OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Eye-Based Interaction for Achieving Hands-Free Head-Mounted Displays
Author(s)	劉, 暢
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77638
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 (劉 暢)	
論文題名	Eye-Based Interaction for Achieving Hands-Free Head-Mounted Displays (ハンズフリーなヘッドマウントディスプレイのための視線追跡に基づいたインタラクション)

論文内容の要旨

Common head-mounted displays (HMDs) often require users to hold a controller and perform noticeable movements for interaction. In some practical use cases, however, it is difficult to perform such interaction, for example in a crowded public space, when the hands are in use or for physically handicapped users. Though some methods exist for supporting hands-free interaction, e.g. performing gestures or making sound, they usually require noticeable activities, and thus is not completely hands-free or lack social acceptability. To tackle this issue, this work focuses on the development and application of eye-based user interfaces to HMDs for hands-free usability and improved user experience. The focus can be distinguished into two aspects: a) pure hands-free object manipulation of 6 degrees of freedom (DoF), and b) using eye data to improve the functionality of HMDs.

In virtual reality (VR) and augmented reality (AR), gaze-based methods have been explored for decades as effective user interfaces for hands-free interaction. While many methods use eye gaze to assist with hand-based manipulations, interfaces cannot yet provide completely gaze-based 6 degrees-of-freedom (DoF) manipulations in an efficient manner. In this work, a novel user interface, referred to as OrthoGaze, is introduced. OrthoGaze allows the user to intuitively manipulate the three-dimensional position of a virtual object using only eye or head gaze. This approach makes use of three selectable, orthogonal planes, where each plane not only helps guide the user's gaze in an arbitrary virtual space, but also allows for 2-DoF manipulations of object position.

To evaluate the method, two user studies were conducted involving aiming and docking tasks in VR to evaluate the fundamental characteristics of sustained gaze aiming and to determine which type of gaze-based control performs best when combined with OrthoGaze. Results showed that eye gaze was significantly more accurate than head gaze for sustained aiming. Additionally, eye and head gaze-based control for 3D manipulations achieved 78% and 96% performance, respectively, in comparison with a hand-held controller. Subjective results also suggest that pure eye gaze-based manipulation can comprehensively cause more fatigue than head gaze-based one. From the experimental results, OrthoGaze is expected to become an effective method for pure hands-free object manipulation in head-mounted displays. Additionally, three methods are implemented and tested to handle rotations of virtual objects using gaze, including RotBar: a method that maps line-of-sight eye gaze onto per-axis rotations, RotPlane: a method that makes use of orthogonal planes to achieve per-axis angular rotations, and RotBall: a method that combines a traditional arcball with an external ring to handle user-perspective roll manipulations. The efficiency of each method is evaluated by conducting a user study involving a series of orientation tasks along different axes with each method. Experimental results showed that users could accomplish single-axis orientation tasks with RotBar and RotPlane significantly faster and more accurate than RotBall. On the other hand for multi-axis orientation tasks, RotBall significantly outperformed RotBar and RotPlane in terms of speed and accuracy.

In addition, all three methods effectively achieved over 70% matching with the misalignment less than 3 degrees for single-axis tasks, and 70% matching of misalignments less than 6 degrees for multi-axis tasks.

In practical use of optical see-through head-mounted displays (OST-HMDs), users often have to manually adjust the brightness of virtual content to ensure that it is at the optimal level. Automatic adjustment is still a challenge, largely due to the complexity of real world lighting and user perception. As a step towards overcoming this issue, a novel method, referrd to as IntelliPupil, is introduced. IntelliPupil uses eye tracking to properly modulate augmentation lighting for a variety of lighting conditions and real scenes. The system first takes data from a small form factor light sensor and changes in the pupil diameter from an eye tracking camera as passive inputs. The data is coupled with user-controlled brightness selections, allowing the algorithm to fit a brightness model to the user preference using a feed-forward neural network. Using a small amount of training data, both the scene luminance and the pupil size are used as inputs into the neural network, which can then automatically adjust to a user's personal brightness preference in real time. Experiments in a high dynamic range AR scenario with varied lighting show that pupil size is just as important as environment light for optimizing brightness and that the system outperforms linear models.

The results of this work give implication and insights on the design and applications of eye-based user interfaces for HMDs. The author believes that the application of eye tracking technology can lead to great improvement of human-HMD interaction.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名（　劉　暢　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者		
主 査	教授	竹村治雄
副 査	教授	尾上孝雄
副 査	教授	清川　清（奈良先端科学技術大学院大学）
副 査	准教授	浦西友樹

論文審査の結果の要旨

一般的な頭部搭載型表示装置(Head-mounted Display - HMD)では，利用者が手にコントローラを持って表示される情報との対話を行うが，混雑した公共空間での使用時や上肢の不自由な利用者にとっては操作が困難となる。本論文では，HMDのハンズフリー操作におけるユーザビリティとUX-User Experienceの向上を目的とした，目および視線を利用した利用者インタフェース（UI）の開発とHMDへの応用に着目し，三つの主要な成果をあげている．

第１の成果は，視線のみを用いた仮想物体の並進操作手法の提案と評価である．仮想現実（VR）や拡張現実（AR）では，ハンズフリーインタラクションのための効果的なUIとして，長年に渡って，視線を利用した手法が研究されているが，多くの手法では視線は補助的に利用され，他の操作方法と組み合わせてインターフェースを実現している．本論文では，視線のみを利用した操作対象の効率的な並進操作を実現することを目的として，OrthoGazeと呼ばれる新しい利用者インターフェースを提案している．提案手法を評価する被験者実験を実施し，提案手法は，コントローラを用いた操作と比較しておよそ70%からほぼ同等の操作性で視線による対象物体の並進操作が可能であることを見出している．これは，何らかの事情で手による操作が困難な場合において，提案手法が充分な代替操作手法となりうる性能であることを示していると考えれられる．

第２の成果は，視線のみを用いた仮想物体の回転操作手法の提案と評価である．具体的には，RotBar, RotPlane, RotBalの3つの視線のみによる回転手法を実装し，評価実験を実施している．評価実験の結果，１軸方向の回転のみのタスクでは，RotBar と RotPlane の方が，RotBall より速く，正確な操作が実行できること，複数軸の回転を必要とするタスクでは，RotBall が RotBar と RotPlane より操作性に優れることを確認し，それぞれの手法での回転操作に対する精度評価も実施し，提案手法の有効性を検証している．

第３の成果は，眼球計測データを利用した光学的透過型HMD（OST-HMD）の視認性向上手法の提案と評価である．OST-HMDでは，仮想コンテンツの輝度を同時に観察される現実環境である周辺状況と同等のレベルにするために，利用者がディスプレイ輝度を調整しなければならない．この問題を克服するために，IntelliPupilと呼ばれる手法を開発し評価を実施している．IntelliPupilは，眼球計測を利用して，様々な照明条件や実際のシーンに合わせてOST-HMDの輝度を調整するものである．具体的には，小型の光センサと，アイトラッキングカメラから得られる瞳孔径の変化，ユーザーが好みに応じて調整するディスプレイの輝度値を用いて機械学習による利用者に適合したディスプレイ輝度調節モデルを得て，これにより実際の輝度調節を行うものである．様々な照明を用いた高ダイナミックレンジARシナリオでの実験の結果，利用者の瞳孔サイズは，表示輝度を最適化するために環境光強度と同様に重要であり，提案システムが線形モデルよりも優れていることを示している．

本研究の結果は，HMDのための視線および眼球計測を用いたUIの設計と応用に示唆と洞察を与えるものであり，これらの成果は，主要な学術論文誌及び関連分野の国際会議で発表されている．

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VRおよびAR技術の進展に重要な成果を挙げた研究として，情報科学の進展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．