

VR における位置と速度を考慮した立体的かつ自然な衣擦れ音の再現による存在感の向上手法

松田 悠央* 三武 裕玄†

概要. 近年, VRChat をはじめとするメタバースプラットフォームの普及により, VR 空間における他者との交流や身体表現が一般化している. しかし, 多くのシステムでは視覚情報が重視されており, 聴覚的要素, 特に足音や衣擦れ音といったフォーリーサウンドについては十分再現されていない. そこで本研究では, ユーザの身体動作に応じて衣擦れ音を生成・再生するシステムを提案する. 本システムは, VRChat から取得したボーンの移動データをもとに, 身体部位の動きや接触に対応した衣擦れ音をリアルタイムに再現することで, VR 空間での身体的存在感を補強することを目的とする.

1 はじめに

近年, VRChat をはじめとするメタバースプラットフォームの普及により, 仮想空間における他者との交流や身体表現が一般化している. ユーザはアバターを通じて自己を表現し, ジェスチャーや歩行, 体の傾きなどの動作を用いて意思疎通を行う. しかし, 多くのプラットフォームではこうした身体表現の再現が視覚情報を重視しており, 聴覚的要素の多くは環境音や効果音にとどまり, 身体動作そのものに対応した音表現は十分ではない.

特に, 足音や衣擦れ音といったフォーリーサウンドは, 現実世界では身体動作と密接に結びつき, 自己や他者の存在や動作の実感を補強する重要な手がかりとなる. これらが欠如すると, 視覚的動作と聴覚情報の不一致が生じ, 仮想空間における身体的存在感や没入感が低下する可能性がある.

本研究では, この課題に対処するため, ユーザの身体動作に応じて衣擦れ音を生成・再生するシステムを提案する. 提案システムは, VRChat から取得したボーンの移動データをもとに, 各身体部位の動きや接触に対応した衣擦れ音をリアルタイムで再現する. これにより, 視覚情報だけでは補えない聴覚的フィードバックを提供し, VR 空間における身体的存在感を向上させることを目的とする.

2 関連研究

VR 空間における身体的存在感の再現に関しては,



図 1. 実際に体験している様子

これまで主に視覚や触覚の整合性に基づく研究が行われてきた. Slater ら[1]は, ラバーハンド錯覚を仮想環境で再現することで, VR 環境は身体の所有感の錯覚を引き起こすための効果的なプラットフォームであることを示した.

一方, 聴覚情報が存在感に与える影響に注目した研究も行われている. Kern と Ellermeier[2]は, VR 環境において環境音や動作に連動する足音を提示することで存在感およびリアリズムが向上することを報告している. 特に, ユーザの動作と音の再生タイミングが一致している場合に, 主観的な没入感やリアリティが高まることが示された. これは, 聴覚的フィードバックが自己運動の知覚と結びつくことで, 身体的リアリティを補強することを示唆している. この研究は外界との接触を示す足音を扱っているのに対し, 本研究は身体そのものの動きを反映する衣擦れ音に焦点を当てている.

聴覚フィードバックの中でも, 衣擦れ音はより微細で継続的な身体運動に伴う音であり, 現実世界で

は自己や他者の存在を無意識に確認する手がかりとなっている。このような音の再現に関して, An ら[3]は布の運動データに基づいて衣擦れ音を動的に合成する手法を提案している。この手法は高品質な音を生成できるが, リアルタイム性が求められる VRChat のようなプラットフォームへの応用は計算コストの観点から困難である。そこで本研究では精密な音響シミュレーションを用いず, ボーンの座標と角度から音量とピッチを決定する軽量な手法を提案する。

3 提案手法

本システムは, VR 空間内のアバターの身体動作から衣擦れ音をリアルタイムに再現するものである。

本システムは身体動作の部分カプセル表現, 接触点における相対速度の算出, 相対速度に基づいた衣擦れ音の再生の3つの要素で構成される。

3.1 身体動作の部分カプセル表現

アバターの身体は, 複数のカプセルを組み合わせることで簡易に表現できる。本システムでは, アバターの各主要ボーンに接触を感知するが衝突しないカプセルを追従させる(図2)。

3.2 接触点における相対速度の算出

2つの部位(カプセル1, 2)が接触した際の衣擦れ音は, その接触点における相対的な動きで決定される。本システムでは, この動きを相対速度ベクトルとして計算する。

各カプセルの並進運動と回転運動を考慮し, 接触点 $p_{contact}$ におけるカプセル i の速度ベクトル V_{Ri} は式(1)で求められる。

$$V_{Ri} = v_i + \omega_i \times r_{ic} \quad (1)$$

ここで, v_i と ω_i はそれぞれカプセル i の移動速度と角速度, r_{ic} はカプセルの中心から接触点 $p_{contact}$ への位置ベクトルである。

最終的に, 2つのカプセル間の相対速度 V_{rel} は, それぞれの速度ベクトルの差として式(2)で求められる。この V_{rel} は後段の衣擦れ音再生の際の入力パラメータとなる。

$$V_{rel} = V_{R1} - V_{R2} \quad (2)$$

3.3 相対速度に基づいた衣擦れ音の再生

衣擦れ音は, 布が擦れる速さに強く依存する。本システムでは, これをモデル化し, 相対速度の大きさ $\|V_{rel}\|$ を用いて音の音量とピッチを制御する。音量 $Volume$ とピッチ $Pitch$ はそれぞれ式(3), (4)で決定

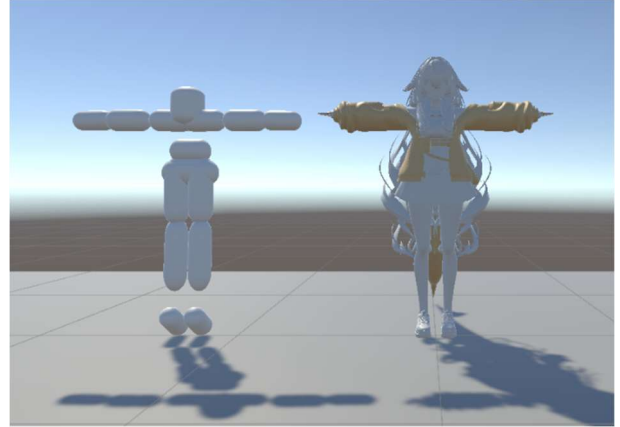


図2. ボーンに追従するカプセル

される。

$$Volume = k_v \times \|V_{rel}\| \quad (3)$$

$$Pitch = k_p \times \|V_{rel}\| \quad (4)$$

ここで, k_v と k_p は音響効果を調整するための係数である。これにより, 速い動きでは大きく高い音が, 遅い動きでは小さく低い音が生成され, リアルな聴覚フィードバックが実現される。

3.4 実装

システムは Unity (2022.3.22f1)と VRChat のカスタムスクリプト言語である UdonSharp を用いてワールドとして実装した。

カプセルは Unity の HumanBodyBones に基づき, Hips から RightHand までをカプセルの追従対象とした。指や目など, 衣擦れ音への影響が少ない部位は計算負荷削減のため除外した。

衝突を検知した際, 接触点はそれぞれ相手への最近接点を Collider.ClosestPoint を用いて算出し, その2点の中点を接触点とした。

4 むすび

本研究では, VR 空間における身体的存在感を向上させるため, 身体動作に応じてリアルタイムで衣擦れ音を再現するシステムを提案した。

本システムを数人に体験してもらった結果, 「座り直すなどの身動きをしたときの体験が良かった」, 「音源が風切音のようになって不自然」といった意見が得られた。

今後は1種類のみとなっている音源を, ナイロンや麻といった衣服の素材ごとに拡張し, 収録品質を上げることで音源自体の品質も向上させる。その上で, 機械学習を用いて異なる素材同士の接触による衣擦れ音を合成する手法を実装する。また, Python などを用いて音声再生を外部のサウンドエンジンと連携させることで自然なサウンド再生を目指す。

参考文献

- [1] Slater M, Pérez Marcos D, Ehrsson H and Sanchez-Vives MV. Inducing illusory ownership of a virtual body. *Front. Neurosci*, pp. 214- 220, 2009
- [2] Kern AC and Ellermeier W. Audio in VR: Effects of a Soundscape and Movement-Triggered Step Sounds on Presence. *Front. Robot. AI*, pp. 20, 2020
- [3] Steven S. An, Doug L. James, Steve Marschner. Motion-driven Concatenative Synthesis of Cloth Sounds. *ACM Transactions on Graphics*, pp. 1-10, 2012