

遠隔協調型複合現実感における作業空間表現のための 立体人物像提示*

岡本 祐樹[†] 北原 格^{†a)} 大田 友一^{†b)}

A Modeling and Rendering Method of Human Bodies for Displaying a Work-Space
in Remote Collaborative Mixed-Reality Environment*

Yuuki OKAMOTO[†], Itaru KITAHARA^{†a)}, and Yuichi OHTA^{†b)}

あらまし 本論文では、実空間と仮想空間をつなぎ目なく融合する“複合現実感”技術を用いて、遠隔地の人間があたかも目の前に存在するような映像を生成・提示することにより、作業空間の共有を実現する“遠隔協調型複合現実感”について述べる。三次元センサで獲得した人物の立体像を利用することにより、遠隔地のユーザ同士での三次元的なインタラクションを実現可能な方式を提案する。特に対面卓上作業に注目し、その状況に適した立体人物像表現の提案と、実時間で人物像の取得・伝送・提示を行うシステムの実装について述べる。構築したシステムを用いて遠隔作業指示を想定した評価実験を行い、提案手法の有効性を示す。

キーワード 遠隔協調作業, 複合現実感, 立体人物像, 卓上作業, インタラクション

1. ま え が き

複合現実感 (MR: Mixed-Reality) とは、コンピュータグラフィックス (CG) で生成した仮想世界を現実世界上に重畳提示する技術である [1]。中でも、複数ユーザで複合現実空間を共有して協調作業を行うことを目的とするものを“協調型複合現実感”と呼ぶ [2]。従来の協調型複合現実感システムは、ユーザが一堂に会し、現実世界を共有することを前提としている。これに対し我々は、急速な発展を続けるネットワーク技術を活用して、遠隔地間で現実世界の情報を伝送することにより、協調型複合現実感が有する物理的制限を取り除くことを目的とした“遠隔協調型複合現実感 (遠隔協調型 MR)”の研究に取り組んでいる。遠隔地に存在するユーザ自身が仮想化物体として複合現実空間に統合されるため、遠隔地間での仮想的な協調作業が可能である。高臨場感通信分野で取り組まれている人工

現実 (VR) 型の遠隔協調作業システムと異なるのは、複合現実感を用いて空間を提示することにより、コンピュータで合成した仮想物体や、遠隔地のユーザや実物体などの仮想化物体を実物体と同じように観察・操作可能なことと、それらに対して身体を用いたインタラクションが可能であるという点である。

南谷らは、この特徴を生かした遠隔協調型 MR の題材として卓上作業に注目し、その一例として遠隔地間でオセロ対戦を行うシステムを実装し、有効性を示している [3]。しかし、二次元世界である卓上面での協調作業に特化した人物像提示方式を用いているため、三次元物体に対する操作や三次元空間中の位置を指示するといった、三次元的なインタラクションは未対応であった。

我々は、図 1 に示すような遠隔地にいるユーザが一堂に会した作業空間表現の実現を目指している。このような高度な遠隔協調作業の実現には、三次元的なインタラクションが重要であると考え、本論文では、遠隔協調型 MR に立体的な人物形状表現を導入する取組みについて述べる。データ量や処理速度の面に対面卓上型作業に適した立体人物像の提示方式を提案し、作業空間を三次元的に表現可能な遠隔協調型 MR システムを構築する。

[†] 筑波大学大学院システム情報工学研究科，つくば市
Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, 305-
8573 Japan

a) E-mail: kitahara@iit.tsukuba.ac.jp

b) E-mail: ohta@iit.tsukuba.ac.jp

* 本論文はシステム開発論文である。

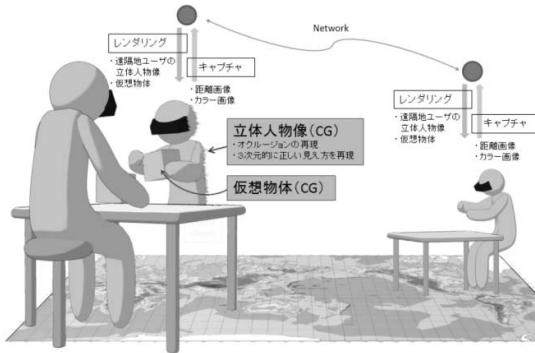


図 1 遠隔協調型複合現実感システム
Fig. 1 Remote collaboration by using mixed-reality technology.

以降本論文では、2. で従来の遠隔協調作業に関する研究と遠隔協調型複合現実感システムについて紹介し、3. で作業空間表現の必要性と立体人物像提示について述べる。4. で立体人物像の生成手法を示し、5. で遠隔協調型システムの実装について紹介する。6. では提案した人物提示手法による人物形状の精度評価と、作業空間表現の有効性を評価するための実験について述べ、最後に 7. でまとめと今後の課題について述べる。

2. 遠隔協調型複合現実感

2.1 関連研究

これまでも遠隔協調作業を目的としたシステムがいくつか提案されているが、多くのシステムでは、大型ディスプレイを用いて遠隔地の見え方を提示するため、物体の三次元的な提示や操作が困難である [4], [5]。また、清川らによると、協調作業では、互いにインタラクション可能な状態で作業空間を共有することが重要とされているが [6]、従来手法では、ディスプレイやスクリーンによって空間が分断されてしまい、遠隔地のユーザ同士に没入感を与えにくいといった問題も存在する [7]。これに対し、遠隔協調型 MR では HMD (Head-Mounted Display) を用いて複合現実空間を共有することにより、上述した問題を解決する。VR 空間だけでなく、実空間の情報を併せ持つ複合現実感を用いることで、ユーザ自身とシームレスにつながった作業空間を対象として、実世界と同様に身体動作を用いた相互インタラクションが可能である。HMD の装着によりユーザの視線情報が隠れ、アイコンタクト等のコミュニケーションに重要な非言語情報が失われるという問題が生じるが、この問題に対する解決

策も、既に提案されている [8]。

遠隔協調型複合現実感を実現するためには、遠隔地のユーザや物体の見え方を他方において再現する必要がある。このような人物像の提示技術は、Tele-Existence または Tele-Presence と呼ばれ、高臨場感通信分野において活発に研究が行われてきた。例えば、三次元メッシュを用いた手法 [9]、イメージベースドレンダリングを用いた手法 [10]、点群データを用いた手法 [4] などがある。しかし、これらの手法は複数台のカメラを用いた全身の三次元形状復元を想定したものであり、本研究が対象とするような対面型の卓上作業においては、ハードウェア構成、通信データ量、処理速度、アピアランスの面で最適な手法とは言いがたい。

2.2 遠隔協調型複合現実感システム

協調型複合現実感では、複数のユーザが HMD を装着することで、実環境に重畳された同一の仮想物体を観察することが可能である。ユーザ同士は、実空間と仮想空間がシームレスにつながった複合現実空間を共有し、インタラクションを行うことができる。この協調型複合現実感を遠隔地間での協調作業に拡張したものが“遠隔協調型複合現実感”であり、ユーザ自身の見え方を遠隔地のユーザの環境へと伝送し、複合現実空間と統合して提示することにより、遠隔地間においても協調型複合現実感と同様の協調作業が実現される。従来の遠隔協調作業システムとは異なり、ユーザの観察する遠隔地ユーザ像と実空間がシームレスに融合提示されることから、遠隔地間であっても同一の空間を共有している感覚で協調作業が可能となる。

遠隔協調型複合現実感を実現するためには、実空間と仮想空間との間で時間的整合性、幾何的整合性、光学的整合性の三つの整合性を保つことが重要である。時間的整合性とは時間遅れがないことを意味し、通信遅延の低減によりビデオレート提示を実現することが課題となる。幾何的整合性とは、実世界と仮想世界とを正しく位置合せすることであり、遠隔ユーザの人物像を実世界上の適切な位置に配置することが課題となる。光学的整合性とは、実世界と仮想物体の見え方の差異を軽減することによる違和感の少ない重畳提示の実現を意味し、遠隔ユーザの見え方を実世界とそん色なく提示することが課題となる。

南谷らは、遠隔地間での対面卓上作業を対象としたシステムを提案し、実時間での人物像の取得・伝送・提示と、卓上面における違和感のない遠隔協調作業を実現するための人物像提示方式を提案した [3]。共有す

る実物体を卓上面とユーザに限定し、“変型ビルボード”と呼ばれる静的な曲面状ポリゴンを用いて、遠隔地の実物体の見え方を再現している。近似表現により、データ量・レンダリング処理コストが削減され、時間的整合性の実現が可能となる反面、卓上面から離れた空間で作業が行われる場合、正しい見え方の再現が困難になる。また、仮想物体像とユーザ像間の隠ぺい表現にも対応していないといった問題が存在する。本論文では、これらの問題の解決を目的とした立体人物像提示手法を提案する。

3. 作業空間表現のための立体人物像提示

立体的な人物像を生成する場合、複数台のカメラで被写体を取り囲んで撮影を行えば、自由視点映像の生成が可能であるが、対面卓上作業という限定的なタスクにおいて、このような大掛りな撮影環境は現実的ではない。三次元復元の処理時間やデータ量は表現精度とトレードオフの関係にあり、時間的・幾何的・光学的整合性を同時に満たす必要のある複合現実感では、これらのバランスを考慮した人物像提示方式が望ましい。一方、対面作業では、遠隔地の人物像がユーザの目の前に提示されるため、人物のテキスト情報は損なわれないことが望ましい。

そこで本研究では、対面卓上作業においてユーザの視点移動範囲がそれほど広くならない特性を利用する。図2に示すようにユーザ頭部に相当する位置に設置したステレオカメラによって遠隔地ユーザのカラー画像と距離画像を獲得し、距離画像から生成した三次元メッシュ形状にカラー画像をマッピングすることにより、高速、かつ遠隔地ユーザの見え方情報の品質を保持しつつ、三次元的な位置関係や隠ぺい関係の正しい再現が可能な立体人物像提示を実現する。

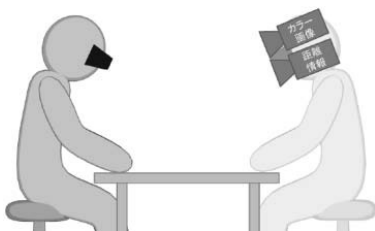


図2 対面ユーザの視点位置からのカラー画像と距離情報の取得

Fig. 2 Depth and color image acquisition at the remote-site.

4. 立体人物像の生成

立体人物像提示処理は、図3に示すように、以下(1)~(5)の順に実行する。

- (1) 片方のユーザのカラー画像と距離画像を撮影し、人物領域を抽出する。
- (2) 人物領域のデータを他方のユーザ側に送信する。
- (3) 他方のユーザ側では、受信した距離画像をもとに前景領域の三次元メッシュを生成する。
- (4) 三次元メッシュにカラー画像をマッピングし、遠隔ユーザの立体人物像を生成する。
- (5) 人物像を含む複合現実空間を構築し、HMDを用いてユーザに提示する。

図4に示すように、これらの処理を双方向に行うことにより、複合現実空間において遠隔地にいるユーザ同士が仮想的に対面することになる。本節では、各処理について順に説明する。

4.1 座標系

提案システムで用いる座標系を図5に示す。HMD座標系は、ユーザの装着するHMDの座標系である。ユーザに提示される遠隔地の人物像や仮想物体は、この座標系に変換後レンダリングされる。距離センサ座標系は、ステレオカメラを基準とする座標系である。後述するテキストマッピング処理や三次元メッシュの生成は、この座標系において行われる。卓上座標系は、上記三つの座標系の基準となる座標系である。

4.2 距離画像とカラー画像の撮影と人物領域抽出

距離画像とカラー画像を獲得するための装置は、人物領域と作業空間の情報を同時に取得するために、対

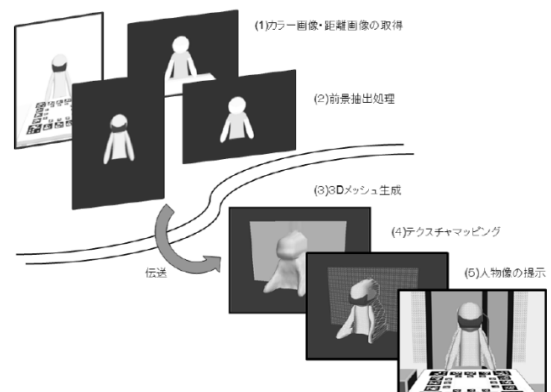


図3 人物像の取得・生成・提示の流れ

Fig. 3 Flow of 3D modeling and rendering of a remote user.

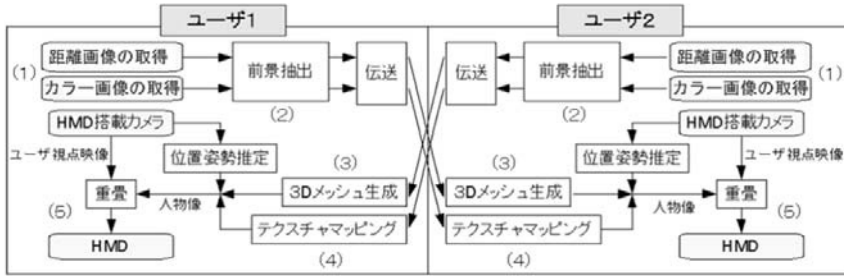


図 4 遠隔地を含めたシステム全体の処理フロー
Fig. 4 A flow-chart of remote collaborative MR system.

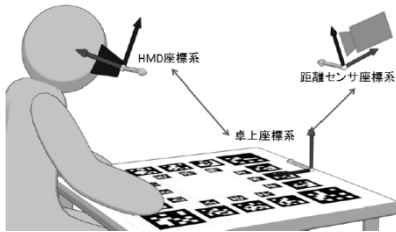


図 5 提案システムで用いる座標系
Fig. 5 A coordinate systems of remote collaborative MR system.

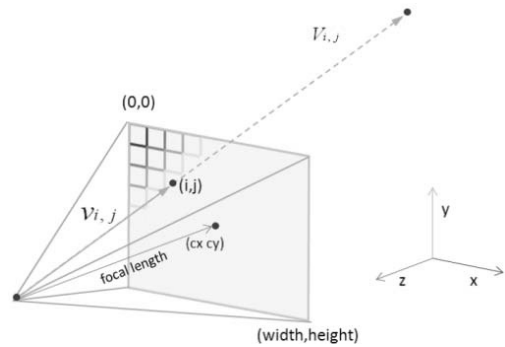


図 7 距離画像を用いた三次元点の算出
Fig. 7 3D estimation by using depth image.



図 6 遠隔ユーザのカラー画像
Fig. 6 A color image of a remote user.

面するユーザ視点位置に、卓上作業空間を見下ろす姿勢で設置される。撮影映像の例を図 6 に示す。

色情報を色相 (H)、彩度 (S)、明度 (V) で表現する HSV 表色系カラー画像から人物領域の抽出を行い、マスク画像を生成する。本方式では、被写体の身体影が机に落ちるケースが頻繁に発生する。影領域では、色相と彩度に比べ明度が大きく変化するという特性がある [11]。また、立体人物像の見栄えに大きな影響を与える顔や手領域の観測色 (肌色) は、HS 色空間において偏在することが知られている [12]。このような

影領域と肌色領域の観測特性を利用することにより、マスク画像の抽出精度を向上させる。輪郭が一番長い連結領域を人物領域として抽出し、人物領域マスクを生成する。

4.3 距離画像からの三次元メッシュ生成

図 7 に示すように、距離画像から被写体の三次元位置を算出し、人物の三次元的なメッシュモデルを生成する。ステレオカメラの画像中心を (cx, cy) 、焦点距離 f 、横方向/縦方向の画素ピッチを px, py とすると、ステレオカメラの光学中心から撮像面の各画素 (i, j) に向かうベクトル v_{ij} は以下の式 (1) で表される。

$$v_{ij} = \begin{bmatrix} px(i - cx) \\ py(i - cy) \\ f \end{bmatrix} \quad (1)$$

ある画素 (i, j) で観測される三次元点は、対応するベクトル v_{ij} の延長線上に存在するため、三次元位置を表すベクトル V_{ij} は、距離画像の各画素がもつ距離情報 d_{ij} を用いて式 (2) で与えられる。

$$V_{ij} = v_{ij} \frac{d_{ij}}{f} \quad (2)$$

生成した三次元点群をもとに、人物像の立体的な形状を復元する．本システムでは、ラスタ状にデータが格納されている距離画像の性質を利用して、高速かつ簡易な手法により三次元メッシュ表現を生成する．図 8 に示すように、距離画像上で隣接する 3 画素を三角形ポリゴンの頂点と対応づけることにより、三次元空間中にメッシュデータを生成する．

4.4 人物テクスチャの生成とマッピング

人物テクスチャの生成手法を図 9 に示す．輪郭部のエイリアシングを低減させるために、人物領域抽出処理で生成したマスク画像にガウフィルタを適用し、輪郭部の平滑化を行う．このマスク画像をアルファチャンネルとする RGBA 形式のカラー画像を合成し、これを人物テクスチャとする．

卓上座標系を基準としてステレオカメラの位置・姿勢を求め、三次元メッシュを遠隔地ユーザが存在している位置に配置する．次に、ステレオカメラの位置・姿勢情報を用いて人物領域映像をテクスチャとした投影マッピング [13] を行うことにより、三次元メッシュの見え方を生成する．

最後に、卓上座標系を介して距離センサ座標を HMD 座標系に変換することにより、HMD から見た人物像の観測情報が再現され、実写映像上に重畳提示される．

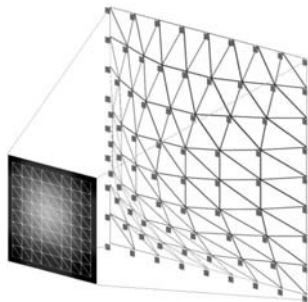


図 8 三次元メッシュの生成
Fig. 8 3D mesh-model generation.

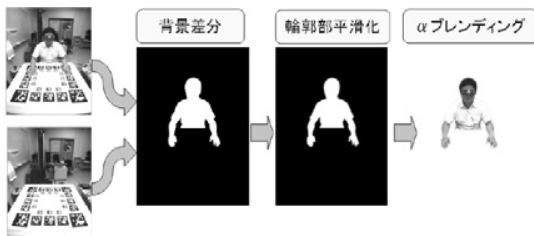


図 9 人物テクスチャの生成
Fig. 9 Remote user's texture generation.

この際、Z バッファ法によって、人物像の CG モデルと仮想物体の CG モデルの前後関係が判定され、隠ぺいなどの幾何的整合性が再現される．

5. システムの実装

本システムでは、図 10 に示すように、PointGray-Research 社の 2 眼ステレオカメラ Bumblebee²(注1)を用いて、距離画像とカラー画像の撮影を行う．ステレオカメラを用いる場合の実装時の課題としては、(1) 特徴的なテクスチャ情報をもたない領域の距離値計測が困難であること、(2) 計測処理のコストが比較的高いため高速化の配慮が必要であること、が挙げられる．本章で紹介するシステムの実装において、4.1 で紹介した各座標系の射影関係は、AR-Toolkit [14] を用いて算出する．

5.1 距離画像の補間処理

ステレオカメラを用いて距離画像を生成する場合、テクスチャ情報を持たない領域や、双方のカメラで同時に観測できない領域では、三次元計測が困難である．このような領域の推定結果を削除すると、距離画像は、図 11 左に示すように疎なデータとなる．そこで、本システムではカラー画像上での色の連続性と、距離画像上での距離値の連続性との相関を考慮することにより、距離画像の欠損を補間する．

まず、距離画像においてステレオマッチング時に算出した残差（画素値の二乗距離の総和を探索ブロックの画素数で正規化した値）が基準値よりも小さい画素（注目画素）を探索し、そのカラー画像中での色情報を取得する．次に、カラー画像の注目画素周囲において、注目画素と類似した色情報を有する画素（参照画

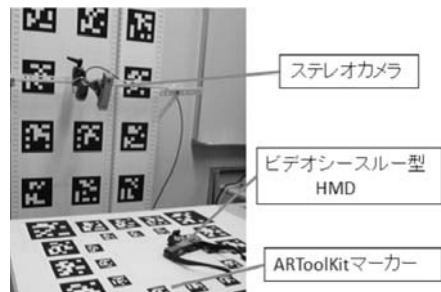


図 10 ステレオカメラを用いたシステム構成
Fig. 10 Overview of our developing system.

(注1): 撮影仕様：水平画角：97 度，フレームレート：毎秒 20 枚，最大解像度：1024 画素 × 768 画素．



図 11 距離画像の補間処理 (左: 適用前, 右: 適用後)
Fig. 11 Depth image compensation. (left: original, right: result)

表 1 実装システムで使用したコンピュータの仕様
Table 1 Specification of a computer used in our pilot system.

CPU	Xeon 2.66[GHz]
メインメモリ	3.0[GB]
グラフィックカード	nVidia Quadro FX4600

素)を探索する^(注2)。参照画素の距離の平均値を注目画素の距離値とすることにより、欠損距離画像の補間が実現される。本手法を適用した距離画像を図 11 右に示す。なお、服の皺や影の影響を抑えるために色情報の参照は、光源変化を受けにくいとされる HSV 表色系の HS 平面において行う。

5.2 システムの高速化

ステレオ処理の速度は、入力画像サイズに依存するため、前段の処理で求めた人物領域を囲む最小矩形を算出し、これを注目領域 (ROI: Region of Interest) とすることにより高速化を実現する。距離画像の補間処理についても、同様に ROI を指定することにより高速化を行う。

5.3 立体人物像の提示

実装システムを用いて立体人物像を生成し、提示映像の確認を行った。システムで利用するコンピュータの基本性能を表 1 に示す。

ステレオカメラを用いる場合、生成する距離画像のサイズによって動作速度が異なるが、640 画素×480 画素で毎秒 6 枚、512 画素×384 画素で 9 枚、320 画素×240 画素で 16 枚程度の処理速度が実現される。生成された人物像の一例を図 12 に示す。三次元的に正しい見え方が表現され、仮想物体との隠ぺい表現がなされていることが確認できる。



図 12 立体人物像の提示例
Fig. 12 Examples of 3D display of a user.

6. システムの評価実験

6.1 立体人物像の精度評価

三次元メッシュ表現による人物像提示の妥当性を評価するため、ユーザの体の表面と生成された三次元メッシュ表面との距離を計測する。図 13 上に示すように、一定の姿勢を維持可能なマネキンユーザとみなし、これをコニカミノルタ社の高精度三次元レンジファインダ vivid910 で計測した距離データを正解の三次元モデルとする。提案手法で生成した人物の三次元モデルと正解三次元モデルを、ユーザと対面する位置に配置し、ユーザ視点位置からレンダリングする際のデプスバッファを参照することにより、奥行値の比較を行う。従来手法として、南谷らの変型ビルボード方式で生成した三次元モデルについても同様の比較を行う。

提案モデル (三次元メッシュ)、変型ビルボードと正解三次元モデルとの距離の差を図 13 に示す。暗い領域ほど正解三次元モデルの表面に近いことを表している。変型ビルボードは、卓上で作業を行う人物形状を近似しているため、卓上に置かれた右腕は正解に近いが、空間中に掲げた左腕や前に突き出した頭部には顕著な差があることが確認できる。これに対し、提案手法により生成した三次元メッシュで生成した人物像では、指などの細部についても正しく表現されていることが確認できる。

6.2 作業空間表現に関する評価

遠隔作業指示をタスクとして想定し、指示者の指し示す物体をユーザが把握するまでの時間と、その正確さを測定することにより、提案する人物像提示手法による作業効率の評価を行う。被験者はビデオスルー型 HMD を装着し、図 14 に示すように、卓上の作業空間に等間隔に配置された 27 個の仮想物体と、対面位置の指示者人物像を観測する。1 回の試行は以下に示す手順により行われる。

(注2): 色情報の類似度は、RGB 色空間における各色の差分の二乗和とする。



図 13 相手ユーザとみなして配置したマネキン(上). 正解三次元モデルとの奥行き比較実験結果(左:三次元メッシュ(提案手法), 右:変形ビルボード(従来手法))

Fig. 13 A mannequin set as a static posing user (upper), results of depth error comparison with our proposed method (left) and deformable billboard (right).

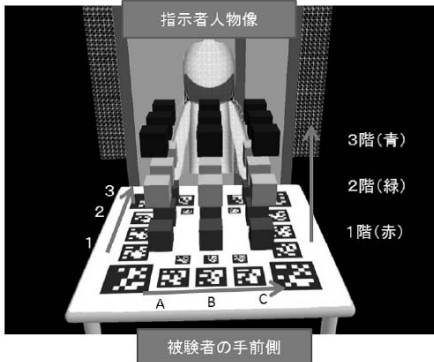


図 14 仮想物体の配置

Fig. 14 Layout of virtual objects.

(1) 指示者の人物像が対面位置に提示され, 被験者は指示者を認識すると同時に時間の計測開始キーを押す.

(2) 指示者像は基準姿勢から手を伸ばし, 仮想物体の一つを指し示す.

(3) 被験者は指示者の指す仮想物体を, 可能な限り早く特定し, 判断したタイミングで時間の計測停止キーを押す.

(4) 被験者が特定した指示物体の ID を, 例えば(2階-1-C)のように解答する.

提案手法で生成した三次元メッシュ, 2.2 で紹介した変形ビルボード [3] に加え, 仮想物体との隠れ関係



図 15 提示映像の例(上:三次元メッシュ(隠れ関係の再現あり), 中:三次元メッシュ(隠れ関係の再現なし), 下:変型ビルボード)

Fig. 15 Examples of display images. (top: 3D mesh with occlusion, middle: 3D mesh without occlusion, bottom: deformable billboard)

係を無視した三次元メッシュを比較対象とし, 隠れ表現の有無による効果を検討する. このタスクでは指先の見え方が重要となるため, 指先などの細かな表現と実時間性とのバランスを考慮して 512 画素 × 384 画素の解像度で生成した距離画像を用いた.

指示者が仮想物体を指し示す 10 秒程度の映像シーケンスを仮想物体ごとに撮影し, 27 組の距離画像/カラー画像を生成する. 三つの人物像提示手法と, 27 組の指示データを組み合わせ, 計 81 通りの指示者人物像を生成する. これをランダムに三つのデータセットに分割し, 各データセットにつき 2 名, 計 6 名の被験者により実験を行った. 指示物体を特定する際には, 椅子から腰が離れない程度であれば頭部を動かして視点位置を変えてもよいものとし, 本番前には 1 分程度の練習を行った. 各人物像提示手法による実際の提示映像の一例を図 15 に示す.

各人物像提示手法による階層ごとの平均正解率を図 16 に, 平均解答時間を図 17 に示す. 作業平面上での見え方が安定している変型ビルボード方式は, 卓上に位置する 1 階では正解率, 解答時間ともに優れているが, 上層の階に上がるほど間違いやすく, 判断に

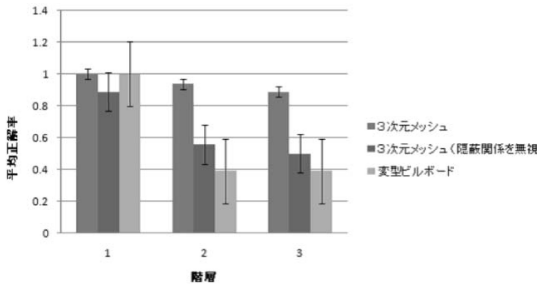


図 16 階層ごとの平均正解率の計測結果
Fig. 16 Results of accuracy rate.

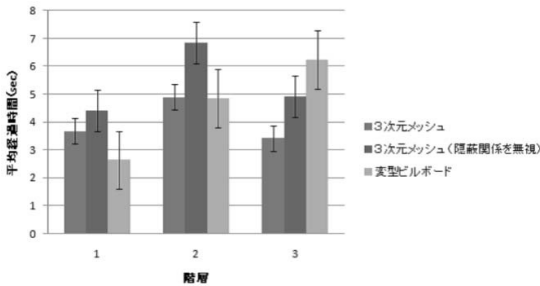


図 17 階層ごとの平均解答時間の計測結果
Fig. 17 Results of answering time.

時間がかかっていることが分かる。これは、近似面から離れることにより指先の提示位置に大きなずれが生じることが原因であると考えられる。これに対し三次元メッシュ表現は、1階では変型ビルボードと同等の評価であり、2, 3階では正解率、解答時間ともに最も良い評価となっている。また、仮想物体との隠ぺい表現を行わない場合、1階では変型ビルボード方式に及ばないものの、2階以上では正解率が上回り、3階では解答時間も優れた結果が得られている。これらの結果から、遠隔協調作業を目的とした人物像表現において、三次元的な見え方の再現と物体間の隠ぺい関係の再現は、共通の作業空間を認識する上で有効であることが確認された。

7. む す び

本研究では、遠隔地のユーザ人物像を実世界に融合提示することにより、遠隔地間での協調作業を可能にする遠隔協調型複合現実感において、三次元的な作業空間を表現するための立体人物像提示について述べた。対面卓上型の協調作業を想定し、対面のユーザ視点から取得したカラー画像と距離画像を用いることで、仮想物体との隠ぺい関係を表現し、三次元的な見え方を

再現可能な人物像提示手法を示した。また、本手法を用いてユーザの人物像を実時間で取得・生成する対面卓上作業システムを構築した。提案した立体人物像の妥当性を検証するため、ユーザ形状の再現度を評価し、作業空間表現に適した手法であることを確認した。また、遠隔作業指示を想定したパフォーマンス評価を行い、提案手法が三次元的な作業空間共有において有効であることを検証した。今後の課題として、ユーザの身体動作を使った仮想物体の操作など、複合現実型であることの利点を活用し、直感的なインタラクションを実現する必要がある。

文 献

- [1] Y. Ohta, and H. Tamura, Mixed Reality — Merging Real and Virtual Worlds, Ohmsha, 1999.
- [2] K. Kiyokawa, H. Iwase, H. Takemura, and N. Yokoya, “Collaborative immersive workspace through a shared augmented environment,” Proc. SPIE '98, vol.3517, pp.2–13, 1998.
- [3] S. Minatani, I. Kitahara, Y. Kameda, and Y. Ota, “Face-to-face tabletop remote collaboration in mixed reality,” IEICE Technical Report, MVE2007-53, 2007.
- [4] M. Gross, S. Wurmlin, M. Naf, E. Lamboray, C. Spagno, A. Kunz, E. Koller, T. Svoboda, L. Van Gool, S. Lang, K. Strehlke, A.V. Moere, and O. Staaadt, “A spatially immersive display and 3d video portal for telepresence,” Proc. SIGGRAPH 2003, ACM Press/ACM SIGGRAPH, 2003.
- [5] R. Raskar, G. Welch, M. Cutts, A. Lake, L. Stesin, and H. Fuchs, “The office of the future: A unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays,” SIGGRAPH '98 Proc., pp.179–188, 1998.
- [6] K. Kiyokawa, M. Billinghurst, S.E. Hayes, A. Gupta, Y. Sannohe, and H. Kato, “Communication behaviors of co-located users in collaborative AR interfaces,” IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2002), pp.139–148, 2002.
- [7] K. Yoshikawa, T. Machida, K. Kiyokawa, and H. Takemura, “A high presence shared space communication system using 2D background and 3D avatar,” IEICE Trans. Inf. & Syst., vol.E87-D, no.12, pp.2532–2539, Dec. 2004.
- [8] M. Takemura, I. Kitahara, and Y. Ohta, “Photometric inconsistency on a mixed-reality face,” IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006), pp.129–138, Oct. 2006.
- [9] P.J. Narayanan, P. Rander, and T. Kanade, “Constructing virtual worlds using dense stereo,” Proc. International Conference on Computer Vision ICCV

- 98, pp.3-10, 1998.
- [10] E. Cooke, P. Kauff, and O. Schreer, "Image-based rendering for teleconference systems," Proc. WSCG 2002, 2002.
- [11] B. Chen and Y. Lei, "Indoor and outdoor people detection and shadow suppression by exploiting HSV color information," Fourth International Conference on Computer and Information Technology (CIT'04), pp.137-142, 2004.
- [12] 若村直弘, 鈴木健一郎, 入江耕太, 梅田和昇, "インテリジェントルームの構築—直感的なジェスチャを用いた家電製品の操作—" 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005), IS3-108, pp.1074-1081, 2005.
- [13] M. Segal, C. Korobkin, R. Widenfelt, J. Foran, and P. Haeberli, "Fast shadows and lighting effects using texture mapping," Proc. SIGGRAPH '92, pp.249-252, 1992.
- [14] H. Kato and M. Billinghurst, "Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system," Proc. IWAR99, ACM, pp.85-94, 1999.

(平成 22 年 7 月 16 日受付, 11 月 19 日再受付)



大田 友一 (正員:フェロー)

1977 京都大学大学院博士課程了。京都大学情報工学科助手, 筑波大学電子・情報工学系講師, カーネギーメロン大学計算機科学科客員研究員, 筑波大学電子・情報工学系助教を経て, 1992 同教授。2004 同大学院システム情報工学研究科教授。2009 より, 同研究科研究科長。工博。コンピュータビジョン, 視覚情報メディア, 複合現実感の研究に従事。2008~2009 年度本会理事 (ISS 次期会長・会長)。2009 年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞。パターン認識国際連盟フェロー, 情報処理学会フェロー。



岡本 祐樹

2010 筑波大学大学院システム情報工学研究科知能機能システム専攻博士前期課程了。現在 (株) コーエーテックモゲームスに勤務。在学中は, 遠隔地間における複合現実空間の共有に関する研究に従事。



北原 格 (正員:シニア会員)

1996 筑波大学大学院理工学研究科了。同年シャープ (株) 入社。2000 筑波大学先端学際領域研究センタ助手。2003 ATR 専任研究員。2005 筑波大学大学院システム情報工学研究科講師。2008 同准教授。コンピュータビジョン, 複合現実感の研究に従事。2001 本会学術奨励賞。2003 IEEE VR2003 Honorable Mention for the Outstanding Paper Award。2009 年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞。博士 (工学)。