

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700187

研究課題名（和文） 高度眼球センシングによるライフログの拡張

研究課題名（英文） Eye Sensing for Lifelog Applications

研究代表者

味八木 崇 (MIYAKI TAKASHI)

東京大学・大学院情報学環・特任助教

研究者番号：50511961

研究成果の概要（和文）：

本研究は、視線情報などの眼球運動から得られる情報を利用した、一人称視点の体験映像利用やインタラクション技術の拡張を目的として実施された。日常環境でのモバイル・ウェアラブル利用に適した撮像系を用い、画像処理技術を併用することで、視線情報から注視領域を推定し、注視対象の画像特徴量に基づいた検索を行なう、といった将来的に記憶想起支援につながるライフログアプリケーションが提案手法によって実現可能であることを示し、国際会議において研究成果の発表を行った。

研究成果の概要（英文）：

This research is conducted for the purpose of enhancement of lifelog applications and interaction techniques in user's daily life by using sensing techniques of eye movement such like gaze information. Sensing architecture that is suitable for mobile and wearable situation was employed for proposed gaze based image matching system, which is potentially used for human memory enhancement applications. Achieved results have been presented at international conferences.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：ライフログ、センシング、生体計測、画像処理、ユーザインタフェース

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来の眼球微細運動のセンシング研究では、固定設置の大規模な装置が用いられており、人間の日常を記録することができない

問題があった。これらは近年の撮像系の小型化や光学系の研究の発展により、装置全体の小型化が見込めることがわかってきている。具体的には、近年携帯電話などで利用が爆発

的に普及した小型の CMOS イメージセンサの性能向上と、ホログラムなどの特殊な光学系の技術発展をうけて、人間の身体の部位の中でも特に複雑で特徴的な動きをもつ眼の動きの継続的なセンシングも現実的なものとなりつつある。本研究は眼球センシングが現在よりも小型の装置で実現できることを示し、作業環境やウェアラブル環境でのセンシングをライフログ応用につなげるための技術基盤になると考えられる。

(2) ここでライフログとは、人間の体験情報を継続的に記録・蓄積し記憶の想起や共有に役立つ研究の総称である。近年一人称視点での体験映像の蓄積とその検索、インデクシング、要約や行動分類などが主に取り組まれている。このような人間の行動や状態を逐次取得するために一人称視点を常時記録しておくということは、その行為自体の社会的コンセンサスとの不一致から広く一般的に利用されているとは言い難い。映像中に他者が映りこまないという点から位置情報に限定した記録や、対象者自身の生体情報を用いることは非常に有用ではあるが、その取得コストやセンシング装置が煩雑なため、簡便な記録装置が必要とされている。

(3) 研究者はこれまでに、屋外広域環境の人物追跡によるライフログの研究・汎用グラフィックスボード上での画像処理の高速化・遠隔対話システムにおける視線一致に関する検討・高速カメラを用いた撮像系の構築を行ってきた。現在これらの要素技術を用いて人間の生体情報のモニタリングの検討を行っている。しかし煩雑なセンサを皮膚に接触させてモニタリングを行うことが日常的なログの取得方法として適していないことが実験を通じて明らかになってきている。そこで、本研究では眼球運動の光学センシングに着目し、アプリケーション利用までを扱うことを検討する。ごく最近では眼球微細運動の中でもマイクロサッカドの頻度と人間が無意識下に注視している対象と相関があることが報告されている。そこで、毛細血管の収縮なども含めた眼球運動の詳細なセンシング結果が、対象の体験情報の再構成に寄与するのではないかと考え、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、高速な画像センシング技術を応用することにより眼球運動を詳細に取得し、その画像群・時系列トラッキング情報などから得られる、視線情報や瞬目頻度、また将来的には眼球表面（結膜）上の毛細血管の状態や眼球微細運動の観察により

人間の生体情報を取得し、ライフログアプリケーションの拡張を行うことである。

(2) 生体情報学の知見から“固視微動”と呼ばれる眼球の高速な微細運動は人間の視力の特性に大きく関わっており、特にマイクロサッカドという動きの幅が大きく直線状の動きは、人間が無意識下に注意を向けている対象との関係性が指摘されている。また、その他にも、眼球表面の白目部分に観察できる毛細血管は人間の身体の中で最も薄い粘膜を通じて外部環境に晒されており、外部から映像を利用して観察しやすいということが知られている。このため人間の情動や疲労具合などの変化のセンシングが実現できる可能性がある。さらに角膜反射像の観察を通じて、対象者が見ている物体を取得できる可能性なども含めると、眼球表面の詳細なセンシングから得られる情報は様々なライフログ応用が考えられる。本研究では、このための基礎技術の構築を目的とする。

(3) 眼球運動から生体情報を取得するために、本研究では二種類のアプローチを試みた。眼球表面の光学センシング手法として小型カメラを用いる手法と、より低解像度だが高速な赤外フォトダイオードアレイからなるオプティカルセンサを用いる手法である。これは、高速な眼球運動を捉えるためにはカメラの撮影速度では、不十分であることが予想されたためである。これらの2つの異なる長所を持つ手法に応じて、適した応用例を探り、ユーザの日常生活で利用できるアプリケーション実現することが重要である。

3. 研究の方法

(1) 研究計画の中心課題は、眼球表面の画像センシングからの対象者の生理的变化の検出である。研究課題として作業環境で利用可能な撮像系の構築とライフログアプリケーションへの応用に重点を置く。撮像系の構築では単眼カメラによる撮像系の小型化、シンプルな光学系を用いたウェアラブル撮像系の検討を行う。さらに、利用者自身の行動状態推定のため、眼球固視微動運動のトラッキングを行い、注視領域の抽出を試みる。また、利用者周囲の状況推定のため、角膜反射像の詳細な観測からの視線方向視野像の復元について実現可能性の検討を行なった。

(2) 本研究は2年計画である。初年度は、主に実験用撮像系のセットアップと、高速光学センシング・処理の実験を行い、続いて2年度目において処理系の性能評価と眼球の観測によるライフログ応用アプリケーション構築を行った。撮像系は二種類の方式を試

作し評価を行った。これら2つは、装置に利用している市販製品の小型化が進めば、将来的には統合することも不可能ではないが、本研究では統合した実装までは扱わない。しかし、カメラ・フォトダイオードアレイの2つの特性を考慮した撮像系と、それ適応するアプリケーション例を実現することでその効果は十分確認できる。

(3) 初年度である2009年度は、撮像系と画像処理系に関する基盤技術の構築を行った。撮像系構築実績のあるカメラ処理系から取り組んだ。実時間で大量の映像情報を扱う必要があるため、画像処理プロセスの一部に近年注目されているGPGPU (General-Purpose Computation on GPU)手法を利用する。GPGPUによる画像特徴量抽出技術の高速化については既に提案実績があるが、200fpsの画像入力に対する処理については過去に研究例がない。この場合映像入力インタフェースとGPU間のデータ転送が律速要因となり、リアルタイム性の確保が大きな課題となる。カメラを用いた処理系についてはハードウェアとソフトウェア基盤の構築を初年度に取り扱った。

(4) オプティカルセンサを利用した処理系では、撮像系の設計から検討が必要であったが、センサの性能評価から予備的な実験結果を得た。本研究では既存の市販品高速カメラを利用したセンシングだけではなく、解像度の面では劣るものの、1000fps以上の視線情報読み出しが期待できるオプティカルセンサを利用した超高速センシングに取り組んだ。オプティカルセンサを利用した処理系では、市販カメラと異なり、光学系の設計からの検討が必要であった。低解像度映像のコンピュータへの入力は、USBインタフェースを備えたマイクロコントローラ基板を作成し、生体データ取得装置を実装した。センサ部はチップ型のフォトダイオードをユーザが装着する眼鏡レンズ部分にアレイ状に4つ配置し、赤外LEDにより参照光を付与することで外界からのノイズの影響を抑えた。実装のための調査段階で、市販ゲーム機に利用されている赤外線CMOSイメージセンサが環境中の輝点の座標のみを比較的高速に読み出し可能であることを知り、検討対象に加えた。

(5) 前項(3)及び(4)で記述したセンシング機構をもとにして、2010年度は視線情報を利用したユーザインタフェースを含むライフログアプリケーション構築と、その評価を行った。このアプリケーションによって、利用者の視線情報を常時記録することが可能であり、さらに画像処理技術の併用することにより、視界中のどのオブジェクトに注目して

いたか、を記録することが可能となった。従来ライフログ研究では膨大な蓄積映像から人間の記憶想起にとって意味のあるインデックスを生成することが大きな課題であったが、本研究のように視界映像とともに視線情報を記録することによって、より人間の記憶に即した映像の構造化が可能になると考えられる。また、映像の記録だけでなく、リアルタイムの視線情報を利用した情報提示・作業補助など、ウェアラブル環境で視線計測が可能となることにより、様々なアプリケーション展開が可能となる。

4. 研究成果

(1) 本研究の成果は、

- カメラ撮像系による眼球情報の処理
- オプティカルセンサ処理系による高速な眼球運動の取得
- 眼球運動から得られる生体情報を利用したアプリケーションの実装・評価

以上の3点に大別できる。以下に各々の成果を記す。

(2) **カメラ撮像系による眼球情報の処理**
実時間で映像情報を扱う必要があるため、画像処理プロセスの一部にGPGPU (General-Purpose Computation on GPU)手法を利用し、高速カメラの部分読み出し機能を併用することで、120fpsでの限定領域の特徴量抽出処理を実現した。

カメラ撮像系のハードウェアについて、民生品の高速撮像カメラを用いているため、現段階では小型化には限界があるが、多くのノート型PC上部に付属しているチャット用カメラと同等の利用形態であれば常用可能であった。なお、その場合でも、VGA解像度のカメラ画像から利用者の目周辺部分を選択的に読み出すことと、パーティクルフィルタによるトラッキングを組合せることで安定して視線情報・瞬目情報を得ることができた。これは非接触センサを用いる方式としては十分な性能である。

さらに詳細な毛細血管レベルの眼球表面情報を得るには、パンチルト雲台とズームレンズを用いる、もしくは頭部装着型のマクロレンズを備えた高速カメラシステムを検討する必要があると考えられる。

(3) オプティカルセンサ処理系による高速な眼球運動の取得

3-(4)で記したとおり、オプティカルセンサ処理系については二種類のセンサについて検討を行なった。それぞれ、フォトダイオー

ドアレイと座標情報のみが読み出し可能な CMOS イメージセンサを用いた実装である。

フォトダイオードアレイを用いたものは眼鏡のレンズ部の中心に照明用の赤外 LED を配置し、その周囲を取り囲むように 4 つの赤外フォトダイオードをアレイ状にとりつけた。照明で照らされた白目（強膜）部分の反射率の違いにより視線方向が高速に取得できることが確認できた。この手法の基盤技術は既に先行研究によって示されているが、我々の手法は日常生活でも利用可能な小型の実装を実現したことである。このことによってモバイル環境での視線・瞬目データ取得が現実的に可能であることが示された。

一方で CMOS イメージセンサを利用した処理系については予備的な結果を得るに留まった。当初の研究計画には明示的に含まれていなかったが、この方式では視線方向を検知できるだけでなく、角膜反射像中の複数の輝点の位置を利用できる可能性があることから検討を行った。これは毎秒 50 回の読み出しが可能に高速であり、赤外光通信のように、例えば貼り付けた実世界オブジェクトの ID 情報をエンコードすることが可能である。実際に 32bit の ID 情報を埋めこんだセンサノードを作成しタブレット型コンピュータと統合した拡張現実アプリケーションを実現し、動作を確認した。しかし、眼球表面に映る角膜反射像から赤外輝点を捉えることは容易ではなかった。具体的には ID を埋めこんだ LED の輝度が減衰し位置情報を失うことが多く、実用上の問題が明らかになった。これは今後の課題として挙げられる。

(4) 眼球運動から得られる生体情報を利用したアプリケーションの実装・評価

(2)(3) で記した処理系を利用して、ユーザの日常生活でも利用可能なライフログアプリケーションの構築を行った。より具体的には、視線情報と視野映像のマッチング結果からインデックス化されたデータベース内の画像を対象とした画像特徴量検索を行なうことによって、任意の実世界オブジェクトを注視したことを常時記録できるシステムを構築した。つまり、既にオブジェクトのデータベースがあると仮定すると、「今ユーザが何を見ているか」を記録するライフログシステムが構築可能であることを示した。従来は膨大な映像データを処理することから現実的ではなかったが、提案手法によって注視情報に着目することによって、より効率的な体験映像利用が可能になると考えられる。さらに、これは特定オブジェクトに限らず文字認識・顔認識技術と併用することによって「ユーザが何を讀んだか」また「誰と会ったか」を効率的に取得することが可能であることを実装により示した。

以上の成果について、(3) のフォトダイオードアレイを用いた処理系と (4) 部分については国際会議にて発表済みである。

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 1 件)

- ① 味八木崇, 曆本純一, 実世界インタフェースの新たな展開 : 3. 集合知センシングによる実世界インタフェース (解説論文), 情報処理, Vol. 51 No. 7, 775-781, 2010, 査読無

[学会発表] (計 2 件)

- ① Yoshio Ishiguro, Adiyan Mujibiya, Takashi Miyaki, and JunRekimoto, Aided Eyes: Eye Activity Sensing for Daily Life, Pervasive 2010 adjunct proceedings (video publication), 2010, 査読有
- ② Yoshio Ishiguro, Adiyan Mujibiya, Takashi Miyaki, and JunRekimoto, Aided Eyes: Eye Activity Sensing for Daily Life, Augmented Human 2010, 25:1-25:7, 2010, 査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

味八木 崇 (MIYAKI TAKASHI)

東京大学・大学院情報学環・特任助教

研究者番号 : 50511961

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者