

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12084

研究課題名(和文) 符号化開口法を用いたHMDの被写界深度拡大

研究課題名(英文) Extending Depth of Field for See-through Display Using Coded Apertures

研究代表者

池田 聖 (IKEDA, Sei)

立命館大学・情報理工学部・任期制講師

研究者番号：40432596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、HMDに対して符号化開口技術を用いて利用者が結像した像を見ることのできる範囲である被写界深度を拡大することである。具体的には、光学式透過型HMDを用いて眼球の前に符号化開口を設置し、この開口形状と注視点の奥行きに対応した点広がり関数により予め提示画像を鮮鋭化する手法を開発した。開発手法の有効性を確認するために、奥行きが一定の注視位置で提示像を視認可能なシステムを試作した。小規模な被験者実験では、光学透過型HMDにフィルムで作成した符号化開口を設置し、点光源を提示した上で、被験者がHMDの被写界深度外を注視した際に、開口形状が視認できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to extend the depth of field in head-mounted displays (HMDs) using the coded aperture technology. Specifically, a coded aperture was set in front of the eyeball using an optical see-through HMD, and a image was sharpened in advance by a point spread function corresponding to the opening shape and the depth of the gazing point was developed. In order to confirm the effectiveness of the developed method, we made a prototype system capable of viewing the presentation image at a fixation position with a fixed depth. In a small-scale subjective experiment, the aperture shape made of film was set in the optical see-through HMD, and a point light source was presented. It was confirmed that the aperture shape was visually recognized even when the subject gazed at the outside of the depth of field of the HMD.

研究分野：複合現実感

キーワード：複合現実感 ディスプレイ

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、ビデオ透過型ディスプレイを用いた複合現実感における幾何学的整合法の研究の一環として、2012年度よりハンドヘルドディスプレイを用いた複合現実感において利用者が直視する実シーンとディスプレイ上に提示されるビデオ画像との位置ずれを幾何補正する技術を開発し、視認性の向上を確認した。しかし、一方でディスプレイの提示面と実シーンとの奥行きの違いから光学および認知学的な不整合が生じ、この視認性の向上は限定的であった。このような奥行きに関する不整合全般を解決しようとする基盤研究(B)に対して、特にHead-Mounted Displayに焦点をあて、光学的不整合の中でも焦点ボケの問題を解消しようとする立場から、本研究課題の全体の着想に至った。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、Head-Mounted Display (HMD) に対して符号化開口技術を用いて利用者が結像した像を見ることのできる範囲である被写界深度を拡大することである。具体的には、眼球の前に符号化開口を設置し、この開口形状と注視点の奥行きに対応した点広がり関数 (Point Spread Function, 以下PSF) により予め提示画像を鮮鋭化しておくことで、HMDの被写界深度外を利用者が注視していても、目的とする像を提示することができることを確認する。目的達成のため、(1)眼前符号化開口を用いた提示像鮮鋭化法の開発、(2)注視位置を固定した実証システムの試作、(3)被験者実験による被写界深度拡大の確認、の3つの研究課題を実施する。以上により、従来のLight-fieldに基づいて広い被写界深度を実現するディスプレイにおいても生じる分解能のトレードオフや計算量の問題を解決する。

### 3. 研究の方法

研究目的で設定した次の課題を順次行った。(1)眼前符号化開口を用いた提示像鮮鋭化法の開発：まず符号化開口の形状として、コンピュータシミュレーション・フォトグラフィーで使われるカメラ用の開口形状を調査し、高周波成分を復元できるという基準でもっとも性能の高い形状を採用する。次に、開口形状から算出されるPSFによる、事前鮮鋭化手法のアルゴリズムを開発する。この実装では、いくつかのHMD特有の制限を制約として加えた最適化により、事前鮮鋭化するプログラムを試作した。(2)注視位置を固定した実証システムの試作：被験者実験のように実際に一定の奥行きを注視しやすく、符号化開口を通して提示像が確認できる筐体を3Dプリンタで作成した。符号化開口としてプラネタリウム用の高分解能で、高コントラストな像を提示できるフィルムに特定のパターンの印刷を依頼した。

(3)被験者実験による被写界深度拡大の確認：まず、点光源を提示し、被写界深度外に注視点を合わせた場合に、符号化開口形状の像が視認できることを確認した。これにより、正しく網膜上に投影できていることを確認した。また、10名の被験者の主観評価により提示像の鮮鋭化結果を確認した。

### 4. 研究成果

本研究課題における主な研究成果は次のとおりである。

HMDに対して符号化開口技術を用いて利用者が結像した像を見ることのできる範囲である被写界深度を拡大するため、光学式透過型HMDを用いて眼球の前に符号化開口を設置し、この開口形状と注視点の奥行きに対応した点広がり関数により予め提示画像を鮮鋭化する手法を開発した。開発手法の有効性を確認するために、奥行きが一定の注視位置で提示像を視認可能なシステムを試作した。小規模な被験者実験では、光学透過型HMDにフィルムで作成した符号化開口を設置し、点光源を提示した上で、被験者がHMDの被写界深度外を注視した際に、開口形状が視認できることを確認した。

### 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9件) 全て査読付き
1. D. C. Rompapas, A. Rovira, A. Plopski, C. Sandor, T. Taketomi, G. Yamamoto, H. Kato, and S. Ikeda: "EyeAR: Refocusable Augmented Reality Content Through Eye Measurements", *Multimodal Technologies and Interaction*, Vol. 1, No. 4, Article 22, 2017.  
<https://doi.org/10.3390/mti1040022>
  2. 森尚平, 池田聖, 松木ひとみ, 松永知典, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "隠消現実感体験時の両眼視野不整合に関する考察", *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* Vol.22, No.2, pp. 251-258, 2017.  
[https://doi.org/10.18974/tvsrj.22.2\\_251](https://doi.org/10.18974/tvsrj.22.2_251)
  3. T. Taketomi, H. Uchiyama, and S. Ikeda: "Visual-SLAM Algorithms: A Survey from 2010 to 2016", *IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications*. Vol. 9, No. 16, 11 pages, 2017.  
<https://doi.org/10.1186/s41074-017-0027-2>
  4. S. Mori, S. Ikeda, and H. Saito: "A Survey of Diminished Reality: Techniques for Visually Concealing, Eliminating, and Seeing Through Real Objects", *IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications*, Vol. 9, No. 17, 14 pages, 2017.  
<https://doi.org/10.1186/s41074-017-0028-1>
  5. S. Mori, Y. Eguchi, S. Ikeda, F. Shibata, A. Kimura, and H. Tamura: "Design and Construction of Data Acquisition Facilities for Diminished Reality Research", *ITE*

Trans. on Media Technology and Applications (MTA), Vol. 4, No. 3, pp. 259-268, 2016.

<https://doi.org/10.3169/mta.4.259>

6. Y. Wakabayashi, S. Ikeda, and K. Sato: "Visible-Light Image Synthesis from Infrared Images Using Texture Transfer", ITE Trans. on Media Technology and Applications, Vol. 4, No. 2, pp. 169-176, 2016.

<https://doi.org/10.3169/mta.4.169>

7. 平田遼太郎, 石橋朋果, チェカネイ, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "DOMINO Toppling: 実物体と仮想物体のシームレスな遷移を可能にした MR アトラクション", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 463-472, 2016.

<https://doi.org/10.18974/tvrsj.21.3.463>

8. 北嶋友樹, 池田聖, 佐藤宏介: "輻輳に基づく AR X-ray Vision", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 81-84, 2016.

<https://doi.org/10.18974/tvrsj.21.1.81>

9. 李金霞, 齊藤純哉, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "隠消現実感技術を用いた映画制作支援システムの開発と運用", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 451-462, 2016.

<https://doi.org/10.18974/tvrsj.21.3.451>

[学会発表](計 23 件)

1. S. Mori, S. Ikeda, C. Sandor, and A. Plopski: "BrightView: Increasing Perceived Brightness of Optical See-Through Head-Mounted Displays through Unnoticeable Incident Light Reduction", 25th IEEE Conf. on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 2018.
2. S. Manabe, S. Ikeda, F. Shibata, and A. Kimura: "Casting virtual shadows based on brightness induction for optical see-through displays", 25th IEEE Conf. on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 2018.
3. S. Mori, S. Ikeda, C. Sandor, and A. Plopski: "BrightView: Increasing Perceived Brightness in Optical See-Through Head-Mounted Displays", 2017 IEEE Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2017.
4. S. Mori, J. Qie, S. Ikeda, F. Shibata, A. Kimura, and H. Tamura: "Background Image Registration as a Post-Processing Technique in Diminished Reality Rendering Procedures", IEEE Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2017.
5. T. Morozumi, S. Mori, S. Ikeda, F. Shibata, A. Kimura, and H. Tamura: "Design and Implementation of a Common Dataset for

Comparison and Evaluation of Diminished Reality Methods", IEEE Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2017.

6. 菊池裕太, 平田遼太郎, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "車載カメラ利用に適した映像通信フレームワーク ~ 仮想視点移動映像による渋滞情報提示への応用 ~", 情報処理学会第 79 回全国大会, 2017.

7. 松永知典, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "隠消現実感における両眼視野不整合についての分析と対策(3) ~Light Field Rendering を用いた隠背景再構成に生じるジッタの分析 ~", 情報処理学会第 79 回全国大会, 2017.

8. 両角泰希, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "隠消現実感手法の客観評価のための共通データセットの開発", 情報処理学会第 79 回全国大会, 2017.

9. 堀田勝, 坂内大樹, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "実時間観測の援用により移動物体への拡張を可能にした隠消現実感の実現", 情報処理学会第 79 回全国大会, 2017.

10. S. Ikeda, A.N. Trung, T. Komae, F. Shibata, A. Kimura: "Randomly distributed small chip makers", 15th Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2016.

11. A. Rovira, D.C. Rompapas, S. Ikeda, A. Plopski, T. Taketomi, C. Sandor, and H. Kato: "EyeAR: Refocusable augmented reality content through eye measurements", 15th Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2016.

12. H. Matsuki, S. Mori, S. Ikeda, F. Shibata, A. Kimura and H. Tamura: "Considerations on Binocular Mismatching in Observation-Based Diminished Reality", IEEE Symp. on 3D User Interfaces 2016.

13. K. Oshima, K. Moser, J. Rompapas D. II, S. Ikeda, G. Yamamoto, T. Taketomi, C. Sandor, and H. Kato: "SharpView: Improved Clarity of Defocussed Content on Optical See-Through Head-Mounted Displays", IEEE Symp. on 3D User Interfaces, 2016.

14. 石橋朋果, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "仮想移動物体に対する MR 光学的整合実現の一手法", 情報処理学会第 78 回全国大会, 2016.

15. Jianing Qie, 松見優一, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "隠消現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法の検討と実装", 情報処理学会第 78 回全国大会, 2016.

16. 松木ひとみ, 森尚平, 池田聖, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: "隠消現実感における両眼視野不整合についての分析と対策 (2)", 日本バーチャルリアリティ学会

- 複合現実感研究会, 2016.
17. 平野愛子, 池田聖, 木村朝子, 柴田史久: "直進走行時における前方車両の半隠消表現に関する基礎検討", 情報処理学会第78回全国大会, 2016.
  18. Y. Kitajima, S. Ikeda, and K. Sato: "Vergence-Based AR X-ray Vision", IEEE Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2015.
  19. H. Uchiyama, T. Taketomi, S. Ikeda, J.P.S.d.M. Lima: "Abecedary Tracking and Mapping: A Toolkit for Tracking Competitions", 14th IEEE Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2015.
  20. K. Morita, S. Ikeda, K. Sato: "Automatic Matching on Fracture Surface of Quarried Stone Using the Features of Plug-and-Feather Holes", Software Engineering Research, Management and Applications Studies in Computational Intelligence, 2015.

〔図書〕(計1件)

1. 蔵田武志, 清川清(監修), 大隈隆史(編集): "AR(拡張現実)技術の基礎・発展・実践", 科学情報出版, 2015(分担執筆:執筆箇所「3.1 シーン形状のモデリング」), pp. 136-143.

〔産業財産権〕

出願状況(計3件)

名称:画像表示システム,画像表示方法及びコンピュータプログラム  
発明者:田村 秀行,柴田 史久,池田 聖  
権利者:学校法人立命館  
種類:特願  
番号:2016-210526  
出願年月日:2016/10/27  
国内外の別:国内

名称:画像取得方法,画像表示システム,及びコンピュータプログラム  
発明者:田村 秀行,柴田 史久,池田 聖  
権利者:学校法人立命館  
種類:特願  
番号:2016-210519  
出願年月日:2016/10/27  
国内外の別:国内

名称:ピッキングシステム  
発明者:田村 秀行,柴田 史久,池田 聖,橋本 明解,小野山 達夫,藤本 淳一,佐藤 敏之,八軒 弘和  
権利者:学校法人立命館  
種類:特願  
番号:2016-095711  
出願年月日:2016/05/12  
国内外の別:国内

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/view/ikeda-sei>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 聖 (IKEDA, Sei)

立命館大学・情報理工学部・任期制講師

研究者番号:40432596