

GADA-UI：VR180を用いたMRシステムに向けた 視線適応型UI提示法

宇佐美 龍斗¹ 渡辺 圭貴¹ 志村 魁哉¹ 林田 望海¹ ジメネス フェリックス² 片山 晋¹
浦野 健太¹ 米澤 拓郎¹ 河口 信夫^{1,2}

概要：近年，MR(複合現実，Mixed Reality)の需要は拡大を続け，医療や製造業など多様な事業で活用されつつある．また，没入型映像体験を提供するためのフォーマットとしてステレオ立体視を利用したVR180というビデオ規格が存在する．広い視野角でありながら高精細な立体視が可能であり，VR デバイスを用いたシステムにおける映像基盤への応用が期待されている．一方で，VR180を用いた3Dコンテンツには知覚深度に関する問題が存在しており，ユーザの不快感や疲労を引き起こす．これに対する要因の分析や字幕配置の先行研究が存在するが，VR180を用いたMRシステムに対応したUI配置の手法は確立されていない．そこで本研究では，VR180を用いたMRシステムにおけるUI深度の問題に対応するために，ユーザの視線情報からVR180映像の知覚深度に対しUIの深度を動的に変化させる，GADA-UI(Gaze-Adaptive Depth Adjustment User Interface)の提案と評価を行った．評価実験の結果，深度の不一致に起因する身体的負荷の減少が確認された．

GADA-UI：Gaze Adaptive UI Display Method for MR Systems Using VR180

RYUTO USAMI¹ YOSHIKI WATANABE¹ KAIYA SHIMURA¹ NOZOMI HAYASHIDA¹
FELIX JIMENEZ² SHIN KATAYAMA¹ KENTA URANO¹ TAKURO YONEZAWA¹
NOBUO KAWAGUCHI^{1,2}

1. はじめに

近年，MR(複合現実，Mixed Reality)技術の発展により，現実空間と仮想空間を統合した作業支援環境の構築が進んでいる．医療や製造，教育分野においては，仮想情報の重畳表示によって現場の知識を可視化し，作業精度の向上や学習効率の改善が期待されている．たとえば，整備作業の手順をMR表示し，専門知識を持たない作業員でも効率的に作業を進められるようになるなど，MRは産業応用において有望な技術基盤とされている[1]．

このような応用が広がる中で，現実空間の映像と仮想オブジェクトが混在するMR環境における情報提示の設計が

大きな課題となっている．ユーザに提示されるUI(User Interface)の位置や形状，視覚的な見やすさは，作業効率や快適性に直結する要素であり，とくに視線や奥行きといった身体感覚に調和した設計が求められる．

本研究では，こうしたMR環境における情報提示の一手法として，VR180映像の利用に着目する．VR180は180度の視野角を持つステレオカメラによって撮影される映像フォーマットであり，両眼視差に基づく立体視が可能である．VR360と比較して前方の映像に限定される一方，処理負荷を軽減可能で映像内の奥行き情報を高精細に提示できるという特徴がある．この特性を活かし，遠隔作業など現場の空間状況を立体的に伝える必要がある応用において，VR180は有力な映像基盤となり，実際にロボットアームの遠隔操作に活用されている[2][3][4]．

しかし，VR180を用いたMRは仮想空間内の球面スクリーン上でのステレオ立体視空間[5]に，VRオブジェク

¹ 名古屋大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

² 名古屋大学 未来社会創造機構
Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

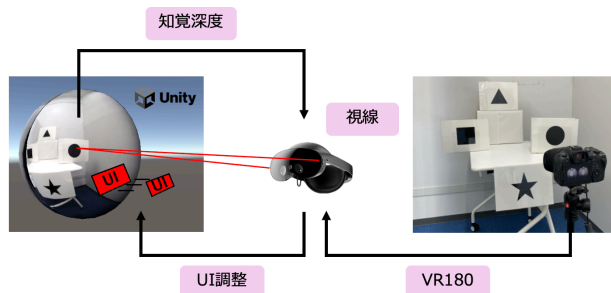


図 1 GADA-UI 概要図

トの UI を重畳するという特殊な環境である。そして、VR オブジェクトをステレオ立体視環境に重畳する場合、視覚的な違和感が生じる場合がある。具体的には、ユーザが注視する映像中の知覚深度と提示される UI が異なる深度に配置されていると、深度の不一致が発生する。このような深度差は、ピントが合わない、UI や映像が二重に見える（複視）、UI と背景を交互に見る際の眼球運動が増える、といった視認性や快適性の問題を引き起こす要因となる。結果として、作業効率の低下や眼精疲労を誘発する可能性がある。

これまで、3D コンテンツや一般的な MR 環境において、UI の深度提示に関する研究は数多く行われてきた。たとえば、UI を現実空間の対象に重ねるための視線追従や深度マッチングの手法などが提案されている [6][7][8]。しかし、筆者らが確認した限り、VR180 を用いた MR 環境における UI 提示手法は十分に検討されていない。VR180 を用いた MR システムでは映像に対して UI が常に手前に表示されるため従来研究とは異なるアプローチが必要となる。

そこで本研究では、VR180 映像を用いた MR システムにおける UI 提示の最適化を目的として、ユーザの視線方向に応じて UI の深度を調整する GADA-UI(Gaze-Adaptive Depth Adjustment User Interface) を提案する。図 1 に示すように、視線追跡機能が搭載された HMD(Head Mounted Display) を活用し、ユーザが注視する方向に応じて UI の位置とサイズを変化させ、常に知覚的に自然な形で UI が提示されるよう制御を行う。今回は静止画ベースの VR180 映像を用いてプロトタイプを構築し、UI の読みやすさ、視認性、および身体的負荷の観点からその有用性を評価した。

2. 関連研究

2.1 奥行き提示に起因する諸問題

調節と輻輳・開散の不一致

人が物体にピントを合わせるためには調節と輻輳・開散という 2 種類の眼球の働きが存在する。調節は、視対象にピントを合わせるために眼球の水晶体の厚みを変化させる機能で、輻輳・開散は眼球を内側（輻輳）または外側（開散）に回転させる機能である [9][10]。ステレオ映像による立体視や 3D ディスプレイにおいて、輻輳・開散と両眼視



手前のUIにピント

奥の映像にピント

図 2 深度差により複視が起こる様子

差によって知覚する視対象の距離と映像が表示されているディスプレイの距離は異なる。これは VAC(Vergence-Accommodation Conflict) と呼ばれる [11][12]。ディスプレイには調節によるピントが合っているため鮮明な立体視が可能となっているが、この距離の差がユーザの不快感や疲労を引き起こし距離感覚に影響を与える [13][14]。

Shibata らは調節-輻輳矛盾問題に対し、視差の方向と大きさが視覚的快適性に与える影響を詳細に検証した [15]。彼らは観視距離を変えつつスクリーン面より手前あるいは奥に立体映像を提示し、被験者がどの条件で不快感を訴えるか評価した。その結果、近距離では手前方向への視差提示が、遠距離では奥方向への提示が特に不快感を与えると判明した。また、個人差要因として眼位ズレ（フォリア）や単眼視野の広さの不快感への関与が示された。

コンテンツの深度不一致

VR などの立体視環境において、視差や遮蔽などの奥行き手がかりの整合が取れない状態が存在する [16][17]。UI が手前に表示されているが、背景のステレオ映像がより手前に知覚され「後ろにある UI が手前の映像を隠す」といった不自然な状況が生じる。これは深度矛盾 (Depth Conflict) と呼ばれ、ユーザに複視や不快感を引き起こす [6][7]。また、前後関係が正しくても UI と背景映像の深度の差が大きい場合には、ユーザは頻繁にピントを切り替える必要があり視覚的不快感や疲労の原因となる [18]。図 2 に深度差による複視の再現を示す。深度に差があると手前の UI にピントを合わせた場合は奥のステレオ映像が、ステレオ映像にピントを合わせた場合は UI がぼやけて二重に見える。複視は前後関係を把握する上では必要な現象である。しかし、映画の字幕やゲームのミニマップなど、背景映像と同時に情報を取得したり、頻繁にピントを切り替える UI において、複視は取り除きたい要素である。

VR180 を用いた MR 環境では仮想オブジェクトをスクリーンよりも手前に配置するという制約があり、調節と輻輳・開散の不一致の解消は困難である。そのため、本研究では VR180 での MR 環境における深度不一致解消にフォーカスした実装を行なった。

2.2 3D コンテンツにおける UI 提示手法

Nguyen らは、UI の深度を立体映像の深度に合わせて調整し、ユーザの知覚している深度との不一致を減らす手法を提案した。事前にステレオ映像の深度情報を解析し、UI 周辺部の映像深度に対して動的に UI 深度を調整して視聴者の不快感や UI の見にくさを低減している。2 つ目の手法として UI 周囲の映像をぼかすシステムも同時に提案しているが、被験者実験の結果、十分な効果を発揮しなかったと述べられている [6]。しかし、この手法では UI 以外の部分に視線を向けた際に複視が起きてしまう。

また、VR 環境において視線情報を用いたアプローチをしている研究が存在する。Ludwig らは現行 VR アプリにおける字幕設計を体系的に調査し、視線が字幕方向を向いた時に背景をぼかし読みやすさを向上する手法と視線が向いている物体の深度に字幕の深度を合わせる仕組みを実装した [7]。Shimizu らは 3D 映画への字幕付与における問題の調査を行った他、移動するオブジェクトに対して複数の字幕配置手法を提案し、可視性、可読性、疲労の観点で評価実験を行った。実験の結果、視線追従を模した、オブジェクトに追従する字幕配置は可視性、可読性、疲労において有効な提示法であると示した [8]。このように 3D コンテンツにおける深度問題に対応するための UI 提示手法はいくつか提案されているが、視線情報を活用したシステムを実装した上での評価は行われていない。また VR180 に対応した手法も筆者の知る限り存在しない。

そこで本研究では、視線情報を用いて VR180 映像で立体視を行う MR 環境内で、複視を抑えた提示手法 GADA-UI を提案する。また、GADA-UI によって提示される文字の可読性やユーザの疲労を調査する。

3. 提案手法

本研究では VR180 映像を用いた MR システムにおいて、UI の提示深度をユーザの視線に応じて動的に制御する GADA-UI を提案する。背景には、VR180 のステレオ映像に UI を重畳する際、ユーザが視線を向ける対象と UI の深度に差があると視覚的な違和感や眼精疲労の原因となるという課題がある。本手法では視線追跡によってユーザの注視方向を取得し、その方向にある映像コンテンツと UI の深度が整合するような UI の動的配置を目指す。

3.1 概要

本手法は、視線情報を取得可能な HMD と、VR180 形式のステレオ映像を再生する MR 環境によって構成される。ステレオカメラで撮影した VR180 映像にステレオマッチングを施し、深度マップと UV マップを対応づけ、VR180 映像に深度情報を付与する。ステレオマッチングとは 3 次元画像計測技術の一つであり、異なる位置から撮影された同一シーンの 2 枚の画像に対して視差を推定する [19]。推

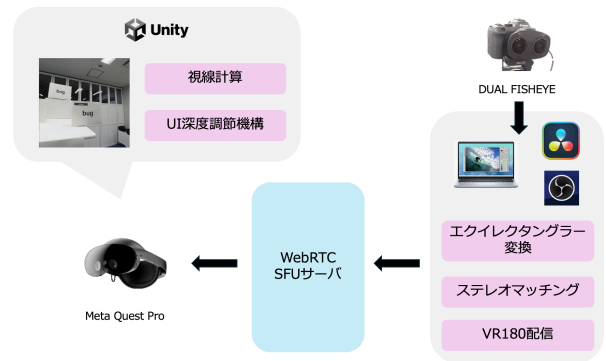


図 3 システム構成図

定した視差から三角測量の原理で深度を求められる。また UV マップとは 3D オブジェクト表面に画像をマッピングするためのフォーマットであり、VR180 映像を仮想空間上で球面スクリーンに表示する際に用いる。ステレオマッチングと UV マップによってステレオ画像の各ピクセルに対し、深度情報と球面への対応点の情報が付加できる。仮想空間上に深度情報が付加された VR180 映像を表示し、ユーザの視線先の映像箇所の深度に UI 深度を調整する。

3.2 設計

図 3 にシステム構成図を示す。ステレオカメラで撮影した VR180 映像は PC に送信され、PC 内でエクイレクタングル変換とステレオマッチングを施す。エクイレクタングル変換とは、ステレオカメラで撮影された魚眼映像を、仮想空間に表示するための規格であるエクイレクタングル (正距円筒図法) に変換する処理である。変換後の映像にステレオマッチングを施し、得られた深度マップと VR180 映像を WebRTC を用いて、HMD に送信する。WebRTC の使用には低遅延の VR180 配信を実現する狙いがある。その後、HMD 内で仮想空間上の球面スクリーンに受信した VR180 映像を表示し MR 環境を形成する。

ユーザの視線は HMD 内蔵の視線追跡センサによって取得される。取得される情報は HMD 基準座標系におけるベクトルであり、これを元に視線の向きと角度が計算される。取得された視線ベクトルから、ユーザが見ている映像箇所を把握し、そこに付加された深度情報に基づいて UI を仮想空間上に表示する際の深度を動的に調整する。また、UI のサイズは深度に応じてスケーリングされる。たとえば注視点が遠方にある場合、UI の表示位置も遠くなるためそのままの大きさと UI に表示された文字が読めなくなる可能性がある。そのため、見かけ上の大きさが変化ないように UI オブジェクトを拡大する。これにより UI が常に一定の視認性を保つように調整される。サイズのスケーリング係数は、ユーザと UI との距離に対して比例するように設計されている。

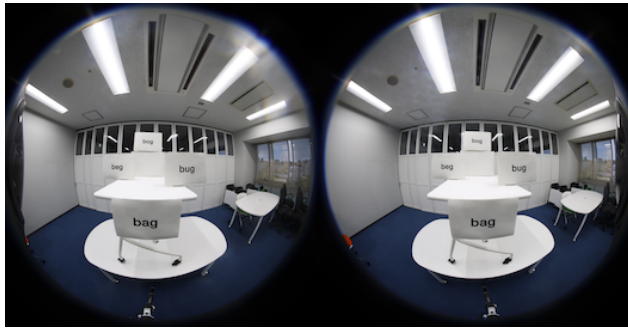


図 4 VR180 画像

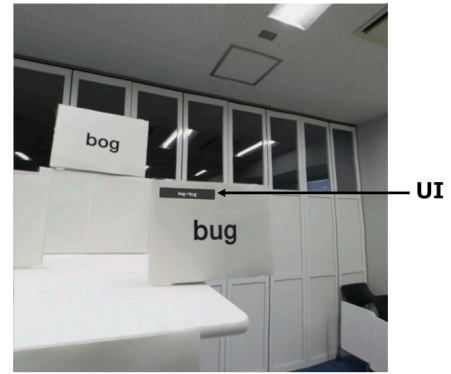


図 5 実験中の被験者の視界

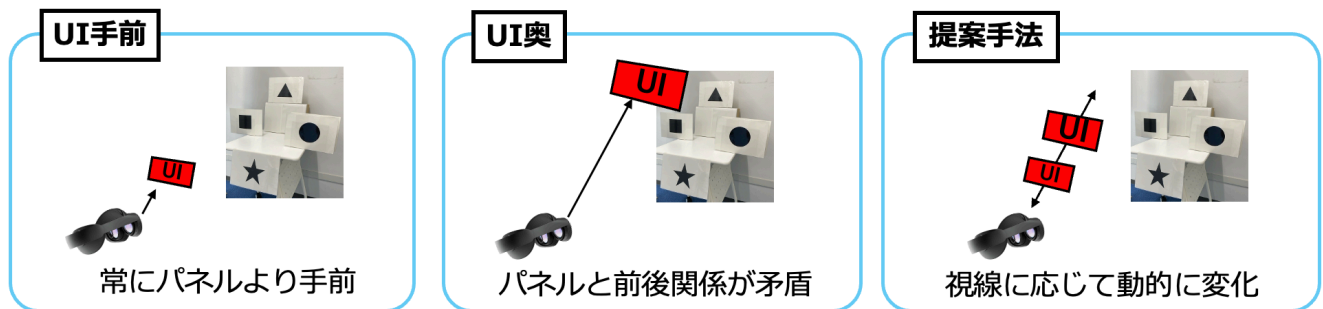


図 6 深度固定手法と提案手法

3.3 初期実装

本研究は、まず視線情報を用いた UI 深度調整の有用性評価を目的として、リアルタイム映像ではなく静止画を用いた Unity 環境においてプロトタイプを実装した。そのため、ユーザの注視方向に応じた UI の深度調整は可能であるが、視線先の映像内容を解析し、深度を計測するようなステレオマッチング処理は未実装である。そのため映像中の知覚深度を明示的に計算するのではなく、視線の向きを基準に仮想的に UI の表示深度を決定している。つまり、事前に設定された深度に対して視線の向きによって UI 深度を変化させる仕組みになっている。

4. 評価実験

4.1 実験環境

実験は Unity 上で構築した VR 環境にて実施した。HMD は Meta Quest Pro を使用し、内蔵の視線追跡機能を用いてユーザの注視方向を取得した。VR180 の静止画像は、Canon の RF5.2mm F2.8 L DUAL FISHEYE を EOS R6 Mark II に取り付けカメラで撮影した。撮影した VR180 画像を図 4 に示す。画像にはカメラからの深度が異なる 4 枚のパネルが写っており、パネルには 4 つの似た英単語 (bag, beg, bog, bug) が書かれている。静止状態での両眼視差のみで前後関係を正確に把握させるために 40cm, 60cm, 80cm, 100cm に設定した。仮想空間には VR180 画像を表示するための半球オブジェクトを 2 つ用意した。

40 ~ 100cm の間で見かけの大きさが変化しないよう UI を動かすために半径は 3m に設定し、2 つの球体をカメラのレンズ間距離 (62mm) 離して配置した。

また図 6 に示すように UI 深度を固定した 2 パターンに提案手法を加えた 3 パターン (UI 手前, UI 奥, 提案手法) の UI を HMD 正面に配置し、UI に被験者への指示を表示した。指示は HMD 付属のコントローラのボタンを被験者が押し、次に進めるように実装した。

4.2 実験手順

本実験では UI に表示された指示に従って英単語を VR180 画像から探しピントを合わせる作業を繰り返し行ってもらった。実験中の被験者の視界の様子を図 5 に示す。奥行き方向の視点移動を増やすよう、UI の指示には一つの英単語を表示するだけでなく “bog → beg” のような英単語間の移動をさせる指示も含め、短時間で疲労度を測定可能にした。作業時間を記録し、作業後に用意したアンケートに回答してもらった。実験はパターン間での学習による影響を避けるために被験者間実験とし、事前アンケートにより HMD の使用経験や 3D 酔いのしやすさに偏りがないよう被験者にパターンを振り分けた。被験者は男性 17 名、女性 1 名の 18 名である。

4.3 評価

評価指標には作業後に現れる身体的な不快症状を測るた

表 1 SSQ 評価

症状 (0 - 3)	重み		
	N	O	D
一般的な不快感	1	1	
疲労感		1	
頭痛		1	
目の疲れ		1	
目の焦点の合わせづらさ		1	1
唾液の増加	1		
発汗	1		
吐き気	1		1
集中力の低下	1	1	
頭が重く感じる			1
目のかすみ		1	1
目眩感 (開眼状態)			1
目眩感 (閉眼状態)			1
平衡感覚の低下			1
胃の違和感・不快感	1		
ゲップが出る	1		
計	[1]	[2]	[3]
スコア計算			
$N = [1] \times 9.54$			
$O = [2] \times 7.58$			
$D = [3] \times 13.92$			
トータルスコア = $([1] + [2] + [3]) \times 3.74$			

めに SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)[20] を日本語化したものを、作業中の UI の見え方や不快感を測るために独自で設定した 3 つの質問をリッカート尺度を用いて 5 段階で評価した。加えて、ユーザの意見を収集するために自由記述の項目も設けた。

SSQ は Kennedy らによって提案された指標であり、「身体的不快 (Nausea)」「眼精疲労 (Oculomotor)」「方向感覚喪失 (Disorientation)」の 3 つの因子から構成される。被験者はそれぞれの症状について 4 段階 (0: なし, 1: 軽度, 2: 中程度, 3: 重度) で回答し、各因子ごとに加重スコアを算出する。その後要素ごとの因子に係数をかけ、要素スコアと総合スコアが得られる。各スコアの値は、スコアが小さいほど快適性の高いシステムだと評価される。本研究では、この総合スコアおよび各因子スコアを指標として VR 酔いの程度を比較評価した。各症状に対応する重みとスコア計算方法は表 1 に示す。

独自で設定した 3 つの質問は以下の Q1 から Q3 の 3 項目である。

- Q1 UI に表示された文字が読みにくい
- Q2 ピントを切り替えにくい
- Q3 作業中違和感・不快感を感じる

4.4 結果

結果を図 7 から図 10 に示す。SSQ において、3 手法の平均値に差がないと帰無仮説を立て、上位検定としてク

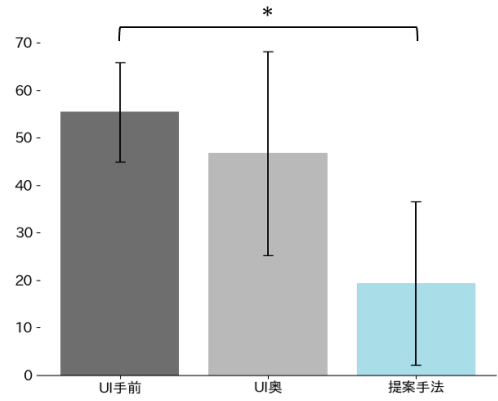


図 7 SSQ トータルスコア

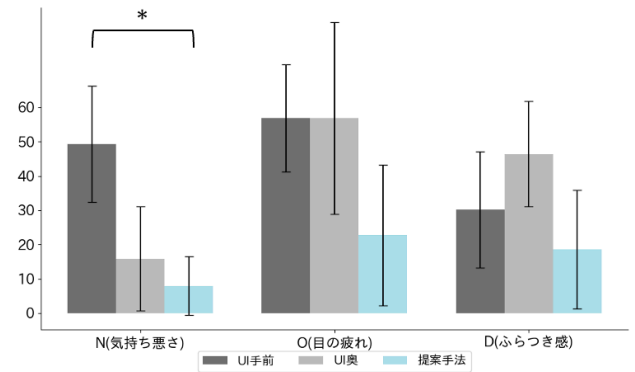


図 8 SSQ 各要素

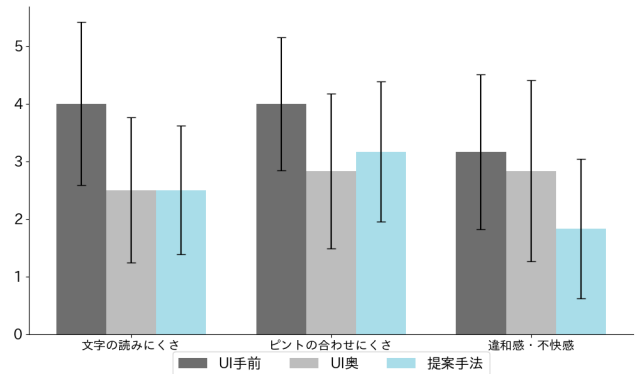


図 9 3つの質問

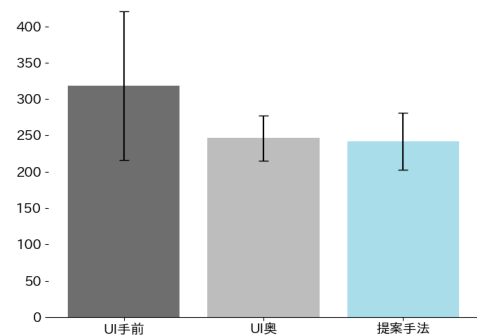


図 10 作業時間

ラスカル=ウォリス検定を行った。有意水準は $p < 0.05$ を統計的に有意と判断した。SSQ のトータルスコア及び各項に対して合計 4 回の検定を実施している。多重比較による第一種の過誤を防ぐため、BH(Benjamini-Hochberg)法で有意水準を調整した。検定の結果、トータルスコア ($p = 0.0141$) と N(気持ち悪さ) の項目 ($p = 0.0065$) で有意差が認められた。この結果から下位検定としてマンホイットニーの U 検定を行ったところ、トータルスコアで UI 手前と提案手法 ($p = 0.0048$) に、N の項目で UI 手前と提案手法 ($p = 0.0125$) に有意差が認められ、帰無仮説は棄却された。また、本実験では各手法に対するサンプルサイズが少ないため ($n=6$)、第二種の過誤が起こる可能性も考えられる。そこで検定力を算出したところ、トータルスコアで $1 - \beta = 0.95$ 、N の項目で $1 - \beta = 0.99$ となった。第二種の過誤が起こっている可能性は低く、帰無仮説は正しく棄却された。一方、3 つの質問でも同様に帰無仮説を立て、クラスカル・ウォリス検定を行ったが全ての質問で有意差は認められず、帰無仮説は採択された。

4.5 考察

SSQ の結果から、統計的な有意差は一部項目でしか得られなかったが、図 7、図 8 から全要素スコアとトータルスコアにおいて提案手法が最も低い値を取っている。つまり身体的負荷の減少という観点において提案手法はある程度の効果があったと考えられる。ユーザからも UI 手前と UI 奥では作業中に「目が疲れる」という発言や、UI の認識に戸惑う様子が見受けられたが、提案手法では最後まで滞りなく作業を進めている印象であった。今回の実験では作業時間が 3 ～ 6 分であったが、実際にコンテンツを体験や実務を行う際には数十分に及ぶ可能性がある。身体的負荷は時間経過によって増加すると考えられる。そのため長時間作業を対象とした実験において有意な差が観察される可能性がある。

図 9 に示したように 3 つの質問からは統計的に有意な差が得られなかったため、クロムバックの α 係数を用いて手法ごとにデータの一貫性を調査した。 α 係数はそれぞれ $\alpha = 0.512$ (UI 手前)、 $\alpha = 0.944$ (UI 奥)、 $\alpha = 0.941$ (提案手法) となった。この調査から、UI 手前の結果は一貫性が低く信頼度が低いと示された。一貫性が低いというのは、被験者の一部に質問の意図が正確に伝わっておらず、一貫した基準での回答がされていないことを意味する。そのため再実験やサンプル数を増やすと結果が変わる可能性がある。UI 奥と提案手法に有意な差が得られなかった原因としては、動的に深度を変化させる UI にピントを合わせる難しさや、深度変化の挙動に問題があると考えられる。今回の実験環境では提案手法で前記した通り、UI の深度を変化させる際、見かけ上の大きさが変化しないようにスケールさせた。しかし現実世界では、物体の深度が大きくなる

ときに見かけの大きさは小さくなる。つまり、見かけ上の大きさが変化せず深度のみが変化する物体に対してピントを合わせるという動作は一般的に行う機会がない。そのため UI の深度が認識しづらく、ピントが合わせにくいという結果に繋がったのだと推察される。また深度変化時の挙動に関して、本研究では取得した視線情報から視線の向く方向によって UI 深度を変化させたが、境界を越えたときに即座に変化させたため、境界を往復するような視線移動をした場合に前後に素早く移動し視覚的な揺らぎが発生する。実際にユーザから「UI が前後に高速でチラチラ動くことがあり、見にくかった」という意見があった。この現象は境界付近で瞬きをした際に視線のトラッキングの喪失でも発生しうするため、対策が必要である。具体的には、深度変化に時間の幅を持たせてスムーズに遷移させる、一定幅未満の深度変化は UI を変化させない、などが考えられる。これらは今後、議論および検証を要する課題である。

5. まとめと今後の展望

本研究では、VR180 を用いた MR システムにおける UI 深度の問題に対応するための、視線情報を用いた UI 提示法である GADA-UI の提案を行い、VR180 の静止画像を用いて実装したプロトタイプのシステムでの評価を行った。視線情報を用いた動的な UI 深度調整によって身体的負荷の軽減を確認した。一方で、UI の前後移動が視認性に影響を与え、ピントを合わせづらくしている可能性が示唆された。今後は深度調整機構を改善するとともに、VR180 映像へのリアルタイム対応を進めていく。

謝辞

本研究の一部は、内閣府 SIP3 (JPJ012495) 及び JST CREST (JPMJCR22M4) に支援いただきました。

参考文献

- [1] トヨタ自動車は全国の GR Garage に HoloLens2 を導入開始。自動車整備の働き方改革に Mixed Reality テクノロジーを活用、Microsoft、入手先 <https://news.microsoft.com/ja-jp/2020/10/06/201006-toyota-motor-started-introducing-hololens-2-in-gr-garage-nationwide/> (参照 2025-04-28)。
- [2] 宇佐美龍斗, 渡邊企章, 具志祐希, 筒井秀斗, 渡辺圭貴, 加納一馬, 相川雄也, 志村魁哉, 林田望海, 浦野健太, 米澤拓郎, 河口信夫. 遠隔 MR ロボットアーム制御によるスマートな 3D スキャンシステム, 日本バーチャルリアリティ学会大会 (2024),
- [3] Usami, R., Watanabe, K., Gushi, Y., Tsutsui, S., Watanabe, Y., Kano, K., Aikawa, Y., Shimura, K., Hayashida, N., Urano, K., Yonezawa, T. and Kawaguchi, N.: Demonstration: Remote 3D Scanning with VR and Robotic Arm, Proc. ACM Int. Joint Conf. Pervasive Ubiquitous Comput. (UbiComp '24), pp.201-204, Association for Computing Machinery, DOI: 10.1145/3675094.3677548 (2024).
- [4] 筒井秀斗, 渡邊企章, 宇佐美龍斗, 具志祐希, 渡辺圭貴, 林

- 田望海, 志村魁哉, 浦野健太, 米澤拓郎, 河口信夫: VR180 遠隔ロボットアームシステムにおける操作支援のための情報提示手法の検討, 研究報告モバイルコンピューティングと新社会システム (MBL), 2025-MBL-114, No.29, pp.1-8(2025).
- [5] ステレオ動画の再生手法および VR コンテンツの提案, 国際 ICT 利用研究学会研究会研究論文誌, Vol.3, No.1, pp.11-15, DOI: 10.32188/tiars.3.1.11 (2024).
- [6] Nguyen, C., DiVerdi, S., Hertzmann, A. and Liu, F.: Depth Conflict Reduction for Stereo VR Video Interfaces, Proc. CHI '18, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Paper 64, pp.1-9, DOI: 10.1145/3173574.3173638 (2018).
- [7] Sidenmark, L., Kiefer, N. and Gellersen, H.-W.: Subtitles in Interactive Virtual Reality: Using Gaze to Address Depth Conflicts, Proc. CHI 2019, pp.1-9, DOI: 10.1145/3290605.3300835 (2019).
- [8] 清水裕介, 大西鮎美, 寺田努, 塚本昌彦: 立体映像における奥行き要素に着目した視線適応型字幕配置手法, 情報処理学会論文誌, Vol.63, No.11, pp.1665-1678, DOI: 10.20729/00222142 (2022).
- [9] 横澤一彦: 視覚科学, pp.1-8, 57-69, 勁草書房 (2023)
- [10] Fincham, E.F. and Walton, J.: The reciprocal actions of accommodation and convergence, J. Physiol., Vol.137, No.3, pp.488-508, DOI: 10.1113/jphysiol.1957.sp005829, PMID: 13463783, PMCID: PMC1363021 (1957).
- [11] Hoffman, D.M., Girshick, A.R., Akeley, K. and Banks, M.S.: Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue, J. Vis., Vol.8, No.3, p.33, DOI: 10.1167/8.3.33 (2008).
- [12] Kramida, G.: Resolving the Vergence-Accommodation Conflict in Head-Mounted Displays, IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., Vol.22, No.7, pp.1912-1931, DOI: 10.1109/TVCG.2015.2473855 (2016).
- [13] Kang, Y.-S. and Cho, S.: Comparison of visual discomfort when viewing 3D videos with various contrast changes on a stereoscopic 3D display, an autostereoscopic display, and an HMD, Electron. Imaging, Vol.28, No.5, pp.1-1, DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2016.5.SDA-450 (2016).
- [14] Wang, X.M., Southwick, D., Robinson, I., Nitsche, M., Resch, G., Mazalek, A. and Welsh, T.N.: The geometry of the vergence-accommodation conflict in mixed reality systems, Virtual Real., Vol.28, No.2, pp.1-20, DOI: 10.1007/s10055-024-00991-4 (2024).
- [15] Shibata, T., Kim, J., Hoffman, D.M. and Banks, M.S.: The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays, J. Vis., Vol.11, No.8, p.11, DOI: 10.1167/11.8.11 (2011).
- [16] Nakayama, K. and Shimojo, S.: da Vinci stereopsis: depth and subjective occluding contours from unpaired image points, Vision Res., Vol.30, No.11, pp.1811-1825, DOI: 10.1016/0042-6989(90)90161-d, PMID: 2288092 (1990).
- [17] Nakayama, K., Shimojo, S. and Silverman, G.H.: Stereoscopic depth: its relation to image segmentation, grouping, and the recognition of occluded objects, Perception, Vol.18, No.1, pp.55-68, DOI: 10.1068/p180055, PMID: 2771595 (1989).
- [18] Li, S., Gao, C., Zhang, J., Zhang, Y., Liu, Y., Gu, J., Peng, Y. and Lyu, M.R.: Less Cybersickness, Please: Demystifying and Detecting Stereoscopic Visual Inconsistencies in Virtual Reality Apps, Proc. ACM Softw. Eng., Vol.1, FSE, Article 96, 23 pages, DOI: 10.1145/3660803 (2024).
- [19] 谷合竜典: 3次元画像計測におけるステレオマッチングの基礎から最先端まで, Omron technics : オムロングループ技術論文誌, Vol.53, No.2, pp.246-260 (2021).
- [20] Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S. and Lilienthal, M.G.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, Int. J. Aviat. Psychol., Vol.3, No.3, pp.203-220, DOI: 10.1207/s15327108ijap0303_3 (1993).