

セカイカンヅメ:テーブルトップ型全方位視点提示システム

田島 逸郎[†]

本論文では、全方位映像を直感的に操作することのできるソフトウェア「セカイカンヅメ」を提示する。遠隔作業などにおいて、全方位映像の利用は有効であると考えられるが、設備の問題や、実世界での志向の共有の問題から、実際の現場に取り入れることは難しい。この問題を解決するため、複合現実感技術を用いて全方位映像を操作する手法を考案し、デスクトップとモバイル環境で実験を行った。その結果、全方位映像を複数人で協力して読み解き、円滑に作業を進めるような行動が見られ、本手法の有効性が確認された。

Sekai Kandume:Tabletop Omni-directional Viewing System

TAJIMA ITSURO[†]

This article represents the "Sekai Kandume", which can intuitively manipulate the omni-directional vision. On such as remote collaboration, using omni-directional vision may be effective. However, it is difficult because of bigger system and difficulties of sharing orientation on the real environment. To solve these problem, I invented the method that manipulate omni-directional vision using mixed reality, and did experiments on desktop and mobile environment. In the results, users are treat omni-directional vision together, and it made the work more easy. This method is effective.

1. はじめに

全方位映像は、撮影した場所の状況を確認したり、それを用いて共同作業を行うのに有用だと思われる。コンピュータビジョンの分野では、全方位映像によって自動的に障害物や人などを認識し、それをロボットなどの動作に反映させるのは既に一般的である。しかし、人間が全方位映像を利用する場合、自動処理とは異なり、元々360度の視野を持たない人間の視覚と適合した形で、映像の提示を行う必要がある。本論文では、現在のオフィス環境において、自然に全方位映像の提示や操作を行えるようなシステムを検討する。

2. オフィスにおける全方位映像提示の問題

全方位映像を自然に提示する一つの手段が、TWISTER³⁾に代表される没入的な全周囲視覚の提示である。TWISTERは、LEDアレイを高速で回転させることで、ブース内での全周囲でのディスプレイを実現している。しかし、この形式は大きく、オフィスなどに導入するには障害があると考えられる。

もう一つの手段が、HMDを使ったもの²⁾である。これは、人間の姿勢を判別して対応する方角の映像を提示し、全周囲の視覚を実現する手法である。しかし、周囲に共同作業者がいて、共同で遠隔地の状況を知ったり、指示を行う場合には、利用者がどこを見ているのかという重要なリソースを失うため、円滑な作業が行えない可能性がある。

以上より、通常オフィスにあるのと同じようなサイズの空間で、全方位映像の提示を行うのには様々な問題がある。

3. システムコンセプト

このような問題の解消のために、本論文では円筒形の3Dモデルを用いて全方位映像を取扱う手法を提案する。ここで扱う個別技術は特に目新しいものではないが、これらを組み合わせることで、全方位映像を小型で、直観的に、複数人が扱える形の提示や操作が可能になる。

3.1 円筒形3Dモデルによる全方位映像の提示と操作

まず、本手法では全方位映像を円筒形に表示している。ただし、前掲した没入型のように、円筒の中から見るのではなく、外から見る形である。「セカイカン

[†] 埼玉大学大学院文化科学研究科文化環境専攻
Graduate School of Cultural Science, Saitama University

ゾメ」の名称はこれに由来する。これは比較的オーソドックスな提示法である。全方位カメラが注目され始めた当時、この手法は既に実験的に提示されている。また、全方位映像ではないが、実空間とのインタラクションを円筒形のモデルで提示する試みも行われている。

本手法がクローズアップする円筒形 3D モデルの利点は、通常の 3D オブジェクトのように作業環境に応じて小型化できる点である。一方で、円筒形 3D モデルは、元の環境と全く逆の形で投影しているため、直観性が損なわれる危険性もある。この問題を次節のマーカー型 MR 技術によって解消する。

3.2 マーカー型 MR 技術による直感的な提示と操作

マーカー型 MR 技術は、実空間上に置かれたマーカーをカメラで認識し、それを元に 3 次元座標を推定し、その座標を元に 3D モデルを実空間の映像上に重ねて表示する技術である。MR の初期から存在する技術で、現在は ARToolKit の存在から誰もが比較的容易に利用できるものとなっている。

本手法では、MR のコンセプトである、現実空間に新たな情報を付加するというものを目指すわけではなく、これを単なる表示、操作インタフェースとして用いる。この技術の採用により、3D モデルを作業環境に応じて適切な大きさに表示でき、またマーカーを手で動かすことで、回転をさせると全方位映像の視点も回転するなど、直観的な操作が可能になる。また、マーカーが表示されている場所なら複数人がデバイスを用いて異なる視点で見ることができ、各ユーザーの志向の提示も容易になる。

3.3 問題設定

以上の本手法の利点は仮説に過ぎず、実世界に存在しない不自然な物体を扱うという事実は変わらない。このため、本手法がうまく機能しうるかを明らかにする必要がある。

主要な問題は以下の通りである。

- 本手法によって、全方位映像を直観的に扱うことは可能か
 - 本手法は、複数人での共同作業を促進するか
- これらの事項を検討するため、2 つの異なる設定で実験を行った。

4. 実験 1: PC を使った遠隔指示

4.1 システム概要

後述するスマートフォンを用いたシステムでは、リアルタイムな映像の提示が難しい。このため、まず実

験用システムとしてノートブック型 PC を用いたシステムを製作した。実装したシステムは、指示者側、作業側側の 2 つに大きく分かれ、この 2 つをネットワークで接続することで実現している。

まず、作業側側では、PC (Lenovo Thinkpad X100e, Windows 7) に Web カメラ (Logicool QCAM-200V) が接続され、パノラマ映像のキャプチャと送信を行う。パノラマ映像は、通常は全方位カメラ (Omni- Directional Camera) という特殊なカメラを用いるが、今回は予算の問題から、市販の Web カメラと半球ミラーから自作した。半球ミラーは、いくつかの口径のものを試し、直径 7cm のものを採用した。まず半球ミラーを机などの上に設置し、Web カメラを真上から見下ろすように、ちょうど良い高さに設定すればパノラマ映像を取得できる。

作業側側のソフトウェアは、画像処理ライブラリ OpenCV2.1 によってキャプチャし、送信するものである。まず Web カメラから 960x720 15fps で映像を取り込み、それを TCP ソケット通信によって順次送信する。転送の形式はリアルタイム処理の実現のため圧縮を省略し、無圧縮でそのままビットマップ (RGB) を送信している。プロトコルは転送が終了したら応答を待ち、応答が来たら再度送信を行うという単純な形式である。取り込み部分と転送部分は別のスレッドで動作する。

指示者側では PC (MacBook Pro 13in) に一眼デジタルカメラ (Panasonic DMC-G1、ビデオキャプチャにより接続) が接続され、受け取ったパノラマ映像を 3D 表示する処理を行う。一眼デジタルカメラは近くの机に配置され、マーカーを写している。この映像 (640x480 30fps) を元に ARToolKit によりマーカーの位置を推定し、そこに少し傾斜を付けた円筒形の 3D モデルを表示している。また、同時に別のスレッドで作業側側 PC の映像を順次受信し、それを 3D モデルにテクスチャマッピングしている。これにより、3D 処理のみによって 360 度映像の展開が行われる。

4.2 実験概要

本実験では、ミニチュアの家具を配置するタスクを、指示者、配置者の 2 名の共同作業によって行った。指示者は家具の配置の写真を見る事ができるほか、技術的手段によって設定によっては配置の様子を見ることができる。配置者の前には家具配置スペース (紙によって示されている) と、ばらばらに置かれた家具がある。指示者と配置者は同じ部屋にいるが、お互いを見られないように配置されており、肉声によって会話をしながら家具の配置作業を行う。

指示者の環境設定は、目の前に表示用の PC があり、映像やパノラマ映像が表示される。また、写真表示用のカメラがあり、それぞれ基本的な操作によって写真の閲覧や拡大縮小が可能である。パノラマ実験の場合は、この他にパノラマ操作用にマーカーとマーカー認識用のデジタル一眼カメラが配置されているが、配置は途中で変更した。

配置者の環境設定は、目の前に 2 つの机があり、手前と奥に配置されている。手前の机では配置するための A4 の用紙や、パノラマ実験の場合は中央にパノラマ用のカメラが配置されている。奥の机には、あらかじめミニチュアの家具がバラバラに置いてある。

実験手順を以下に示す。

- 前の配置を利用しない場合、ミニチュア家具を配置する
- ミニチュア家具の配置の写真を撮影する
- ミニチュア家具をバラバラに奥の机に置く
- 被験者に実験について説明する
- 実験と撮影を開始する
- 指示者と配置者が共同してミニチュア家具を配置する
- 指示者が終わりだと宣言した場合、実験、撮影を終了する

実験は、以下の 3 つの技術設定で行った。

- 音声のみ:指示者は配置を真上から撮影した写真のみを見ることができ、配置者の状況は会話によってしかわからない。
- 映像:指示者は写真の他に、配置者を斜め上から撮影した映像を見ることができる。
- パノラマ映像:指示者は写真の他に、家具配置スペースの中央から撮影したパノラマ映像を、前節で説明したパノラマ映像表示装置によって見ることができる。

4.3 結 果

各実験（音声 2 件、映像 2 件、パノラマ 4 件）に対してビデオ撮影を行い、エスノメソドロジーに基づく相互行為分析¹⁾を行った。これは、発話や視線、指差しなどの身体的行為が、どのような連鎖を持っているかを分析することで、その場の秩序がどのように組織化されているかを解明する手法である。本論文では結果の概要のみを示す。

パノラマ映像を積極的に利用していた被験者は 2 名いたが、パノラマ映像の操作の方法は違っていた。基本的に映像やパノラマ映像は指示が成功しているか確認するために利用されていたが、確認の際に、どの方向を見ているかを正確に把握する必要がある。その際



図 1 セカイカンツメ スマートフォン版
Fig. 1 Smartphone Version of Sekai Kandume

に、片方は前見ていた位置から相対的に把握していたのに対し、もう片方はその都度最初の位置に戻っていた。これは、ある意味キーボードで言う「ホームポジション」と言える。

5. 実験 2:スマートフォンによる探索タスク

5.1 システム概要

2 つ目の実験で利用したシステムは、スマートフォン (Nexus One, Android 2.2) に上記のシステムのうち、表示部分を移植したものである。ただし、スペック上ストリーミング配信を行うことができないため、保存した画像、映像までの表示に留まっている。利用したフレームワークは AndAR という Android ネイティブの ARToolKit 実装である。

5.2 実 験

ウェブサービス「twitter」上で被験者を募集し、被験者 5 名を集めることに成功した。実験設定に関しては、前述の実験設定を一人用の遠隔指示でないものに設定し、以下のフローで実行した。なお、時間がなかったため現地（秋葉原）で全ての実験用具を調達せざるを得ず、前の実験でのミニチュア家具を調達できなかったため、大きさが同程度で色の区別が付きやすいアニメキャラクターのフィギュアを採用した。

- 机の上に AR マーカーと、配置用の紙が配置されている
- フィギュアを紙の上にランダムに配置する
- 紙の上から全方位撮影を行う。この際の半球ミラーの配置は決まっていない
- 全方位映像を作成し、スマートフォンに転送する
- フィギュアと半球ミラーを紙から撤去し、横に寄せる
- 被験者は机の前に座り、セカイカンツメを利用しながらフィギュアを配置する。撮影を開始する
- 指示者が終わりだと宣言した場合、実験、撮影を終了する

2 度ほど初期評価実験を行ったところ、AR マーカーの認識の問題と、方向の問題が起こったことが参加者に共有された。また、1 人が他の参加者の実験に口出しをする場面が見られたが、その際に方向の問題の解決を行っているような行動が見られた。このため、本実験では方針を変更し、2 人で同じ机に並んで行う実験と、1 人で行う実験の 2 つを撮影し、特に 2 人での実験に焦点を当て分析を行った。

5.3 結 果

撮影したビデオデータのうち、15 秒の断片を以下に示す。

Ag:A の視線 Ap:A の手の動き
Bg:B の視線 Bp:B の手の動き
S:セカイカンヅメ F1/F2:フィギュア M:マーカー
.:動きの維持 .:動きの途中 (.):間

01A :えと扉の向こうに(.) これかな
Ag:(S)_____ (F1)_____
Ap:_____ (扉) . . . (F1 を触れる) . .
Bg:(S)_____ (扉)
Bp:(鏡)_____ (扉)
02Ag:_____(S)_____
Ap:(F1 移動)_____ (M 操作)_____
Bg:(F1)_____(S)_____ . . (F2) . (S)_____
Bp:(F1 指す)_____(鏡)_____ (F2)_____
03B : あれどこ行ったんだ(.) これこっちか
Bg:_____
Bp:_____ (鏡近く) _____ (壁) _____
Ag:_____
Ap:_____

図 2 断片 1

Fig. 2 Fragment 1

この実験では、実世界の物体とその配置、セカイカンヅメの画面、画面内の物体とその方向などの多くの異なる特性を持つ物体の関係を把握し、またそれを共有することが効果的な配置作業の条件となる。この場面の「これこっちか」の後、物体を積極的に配置し始め、何度かの間違いを経て正確に配置した後は微調整が行われるにとどまった。また、この場面は操作を始めて全体を見た直後である。つまり、この場面での把握と共有がなされた可能性がある。

まず言えることは、位置と方向の関係の把握に 2 つの物体が使われたことである。2 つの物体の実世界での方向がわかれば、セカイカンヅメの提示する方向が直感的でないことに関わらず、他の物体の方向の関係もそれを元に類推できる(半球ミラーの位置を含めた三角測量)。また、実際に 2 つの物体を配置した時点で、実世界とセカイカンヅメの画面に対応関係が生まれたと考えられる。この場合、この対応関係の精度は

実際に正確な配置がされる度に高まっていくと考えられる。

また、01 行目から 02 行目の開始部にかけて扉と F1 に双方が注目したことも、重要な点である。これにより、2 人は準拠点、つまり実世界とセカイカンヅメが共通して持つ位置と方向の特徴を共有した。この作業は、前述の作業、つまり 2 つの物体の位置関係の把握の準備であると考えられる。このように、まず 1 つの物体の位置を特定し、そこから 2 つ目の物体との関係を把握するという順序で、実世界とセカイカンヅメの画面の位置関係の対応が行われたと考えられる。

以上より、セカイカンヅメを最初から直感的に動作させるためには、2 つの実世界とセカイカンヅメ画面の位置を技術的に提示することが効果的であると考えられる。具体的には、実世界に 2 つのマーカーなどの特徴的な点を配置し、セカイカンヅメでそれを原色で大きく表示するなどが有効であると考えられる。つまり、セカイカンヅメを実際の作業に役立てられる可能性は十分にある。

6. ま と め

本論文では、全方位映像の提示手法として円筒形の 3D モデルを複合現実感により提示、操作する手法を提示し、それが有効に動作する条件を確認した。このシステムの導入により、作業、指示者双方の側で小型の設備の利用が可能になる。

参 考 文 献

- 1) 山崎敬一編：実践エスノメソドロジー入門，有斐閣 (2004).
- 2) 太田祥一，行岡哲男，山崎敬一，山崎晶子，葛岡英明，松田博青，島崎修次：Head Mounted Display(HMD) による Shared-View System を用いた遠隔指示・支援システムの検討，日本救急医学会雑誌，Vol.11, No.1, pp.1-7 (2000).
- 3) 田中健司，林淳哉，川淵一郎，関口大陸，稲見昌彦，川上直樹，館ススム：没入型フルカラー動画裸眼立体ディスプレイ TWISTER III の設計と試作 (第 6 報)，日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文集，pp.411-412 (2002).