

# ネットワーク構成を改良した PoseSynth による融合身体の試作体験

山口 周\* 橋浦 健太\* 畑田 裕二\* 鳴海 拓志\*

**概要.** 複数のユーザが1体のアバタを動作させる融合身体は人々の身体認知の解明や効率的な運動学習等の用途に活用されている。これまでの融合身体は2人のユーザのみを対象とした、2種類の異なる実装方法で検証されていたが、以前我々が提案したツールキット「PoseSynth」は、アバタの関節の姿勢を球面線形補間によって重ね合わせる手法により、両実装方法を統合した上で3人以上のユーザに対応し、新たな融合方法の実装と検証を容易にした。ただし、従来の PoseSynth でのネットワーク構成では同期しなければならない情報が多く、アバタの動作に遅延が発生していた。そこで本稿では、同期する情報の変更によって通信を高速化させる新しいネットワーク構成を採用した改良版 PoseSynth を提案する。デモ展示では、改良版 PoseSynth を用いて、誰もが自分好みの融合身体を手軽に試作できる体験を提供する。

## 1 はじめに

バーチャル環境における人々の身体の表象であるアバタは、VRやテレグジスタンスの分野で重要な役割を果たしてきた。アバタは関節構造や動作方式を実身体よりも自由に編集できるため、身体認知メカニズムの調査を実環境よりも広範かつ容易に行える[4]。アバタの動作を生成する際は、ユーザの頭部に装着したヘッドマウンテッドディスプレイ(HMD)や、ユーザが把持するコントローラ等の位置をエンドエフェクタの目標位置とする逆運動学(IK)が使用されることが多い。

アバタの新しい形態として、複数の存在(ユーザ、ロボット、自律エージェントなど)が1体のアバタを同時に制御する融合身体が注目されている[1]。融合身体は身体所有感や行為主体感に関する調査に貢献を果たすのみならず、効率的な運動学習を実現する手法としても期待されている[3]。

融合身体の融合方法は、各ユーザ全身の動作の重み付き平均を取る加重平均型[1]と、各ユーザが担当する身体部位を割り当てる部位選択型[2]の2種類が知られる。我々は過去、2種類の実装方法を統合した上で、ロボットや自律エージェントを含む3人以上のユーザに対応したアバタ実装用ツールキット「PoseSynth」を発表した[5]。PoseSynthはVRプラットフォームとして最も一般的に使用されるゲームエンジンであるUnity向けのパッケージであり、アバタの関節をグループ化し、グループごとに定義した重みを用いて複数のアバタの動作を重ね合わせる。重ね合わせには関節の姿勢を表現するクォータニオンの球面線形補間を利用し、3体以上のアバタを重ね合わせる場合でも球面線形補間を漸次適用す

ることでそれぞれの重みを融合アバタに反映させる。

しかし、PoseSynthで実装された融合アバタは同期しなければならない情報が多く、遅延により満足なVR体験が阻害されやすい課題があった。また、融合身体ではユーザの人数と同じ台数のVR-ready PCが必要であり、融合身体の開発や実験・デモ展示の際の負担となっていたが、これは従来のPoseSynth[5]でも同様であった。これらの課題に対し本稿では、各ユーザ間で同期する情報を変更することで通信の効率化を図りつつ、1台のPCのみをサーバとして稼働させるネットワーク構成を採用した改良版PoseSynthを提案する(図1)。デモ展示では、改良版PoseSynthを用いて参加者の希望に沿った融合アバタを試作できる体験を提供する。なお、PoseSynthは本稿で提案した改良版を含めGitHub<sup>1</sup>で公開されている。

## 2 PoseSynth

PoseSynthは、アバタの足元の位置・姿勢と各関節の姿勢を保持するPoseと呼ばれる規格を策定し、Poseの値を変換器によって逐次書き換えることでアバタの動作を生成する。アバタの関節はラベル付きのグループに分割される。分割の仕方はPoseSynthのユーザが自由に設定できる。例えばヒューマノイドアバタの場合、「Head」「Right Arm」「Left Leg」等の関節グループに分割することが考えられる。これらのグループは後述する動作の重ね合わせ時に個別の重みを設定するために利用される。

### 2.1 アバタの動作生成

各種のVR製品は一般に、専用のミドルウェアを介してユーザ1人分のトラッカをカメラリグとして

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

\* 東京大学

<sup>1</sup> <https://github.com/Cyber-Interface-Lab/PoseSynth>

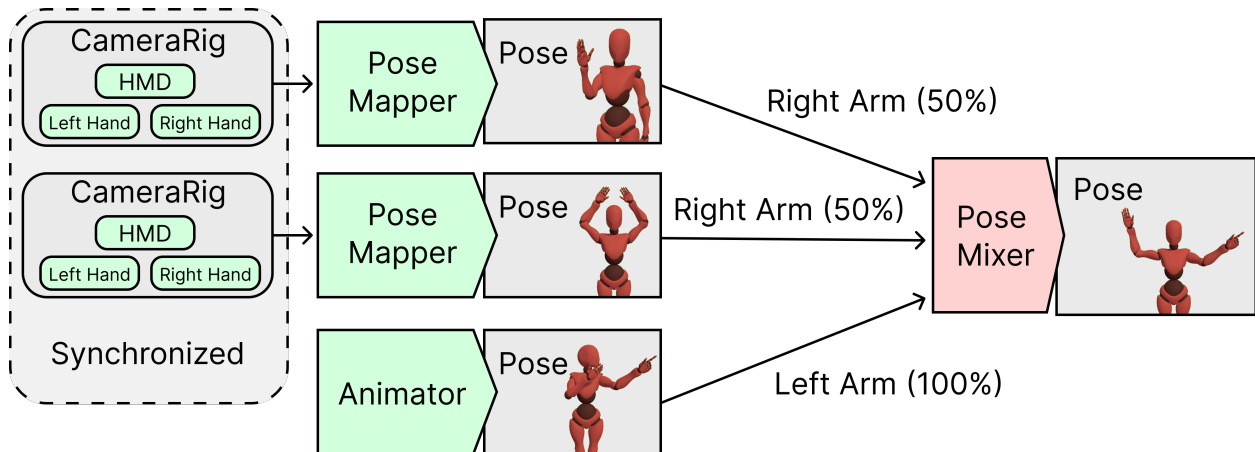


図 1. 改良版 PoseSynth を用いた融合アバタの動作生成の流れの例. ユーザーに装着したトラッカ群（カメラリグ）の情報を元に動作する 2 体のアバタと、アニメーションで動作する 1 体のアバタの動作を重ね合わせて融合アバタの動作を生成している. 2 つのカメラリグはそれぞれのユーザーのクライアントで同期されており、それ以外は各クライアントが独自に計算処理を行う.

管理する機能を有するが、PoseSynth はトラッカに固有の番号（バインド）を独自に定め、それらをバインド付きカメラリグとしてまとめることでトラッカの位置・姿勢を管理する. そのため、PoseSynth は VR 製品の種類を問わず使用できる. PoseSynth のユーザーは、PoseMapper と呼ばれる変換器の入力にバインド付きカメラリグを、出力にアバタと対応した Pose を指定することで、アバタの動作を生成できる. PoseMapper は IK やハンドトラッキングなど PoseSynth 外のプログラムを PoseSynth に適応させたものである.

## 2.2 複数アバタの動作の合成

PoseMixer は任意数の Pose を入力に指定し、関節グループごとに定義された重みを用いて重ね合わせ、別の Pose へ出力する変換器である. 重ね合わせはアバタの関節の姿勢の表現として広く用いられる 4 次元ベクトルであるクォータニオンの、球面線形補間を用いて行う. クォータニオンの要素はそのまま関節の角度を表現するわけではないため、単純なベクトルの加重平均を適用しても関節の姿勢を正確に重ね合わせを行うことはできず、一般的に球面線形補間が代わりに使用される. 球面線形補間は一般に 3 つ以上のクォータニオンに対して同時に適用できないが、3 つ以上の Pose を重ね合わせる場合は球面線形補間を帰納的に適用することでそれぞれの重みを反映させる.

## 2.3 マルチユーザー対応

PoseSynth は、サーバ・クライアント方式によるネットワーク通信を実装できる Unity 公式パッケージである Netcode を用いたマルチユーザー機能を提供する. 従来の PoseSynth[5] では、各ユーザーのヘッ

ドマウンテッドディスプレイ（HMD）と有線接続された PC をクライアントとし、サーバは同期された各クライアントのバインド付きカメラリグの情報を元に PoseMapper や PoseMixer を用いて生成した融合アバタの動作を各クライアントに同期していた. このネットワーク構成では、各クライアントのバインド付きカメラリグと融合アバタの動作の両方が同期されるため、遅延によって快適な VR 体験が阻害されやすかった. これに対し本稿で提案するネットワーク構成では、サーバは各ユーザーの HMD にビルドされたクライアントアプリケーションから送信されたバインド付きカメラリグの情報のみを同期する. その後クライアントは各種変換器の計算処理を全て独自に行って融合アバタの動作を生成する. PoseMixer で使用する重み等の数値は変化した時など必要な場合のみ同期する. このネットワーク構成により、クライアント間で同期しなければならない情報量が削減されるため、ネットワーク通信は従来の PoseSynth[5] よりも高速になった.

## 3 WISS2024 におけるデモ展示

WISS2024 のデモ展示では、複数人での融合身体体験を通じて PoseSynth の機能を体験できる. デモは 1 台の PC をサーバ、2, 3 台の Meta Quest 3<sup>2</sup> をクライアントとする無線ネットワーク環境で行われる. 参加者は加重平均型や部位選択型等の既存の融合身体を同じ融合アバタで体験できるほか、自身の希望に沿うように融合アバタの動作方式（身体部位ごとの融合割合や融合に用いるアバタの数、視点の位置等）をカスタマイズすることで、新しい形態の融合身体を試作できる.

<sup>2</sup> <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>

## 謝辞

本研究はJST ムーンショット型研究開発事業 (JP-MJMS2013) および JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム (JPMJSP2108) の支援を受けて行われた。

## 参考文献

- [1] R. Fribourg, N. Ogawa, L. Hoyet, F. Argelaguet, T. Narumi, M. Hirose, and A. Lécuyer. Virtual Co-Embodiment: 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.
- [2] H. Hapuarachchi, T. Hagiwara, G. Ganesh, and M. Kitazaki. Effect of connection induced upper body movements on embodiment towards a limb controlled by another during virtual co-embodiment. *PLOS ONE*, 18(1):1–22, 01 2023.
- [3] D. Kodama, T. Mizuho, Y. Hatada, T. Narumi, and M. Hirose. Effects of Collaborative Training Using Virtual Co-embodiment on Motor Skill Learning. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2023.
- [4] L. Maister, M. Slater, M. V. Sanchez-Vives, and M. Tsakiris. Changing bodies changes minds: owning another body affects social cognition. *Trends in cognitive sciences*, 19(1):6–12, 2015.
- [5] 山口 周, 畑田 裕二, 橋浦 健太, 鳴海 拓志. アバタの構造・動作の実装を効率化するツールキット「PoseSynth」の提案. 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2024.