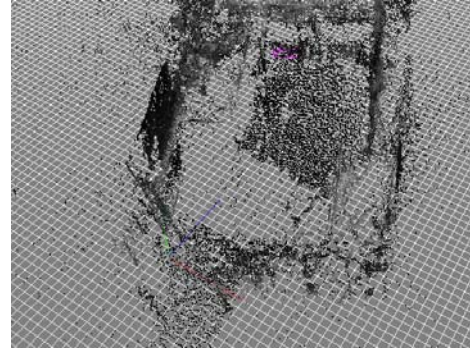


図7. 三次元顕著性マップ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

①竹村憲太郎, 小橋優司, 末永剛, 高松淳, 小笠原司, “頭部自由運動状況下における三次元注視点推定と注視点軌跡の可視化手法,” Vol. 13, No. 1, pp. 64-70, 2011, 査読有

〔学会発表〕(計2件)

①高橋健治, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司, “移動ロボットによる SIFT を用いた三次元特徴点地図の生成,” 第28回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2010AC1Q1-5, 査読無, 2010年9月22日, 名古屋

②山川智久, 竹村憲太郎, 高松淳, 小笠原司, “頭部装着型視線計測装置のための3次元環境を考慮した注視点推定法,” ヒューマンインタフェース学会シンポジウム, 1211L, 査読無, 2011年9月14日, 仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹村 憲太郎 (TAKEMURA KENTARO)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号: 30435440