



実環境でのプロテウス効果生起に向けた ユーザ身体不可視化の検討

墨田充輝¹⁾, 岩井大輔¹⁾

1) 大阪大学 大学院基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3)

概要: 現実世界のタスクにプロテウス効果を適用する手法として, MR 空間内でユーザの身体をアバター化し, さらに実鏡に映る鏡像もアバターで置き換える方法がある. しかし, MR では現実世界の映像が背景として表示されるため, アバターからはみ出した実身体がユーザに違和感を与える. 本発表では, 実身体をインペインティングで視覚的に除去し, その上にアバターを重畳表示することで, 実身体の不可視化を検討する.

キーワード: 拡張・複合現実, HMD, プロテウス効果, アバター

1. はじめに

アバターの外見や機能を操作してユーザの身体的・認知的能力を拡張する研究が存在する [1][2][3]. アバターを使用することが, ユーザの心理や態度, 行動に影響を与えるといった効果のことをプロテウス効果という [4]. 例えば, 男性が筋肉量の多いアバターを用いてスクワットを行うことで, 筋肉量の少ないアバターを使用した時と比較して, 主観的な疲労感が軽減される効果や, ドラゴンのアバターを使用することで, 高所に対する恐怖感が抑制される効果が報告されている [5][6].

従来のプロテウス効果に関する実験では, 仮想現実 (VR) 空間において, バーチャル鏡にアバター化された全身を視認することでプロテウス効果を生起させる手法が一般的であった [7][8]. しかし, VR 空間上でのアバター化では, ユーザはアバター使用中に現実空間のタスクを実行できないという制約があるため, 現実空間においてアバター化によるプロテウス効果の影響を受けることはできない. そこで, 筆者らは現実世界のタスクにプロテウス効果を適用する手法として, 現実世界の映像を背景として使う複合現実 (MR) 空間内でユーザの身体をアバター化し, さらに実鏡に映る鏡像もアバター化する手法を提案した [9]. しかし, MR 空間におけるアバター化では, 図 1 のようにユーザ自身の実身体や鏡像身体がアバターの表示からはみ出して見えてしまい, 没入感や身体所有感を損なう.

本研究では, MR 空間におけるユーザのアバター身体化システムに対して, ユーザの実身体を画像処理により視覚的に除去することで, アバターの自然な提示を実現することを目的とする. 具体的には, ユーザ視点の映像から実身体領域を推定し, 該当領域に対してインペインティングによる背景補完を行い, その後アバターを重畳表示することで, 実身体を不可視化する手法を提案・検討する. これにより, ユーザの実身体がアバターの表示からはみ出して見えることで生じる視覚的違和感を低減し, 現実空間でのプロテウス



図 1: ビデオシースルー HMD によるユーザの実身体と実鏡越しの鏡像身体のアバター化. ユーザの実身体と鏡像身体がアバターの表示からはみ出して見えてしまう課題がある.

ス効果の効果的な生起に寄与すると考える.

なお, 本稿で扱う対象は静止画像に限られ, 動画への適用は今後の課題とする. また, ユーザの実身体の視覚的身体除去に焦点を当てており, 実鏡に映る鏡像身体の削除については対象外とする.

2. システム概要

本研究で提案するシステムは, ユーザの実身体をユーザ視点の画像から不可視化し, その後アバターを重畳表示する処理パイプラインで構成される. 処理全体は以下の 4 ステップに分類される.

1. ユーザ視点からのアバター表示, 非表示画像の取得
2. 実身体領域の推定とマスク生成
3. マスク領域へのインペインティングによる背景補完
4. アバターの重畳表示による最終出力画像の生成

2.1 ユーザ視点からのアバター表示, 非表示画像の取得

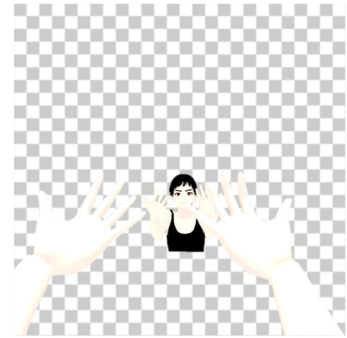
本研究では, Meta Quest 3 のパススルーカメラを使用し, ユーザ視点からのアバターが表示されていない画像と,



(a) アバター表示状態



(b) アバター非表示状態



(c) アバター単体

図 2: 3 種類の取得画像

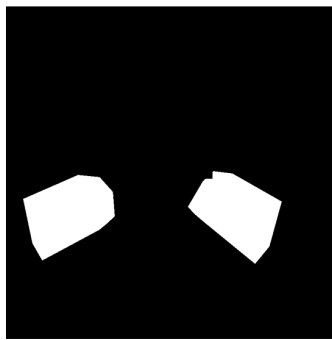
(a) MediaPipe Selfie Segmentation
によるマスク画像(b) MediaPipe Handsによるマスク
画像(c) MediaPipe Selfie Segmentation
とMediaPipe Handsを組み合わせた
マスク画像

図 3: 3 種類のマスク画像

アバターが表示されている画像をそれぞれ取得した。ただし、アバター非表示、表示の切替えはフレーム同期が取れないため、両者を完全に同時に取得することは難しく、取得された2枚の画像の間には3フレーム程度(約0.1秒)の差異が生じている。また、アバター表示状態の画像からアバター領域のみを抽出することで、重畳表示用となるアバター単体の画像も取得した。図2に取得した3種類の画像を示す。

2.2 実身体領域の推定とマスク生成

図2.bのようなアバター非表示画像に対して、ユーザの実身体領域を推定して、その領域に対してマスク処理を行う。本研究ではユーザの実身体領域推定としてMediaPipe Selfie SegmentationとMediaPipe Handsを組み合わせた二段階手法を採用した。MediaPipe Selfie Segmentationは入力画像を対象に各画素について人物の存在確率($0 \leq p \leq 1$)を推定する軽量セマンティックセグメンテーションモデルである。しかしながら、このモデルは指先などの細部が欠損しやすく、手の検出精度に課題がある。そこで、MediaPipe Handsを併用し、入力画像から手のひらを検出し、21点の手のランドマークを推定することで、手の領域を補完する。MediaPipe Handsでは得られたランドマークを結ぶ多角形

領域を塗りつぶすことで、手マスク画像を生成する。

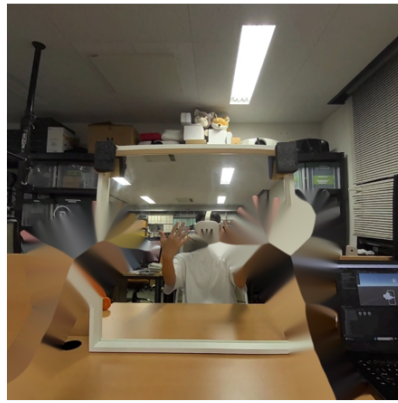
最終的なマスク画像は、MediaPipe Selfie Segmentationによる人物マスク画像と、MediaPipe Handsによる手マスク画像を統合し、膨張処理を施して生成する。このように両者を相補的に活用することで、高精度な実身体領域の推定を実現する。図2.bを入力として、MediaPipe Selfie SegmentationとMediaPipe Handsのそれぞれを用いて生成したマスク画像と、2つを組み合わせ膨張処理を施した最終的な実身体マスク画像を図3に示す。

2.3 マスク領域に対する背景補完 (インペインティング)

生成されたマスクを用いて、対応する領域を背景で補完する処理を行う。本研究では、OpenCVに実装されているTelea法およびNavier-Stokes法を用いてインペインティングを実施した。2つの手法は、マスク境界付近の画素情報を周囲から補完することで、自然な背景復元を実現する。図3.cの実身体マスク画像を用いて、Telea法による背景補完を行った画像を図4.aに、Navier-Stokes法による背景補完を行った画像を図4.c示す。

2.4 補完後画像上へのアバター重畳表示

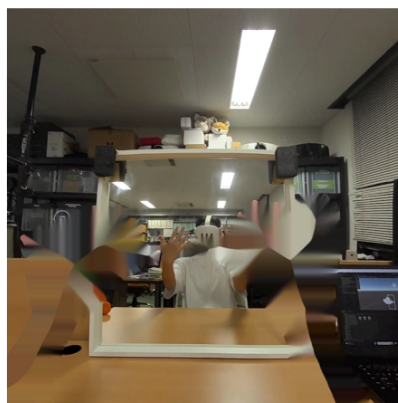
インペインティングによって背景補完された画像上に、図2.cのアバター単体画像を重ね合わせることで、最終的な提



(a) Telea 法による背景補完



(b) Telea 法を用いたアバター重畳画像



(c) Navier-Stokes法による背景補完



(d) Navier-Stokes 法を用いたアバター重畳画像

図 4: 2 種類の手法による背景補完とアバター重畳画像

示画像を生成した。図 4.b, 図 4.d にそれぞれの手法による最終掲示画像を示す。これにより、実身体が視覚的に除去された状態でアバターが表示され、没入感や整合性の高い視覚提示が可能となる。

3. システム検証

提案手法の有効性を静止画像ベースで検証し、実身体の視覚的除去の効果と 2 種類のインペインティング手法について評価する。

3.1 実身体の視覚的除去に対する定性的評価

ユーザの実身体を視覚的に除去していない図 2.a と、実身体をインペインティングによって視覚的に除去した図 4.b, 図 4.d の比較を行った。図 2.a ではアバター領域の外側にユーザ実身体がはみ出して見えてしまい、身体所有感を阻害する視覚的不整合が確認できる。一方、提案手法を適用し身体除去を行った図 4.b, 図 4.d では、実身体領域が背景で自然に補完され、実身体が視覚的に目立たない。したがって、提案手法による視覚的身体除去により、実身体が見えてしまうことによる視覚的違和感を軽減できたと考える。

しかし、背景テクスチャが複雑な領域では補完部のぼけが目立つ場合があった。これはマスクが実身体領域よりも

広く適用された場合、あるいは実身体でない領域に誤って適用された場合に生じる。一方、指先などの細部についてはマスクが不十分となり、指先のみが残存する例も確認された。以上より、マスク処理範囲の自動最適化と先端部の精細な領域抽出が今後の課題である。

3.2 2 種類のインペインティング手法の比較

本研究では、インペインティング手法として Telea 法と Navier-Stokes 法の 2 種類を実装し、背景補完の見た目の自然さと処理速度の両面から比較を行った。

まず見た目の評価においては、ユーザの身体除去前の図 2.a と、それぞれの手法で背景補完を行った図 4.b, 図 4.d との類似度を、SSIM (Structural Similarity Index Measure) を用いて算出した。SSIM は画像の輝度・コントラスト・構造の 3 要素を局所的に比較し、それらを総合して 0~1 実数で表す指標であり、1 に近いほど「人間の視覚的にはほぼ同一」と判断される。また、PSNR などの単純な画素誤差と異なり、人間が感じる質感の差異をある程度反映できる点が利点である。評価の結果、Telea 法による画像の SSIM は 0.8921, Navier-Stokes 法は 0.8896 となり、わずかな差ではあるが、Telea 法の方が元画像に近いという結果が得られた。一方で、図 4.b, 図 4.d を目視で比較した時、ユーザ視

点では明確な違いを感じにくく、見た目の自然さに関してはどちらの手法も一定の品質を達成していると考えられる。

次に処理時間による比較を行った。各手法をそれぞれ10回試行し、処理時間の平均値を測定した結果、Telea法の平均処理時間は266 ms、Navier-Stokes法は平均処理時間349 msであった。これより、Telea法の方が高速に処理できることが分かる。

このことから、見た目と処理時間の両面においてTelea法はバランスが良く、今後リアルタイム処理を考慮した応用において有力な選択肢となると考えられる。

4. おわりに

本稿では、MR空間におけるアバター身体化システムに対して、実身体の映り込みによる視覚的不整合を低減することを目的とし、ユーザの実身体を画像処理により除去する手法を提案・検討した。具体的には、アバター表示前に実身体領域を推定・除去し、その後アバターを重畳表示する処理パイプラインを構築し、自然な提示映像の実現を試みた。

本手法では、MediaPipeによる実身体領域推定を行いマスク処理を施した後に、OpenCVによるインペインティング処理により背景補完を行い、アバターを重畳表示した。その結果、提案手法による身体除去により、実身体が見えてしまうことによる視覚的違和感を軽減できたと考える。また2種類のインペインティング手法（Telea法・Navier-Stokes法）の比較により、Telea法が見た目の自然さ・処理時間の両面で優れており、特にリアルタイム応用に向けた手法であることが確認された。

今後は、本システムをリアルタイム映像に対応させることで、動的なMR空間アバター化システムにおいてもユーザの実身体を適切に除去し、アバターの自然な重畳表示を実現する。これにより、現実空間においてもプロテウス効果を誘発できる環境の構築を目指す。

参考文献

- [1] Jesse Fox, Jeremy N. Bailenson, Liz Tricase: The embodiment of sexualized virtual selves: The Proteus effect and experiences of self-objectification via avatars, *Computers in Human Behavior*, Vol. 29, No. 3, pp. 930-938, 2013.
- [2] Martin Kocur, et al.: Physiological and perceptual effects of avatars' muscularity while rowing in virtual reality, *Proceedings of Mensch und Computer 2024*, pp. 44-52, 2024.
- [3] Kocur, M., Schauhuber, P., Schwind, V., Wolff, C., and Henze, N.: The effects of self- and external perception of avatars on cognitive task performance in virtual reality, *Proceedings of the 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 1-11, 2020.
- [4] Yee, Nick and Bailenson, Jeremy: The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on

behavior, *Human communication research*, Vol. 33, No. 3, pp. 271-290, 2007.

- [5] 石川貴一, 粕野悠聖, 高野保真, 佐久田博司 ほか: VRを用いた筋力トレーニングにおけるプロテウス効果, *研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI)*, Vol. 2019, No. 2, pp. 1-5, 2019.
- [6] 小柳陽光, 鳴海拓志, 安藤英由樹, 大村廉: ドラゴンアバターを用いたプロテウス効果の生起による高所に対する恐怖の抑制, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 25, No. 1, pp. 2-11, 2020.
- [7] Domna Banakou, Parasuram D. Hanumanthu, Mel Slater: Virtual embodiment of white people in a black virtual body leads to a sustained reduction in their implicit racial bias, *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 10, Article 601, 2016.
- [8] Youchan Yim, et al.: The proteus effect on human pain perception through avatar muscularity and gender factors, *Scientific Reports*, Vol. 14, No. 1, Article 11332, 2024.
- [9] 墨田充輝, 佐藤宏介, 岩井大輔: 複合現実空間内の実鏡に映るユーザ身体のアバター化, *システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集*, pp. 987-991, 2025.