

遠隔で AR 物体を共有可能な デザイン学習のためのインタフェース

片平 怜士^{*1}, 曾我 真人^{*2}

^{*1} 和歌山大学大学院システム工学研究科

^{*2} 和歌山大学システム工学部

The Interface for the Design Learning with Remote Shareable AR Object

Reiji Katahira^{*1}, Masato Soga^{*2}

^{*1} Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

^{*2} Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

We developed a system that can share virtual design objects on a server. Several learners on the network can design a virtual object by AR collaboratively and the system can display the object with shade matching the light source direction with each learner's real environment. Furthermore, each learner can grasp and move the AR objects by their fingers apparently. We expect that the system will help learners to learn more various designs in future.

キーワード: 協調作業, 協調学習, 遠隔, 拡張現実感, 3DCG

1. はじめに

1.1 協調作業について

近年, 電子会議の一般化により遠隔地のユーザ間でのネットワークを通じたコミュニケーションが容易になった。それに伴い, 遠隔で行うユーザ間での協調作業への支援のニーズが高まっている。また, この協調作業を通してスキルの向上を目指す協調学習へのニーズも高まっている。

本研究で取り扱う協調作業および協調学習はネットワークを用いて遠隔で行うものとし, 岡田氏の「複数の人が協力することにより, 一人ではなし得ない, あるいはなすことが非常に困難な新しい価値を創造すること」を定義とし(1), 具体例として物の組み立て, 物のデザイン(彩色・形状の変更), 資料をもとにした議論があげられる。また, 協調作業を行うには各ユーザ間で情報の共有・作業の共有・意識の共有の三つが不可欠とされており, 支援環境の構築にはこれら三つの要件を全て満たしている必要がある。この共有におけ

る, 情報は「事前に持ち寄った資料や周りの環境」のことを意味し, 作業は「協調作業中のお互いの状況」を, 意識は「協調作業を行う最終の目的」をそれぞれ意味する。

1.2 既存研究

これまでの協調作業を支援する研究では, 主に大型ディスプレイやスクリーンを用いて, 映像をリアルタイムに共有する手法を用いて作業支援を行っていた。しかし, この手法ではディスプレイによってユーザ間の空間が物理的に分断されてしまい, 没入感が大きく欠如していた。また, 相手側の物体に直接干渉することができないため, 協調作業における物体の三次元的な提示や操作が困難であった。

この問題を受け, 2011年に岡本らが開発したシステムでは, HMDを用いた複合現実感を利用することで, 実空間・仮想空間でシームレスに三次元的な提示を再現していた(2)。このシステムではリアルタイム性を重視されており, ユーザ間で遅延によるストレスの少な

い環境を構築していた。しかし、岡本らが開発したシステムでは、三次元的な提示という作業の共有は実現されたが、協調作業の支援のための情報の共有と意識の共有が行われておらず、協調作業としての必要要件が満たされていなかった。また、物体を直接操作することはできず、ユーザ間での物体の指示や位置確認のみの設計だった。

1.3 研究目的

前記した研究背景から、本研究の目的は協調作業の要件である、情報の共有・作業の共有・意識の共有すべてを満たし、かつ直接仮想物体を操作できる協調作業支援環境を構築し、その有用性を示すことである。

2. 提案手法

本研究では、研究目的を果たすために要件ごとに以下の手法を用いる。

- ① 情報の共有：事前に持ち寄った資料や周りの環境
 - 互いの作業環境の光源の位置を前計算で推定し、システム使用前に入力・反映する。詳細は3章にて後述する。
- ② 作業の共有：協調作業中のお互いの状況
 - サーバでAR上の物体を同期し、遠隔地にいるユーザ間で位置関係を共有する。同時に、相手ユーザを視認しながら作業を行える。
- ③ 意識の共有：作業の最終目的
 - 目的となる結果の状態を別窓で表示し、いつでも確認できるようにする。表示する窓で視覚的に作業が阻害されることを考慮して、表示のON/OFFの切り替えが行える。

以上の内容を今回のシステムに組み込み、協調作業支援の環境を構築する。ただし、情報の共有において事前に持ち寄る資料については、対象がデザインのため本システムでのサポートはしない。また、本システムでは位置の整合性とシステムのリアルタイム性において、位置の整合性を重視してシステムを構築する。理由として、リアルタイム性が損なわれて起こる問題に対し、位置の整合性が損なわれて起こる問題が、ARを用いた本システムにおいて回避すべき内容なためである。

3. システム

3.1 構成

本研究のシステムでの、システムの構造を以下に示す(図1, 図2)。各ユーザの作業環境における光源の位置を画像の影の情報からシステムを使用する前に計算で求め、VRPN (Virtual Reality Peripheral Network) サーバでリアルタイム同期したAR上の仮想物体のレンダリング時に平行光源として光源の設定を適用する。この時、光源は各ユーザのどちらを適用するか、ユーザが選択できるようにし、自身の見え方と相手の見え方の両方を切り替えて確認できる。これにより、ARで表示する仮想物体と実環境との光学的整合性が保たれ、協調作業としての没入感の要因となる。また、当たり判定を与えた仮想物体を直接手で操作することができ、一方のユーザが操作した際、もう一方のユーザにもサーバ経由で反映され、位置の整合性を保った状態でHMDを通してユーザの視界に描画される。これは既存研究ではなされていなかった、物体への三次元的な操作を可能にしたものである。さらに、協調作業における目標とする作業結果を別窓で表示する。これにより、協調作業を行う両ユーザともに意識の共有が行える。時間的整合性については、検証実験にて精度とともに検証を行う。

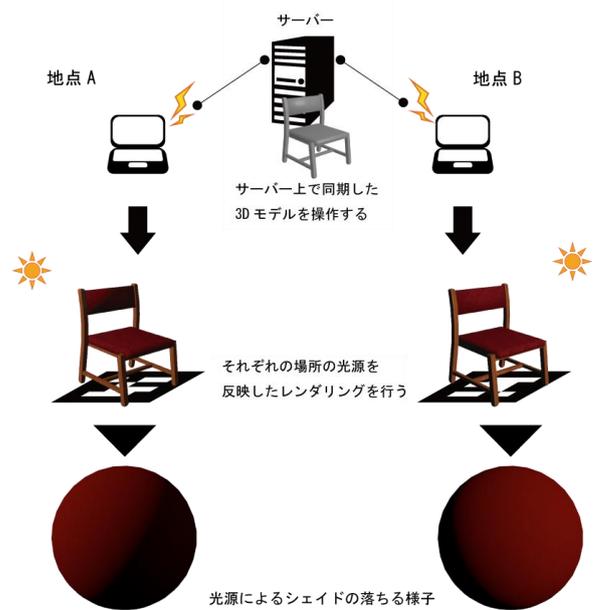


図1 光源とサーバ同期のイメージ

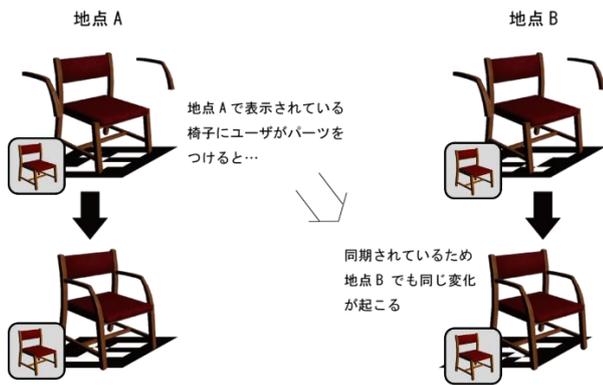


図 2 AR 仮想物体の位置の同期イメージ

3.2 AR におけるオクルージョン

AR を用いるにあたって、没入感や三次元的な提示をより正確に行うために、手指などによるオクルージョンの問題を解決する必要がある。この問題は AR で描画される仮想物体は実画像に後から重ね合わせで描画されるため、いかに仮想物体 (AR マーカ) とカメラの間にユーザの手指があろうと、仮想物体が最前面に描画されるというものである。このオクルージョンの問題については 2014 年に提案したシステムを活用する(3)。このシステムでは全ての三次元情報を一つの座標系にまとめるため、モーションキャプチャー機器である Leap Motion Controller 利用することにより、手指の位置情報を取得している。取得した指位置に、あらかじめ準備しておいた透過した (Alpha 値を 0 にした) 手指形状に合わせた 3D モデルを配置し、手指の動きに常に追従させることで、AR で表示される仮想物体と透過された 3D モデルを三次元的に処理し、見たと同じ、物理的に正しく処理が行われ、オクルージョンの問題を解決している(図 3, 図 4)。

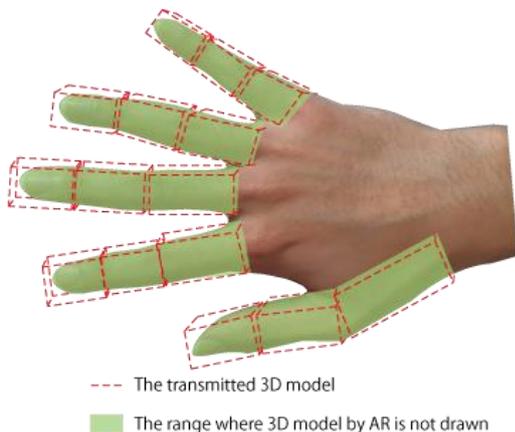


図 3 隠蔽の影響を受けない範囲

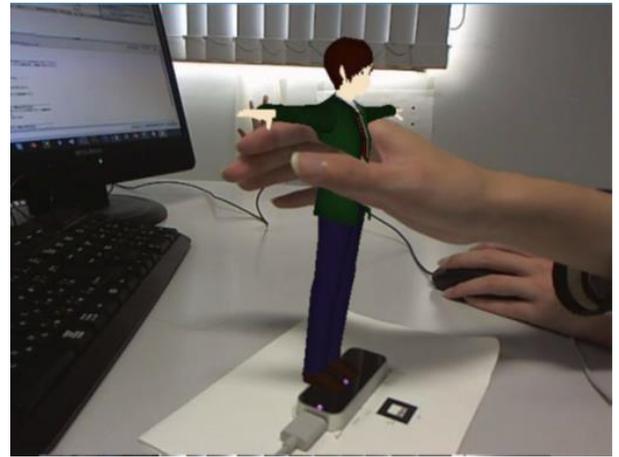


図 4 処理後のレンダリング結果

3.3 人物画像生成

協調作業をする相手ユーザの AR 上での表示は、まず外部固定カメラでユーザを含めたカラー画像を撮影する。カラー画像と距離画像から人の領域を推定し、背景となる部分を除いた人の領域分を切り出す。その後、画像の平滑化を行い、カラー画像・距離画像から推定したユーザの相対位置にマッピングする。これにより、協調作業をしている相手ユーザを仮想のユーザ像として HMD 上に描画でき、協調作業している両ユーザは相手ユーザと擬似的に同じ空間で協調作業をしているかのような空間を作ることができる。

3.4 環境光の取得

レンダリングのための環境光の位置は、システムを使用する実環境の画像から影の向きと長さで推定する。この時、環境光推定のための実環境の画像はシステムを使用する前に 3 方向の画像を準備する。

画像から光源位置の推定をするには画素の RGB 情報およびエッジの情報をを用い、画像内のシャドウ(影)を見つけ、シャドウの始点から終端までの位置および向きの情報を取得する。この情報から、環境光の位置をおおよその位置で推測することができ、推定した位置に平行光源を設置してレンダリング時の環境光として使用する。

4. 検証実験

検証実験として精度検証と実用検証の 2 種類を行う。精度実験では AR 物体の位置の整合性と同期による時間的整合性等の確認を行い、実用検証では実際にユー

ずに協調作業をしてもらい、システムの有用性を測るものを検討している。また、協調作業ための3つの共有に関する事項や実環境の光源を考慮したことが、いかにユーザの没入感や操作性に効果があったのかなど検証するためにアンケート調査を行う。

4.1 精度検証

精度検証では以下の項目を確認する。

- AR 物体の位置の整合性
- AR 物体の同期の時間
- レンダリングされた AR 仮想物体と、実環境の物体の見目の比較

同期時間の確認は、既存研究で紹介した岡本らの研究の実験をもとに行う。

レンダリングされた仮想物体と実環境の物体の見目の比較では、実環境にある物体と同じ形状の仮想物体を準備して、システムを使ってレンダリングされたものと実環境の物体のシェイド（陰）のかかり具合を画像ベースで比較する。それぞれ同じ環境下でレンダリングおよび Web カメラで静止画を取得し、両画像で二乗誤差をとることで差を数値化する。

4.2 実用検証

今回の実験の対象動作を、パーツの組み合わせで、家具などの物体を組み立てる作業とする。

被験者は2人で一組を作り、実験中はこの2人で協力して作業をしてもらう。被験者の全体は実験群と統制群、さらにその中で実光源による処理あり・なしで分けており、この時の実験群は、ユーザの手で直接仮想物体を操作できる本システムを使用してもらい、統制群は岡本らのシステムを拡張してキーボードで仮想物体を操作できるものを使用する。実験群および統制群の中でさらに実光源による処理あり・なしで分ける理由は、協調作業において実光源を考慮することの有用性を見るためである。

検証の流れは、実験群統制群ともに実験の説明から機材の装着、協調作業の実践、機材の着脱後アンケート、という流れになっている（図5、図6）。アンケートでは、協調作業に必要な3つの要件、情報の共有・作業の共有・意識の共有に関連した内容と、実光源考慮による効果を確認する内容を設問とする。

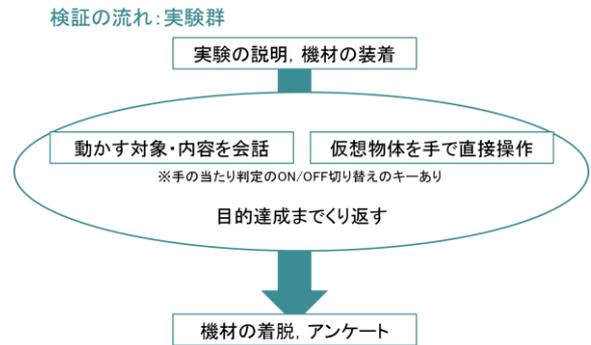


図5 実験群の検証の流れ

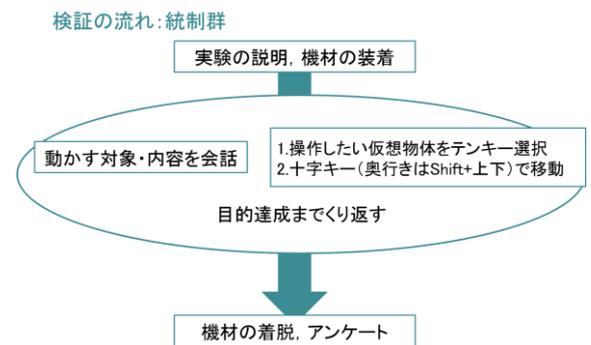


図6 統制群の検証の流れ

5. 今後の展望

今回、遠隔での協調作業および協調学習の既存研究の課題を解決した、デザイン学習のためのインタフェースを提案した。今後、このシステムに対し精度と実用に関する検証を行い、有用性と示していく。

また、本システムではAR上の仮想物体を直接ユーザが操作できるように構築しているが、物体に触れた際の触覚は今回サポートしていない。今後の発展として椅子のモックアップなどの実環境下の物体にARによる仮想物体を投影し、ARに触覚を付与したタンジブルユーザインタフェースへの拡張が考えられる。このタンジブルユーザインタフェースを実現できれば、実環境の光源を考慮したレンダリングによる没入感とともに触覚による操作した実感を付与した、協調作業および協調学習の支援になると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 岡田謙一, 慶應義塾大学, “協調作業におけるコミュニケーション支援”, コミュニケーション支援小特集, p213, 電子情報通信学会誌, (2006)
- (2) 岡本祐樹, 北原格, 大田友一. “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提示”, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J94-D(5), 830-838, (2011)
- (3) 片平怜士, 曾我真人. “Leap Motion controller を利用した把持動作に適合する AR 描画システムの構築”, 電気学会(2015)