MEMS 技術を用いたウェアラブル視線検出システム

Wearable Line-of-sight Detection System Using MEMS

○及川 啓 (慶大) 室 貴之 (慶大) 正 三木 則尚 (慶大)

Akira Oikawa, Keio University
Takayuki Muro, Keio University
Norihsa Miki, Keio University

Detection of the line-of-sight (LOS) has various applications, such as communication technology and welfare field. To realize such applications, there is strong demand for an LOS detection system that does not restrict users' activities and inflicts no mental stress. In this paper, we built pupil position detecting algorithm and demonstrated LOS detection. We confirmed the correlation of the output voltages with respect to the pupil position assuming that a photovoltaic device generates voltage depending on the overlapping area of the device and the pupil. According to the generated voltages of the 2×5 transparent dye-sensitized photovoltaic devices array on eyeglasses, it is successfully detected the eye movement and thus the LOS of the test subject based on the differences in intensities of light reflected from the pupil and the white of the eye. The MEMS-based LOS detection system proposed herein is readily applicable to various promising applications.

Key Words: line-of-sight, wearable, Dye-sensitized photovoltaic devices, MEMS, human interface

1. 緒言

視線検出は、重度障害者のためのコミュニケーションツール、マウスやキーボードに代わる新たなインターフェースなど、様々な応用が期待されている。従来の視線検出方法は、外部カメラを用いて瞳を撮影し、画像処理によって瞳の運動を検出することで、視線方向を導出する方法が主流である。しかし、大型の装置により視野が妨害される、被験者の行動範囲が制限される、常にカメラを向けられていることが被験者への精神的な圧迫になる等、多くの問題が挙げられており、先ほど述べた応用を実現するには、負担の少ない視線検出システムの開発が重要となっている。

そこで本研究では、眼鏡のように装着可能な視線検出システムを提案する。MEMS 技術を用いて眼鏡レンズ上に透明色素増感素子をアレイ状に製作し、白目と黒目からの反射光強度の差を検出することで瞳位置を導出する (Fig. 1)。本システムは眼鏡型であるため、(1)自由な行動が可能である、(2)視野を妨げない、(3)被験者への精神的負担を軽減する、といった特徴をもち、従来の装置の問題点を解決するものである。文献[1]では、透明光センサとして色素増感素子を用いた瞳検出が可能で、また素子を微細化することで素子の応答速度が向上する事が明らかにし、色素増感素子のアレイ化プロセスの開発が行われている。本論文では、これを眼鏡に搭載し視線検出実験をおこなうと共に、視線検出アルゴリズムの構築を行った。

Fig. 1 Pupil position detection system

2. 原理

色素増感素子は、透明導電性ガラスに酸化チタン半導体電極を焼結し、これに色素を吸着させ、対極との間隙に電解液を封入した構造になっている。光が照射されると、色素が励起されて電子を放出し、対極で電解質溶液による酸化還元反応が起こる。このとき電子は再び色素に吸収される。この電子授受を繰り返すことで発電する。

3. 照度変化による影響の検討

本デバイスは、光センサによって瞳位置を検出するため、周囲の照度変化に大きく影響を受ける。このため、瞳位置の導出には瞳の動きに対する素子反応率を用いるが、照度の変化により反応率にも変化が生じる。この補正処理を行うため、照度による素子反応率の関係を実験的に求めた。実験は素子と疑似瞳の鉛直距離を 5mm, 8.5mm, 12.5mm と変化させてセンサ下に疑似瞳置いた黒目状態および疑似瞳を置かない白目状態における電圧値を測定し、その変化率を求めた。結果、放射照度約 6.5mW/cm² 以上の範囲で反応率は照度に応じて指数関数的に減少すること、その切片は瞳-センサ間距離に依存することがわかった。また、放射照度約 6.5mW/cm² の範囲では照度と反応率の相関はなく、ほぼ一定値を示すことを確認した。Fig. 2 に各照度におけるアレイセンサ電圧値と瞳に対する反応率の関係を示す。

Fig. 2 Plot of irradiance vs. reaction rate

4. 素子出力と瞳位置の関係

各素子の出力は、素子直下の黒目・白目による照度変化だけではなく、その周辺の変化にも影響を受ける。そこで、瞳の位置と素子の出力の関係を調べるため、疑似瞳を用いた実験を行った。この疑似瞳をセンサ下で1mmずつ移動させた際の瞳各位置による素子の反応率を測定した。結果をFig. 3に示す。縦軸は照度補正を加えた正規反応率、横軸は素子中心と瞳中心が一致する位置を原点としたときの瞳の水平移動距離を示している。結果より、瞳位置と反応率はほぼ比例関係にあることがわかった。

5. 視線検出実験

製作した眼鏡型アレイセンサを用いて視線検出実験を行った。実験はFig. 4に示すように1500mm前方のホワイトボードに400mm間隔で十字の印を5つ描き、5秒ごとに視点を移動させ、各印を注視したときのそれぞれの素子の出力を測定した。

得られた出力電圧に3章で述べた照度補正を加え、4章で述べた比例関係を用いて正規反応率から導出した瞳位置の時間変化をFig. 5に示す。また、カメラの画像から計測した実際の瞳の位置も同時に示す。Fig. 6には38秒時の瞳位置と、4章の結果から求めた推定瞳位置を、Fig. 7には各印を注視したときの注視点位置を示し、鉛直方向は下向きを正として時間による検出された視線の移動を示している。この結果から水平方向の視線推定が可能であることが示された。瞳位置の測定誤差は30-35sを除き ± 1 mmであり、これは眼球の回転角で $\pm 2.3^\circ$ に相当する。現在実用化されている視線検出システムは、測定誤差およそ 1° 程度のものが一般的である。本デバイスでこれを実現するためには、素子中心間距離をおよそ0.5mm程度にしたアレイセンサを製作すればよいと考えられる。

Fig. 3 Plot of pupil position vs. reaction rate

Fig. 4 Experimental setup

Fig. 5 Derived pupil position

Fig. 6 Real and estimated pupil position at 38sec

Fig. 7 The result of LOS detection experiment

6. 結論

本論文において、視線検出に必要な照度補正、瞳位置の取得アルゴリズムを構築した。また、眼鏡型アレイセンサを製作し、視線検出実験を行い、瞳位置導出および視線検出が可能なこと、構築したアルゴリズムの有効性を示した。

今後、眼鏡に視野を撮影する超小型CCDカメラを取り付け、顔正面の画像を撮影することで、頭部の移動に対する補正を行うことでウェアラブル視線検出システムを完成させる。

謝辞

本研究は財団法人中山隼雄科学技術文化財団の助成を受けたものである。

引用文献

- (1) T. Shigeoka, T. Muro, T. Ninomiya, and N. Miki, "Wearable Pupil Position Detection System Utilizing Dye-Sensitized Photovoltaic Devices," *Sensors and Actuators A*, vol.145-146, pp.103-108, 2008.