



3 眼アバターロボット：ユーザの視野を相互共有するテレプレゼンスシステム

Three-Eyed Avatar Robot: Telepresence System for Mutual View-Sharing Experience

井上康之¹⁾, 北崎充晃¹⁾

Yasuyuki INOUE, and Michiteru KITAZAKI

1) 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, inoue.yasuyuki.nl@tut.jp)

概要：複数ユーザがひとつのアバターを操作する共有身体システムでのテレプレゼンスを実現するには、ユーザごとに異なる頭部の観察方向に対するアバターの視点映像をどのように取得し提示するかが課題である。全天球カメラは全方位の映像が取得可能であり各ユーザに個別の視点映像を提示できるが、ステレオ視には両眼視差が必要であり、通常の全天球カメラでは複数ユーザに適切なステレオ映像を提示するのは困難である。本研究では、左右一対のカメラに加えて中央に「第 3 の目」を備えた 3 眼アバターロボットを開発し、各カメラで取得されたステレオ映像をユーザ間で共有する「2 人 3 眼」式のテレプレゼンスシステムを提案する。

キーワード：テレプレゼンス・共有身体・アバター

1. はじめに

アバターは仮想の VR 空間や現実の遠隔環境においてユーザの代理となる存在である。アバターの感覚機能（カメラ・マイク等）で得られた外界の情報をバーチャル体験することでユーザはあたかも自分がその場にいるかのような臨場感を得る。また、ユーザが行う動作や表情などの身体運動を再現するアバターは、あたかもそのユーザがその場にいるような存在感を周囲の人々に与える。

実世界で動作するアバターロボットはテレプレゼンスシステムとして実現され、アバターを用いた遠隔コミュニケーションや VR ツアーなどが実社会に普及しつつある。アバターを媒介とするテレプレゼンスシステムの多くは 1 名のユーザが 1 つのアバターを占有する。しかしユーザとアバターの関係は必ずしも一対一に限らず、用途や目的に応じてその対応関係は変わりうる。例えば、VR ツアーでは遠隔地にある全天球カメラで撮影した 360 度動画をマルチキャスト配信することで、アバターから見える景色を複数のユーザが同時に体験できる。また、アバターの運動機能を複数のユーザが同時に利用する共有身体型の操作方式も提案され、1 つのアバターに融合したユーザどうしの運動協調とその感覚フィードバックが身体の認知や行動パフォーマンスに与える影響などが調べられている [1][2][3]。

これまでの身体共有型のアバターに関する研究は主に

VR 空間上で行われており、アバターロボットを用いた実環境での検討はあまり行われていない。複数ユーザがひとつのアバターを共有しながらそのアバターの身体を中心とする 1 人称視点でのテレプレゼンスを実現するには、アバターの運動機能をどのように複数ユーザで共用するかという従来までの課題に加えて、アバターが取得する感覚情報をどのように複数ユーザに提示するかが課題となる。特に頭部運動に連動した網膜像の変化は 3 次元の空間認知や視野の安定性に影響するため、各ユーザの頭部運動に対して適切なアバター視点の 1 人称映像を個別に生成・提示する必要がある。

最も単純な解決方法は VR ツアーと同様の全天球カメラを適用することである。アバターの頭部位置に設置した全天球カメラで 360 度撮影した映像を各ユーザに配信し、ユーザごとの観察方向に対応する視野領域をクロップすることで、各ユーザに個別の視点映像を提示できる。しかし、多くの全天球カメラが撮影する 360 度動画は単眼映像であり、奥行きに関する視差情報がない。視差を含めた 360 度 3D 動画の記録や配信に対応する機種も存在するが、画像処理のコストが高くリアルタイム性に欠ける。

没入感や臨場感において 3 次元的な空間の奥行き知覚は重要である。さらに実環境との対話的なインタラクションを行うには映像の取得から提示までの表示遅延を最小化する必要がある。そのため、各ユーザの観察方向に対応

した適切なステレオ映像をリアルタイムに撮影・配信・提示することが求められる。既存研究 [4][5] では、2 台の全天球カメラをユーザの頭部運動にリアルタイムで追従させることで、ユーザの観察方向に対応する適切な両眼視差のあるステレオ映像を提示可能なテレプレゼンスシステムが提案されている。しかし、これらは 1 名のユーザの使用を前提としたシステムであり、複数ユーザの観察方向に対応したステレオ映像を取得・提示できない。

本研究では 3 つのアイカメラを備えた 3 眼アバターロボットを開発することでこの問題を解決した。特殊なカメラ配置を有する 3 眼アバターを用いることで、2 名のユーザそれぞれの観察方向に対応したステレオ映像を取得し、さらにその映像を 3 名以上のユーザどうしが相互に共有できるテレプレゼンスシステムを提案する。

2. システム構成

2.1 左右対称 2 軸リンク機構

図 1 に提案システムの概要を示す。3 眼アバターの中央には固定式のアイカメラ 1 台と、その左右には可動式の側方アイカメラが 2 台の合計 3 つの光学系を備える。各カメラの光学中心は同一の水平面上に位置し、中央カメラから側方カメラまでの間隔が常に一定距離 (65mm) に保たれる 2 軸の直交回転を行う (2 自由度×2)。リンク機構の可動範囲は、人の首の関節可動域を再現する (Yaw 軸±60 度、Pitch 軸±40 度)。

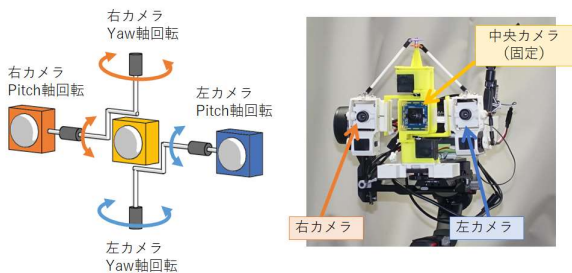


図 1: 3 眼アバターのシステム構成。左右側方カメラは中央カメラを中心に半径 65mm の Yaw 軸回転を行い、さらに光軸を上下に傾斜させる Pitch 軸回転を行う。

2.2 カメラ画角

3 眼アバターは撮像画角が異なる 2 種類のカメラレンズを使用する。中央カメラには魚眼レンズを使い、アバター前方 180 度の映像を取得する。側方カメラには広角レンズを使い、商用ヘッドマウントディスプレイの単眼視野角に相当する 80-90 度の映像を取得する。

2.3 頭部トラッキングによる映像取得

図 2 にユーザの頭部方向と各カメラの方向およびカメラが撮影する視野範囲の関係を示す。中央カメラは魚眼レンズによりユーザの頭部方向によらず常にアバター前方の映像を取得する。左右の側方カメラは各ユーザの頭部運動に追従して回転運動を行い、それぞれのユーザの観察方向に対応した基準視点からの視差映像を取得する。

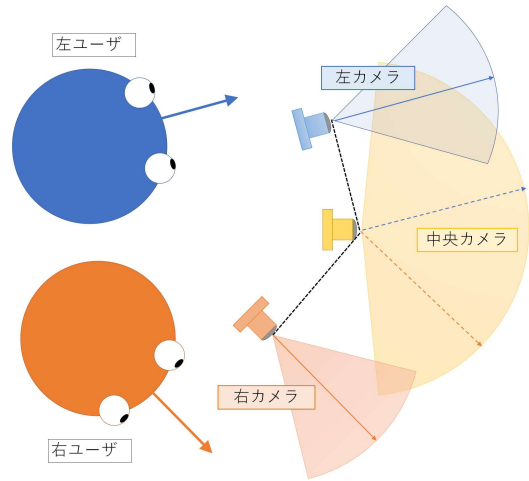


図 2: 2 名のユーザの頭部運動と 3 眼アバターのカメラ回転の関係。側方カメラは各ユーザの頭部方向を追従する回転運動を行い、中央の基準視点に対する 2 つの異なる視差映像を撮影する。

2.4 複数ユーザへの没入映像提示

3 眼アバターの取得するアイカメラ映像 (左・中央・右) を各ユーザの両眼に提示する対応関係を図 3 に示す。まず、中央カメラが撮影した 180 度映像をシステムに接続する全てのユーザに送り、各ユーザの観察方向に対応した視野領域をクロップした視点映像をそれぞれの左右両眼に提示する。これにより全天球カメラを用いる場合と同様な単眼映像によるテレプレゼンスが実現する。さらに、側方カメラが撮影する視差映像は、そのカメラの占有権を持つ 2 名のユーザに送られ、それらを左右いずれかの眼に提示することで個別のステレオ映像を体験する。

本稿ではこのステレオ提示方式を、内側の脚を共有して外側の脚を個別に動かす 2 人 3 脚の様相との類似性から「2 人 3 眼」と表現する。

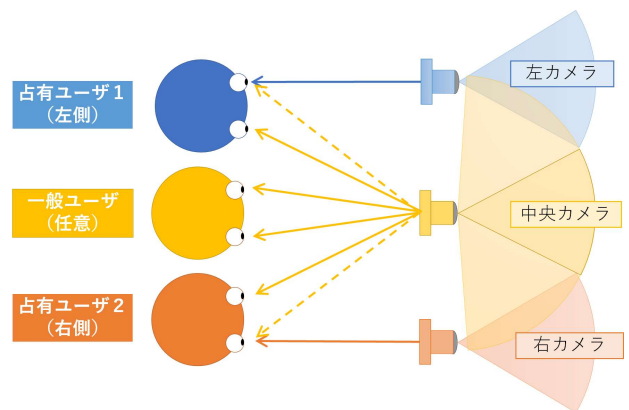


図 3: ユーザの左右視野と 3 眼アバターのカメラ映像の対応関係。側方カメラを占有する 2 名のユーザには中央カメラの映像と側方カメラの映像が左右眼に提示されステレオ視を得る。それ以外の一般ユーザには中央カメラの映像が左右眼に提示され単眼視を得る。なお、一般ユーザによるシステムへの接続は任意である。

3. 2人3眼式テレプレゼンスシステム

3つのアイカメラ映像をユーザ間で共有する2人3眼式テレプレゼンスシステムは、以下の特長を持つ。

- ① 側方カメラを占有するユーザは、アバター前方180度の視野範囲を奥行き感あるステレオ映像で体験できる。最大2名が利用できる。
- ② 側方カメラを占有しないユーザも、同じアバターからの180度視野を奥行き感のない単眼映像で体験できる。人数制限はない。
- ③ 側方カメラの視差映像は中央カメラの単眼映像の上に重畳提示されており、その視差映像が消えても中央カメラが提供する単眼映像のテレプレゼンスは維持される。
- ④ 側方カメラが撮影する視差映像とその時のカメラの姿勢情報は、そのカメラの占有権を持つユーザだけでなくそれ以外の別ユーザにも配信できる。

①が本システムの中心となる機能である。中央カメラと側方カメラの2種類の映像を使うことで、最大2名のユーザに対してステレオ映像によるテレプレゼンスを提供できる。②～④は副次的な機能であり、その特長を生かした様々な応用やシステムの機能拡張につなげられる。

②について、側方カメラの占有権を持っていない一般ユーザについても、全天球カメラを用いた場合と同様な単眼映像のテレプレゼンスを提供できる。これにはユーザ数の制限がなく、任意の数のユーザが本システムに接続することでアバター視点の映像を見ることができ。

③は視差映像の表示の切替に関する機能拡張に関連する。例えば、ある占有ユーザがその占有権を他のユーザに明け渡すときも、各ユーザの両眼に提示される映像は途切れることなくシームレスにその役割を交代することができる。また、占有ユーザの交代時や、占有ユーザの頭部運動が早い時などの状況に応じて視差映像の表示割合を段階的に変化させることで、カメラの回転運動に伴って生じる揺れや遅延・モーションブラーなどの映像劣化を抑制し、テレプレゼンスにおけるユーザ体験を向上させることができる。

④はユーザどうしの視野の共有に関連する。図3に示す通常の接続様式では、側方カメラの視差映像はそのカメラの占有権を持つユーザだけが受け取り、一般ユーザは中央カメラの映像だけ受け取ることで、映像提示のクロストークを回避する。それに対して、意図的にクロストークを許す形の接続方式にすることで、ユーザ間での視野の共有を実現できる。すなわち、ある占有ユーザが見ている視差映像を別ユーザの視野上に重畳提示することによって、その占有ユーザの観察している視野領域が別のユーザの視野内においてステレオ映像として可視化される。この機能を用いることで、空間的な注意や関心領域についての情報をシステムに接続したユーザ間で相互に伝達・共有することができる。

4. むすび

本研究は、共有身体アバターを現実のアバターロボットで実現する新しいテレプレゼンスシステムを提案した。

「第3の目」を備える3眼アバターのシステム構成と、この3眼アバターを使って2名のユーザに独立のステレオ映像を提供する2人3眼式テレプレゼンスについて述べた。

今後は提案システムの有用性を評価し、本システムを導入した共有身体アバターでのユーザビリティを検証することが必要である。

謝辞 本研究は、JST ERATO Grant Number JPMJER1701 (稲見自在化身プロジェクト)およびJSPS 科研費 (JP22H04774) の補助を受けて行われた。

参考文献

- [1] Takayoshi Hagiwara, Gowrishankar Ganesh, Maki Sugimoto, Masahiko Inami, and Michiteru Kitazaki. Individuals prioritize the reach straightness and hand jerk of a shared avatar over their own. *iScience*, 23(12):101732, 2020.
- [2] Rebecca Fribourg, Nami Ogawa, Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Takuji Narumi, Michitaka Hirose, and Anatole L'ecuyer. Virtual coembodiment: Evaluation of the sense of agency while sharing the control of a virtual body among two individuals. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 27(10):4023–4038, 2021.
- [3] Takayoshi Hagiwara, Takumi Katagiri, Hikari Yukawa, Itsuki Ogura, Ryohei Tanada, Takumi Nishimura, Yoshihiro Tanaka, and Kouta Minamizawa. Collaborative avatar platform for collective human expertise. In *SIGGRAPH Asia 2021 Emerging Technologies*, SA '21 Emerging Technologies, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [4] Kento Tashiro, Toi Fujie, Yasushi Ikei, Tomohiro Amemiya, Koichi Hirota, and Michiteru Kitazaki. 2017. TwinCam: Omni-Directional Stereoscopic Live Viewing Camera for Reducing Motion Blur during Head Rotation. In *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies* (Los Angeles, California) (SIGGRAPH '17). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 24, 2 pages.
- [5] Tomohiro Amemiya, Kazuma Aoyama, and Michitaka Hirose. 2021. TeleParallax: Low-Motion-Blur Stereoscopic System With Correct Interpupillary Distance for 3D Head Rotations. *Frontiers in Virtual Reality* 2 (2021).