

## 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：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02737

研究課題名(和文)注視センシングに基づく透過型ディスプレイの奥行き知覚整合技術

研究課題名(英文)Depth Perceptual Consistency Techniques for See-through Display Based on Gaze Sensing

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) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題における主な研究成果は(1)瞳孔径センシングに基づく光学透過型HMDの事前焦点ボケ補正，(2)水晶体調節センシングに基づく拡張現実感提示の効果の実証，(3)両眼輻輳に基づく視認性に関する研究，(4)本研究課題に密接に関係する隠消現実感技術とVisual SLAM技術の調査研究，(5)本研究課題実施時に獲得した知識を利用した応用研究，の5つである。以上の成果により奥行きの知覚特性のより深い理解に基づいた複合現実感のアプリケーションを設計できるようになった。

研究成果の概要(英文)：The main contributions in this research are (1) the pre-correction of focus blur for optical see-through head-mounted display based on pupil diameter sensing, (2) demonstration of effect of augmented reality presentation based on lens accommodation sensing, (3) the visibility improvement based on sensing of vergence eye movement, (4) survey research on diminished reality techniques and visual SLAM techniques, and (5) diminished reality applications using knowledge acquired from the implementation of the above fundamental researches. With the above results it became possible to design implement applications of mixed reality based on a understanding of depth perception characteristics in AR see-through displays.

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 注視センシング

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、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が、一方で奥行き知覚の不整合のためこの向上は限定的であった。

研究分担者らは、これとは独立に、ビデオ透過型ヘッドマウントディスプレイを用いた拡張現実感において、実物体の奥に存在する別の物体を可視化する X-ray Vision 技術に関する研究で成果を得ていた。この技術では、奥行き知覚において重要な画像要素のみを抜き出し、正しい奥行き知覚の絵画的手がかりを追加することで、両物体を知覚しやすくすることはできたが、画像処理のみの効果はシーンに強く依存し限定的であった。利用者の注視点位置に応じてこれらの表示を変化させることでより表現能力を高めることができるという認識に至った。

以上のように注視点センシングが奥行きの認知に関わるインターフェースの制限を打開する共通の技術となることから、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、ビデオ透過型ないしは光学透過型の個人用ディスプレイにおける実シーンと重畳像の間の奥行き知覚に関する不整合を、主に画像処理によるソフトウェア的アプローチにより解決することである。利用者が注視する位置や奥行きに関連付けて画像を提示する注視駆動型提示による奥行き知覚整合法を開発し、利用者が意識することなくシームレスに実シーンとCG像を視認できるディスプレイを実現する。目的達成のための具体的な研究課題として、視線検出に基づく(1)網膜像的整合法の開発、錯覚現象を利用した(2)認知的整合法の開発、を実施する。

### 3. 研究の方法

(1) 焦点ボケ整合法の開発：光学透過型もしくはビデオ透過型ディスプレイを対象として、直接見る実シーン像とディスプレイに提示される像の網膜上の焦点ボケを近づけることにより、両者の奥行き知覚の整合をとる。ディスプレイよりも奥の実シーンを注視する場合は、注視点とディスプレイのそれぞれの奥行きなどから、目のPSF(Point Spread Function)を算出して提示像を加工することにより、網膜上の焦点ボケを除去する。

(2) 焦点ボケの強調操作法の開発：研究課題(1)で説明したように必要な情報がセンシングできれば理論上は一意に焦点ボケの除去度合いを算出することができるが、実際には、センシング精度の問題や表示能力限界があるため、理論どおりにはならない。こうしたことを考慮することで、高性能化を図る。

(3) リアルタイムシステム試作・実証実験：

上記課題の多くは条件を単純化するためにあご台に頭部を固定して、限られた状況下での有効性を示すことに主眼を置いたが、本課題では、実利用を想定し、頭部の移動や実際のディスプレイに近いハードウェア構成を想定したリアルタイムシステムを試作し、実証実験による有用性の確認を目的とする。

### 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。

(1) 瞳孔径センシングに基づく光学透過型HMDの事前焦点ボケ補正：拡張現実感用の光学透過型ディスプレイに提示される像は通常奥行きが固定されている。実物体に焦点をあわせる場合は仮想物体が焦点ボケする。本研究成果では、仮想物体として提示する像を予め焦点ボケの点拡がり関数を逆に畳み込み本研究成果は研究課題(1)に相当する。

(2) 水晶体調節センシングに基づく拡張現実感提示の効果の実証：拡張現実感用の光学透過型ディスプレイに提示される像は通常奥行きが固定されている。このために実物体と仮想物体を同時に観察すると、どちらかに焦点を合わせる必要があり、もう一方は焦点ボケする。本成果では、水晶体調節を直接センシングできるオートレフラクトメーターを用いてリアルタイムに焦点距離をセンシングし、焦点距離に合わせて仮想物体の焦点ボケを提示したところ、実物体と仮想物体の区別が難しくなくなったことを確認した。(発表論文1,16)。本成果は課題(2)に相当する。

(3) 両眼輻輳に基づく視認性改善手法に関する研究：まず両眼の輻輳角を用いてAR X-ray Visionを使用する利用者の注視対象の奥行きを特定し、提示像の透過率を変化させることで視認性が向上することを確認した(論文2)。また、隠消現実感により提示される像のアーチファクトが両眼立体視に与える影響を確認した(論文2)。成果は課題(3)に相当。

(4) 本研究課題に密接に関係する隠消現実感技術とVisual SLAM技術の調査研究：AR X-ray Vision技術は、隠消現実感技術の一種である。また、本研究課題では、仮想物体の位置合わせ問題が解決済みの状況での、課題を設定しているため、実験においては安定したVisual SLAMの選定は極めて重要である。こうした技術を網羅的に調査し文献にまとめた。

(発表論文3,4)

(5) 本研究課題実施時に獲得した知識を利用した応用研究：隠消現実感技術の応用研究として、新視点画像生成技術、DR・MRアトラクション、映画製作支援システムを開発した。(発表論文5,6,7,9)

### 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/tvrsj.22.2\\_251](https://doi.org/10.18974/tvrsj.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](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](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](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

(2) 研究分担者

サンドア クリスチアン

(Christian, SANDOR)

奈良先端科学技術大学院大学・

情報科学研究科・准教授

研究者番号: 80733196