

立体音響と振動の組み合わせによる仮想耳の身体所有感の検討

情19-0173 米谷 侑起
指導教員 米澤 朋子

1. はじめに

近年、COVID-19の影響でオンラインでのやりとりが増えている。メタバースの概念を含む、仮想空間でアバタを用いて他者とコミュニケーションするシステムが広まりつつあるが、アバタの身体性は基本的に人間に似た構造である。これに対し本研究では、仮想空間内のアバタが備える、人間には存在しない首後方の第3、第4の仮想の耳（仮想耳）に対して、身体所有感を持たせる可能性を検討する。ここで、身体所有感の問題として、第一に仮想空間内の身体を対象とする点と、第二に自分には存在しない感覚器を対象とする点がある。後者に関して特に焦点を当て、聴覚の錯覚をもたらすため、仮想耳に手を当てた時に立体音響と振動を用いて聞こえ方が変化するように感じさせるシステムを検討する。

身体所有感には、時間的同期性、空間的一致性、形態的類似性の要因が重要とされている。一方、外見的類似性は身体所有感の成立に不可欠な要因ではない可能性[1]や、6本の指を持つ仮想の手指をある程度自分のものと受容し操作に肯定的反応を示した[2]結果から、身体所有感にはインタラクティブな時間的同期性と空間的一致性が重要だと考えられる。そこで本研究では、存在しない仮想耳をアバタに追加し、仮想耳に手を当てる仕草を通じて聴覚・振動フィードバックと三人称視点での視覚フィードバックにより身体所有感が高まると考えた。

2. 提案システム

本システムのハードウェア構成は、ソフトウェア動作PC、HTC VIVE PRO HMD, Arduino Uno, 振動モータ2個, センサー固定三脚, 突っ張り棒である。ソフトウェアには、Unity（三人称視点での仮想空間とアバタの表示）、VRoidStudio, Blender（アバタモデル生成）、PureData（音声制御）、Arduino IDE（モータ制御）を用いている。

本システムは、仮想空間内でユーザのアバタの頭の回転はVIVEと連動し、アバタの右手はコントローラ位置によって操作できる、聴覚触覚連動のVR体験システムとした（図1）。アバタの仮想耳の位置に一致するようにユーザの首後方に取り付けた振動モータの振動強度は、頭の回転に伴う音源への仮想耳の向きや、耳に手を当てる動作に応じて調整している。仮想空間内には2つの点音源が配置されており、各耳の音量は頭の回転角によって制御される。さらに、アバタの片方の仮想耳に手を当てると同じ側の片耳の音量を上げる仕組みとした。

使用するアバタはVRoidStudioを用いて制作し、Blenderで仮想耳を加えた。仮想耳を仮想空間内で視認しやすくするため、アバタをスキンヘッドにした。



図1. 仮想空間内のアバタ



図2. システム体験の様子

3. 検証

首後方の仮想耳に対する身体所有感を調査するため、21～29歳の男女24名（男性22人、女性2

人)を対象に、アバタの首後方に仮想耳があると事前に知らせてから本システムを体験する実験を3種実施した。間隔尺度として分析するため、評価項目に対し0-99の100段階で回答するVAS法を用いた。実験中は、図1のアバタの首後方の二つの耳を「仮想耳」、その他を「本物の耳」と呼称した。

実験1では、仮想耳に手を添える動きや頭の動きに応じた音の聞こえ方の変化により、身体所有感が高まると仮説を設定し、三人称視点の下、要因A. 仮想耳に対する動作：手を添えない、手を添える（音量と振動モータ強度連動）、手を添える（音量と振動モータ強度非連動）と要因B. 頭の動作：頭を動かさない、頭を動かすの計2要因6条件の被験者内実験計画により評価した。その結果、両要因に有意差が見られ、手を添えることで音量と振動モータ強度が変化、頭部動作のそれぞれが仮想耳の感覚を高める傾向が見られた。一方、手を添えない場合と、手を添えるが音量と振動モータ強度が非連動の場合の条件間には有意差は見られず、仮想耳に対する身体所有感の生起には聴覚フィードバックが重要な要因であると考えられる。

実験2では、振動を適切な位置で与えることで仮想耳の位置を判別しやすくなり、身体所有感が高まると仮説を設定し、三人称視点の下、要因A. 手を添える対象：仮想耳のみ、本物の耳のみの計1要因2条件の被験者内実験計画により評価した。その結果、アバタに対する身体所有感や運動主体感に有意差は見られなかったが、仮想耳に手を添える条件で仮想耳の感覚が高まる傾向が見られた。つまり、仮想耳の身体所有感には運動だけでは不十分であることが示唆される。

実験3では、画面上に表示したアバタを後方からの三人称視点で見ることにより、見えない場所にある仮想耳の位置が分かるため身体所有感が高まると仮説を設定し、A. 視点要因：一人称視点、三人称視点（アバタの前方からの視点）、三人称視点（アバタの後方からの視点）の計1要因3条件の被験者内実験計画により評価した。その結果、全ての質問項目で有意差は見られなかった。仮想耳の身体所有感は視覚フィードバックよりも、聴覚フィードバックが重要だと考えられる。

4. おわりに

本研究は、立体音響と振動の組み合わせによる仮想耳の身体所有感の向上を目的とし、仮想空間内のアバタを操作し、仮想耳に手を当てた時に聞こえ方が変化し、振動モータの振動強度が強くなるシステムを提案した。検証の結果、主観評価では仮想耳に対する手を添える動作や頭を動かす動作を介した聴覚フィードバックにより、仮想耳に対する身体所有感が高まることが示唆された。一方で、視点の違いにより自身の運動や仮想耳が見えるかどうか（視覚フィードバック）は重要でないことが示唆された。今後は、アバタに加えた仮想耳の位置を常に固定した状態ではなく、バーチャル空間でユーザがそれを取り外して自由に動かすことが可能な場合に、聴覚フィードバックにより身体所有感が生起するのか、また、その他の仮想の感覚器官も人が受容できるのかについて検討したい。

参考文献

- [1] 中山友瑛, 片山正純. VR空間における仮想手の光点提示に対する身体所有感. 認知科学, Vol. 27, No. 4, pp. 567-579, 2020.
- [2] Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Corentin Nicole and Anatole Lécuyer. "Wow! I Have Six Fingers!": Would You Accept Structural Changes of Your Hand in VR. Frontiers in Robotics and AI Vol. 3, pp.27, 2016.