

論文内容の要旨

STARE: Real-Time, Wearable, Simultaneous Gaze Tracking and Object Recognition from Eye Images

博士論文題目

(STARE: 眼球画像を用いた実時間処理可能な装着型
デバイスによる視線追跡と物体認識)

氏名

EL HAFI Lotfi

(論文内容の要旨)

本論文では、様々な照明環境下における日常生活に応用可能な装着型デバイスとして、実時間での同時眼球追跡と焦点を絞った物体認識を実行するシステムであるSTAREを提案する。本提案システムでは、ユーザの目に向けられている単一のRGBカメラによって捕捉された眼球画像を用いて、視線方向とシーン情報を抽出する。特に、本手法は、シーンを捕捉するための赤外線センサやフロントカメラを必要としないため、装着型装置に埋め込まれたときに社会的に受け入れられるようにする。また、深層学習に基づく強力な画像処理技術だけではなく、カメラセンサの高解像度化および小型化などの近年の技術進歩により、本アプローチは可能になる。

初めに、モデルベースの手法を用いてRGB眼球画像から視線方向を推定する。虹彩上に楕円をはめ込むことによって、眼球画像から3Dモデルが構築される。その後、モデルを回転させて、異なる眼球ポーズの虹彩領域の投影をシミュレーションし、後続画像の虹彩領域をモデルから得られた投影と照合させることによって、視線方向を連続的に追跡する。キャリブレーションを1回追加することで視点が計算され、これにより角膜に映し出されたシーン画像内でユーザが注視している場所を識別することができる。

次に、視線方向情報を用いて角膜上に反射されたシーン内の物体を実時間で識別する。深層学習アルゴリズムを適用することで、眼球画像上の反射した視点を囲む領域内の物体を分類し認識する。高ダイナミックレンジ(HDR)を使用する追加のプロセスでは、提案手法が様々な照明条件で実行できることを示している。

最後に、本アプローチの妥当性は、デュアルカメラを装備した装着型デバイ

スの3Dプリンタでの製造可能なプロトタイプと、極端な照明条件下での高感度カメラを用いて、実験的に検証される。さらに、最先端のニューラルネットワークの概念実証の実装により、焦点を絞った物体認識が実時間で実行できることを示している。

したがって、本提案手法とプロトタイプは以下のような特徴をもつ斬新で完全なフレームワークに貢献する。1) 視線追跡と焦点を絞った物体認識を実時間で同時実行する、2) 反射した視点を使用して、焦点を絞った物体のデータセットを自動的に生成する、3) 現在の視線測定器内のセンサの数を単一のRGBカメラのみに削減する、4) あらゆる種類の照明環境下で、装着型デバイスの日常生活への応用を可能にする。これらの特徴を組み合わせることで、眼球に基づいた人間の行動分析や、日常業務中にユーザが注視している物体の膨大なデータセットを生成することに適している。

(論文審査結果の要旨)

本論文で提案された手法およびプロトタイプで得られた結果は、以下の特徴を持ち、視線追跡に関する斬新なフレームワークである。

1. 視線追跡と注視物体の分析をリアルタイムで同時に実行することが可能である。STAREは、眼球画像上の反射を利用してユーザの注意情報を直接抽出するため、追加の処理およびセンサは不要である。
2. 装着型のプロトタイプによって計算された眼球画像上の視点をを用いて、注視物体のデータセットを自動的に生成することができる。そのため、眼球に基づいた人間の行動分析に必要な膨大な眼球画像データセットを構築する際に、本手法は非常に効率的であるといえる。
3. 注視物体を評価するために他のセンサを必要としないため、現在の視線測定器内のセンサは単一のRGBカメラのみである。これにより、将来の視線測定器の小型化、消費電力およびコストの削減が可能である。
4. HDR処理を使用することで、多様な照明環境における日常生活への応用を可能にしている。したがって、提案されたシステムは、直射日光または夜間のような極端な照明環境で動作することができる。

さらに、本論文では、様々な環境下で提案手法を検証し、注視物体の認識がリアルタイムで実行できることを示している。

上記の特徴から、提案システムは、眼球に基づいた人間行動の分析や、日常生活中にユーザが注視している物体の膨大なデータセットを生成するが可能である。

以上のように、本論文は視線追跡を用いた人間行動分析の実現に大きく貢献している。よって本論文は、博士(工学)の学位論文としての価値があるものと認める。