



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | Improving Optical-See-Through Experience through Corneal Imaging            |
| Author(s)    | Plopski, Alexander  |
| Citation     | 大阪大学, 2016, 博士論文  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://doi.org/10.18910/55861">https://doi.org/10.18910/55861</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

|   |  |
|---|--|
| 氏 名 (Alexander Plopski)   |  |
| 論文題名  | Improving Optical-See-Through Experience through Corneal Imaging<br>(角膜反射像解析を用いた光学シースルーARにおけるユーザ体験の改善) |
| 論文内容の要旨   |  |
| <p>Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) found their way into various areas of our lives. AR and VR applications greatly benefit from a high degree of immersion that includes consistent visualization and intuitive interaction with the virtual content. Head mounted displays (HMDs), in particular optical-see-through (OST) HMDs, provide a natural interface for the presentation of AR. However, despite greatly improved design and years of research on OST-HMDs and AR, current systems still suffer from a variety of problems, such as complicated interaction, color inconsistencies and manual calibration. We expect that with further development of OST-HMDs, eye-tracking cameras will become an integral part of the device. Existing methods in eye detection use either eye features, e.g., the contour of the iris, or reflection of known light sources, commonly infra-red (IR) light emitting diodes (LEDs), to recover the position of the eye. Although the latter allow for high accuracy their use is limited to indoor scenarios and requires an accurate geometric calibration of the LEDs relative to the camera. This also limits their use to headworn or stationary systems. Under natural illumination the extraction of the light sources is a complicated task and user experience suffers from the intrusiveness of the artificial illumination. We propose to use corneal imaging (CI), the analysis of the corneal reflection of the observed scene under natural illumination, to estimate the pose of the eye. We show how the estimated position can be applied to improve the AR experience in OST-HMDs and enable gaze-based interaction with out-of-reach AR and VR content.</p> <p>OST-HMD calibration determines the spatial relation between the scene camera of the HMD and a first-person view camera that models the user's perception to correctly align virtual content and the real scene. We introduce Corneal Imaging Calibration (CIC), an automated calibration approach for OST-HMDs. The method does not require user interaction and can detect drift of the HMD. Furthermore, it does not require the detection of the iris contour or the eye pose, a requirement of previous automated methods. This improves the robustness in environments where the iris contour cannot be detected reliably. We present an in-depth evaluation and discuss possible error sources and drift detection strategies.</p> <p>Interaction with out-of-reach AR and VR content, e.g., projector- and OST-HMD-based AR, requires input through external controllers or voice commands. Eye-gaze based interaction offers a more socially acceptable and natural interaction with such content and has been proposed as part of AR application. We propose a new passive gaze tracking approach based on the estimated position of the eye. Our Hybrid eye-pose estimation does not require IR LEDs commonly used in commercial systems and adopts the approach used by these systems for use with images taken under natural illumination. We show, that our method can estimate the user's iris size and account for the impact of the illumination on the detected iris size. The proposed method does not require a gaze-mapping calibration and does not suffer from parallax issues as the position of the eye can be estimated in arbitrary scenes, as long as the scene-model is known. We show that our method outperforms standard methods commonly used in passive eye-gaze tracking and achieves an accuracy of about 1.7 degrees.</p> <p>The proposed applications require feature matches between the scene and the captured image to estimate the position of the eye. However, this approach is unreliable and error prone in CI. We propose a method based on inverse rendering that robustly tracks the position of the eye from the reflection of an arbitrary known scene. We show that the method can deal with various environments and outperforms results from feature matching.</p> <p>Following our observations of CIC, we present the results of a user study that evaluates the noticeability of spatial misalignment errors of AR shown on an HMD, e.g., as a result of an incorrect calibration or erroneous world model. Existing systems aim for perfect spatial alignment of virtual content with the real scene. In practice, this is not necessary, as users often cannot distinguish small shifts from the ground truth. Answering the question of the noticeability thresholds can help to define realistic goals for future calibration algorithms and improve the understanding of requirements in commercial applications. The results of this dissertation show that CI can be used to determine the spatial properties of the eye in AR applications where the scene-model is available. In the future, spatial estimation of the eye with the analysis of the content reflected on the cornea may be used to address other aspects of AR, such as color consistency and user experience.</p> |  |

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (Alexadner Plopski) |     |      |                                    |
|-------------------------|-----|------|------------------------------------|
|                         | (職) | 氏 名  |                                    |
| 論文審査担当者                 | 主 査 | 教授   | 竹村 治雄                              |
|                         | 副 査 | 教授   | 中前 幸治                              |
|                         | 副 査 | 准教授  | 清川 清                               |
|                         | 副 査 | 特任助教 | Christian Nitschke (京都大学大学院情報学研究科) |

**論文審査の結果の要旨**

本論文は拡張現実 (AR: Augmented Reality) の光学シースルーディスプレイのキャリブレーション手法に関するものである。計算機情報を実環境の情景に重畳表示して様々な作業支援を行うAR技術が近年注目されている。特に、Google Glassなどの光学シースルーヘッドマウントディスプレイ (OST-HMD: Optical See-through Head Mounted Display) は、ユーザの目の前にハンズフリーで情報を提示できるため直感的な作業支援が可能であり、大きな可能性を秘めている。しかしながら、OST-HMDには低い色再現性や狭い視野角など様々な問題があり、本格的普及を妨げている。特に、OST-HMDスクリーンに対するユーザの瞳孔の厳密な相対位置を求めるキャリブレーション処理は、ARの成否を決定づける重要な処理であるが、従来安定して動作する自動キャリブレーション手法は存在しなかった。本論文は、OST-HMDのための新しい自動キャリブレーション手法を提案し、さらに視線検出などの応用手法の開発に取り組んだものである。本論文の主な成果として次の三点が認められる。

第一に、角膜反射像を解析する、新しい自動キャリブレーション手法を提案している。HMDスクリーンに提示されたパターンの角膜への映り込みを解析することで、スクリーンと瞳孔位置の相対位置を厳密に算出することに成功している。具体的には、まず眼球を白目部分を表す球と角膜部分を表す角膜球の和として表現するモデルで表現し、複数箇所の映り込みを用いてフレーム単位で角膜球の位置を算出する。次に、複数フレームでの角膜球中心位置を用いて、眼球位置を推定する。従来の自動キャリブレーション手法は赤外LEDが別途必要であったり、瞳孔輪郭の検出に失敗して推定結果が不安定であったりという問題があったが、提案手法ではHMDスクリーンに提示されるコンテンツの映り込みを用いることで、追加ハードウェアなしに安定して瞳孔位置を算出できることが特徴である。主にグリッドパターンを用いた解析結果を示しているが、一般画像においても角膜反射像上で特徴をトラッキングできることも示している。

第二に、角膜反射像を解析する、新しい視線検出手法を提案している。HMDスクリーンに提示されたパターンの角膜への映り込みを解析することで、瞳孔が存在する可能性の高いエリアを絞り込む。そのエリアの近傍の特徴点のみを用いることで、外れ値やノイズに強いロバストな瞳孔輪郭検出を行う。これにより、従来手法よりも安定・高精度にフレーム単位で視線検出が可能であることを示している。

第三に、二台のプロジェクタによりOST-HMDを模擬する映像提示環境を用いて、OST-HMDによるARに求められる位置合わせ精度の限界について調査している。ARにおいて位置ずれのない重畳表示は重要な課題であるが、そもそもユーザがどの程度敏感に位置ずれを知覚するかは知られていない。調査の結果、光学シースルー型の重畳表示よりもビデオシースルー型の重畳表示のほうが位置ずれに鈍感であるなどが明らかになった。このような調査はこれまでになく、今後キャリブレーション手法の実用性を議論する上で貴重な知見となる。

以上のように、本論文は今後さらに利活用が進むと期待される拡張現実技術の進展に重要な成果を挙げた研究として、情報科学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士 (情報科学) の学位論文として価値のあるものと認める。