



安価で普及しているビデオシースルー HMD の 実シーン映像とバーチャル物体の画質整合性の検討

A Study On Image Quality Consistency between Real-scene Images and Virtual Objects
Using a Cheap and Popular Video See-through HMD

足立駿介¹⁾, 神原誠之¹⁾

Shunsuke ADACHI, Masayuki KANBARA

1) 甲南大学 知能情報学部

Konan University, Faculty of Intelligence and Informatics

概要:

近年、低価格なビデオシースルー HMD の普及が進み、ユーザが手軽に AR 体験できる環境が整いつつある。しかし、これらの HMD では実環境映像を高速にディスプレイへ転送する処理の過程で発生すると考えられるノイズが現実映像に強く表れ、実物体とバーチャル物体との視覚的違和感の要因となっている。本研究では、実シーン映像とバーチャル物体の光学的整合性のうち画質に着目し、CG 側にも意図的にノイズを付加することで両者の画質の整合性を高め、両者の視覚的違和感を低減することを目的として、HMD 表示時に発生する現実映像のノイズ解析を行う。

キーワード: HMD、拡張現実、光学的整合性、画質、ノイズ

1. はじめに

近年、安価なビデオシースルー型 HMD の普及により、現実空間と仮想物体を重ね合わせた AR 体験が手軽に行えるようになってきた。しかし、これらの HMD では実環境映像をディスプレイへ高速に転送する過程で映像劣化が生じていると考えられ、特にノイズが実映像側に強く表れる傾向がある。その結果、現実と仮想物体の質感や鮮明さに差が生じ、同一空間上に配置した際の視覚的な違和感の要因となっている。

これまで AR における実物体と仮想物体の整合性向上に関する研究は、主に物理的なライティング環境や位置・大きさの一致に関する検討や画質整合性に着目した研究が行われてきた。そこで本研究では、実シーン映像と CG 映像の画質差において、安価に普及した HMD 特有の映像ノイズに着目し、CG 側に意図的に同様のノイズを付加することで、両者の視覚的違和感を低減する手法の検討を行う。

2. AR の光学的整合性に関する関連研究

実映像と CG 映像の視覚的整合性に関する研究として、奥村ら [1] は、カメラとマーカーを用いて撮影映像の焦点が合っていない領域のぼやけ（ブラー）を測定し、そのブラーの特徴をもとに、仮想物体に画像合成で同様のブラーを付与する手法を提案している。この手法により、実映像と CG 映像の焦点状態の整合性を高めることで、視覚的違和感の低減を図っている。さらに、Gruber ら [2] は、現実画像内に合成された CG 物体の写実性を定量的に評価し、色調や

ライティング条件などの画質の特徴を整合させることの有効性を示している。これらの研究は、実写と CG の融合において重要となる視覚的整合性の要因を多角的に扱っているが、いずれも一般的なカメラ映像を対象としており、ビデオシースルー型 HMD における実環境映像特有の映像劣化やノイズについては考慮されていない。

また、VST（ビデオシースルー）型 HMD の表示特性に関する研究として、Souza ら [3] は、VST 型 HMD の映像品質や視覚的違和感、ユーザの満足度についての定量的・定性的の評価を行い、HMD 特有の映像劣化がユーザ体験に与える影響を示している。これらの研究は、AR における視覚的整合性の重要性を示しているが、CG 映像側に意図的にノイズを再現して整合性を高める手法には言及していない。

そこで本研究では、安価で普及した HMD 特有のノイズに着目し、CG 側にも意図的に同様のノイズを付加することで、画質整合性を高め、実物体と仮想物体の視覚的違和感を低減する手法の検討を行う。

3. 手法

本研究では、まず HMD による実環境映像の画質特性を分析し、映像内に生じるノイズの特徴を調査した。その後、その特性をもとに仮想物体へ同様のノイズを付加する画像処理を行い、両者の画質整合性を調整する手法を提案する。本章ではその手法の概要と実装方法について述べる。

3.1 HMD 映像のノイズ特性取得方法

本研究では、ビデオシースルー型 HMD 映像のノイズ特性を調べるため、Meta Quest 3S を用いて実映像の撮影を行った。まず、実環境映像内に単色の紙を配置し、ビデオシースルー機能を用いて HMD 越しにその映像を観察した。Quest 3S には HMD の映像をキャプチャする機能が備わっているが、この機能を利用すると映像が動画圧縮されて保存されるため、実際に装着した人が見る映像とは異なることが確認された。そのため、本研究では実際にユーザが視認しているディスプレイ映像を記録する方法として、HMD のレンズ越しにカメラを近接させ、ディスプレイ映像を直接撮影する方法を採用した。

しかし、通常のカメラ設定ではフリッカー現象により映像がちらつく問題が生じた。そこで、スマートフォンのカメラのフレームレート設定を 24fps に変更することで、フリッカーを抑え、安定した映像の撮影を可能にした。この方法により、実際の HMD 映像に生じるノイズを含んだ映像を取得し、そのノイズ特性の分析に利用した。

3.2 得られたノイズの特徴解析

取得した HMD 映像のノイズ特性を把握するため、OpenCV を用いて映像の画像解析を行った。具体的には、図 1 に示す通り単色紙を映した映像の中から特定の範囲を切り出し、その範囲内の画素値を用いて 2 つの指標を算出した。

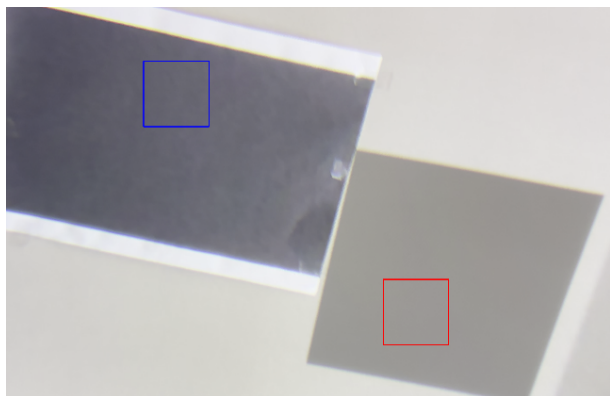


図 1: 実物体の単色紙（左）と CG で描写された仮想物体（右）の範囲

3.2.1 空間軸方向で発生するノイズ

空間軸方向で発生するノイズとは、1 フレーム内の画素値のばらつきであり、図 2 にフレームごとに特定範囲の画素値を示す。理想的には両者とも単一色であるため標準偏差小さくなるはずである。しかし、仮想物体の CG 映像と比較して、実映像の標準偏差が大きく、映像全体にランダムに分布する微小なノイズ成分が存在することが確認された。また、図 3 に示す通り画素値の分布をヒートマップ化すると、空間的にランダムではなく局所的に類似する（ムラのある）ノイズが含まれることが分かる。

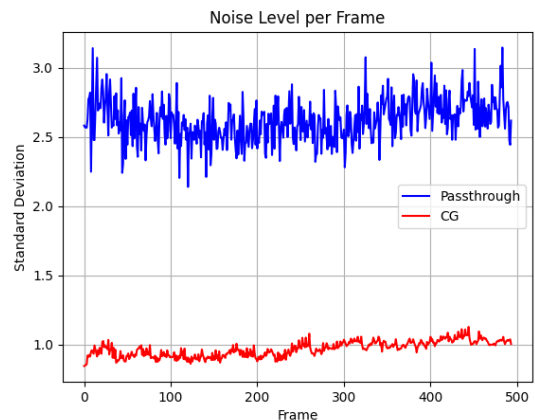


図 2: 1 フレーム内の単色範囲内の画素値のばらつきの標準偏差

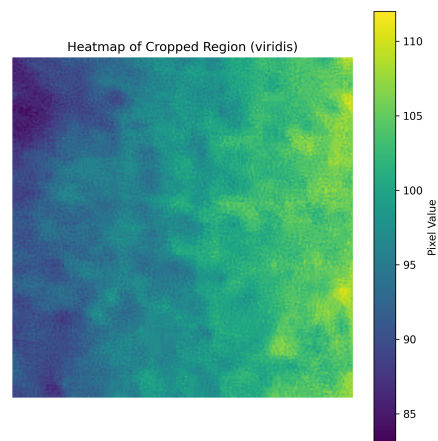


図 3: 範囲の画素値のヒートマップ

3.2.2 時間軸方向に発生するノイズ

時間軸方向に発生するノイズとは、時間軸方向に発生するノイズであり、連続するフレーム間において図 1 の比較対象の範囲（300 × 300 画素）の平均画素値の差を計算し、時間方向での画素値の変動を調べた。その結果、図 4 に示す通り CG 部分の範囲に比べて現実映像の範囲の方がフレームごとにわずかながらランダムな揺らぎが生じており、時間的に変動するノイズが存在することがわかった。しかし、時間方向の 1 フレーム間の画素値の差分の平均は 0.8～1.4 程度と肉眼で視認することの難しい程度の数値しか検出することができなかった。図 5 に切り出す範囲を狭くし（2 × 2 画素）画素値の変化を見ることにした。この結果より、1 フレームでノイズが切り替わるのではなく、数フレームを 1 周期とした時間的に周波数のあるノイズが含まれることが分かった。

これらの結果から、ビデオシースルー型 HMD の映像には、

- フレーム内で空間周波数のあるように分布するノイズ
- 時間方向で周波数のあるように変動する揺らぎノイズ

の 2 種類の特徴的なノイズ成分が含まれていると考えられる。この特性をもとに、CG 映像側へのノイズ付加手法の設

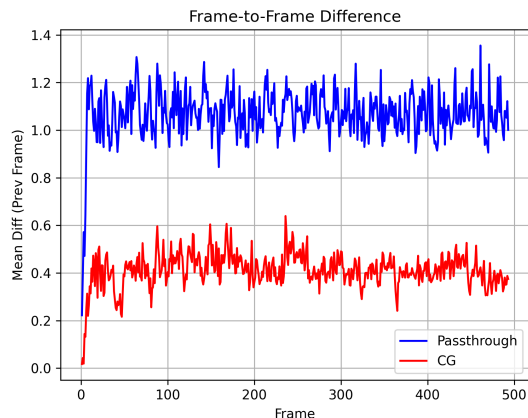


図 4: 前フレームとの画素値の差分の平均

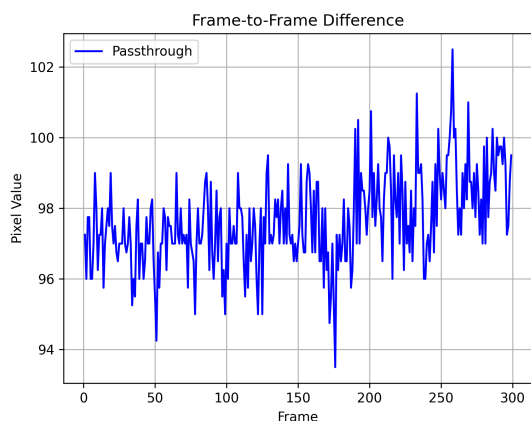


図 5: 微小範囲の時間による画素値の変動

計を行った。

3.3 仮想物体へのノイズ付加手法

HMD 映像に特有のノイズ特性を再現するため、CG 映像側に同様のノイズを付加する手法を検討した。これらを CG 映像側で再現するため、まずフレーム内の静的ノイズ再現として、正規分布または一様分布に従うランダムノイズ画像を生成し、CG 映像に画像合成で重ねる手法を採用する。さらに、フレーム間の揺らぎノイズ再現として、事前にモデル化した約 100 枚のノイズ画像を用意し、フレームごとにランダムまたは順に切り替えながら CG 映像に重ねる方法を検討している。この方法により、時間方向で微妙に変動するノイズの視覚効果を再現し、HMD 実映像のメラメラとしたノイズ感を表現できると考えられる。

これらの処理を組み合わせることで、HMD 実映像と CG 映像の画質整合性を高め、AR 空間内での視覚的違和感の低減を図ることを目的とする。

4. 実装・評価

本研究で提案する CG 映像へのノイズ付加手法の効果を検証するため、HMD 実映像とノイズ付加 CG 映像を AR 空間内で提示し、視覚的違和感の低減効果を評価する実験

を今後実施する予定である。具体的には、ノイズ付加あり／なしの CG 映像と実映像を同時に提示し、被験者に違和感の程度を 5 段階評価してもらうアンケート形式の主観評価実験を計画している。

実験では、Meta Quest 3S を用いたビデオシースルー環境を構築し、実物体と仮想物体を同一空間に配置した状態で、CG 映像のノイズ条件を変化させながら提示する予定である。評価指標としては、主観評価スコアの平均値および標準偏差を算出し、ノイズ付加の有無による違和感の変化を分析する。

今後、本手法の実装を完了させた後、これらの実験を実施し、提案手法の有効性を検証する予定である。

5. まとめ

本研究では、安価で普及が進むビデオシースルー型 HMD において、現実と仮想物体を同一視野に提示した際に生じる視覚的違和感の一因として、HMD 映像に特有のノイズに着目した。まず、単色の実物体を用いた観察と、カメラによるディスプレイ直撮りを通して、HMD 映像に含まれるノイズの特性を取得・解析した。次に、そのノイズ特性をもとに、CG 映像側に同様のノイズを意図的に付加することで、実映像との画質整合性を高め、視覚的違和感の低減を図る手法を提案した。今後、本手法を実装し、AR 空間内での視覚的違和感の低減効果を確認するための評価実験を実施する予定である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP23K28132、および、甲南デジタルツイン研究所の助成による。

参考文献

- [1] 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和: 焦点外れによるぼけとモーションブラーの推定に基づく拡張現実感における光学的整合性の実現, 電子情報通信学会論文誌 D Vol. J90-D, No.8, pp. 2126-2136, 2007.
- [2] S. Kluge and O. Staadt: Assessing Photorealism of Rendered Objects in Real-World Images: A Transparent and Reproducible User Study, 2025 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), pp. 387-393, 2025
- [3] de, J. Souza and R. Tartz: Visual Perception and User Satisfaction in Video See-through Head-mounted Displays: a Mixed-methods evaluation, Front. Virtual Real, 2024, 5:1368721