



ハンドコントローラを用いた関節操作による VR アバタの動作作成

Creating VR Avatar Motions by Joint Manipulation Using Hand Controllers

開田拓翔¹⁾, 曾我麻佐子¹⁾
Takuto HIRAKIDA and Asako SOGA

1) 龍谷大学大学院 先端理工学研究科
(〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5, {hirakida, asako}@motionlab.jp)

概要: 本研究では, 手に持ったコントローラの移動・回転を VR アバタの各関節に割り当てて人体動作を作成する手法を提案する. 手首とその他の関節の可動域の割合をマッピングするモードとコントローラの姿勢を各関節に一定時間の遅延を設けて順番に代入するモードを実装した. これにより, 実演が難しい繊細な動作の作成に加え, モーションキャプチャなどでは扱いづらい鎖骨や背骨といった関節の直感的な操作も可能となる.

キーワード: VR アバタ, ハンドコントローラ, 関節操作, 動作作成

1. はじめに

近年, VR デバイスの普及により, VRChat やゲームでアバタを操作する機会が増えている. 入力デバイスとして HMD(Head Mounted Display)と 2 つのコントローラしか用意されていない VR デバイスでは, 脚や胴の動きが入力できないという問題がある.

そこで本研究では, ハンドコントローラの移動・回転の入力を VR アバタの様々な関節に割り当てるモードと, 動作を作成するインタフェースを試作した. これらのインタフェースと入力情報割り当てモードを用いて, 下半身の関節や, モーションキャプチャなどでも動かすことが難しい鎖骨や背骨などの関節もハンドコントローラで操作することができる. これにより, VR アバタの動きを少ないデバイスで簡単に作成でき, 指先や足先などの繊細な動きも作成することが可能となる. 本稿では, 試作したインタフェースとモードの詳細と評価実験について述べる.

2. 関連研究

VR アバタの脚の動きを作成する際, モーションキャプチャではマーカを, VR デバイスでは脚にトラッカーを装着し入力することが一般的である[1][2]. また, 非接触型身体動作トラッキングも普及しており, Microsoft が開発したデバイスの Azure Kinect や, OpenPose のような画像認識を用いた姿勢推定 AI ライブラリなどがある. しかし, これらの入力方法では, 自身が想像できる範囲や身体能力的に

可能な動きしか作成できない. 下半身の動きを機械学習などにより予測して生成する研究[3]もあるが, 自身が思った通りの動きが生成されるとは限らず, 修正することが難しい.

VR デバイスを用いて身体動作を作成する研究として, 山口らは, VR 空間内でハンドトラッキングによって入力された動作の変換を行い, 人体や動物などの様々な関節に割り当てることでキャラクタアニメーションを作成するシステム[4]を開発している. ハンドトラッキングを使用しているため, HMD に手が映る範囲内でしか操作できないことや精度に関して課題があると考察されていた. Zhou らは, VR 空間内で動きの録画を行い, 抽出されたキーポーズから Inverse Kinematics(IK)を使用して関節を操作することで全身の動作を作成するシステム[5]を開発している. キーポーズの選択, 操作したい関節の選択, IK ターゲットの移動など後から動作を編集する必要があり, 操作の複雑さやリアルタイム性, VR デバイスの長時間の使用は酔いの原因にもなる. 本研究では, 細かい操作を必要とせず VR アバタの各関節をリアルタイムに直感的に操作することで, 身体動作を作成できるようにすることを目指している.

3. ハンドコントローラによる VR アバタの関節操作

VR デバイスでは入力が難しい身体部位の動作を作成するために, ハンドコントローラの入力を様々な手法で関節

に割り当て動作を作成するインタフェースを開発した。脚、腕、背骨の順にコントローラの入力を VR アバタの関節に割り当て、操作する例を図 1 に示す。本研究では VR デバイスとして MetaQuest2 を、開発環境として Unity を使用する。視点は 1 人称で、VR アバタの目の位置にカメラを配置しており、作成した動きは VR アバタの正面に配置された鏡で確認する。ユーザはコントローラを両手に把持し、コントローラの移動・回転の 6DOF の情報を入力することができる。本稿で述べるインタフェースでは、左半身は左コントローラで、右半身は右コントローラで制御することを想定し試作した。

各インタフェースとモードの要素を表 1 に示す。コントローラの入力の割り当て先が異なるインタフェースと割り当て方が異なるモードを試作した。ノーマルなインタフェースでは、コントローラの 6DOF の入力を両手の手首に配置した IK ターゲットに割り当て、両腕を制御する。IK による姿勢制御には FinalIK の VRIK[6]を用いた。他にもコントローラの入力情報の割り当て先として、回転の 3DOF の入力を各関節に割り当てる、6DOF の入力を身体の末端に配置した IK ターゲットに割り当てることが考えられる。コントローラの入力情報の割り当て方には、コントローラの初期姿勢からの差分を入力として用いるモードと、手首とその他の関節の可動域の割合をマッピングし姿勢制御を行うモード、時間遅延処理を入れて関節に割り当てモードがある。

4. 実験

4.1 実験の目的と手順

コントローラで手首以外の関節を操作する際の没入感や身体所有感の変化などの調査を目的に脚を対象とした 2 つのインタフェースを用いて、評価実験を実施した[7]。参

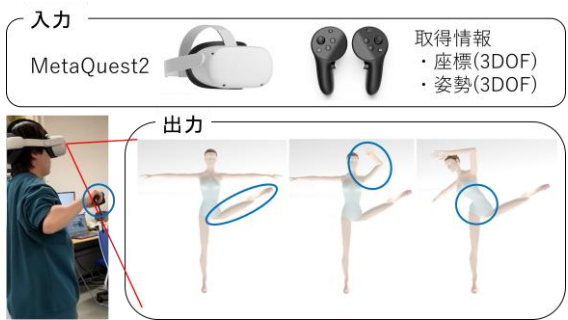


図 1: VR アバタの関節操作の例

表 1: 各インタフェースとモードの要素

	操作可能(FK)	運動(IK)	可動域・軸制限	初期姿勢からの差分	軸変換	時間遅延
ノーマル	IKターゲット(6DOF)	両腕				
FKLeg	股関節、膝(3DOF)	※膝の姿勢制御に一部使用	膝(1DOF)	○		
Bind	IKターゲット(6DOF)	股関節、膝、足首		○		
差分	1関節(3DOF)			○	○	
割合	1関節(3DOF)		○		○	
Wave	複数関節(3DOF)			○		○

加者は HMD を装着して VR 空間に入り、頭と腕を動かすことができるノーマルな VR アバタ操作を体験し、その後提案した 2 つのインタフェースに対して 5 つの異なる脚動作を作成するタスクを行った。手本となる脚動作のアニメーションを行う VR アバタを正面に配置された鏡の右側に配置し、それを見ながら脚動作を作成してもらった。各インタフェースの体験時間は約 5 分間で、各動作を最長 1 分半で作成してもらい、作成完了までの時間を記録した。それぞれのインタフェースの体験が終わると独自アンケートと半構造化インタビューに加え、臨場感や没入感に関する評価指標である Igroup Presence Questionnaire (IPQ)[8]、身体所有感に関する評価指標である Alpha IVBO[9]に回答してもらった。

4.2 試作した脚動作作成インタフェース

コントローラの情報を割り当てて動かす関節の数と連動して動く関節の数が異なる 2 つのインタフェースを試作した。1 つ目の FKLeg というインタフェースは、股関節と膝の姿勢を制御できる。両脚の股関節はコントローラの回転の 3DOF を割り当てて制御する。両膝はコントローラを腕の末端とし、VRIK を用いて肘の屈曲角度を算出し、その角度を膝に割り当てて制御する。膝は屈曲伸展しかできないため、1 軸のみ姿勢が変わるように可動軸に制限をかけた。2 つ目の Bind というインタフェースは、足先に配置した末端ターゲットをつかんで操作し、両脚の股関節、膝、足首の 3 つずつが連動して動く。末端ターゲットはコントローラの 6DOF の情報を割り当てて制御する。両脚の各関節の姿勢は VRIK を用いて計算した。

4.3 実験結果と考察

被験者は 19～25 歳の男性 11 名と女性 2 名の計 13 名で

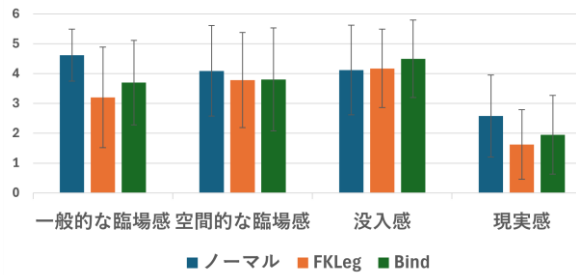


図 2: IPQ の各成分の平均値と標準偏差

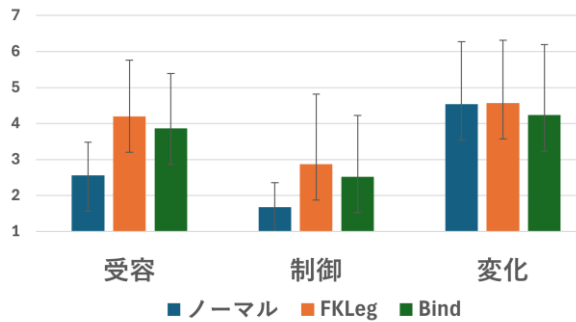


図 3: Alpha IVBO の各成分の平均値と標準偏差

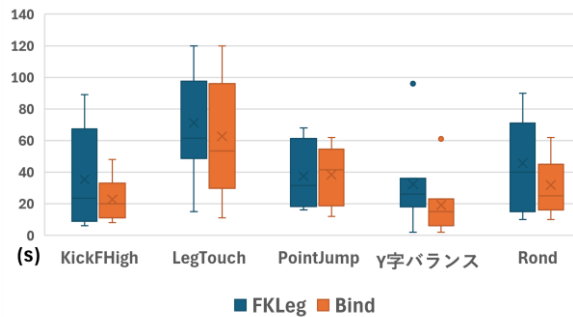


図 4: 動作作成にかかった時間

ある。そのうち5名はVR機器の使用経験がないと回答した。IPQの回答結果のグラフを図2に、Alpha IVBOの回答結果のグラフを図3に示す。

AlphaIVBOの受容では、最初に体験したノーマルなVRアバタ操作よりFKLegとBindが高くなっていたが、全てのインタフェースで同様のVRアバタを使用しているため、体験していくにつれてVRアバタの外見に慣れていったからだと考えられる。制御は、唯一腕を操作するノーマルなVRアバタ操作で低くなった。FKLegとBindのように操作する関節が脚になっても制御が高くなったことから、腕で脚を操作することについてはある程度受容されるのかもしれない。

各インタフェースの各動作作成にかかった時間を図4に示す。FKLegとBindの動きが作成しやすいと感じた度合いを比較すると、ほとんど差がなかった。しかし、動作作成にかかった時間を比較すると、Bindの方がかかった時間が短いことがわかる。これは連動して動く関節が多いため、操作が必要な関節が少なく、直感的に動作を作成することができたからだと考えられる。しかし、参加者が入力できる腕とVRアバタの脚の可動域が異なるため、脚を体の後ろで動かす動作を作成することが難しく、可動域の変更の必要性が示唆された。一方、膝を曲げるためには、コントローラを上下に移動するために自身の膝を繰り返し屈曲伸展するため、身体負荷が大きかったというコメントがあった。また、コントローラの情報を割り当てて操作できる関節が多い方が動作を作れる幅が広がるというコメントがあったが、脚を素早く動かす動作では、股関節と膝の制御を同時に行うことが難しいというコメントがあった。特にLegTouch(片足を左右に揺らしながら上げる動作)は股関節を連続して大きく動かし、膝の曲がる角度を調整することが難しく、どちらのインタフェースでも時間がかかっていた。逆に、Y字バランスは股関節の屈曲と膝の屈曲伸展のみであったため、作成にかかった時間は短かった。

以上のことから、入力に使用する手首とその他の関節の可動域の違いを解消する必要があること、連動して動く関節が多い方が少ない時間で直感的に動作を作成することができるが、IKによる自動計算で納得のいく姿勢にならなかった場合に修正が難しいことがわかった。

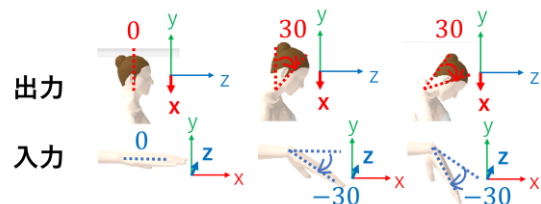


図 5: 初期姿勢からの差分を割り当てる

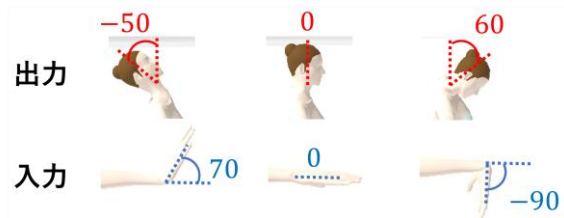


図 6: 可動域の割合をマッピングし割り当てる

5. コントローラの入力割り当てモード

5.1 他関節へのマッピングモード

手に持ったコントローラの入力のVRアバタの関節への割り当て方として、コントローラの回転の3DOFをそのまま割り当てる、初期姿勢からの差分を割り当てる(図5)、可動域の割合をマッピングし割り当てる(図6)などが考えられる。これらは目的や用途によって使い分けられるように、モードで切り替えられるようにした。

3DOFをそのまま割り当てた場合、実装が簡単という利点があるが、可動域を越えた動きや明らかに曲がらない方向に曲がる関節などがあるため、可動域制限を行う必要がある。また、コントローラの初期姿勢にかかわらず値がそのまま代入されるため、操作が難しく、入力できない姿勢もある。

コントローラの初期姿勢からの差分を割り当てる場合、初期姿勢をボタン入力のタイミングで決めることで任意の変化量を入力でき、操作性は向上する。しかし、手首の可動域よりも可動域の大きい関節では任意の姿勢を作成することは難しくなる。

可動域の割合を割り当てる場合、手首の可動域で他関節の可動域内の動きを作成することができる。しかし、股関節の屈曲伸展のように初期姿勢からの可動域が対称的でない関節の場合、コントローラが初期姿勢であっても、片方に大きく傾いた状態になることがあり、直感性に欠ける部分がある。

本稿では、試作した可動域の割合を割り当てるモードの実装方法について述べる。コントローラで入力することができる可動域の最大最小値は手首の可動域を参照する。今回は基礎運動学[10]を基に固定値を使用する。手首がz軸に対して屈曲伸展した割合と同じ割合になるように他関節の姿勢を決定する。この際、手首の屈曲伸展と他関節の屈曲伸展では可動軸や正負の向きが異なるため、変換を行う。例えば、手首では屈曲伸展がz軸の動きかつ、屈曲が負の回転であるのに対し、首ではx軸の動きかつ、屈曲が正の回転である。z軸に対する手首 θ_{hand} の可動域は $-90 \leq$

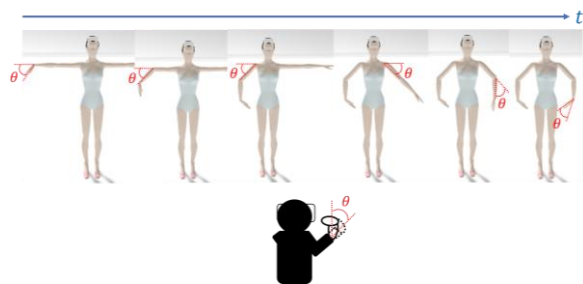


図 7: 右コントローラで Wave の動作を作成する様子

$\theta_{hand_z} \leq 70$, x 軸に対する首 θ_{neck} の可動域は $-50 \leq \theta_{neck_x} \leq 60$ であるため, 最小値である $\theta_{hand} = -90$ のとき $\theta_{neck} = 60$, 初期姿勢である $\theta_{hand} = 0$ のとき $\theta_{neck} = 0$ となるようにした.

5.2 時間遅延モード

コントローラの入力だけでは, 多くの関節を同時または一気に操作することは難しい. IK を使うことで可能になるが, 親子関係を持った関節構造でないと計算することができない. モーション再生にコントローラの制御を合成して動きを作成する機能[11]もあるが, IK を使用しているため親子関係や姿勢の修正が難しい問題が残る. そこで, リアルタイムな動作作成や動作の記録再生以外の手法として, 時間制御をすることで他の関節を連動して操作できるモードを試作した. 末端から末端にかけて各関節に波を伝えるような Wave という動きを参考に, コントローラの初期姿勢からの差分 θ を各関節に一定時間の遅延を設けて順番に代入する. 遅延時間は秒数やフレーム数を指定することで変更できる. 右コントローラで Wave の動作を作成する様子を図 7 に示す. 代入する関節は自由に変更できるようにした. これにより, 右腕から左腕への Wave だけでなく, 右腕から右脚, 頭から脚などへの Wave が可能となる.

右コントローラを入力として用いる場合, 左腕の関節にそのまま姿勢を代入してしまうと, 回転する方向が異なるため, 符号を反転させた姿勢を代入している.

6. まとめ

本研究では, HMD と 2 つのコントローラのみで全身の動きを作成することを目的に, ハンドコントローラの入力から, VR アバタの関節を操作するモードを試作した. コントローラで手首以外の関節を操作する際の没入感や身体所有感の変化などの調査を目的に脚を対象とした 2 つのインタフェースを試作し, 評価実験を行った. AlphaIVBO の結果から, コントローラで手首以外の関節を操作することは受容される可能性があること, 半構造化インタビューの結果から, IK の自動計算によって動く関節が多い方が短時間で直感的に動作を作成できるが, 納得のいく姿勢にならない場合に修正が難しいことがわかった. また, 入力に使用する腕とその他の関節の可動域の違いを

解消する必要があることがわかった.

手首とその他の関節の可動域マッピングモードとコントローラの姿勢を各関節に一定時間の遅延を設けて順番に代入する Wave モードを試作した. これらのモードを評価するために, 実験を行う予定である.

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 25K15835 の助成によるものである.

参考文献

- [1] 大原侑祐, 後藤拓海, 他: 融合身体を用いた全身運動における上下半身ごとの動作合成比率が身体性に与える影響, 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.27, pp.1C3-5, 2022.
- [2] 安井悠馬, 川西凜之助, 他: VR アバタを着用してダンスを踊る際に感じる緊張や羞恥の影響の検証, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集, pp.153-157, 2024.
- [3] S. Starke, P. Starke et al.: Categorical Codebook Matching for Embodied Character Controllers, ACM Transactions on Graphics 2024, Vol. 43, No.142, pp.1-14, 2024.
- [4] 山口周, 畑田裕二, 鳴海拓志: 動作変換とその重ね合わせによる動物キャラクターアニメーションの作成, 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会, Vol.29, pp.1C2-01, 2024.
- [5] Q. Zhou, A. Prithul et al.: TimeTunnel Live: Recording and Editing Character Motion in Virtual Reality, in Proceedings of the 2024 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, No.425, pp.1-4, 2024.
- [6] 「VRIK」, <http://root-motion.com/finalikdox/html/page16.html>, 2025/6/29.
- [7] 開田拓翔, 曾我麻佐子, 酒田信親: ハンドコントローラを用いた VR アバタの脚動作作成インタフェースの試作, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.49, No.7, pp.43-44, 2025.
- [8] 「www.igroup.org – project consortium」, <http://igroup.org/pq/ipq/index.php>, 2025/6/29.
- [9] D. Roth, J.-L. Lugin, et al.: Alpha IVBO-Construction of a Scale to Measure the Illusion of Virtual Body Ownership, in Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 2875-2883, 2017.
- [10] 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩:「基礎運動学 第 6 班」, 医歯薬出版株式会社, 2003.
- [11] 松下匠, 曾我麻佐子: ChoreAugmented: VR 環境におけるダンス創作のための身体拡張インタフェース, インタラクション 2023 論文集, pp.460-463, 2023.