

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03964

研究課題名（和文）車窓ディスプレイにおける視線駆動映像提示に関する研究

研究課題名（英文）A Study on Gaze-driven Image Presentation on Automotive HUDs

研究代表者

池田 聖（Ikeda, Sei）

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号：40432596

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、車載の窓型透明ディスプレイを対象に、利用者の三次元的な注視位置を推定し、これに基づき提示するAR像を変化させることで視認性を向上させる技術の確立であった。本目的に対して、具体的に達成できた成果は、視線検出器の自動較正法と三次元注視位置センシング法を開発したことである。視線検出器の自動較正法では、頭部移動を伴う3次元シーンにおいて固視を検出し、固視の分散を指標とする方法が有効であることを確認した。三次元注視位置センシング法においても、同様の状況下で各物体表面上での固視を検出することで、注視対象を判別できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、視線計測を伴うバーチャルリアリティ（VR）や拡張現実感（AR）技術において基礎となる成果である。現在、これらの研究分野では視線計測の重要性が増してきており、VR/ARヘッドセットに視線計測器が標準搭載されるようになってきている。いずれのヘッドセットにおいても本研究の成果を応用することが可能であるためその意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to establish a technology that enhances visibility by changing the AR image displayed based on the user's estimated three-dimensional gaze position on an in-vehicle transparent window display. In line with this objective, specific achievements included the development of a self-calibration method for head-mounted eye tracker and a three-dimensional gaze position estimation method. The self-calibration method for eye tracker confirmed the effectiveness of detecting fixations and using fixation dispersion as an evaluation criterion in a 3D scene involving head movement. Similarly, the three-dimensional gaze position estimation method demonstrated that detecting fixations on various object surfaces in similar conditions enables the determination of the gaze target.

研究分野：拡張現実間

キーワード：拡張現実間 視線計測 固視検出

1. 研究開始当初の背景

乗り物の窓に拡張現実感像 (AR 像) の提示が可能な光学透過型ディスプレイ (以下、車窓ディスプレイ) は、実風景に関連した情報を提示することができる。しかし、車両による移動中に実風景像に加えて AR 像が提示されたときの各像の視認性やその改善方法は、従来研究では十分明らかにされていない。従来研究により AR 像の提示において三次元注視位置のセンシングが達成できれば様々な画像提示手法により、視認性が改善されることが明らかになった。一方で、三次元注視位置のセンシングは難しく、従来法のほとんどの手法が 4m 未満の近景に限られており、様々な応用を考慮するとセンシングの適用範囲は狭く、遠景を対象とした 3 次元注視位置の推定法が必要であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、一定の空中に結像する車載の透明ディスプレイを対象に、利用者の三次元的な注視位置を推定し、注視位置に基づき提示する AR 像を変化させることで視認性を向上させる技術の確立である。三次元注視位置に関しては、広く普及する従来の視線検出技術とは異なり、視線方向に加えて、透明ディスプレイに表示される虚像とその奥に透けて見える実像のどちらを注視しているのかを含む、三次元的な注視位置を算出する。具体的には次の 3 つの副研究課題を設定し、各課題に示す手法の性能を明らかにする。

(A) 車窓ディスプレイのための三次元注視位置センシング

図 1 に示すように車両内から車外の風景を見た場合には、AR 像と実風景のどちらを注視するかが従来の視線検出器の精度では判別できない。本研究課題では、この奥行を含めた三次元注視位置を推定する。

(A-1) 任意眼球モデルに適用可能な視線検出器の自動較正法

正確な三次元注視位置の算出には、正確な視線検出器のキャリブレーションが必要である。しかしながら、実利用を考えた場合には利用者に特定のマークを見てもらうようなタスクを事前に課すことができないため自動較正は必須の技術となる。従来の自動較正の多くは利用者が視線を向けやすい箇所を表す saliency map の極大箇所と実際の視線方向との整合性をとるものであったが、較正パラメータ推定に必要な時間が長く、視線推定モデルも単純なものに限定されていた。本研究では、saliency map に加えて追加の手掛かりを導入し、視線モデルにも限定されない方法を検討する。

(A-2) 中遠景の重畳像に対応した三次元注視位置センシング

並進移動する車両内にいる利用者が車窓ディスプレイを介して AR 像と実風景との混合像をみる際の、注視方向と奥行の両成分を推定する。車窓から見える実風景の多くが 4m 以上の中遠景であり、従来このレベルの奥行に対応した三次元注視位置センシング法は殆ど研究されていない。本研究では、奥行に関して AR 像が結像する奥行きおよび実物体の物体表面に限定し、どちらを見ているかを算出することで奥行を得られたものとする。

(B) 三次元注視位置に基づく重畳像の高視認性レンダリング

図 1 の右側のように、三次元注視位置の推定結果をもとに AR 像を注視する場合は、AR 像の視認性を高め、実風景を注視する場合は AR 像の一部の透過率を高めて実風景の視認性が向上するよう像を提示する。どちらの場合も、非注視対象の存在を完全に消してしまわないような提示法の工夫が必要である。本研究課題では、両者の視認性が高まるような提示法を開発し、その性能や有効性を確認する。

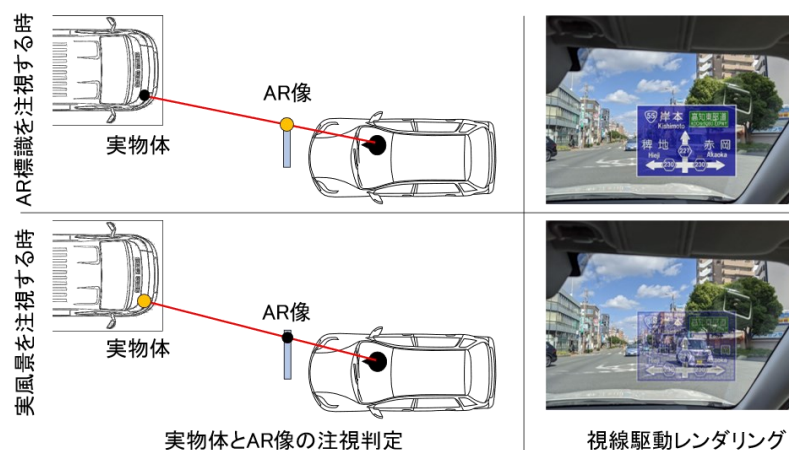


図 1：三次元注視位置に基づく視線駆動レンダリング

3. 研究の方法

研究目的 (A-1)、(A-1) および (B) を達成するために、それぞれに対応した次の研究課題を後述する手順で解決する。

(a) 並進移動を利用した三次元注視位置推定

研究課題(A)に対しては、図2に示す3D dispersionを用いた手法により解決を試みる。

(a-1) 3D dispersion 指標を用いた視線検出器の自動較正

図2下に示すのは従来の視線検出器で用いられてきた較正時の指標(左および中央)と本研究課題で新たに導入を試みる指標(右)である。既存の製品で使用されているものはマーカを必要とし明示的な較正タスクを利用者に課すものである。研究レベルの実現しているものは、中央の saliency の極大値と fixation の距離を利用するものである。これも本研究では利用可能である。加えて、図2上および右下に示すように、車両内の利用者のように自然と並進移動するような特殊な環境においては、3D dispersion 指標という指標を利用可能である。これは、fixation に対応した視線と物体との交点群の分散が、較正精度が悪い場合に大きくなる指標であり、3D dispersion を最小化するような較正パラメータを探索することで自動較正が可能になると考えている。本研究課題ではこの新たな指標と従来の saliency map を併用した手法が従来法より優位であることを示し、その有効性を確認する。

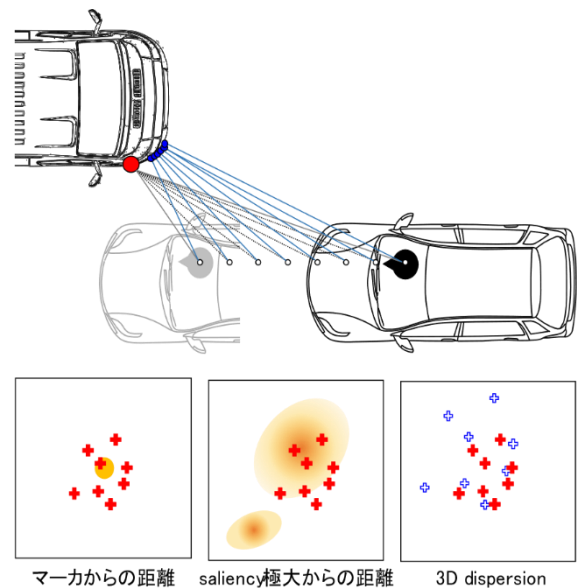


図2: 3D dispersion 指標に基づく較正

(a-2) 3D fixation 分布に基づくAR像の注視判定

図3に示すように移動する自動車からの風景に模した映像を被験者に提示し、その際の視線データを取得する。視線データから実像もしくはAR像上の一点に停留する瞬間を自動抽出し、実風景かAR像を注視するのかを判定する。

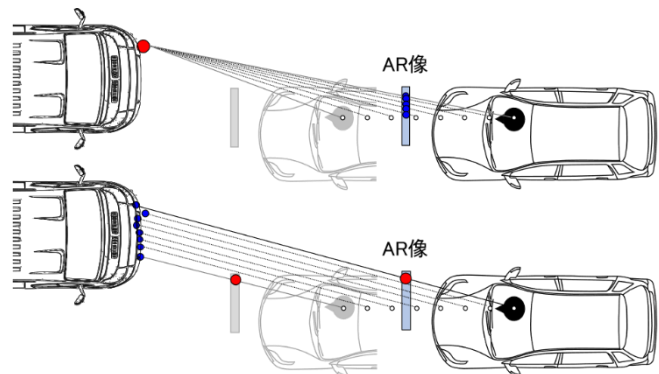


図3: 3D dispersion 指標に基づく
三次元注視位置推定

(b) 視覚補完錯覚を利用した視線駆動型レンダリング

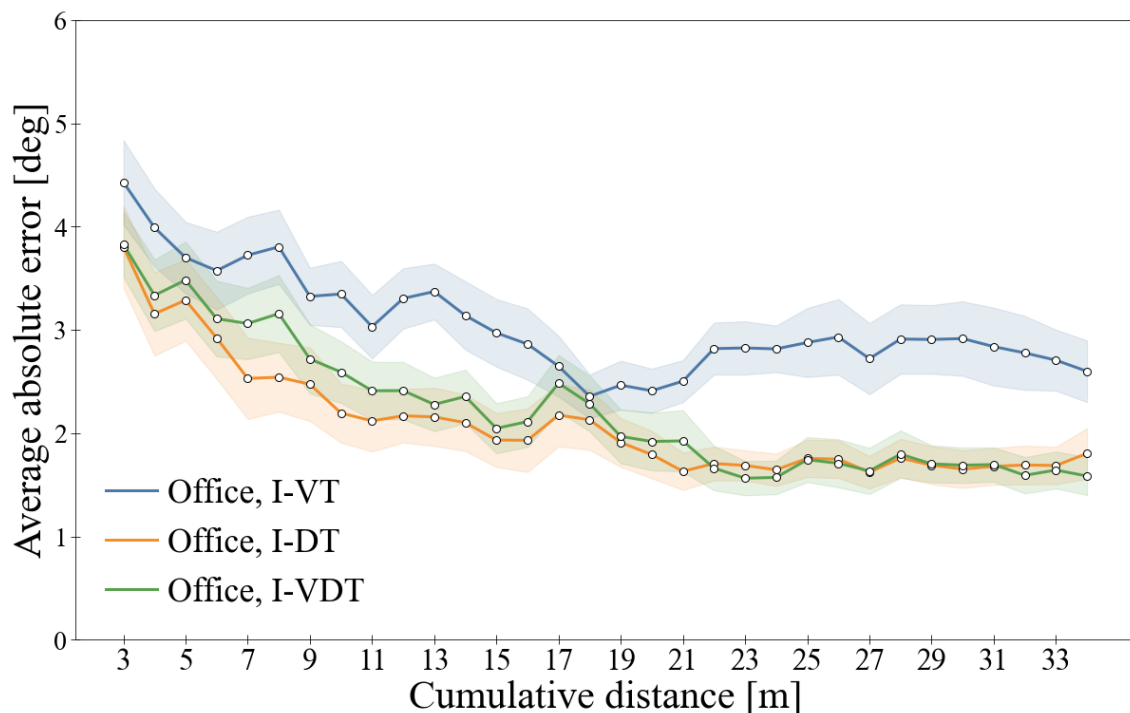
図1右に示すAR像のように fixation が発生しやすく、両眼融像しやすく、非注視対象の大部分が透過するAR像のレンダリング方法について検討する。

4. 研究成果

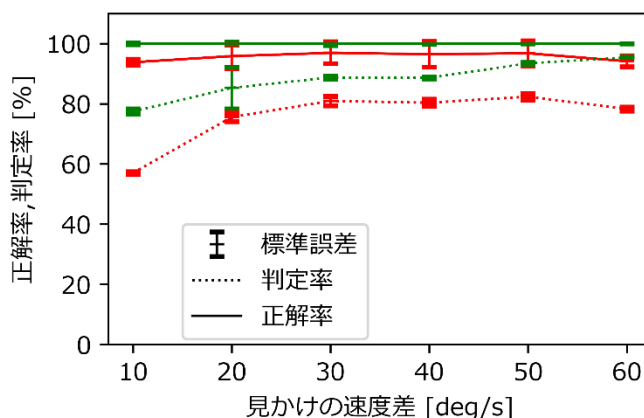
各研究課題に対する成果を述べる。

(A) 車窓ディスプレイのための三次元注視位置センシング:

(A-1) 視線検出器の自動較正法: 利用者に特定の動作を課さずに、自動的に視線検出器を較正する手法を開発した。開発手法では、環境の三次元モデルと視線の交点(注視点)を算出し、固視中の注視点の分散を最小化する最適化問題として較正パラメータを推定する。バーチャルリアリティ(VR)環境において本手法が、顕著性に基づく従来法に比べて精度が高く、頭部の18m程度並進移動により較正精度が収束することを確認した(次図)。



(A-2) 中遠景の重畳像に対応した三次元注視位置センシング：並進移動する車両内にいる利用者が透明ディスプレイを介してAR像と実風景との混合像を見る際の、三次元注視位置を推定する手法を開発した。本手法では、注視対象上の各座標系において固視を検出することで、視線が密集する瞬間をとらえる。VR環境を用いた実験において、輻輳角を用いた従来法よりも注視対象の判定精度が高いこと、および車両の速度により最適な固視検出の閾値が変化することと、最適な閾値の選択により固視検出精度を向上できることが明らかになった。右図は、利用者とシーンとの様々な見かけ上の速度差において、実シーン（赤）、仮想物体（緑）を注視している際の正解率（実線）と判定率（点線）を表す。



B) 三次元注視位置に基づく重畳像の高視認性レンダリング：三次元注視位置の推定結果をもとにAR像を注視する場合は、AR像の視認性を高め、実風景を注視する場合はAR像の一部の透過率を高めて実風景の視認性が向上するよう像を提示する手法を開発した。開発した手法では、非注視対象の存在を完全に消してしまわないよう、AR像をメッシュ状に加工して提示する。バーチャルリアリティ環境を用いた実験により、一部の実験参加者においては両者の視認性が向上することを確認した。しかし、本研究課題については個人差が大きく一般の参加者に対しての普遍的な結論は得られていない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Ryusei Uramune, Kazuki Sawamura, Sei Ikeda, Hiroki Ishizuka, Oshiro Osamu
2. 発表標題 Gaze Depth Estimation for In-vehicle AR Displays
3. 学会等名 Augmented Humans International Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 澤村和樹, 浦宗龍生, 池田 聖, 石塚裕己, 大城 理
2. 発表標題 運動視差に基づく半透明像注視判定法
3. 学会等名 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤村和樹, 浦宗龍生, 池田 聖, 石塚裕己, 大城 理
2. 発表標題 車両移動による運動視差を利用した半透明像注視判定
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会 複合現実感研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 槻木 日向太, 池田 聖, 石塚 裕己, 大城 理
2. 発表標題 注視点の奥行き変化を再現する眼球運動生成
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会 複合現実感研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤村和樹, 浦宗龍生, 池田聖, 石塚裕己, 大城理
2. 発表標題 移動中の車両における窓型ディスプレイを用いた半透明提示像の注視判定
3. 学会等名 Ubiquitous Wearable Workshop
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦宗龍生, 池田聖, 石塚裕己, 大城理
2. 発表標題 頭部移動中の3次元注視点に基づく固視検出評価法
3. 学会等名 Ubiquitous Wearable Workshop
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関