

仮想現実空間における頭部伝達関数を使用した音源位置特定の研究

齋藤 駿^{†1} 杉原 真^{†2} 築地 立家^{†3}東京電機大学理工学部^{†1} 東京電機大学理工学部^{†2} 東京電機大学理工学部^{†3}

1. 序論

近年、仮想現実技術はますます進化を遂げており、現在はHMD(ヘッドマウントディスプレイ)のような視覚へのアプローチだけでなく、様々なデバイスが登場している。さらには頭部伝達関数を用いた3Dオーディオソフトも開発されており、ハードとソフトの両方からリアリティの高い音を作ることができると考えられる。2011年に三重大学の楠本らの、VRコンテンツと立体音響を併用した没入感の研究では、映像と音の動きが一致する場合には没入感が、不一致の場合は不快感が高いと記述している。[1]

2. 研究背景

現在ではVRコンテンツと立体音響による没入感や不快感との関連性の研究は少なく、頭部伝達関数を用いた場合の影響なども不明である。頭部伝達関数はリアリティの高い音を作ることができると個人によって音の認識に違いが出るなどの問題もある。

本研究では、頭部伝達関数を使用し、立体音響を再現する3Dオーディオソフト「Steam Audio」、 「VRworks Audio」とHMDを併用することで、より現実に近い音響の仮想空間を構築し、その空間内での立体音響による没入感や不快感の検討や、頭部伝達関数による立体音響の誤認識の検討を目的とする。

3. 実験用コンテンツ

本章では、実験に使用するVRコンテンツの説明と使用機器、使用ソフトについて述べる。音源は200Hz, 500Hz, 1000Hzの3種類を使用し、ゲームエンジンはUnrealEngine4を使用した。実験にて使用した機材を表1に、ソフトを表2に示す。

表1 使用機材

名称	メーカー	型番	シリアルナンバー
LENOVO メモリ 4096MB Intel(R)Core(TM)i5-3470 CPU @3.20GHz NVIDIA GeForce GTX 1060	LENOVO	0896CTO	
HTC VIVE	HTC	OPJT100	FA666J00099
VIVE コントローラ	HTC	2PR7100	FA666J000405
VR HTC BASESTATION	HTC	AF4FB26A A9787712	HT74KAAA0004 FA737AA03325
KINGTOP GAMNIG HEADSET K11	KINGTOP		

表2 使用ソフトウェア

項目	名称	メーカー	バージョン
OS	Windows10 Pro 64 ビット	Microsoft	1607
ゲームエンジン	UnrealEngine4	EpicGames	4.15.1 4.17.1
3D オーディオプラグイン	SteamAudio	Valve	2.0-bata.6
グラフィックドライバ	VRworks Audio NVIDIA グラフィックス ドライバ	Nvidia NVIDIA	1.0 388.31

3.1 SteamAudio

SteamAudioはValve社が開発している3Dオーディオソフトであり、ゲームに頭部伝達関数によって計算された音や、遮蔽、反響などのエフェクトを付与できる。しかし、開発中のソフトであり、バージョンもベータ版となっている。

3.2 VRworksAudio

VRworks AudioはNVIDIA社が発行している3Dオーディオソフトであり、頭部伝達関数によって計算された立体音響をリアルタイムで適用することができる。しかし、負荷が大きく、現在利用できるエンジンが少ないという欠点がある。

3.3 不快感計測コンテンツ

被験者を中心に前後左右に4枚の壁と音源を持つキューブと音源を持たないキューブが壁の裏と真上の5か所を不規則に移動するステージを作成した。プレイヤーにはコントローラを用いて弾丸を射出し、音を頼りに音を持つキューブを打ち抜かせた。打ち抜いた数はスコアとして記録した。音源を持つキューブは音ズレなし、音が先行する、音はキューブとは関係ない動きをする3パターンの特徴がある。オーディオソフトはSteamAudioを使用した。

3.4 誤認識計測コンテンツ

被験者を中心に水平角45度、垂直角30度ずつ、計25個の球体を配置し、その中の球体から音を再生させ、その音源の位置を答えさせる。これをSteamAudioとVRworks Audioの2種類のソフトで作成し、プレイヤーと球体との距離をそれぞれ50cm, 100cm, 150cmにした3種類のステージを作成した。

4. 実験内容

本章では第3章で作成したVRコンテンツを用いた各実験の概要を記述する。

4.1 不快感計測実験

本実験は3.3で作成したVRコンテンツを用いて、物体の動きと音源の動きをずらすことにより発生する音のずれと音の周波数が不快感や没入感などに影響を及ぼすかどうかを検証することを目的とする。

10人の被験者に不快感計測VRコンテンツを1分間操作させた。その後、アンケートに回答させ、スコアを記録した。この実験を音のズレ3パターンと音の周波数3種、合計9パターンで行った。プレイ中の画像を図1に示す。

The study on the sound source location identification using the head related transfer function in the virtual reality space.

^{†1}Syun Saito · Tokyo Denki University School of Science and Engineering

^{†2}Makoto Sugihara · Tokyo Denki University School of Science and Engineering

^{†3}Tatsue Tsukiji · Tokyo Denki University School of Science and Engineering

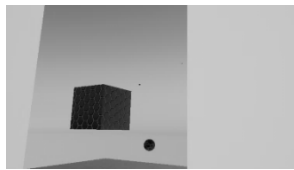


図1 不快感計測実験

4.2 誤認識計測実験

本実験は3.4で作成したVRコンテンツを用いて、頭部伝達関数による立体音響の再現が、人間の聴覚にどの程度誤認識を与えるかの検証を目的とする。

10人の被験者に球体から1種類の音を再生するパターンを6パターン、別々の球体から2種類の音を再生するパターンを4パターン、合計10パターンをそれぞれ2秒間視聴させ、その後被験者にどの球体から音が再生されたかを答えてもらう。音源を2つ配置したパターンでは、2種類の音がどこで再生されたかを答えてもらう。この実験を球体までの距離3種、オーディオソフト2種、合計60パターンの配置で計測する。プレイ中の画像を図2に示す。



図2 誤認識計測実験

5. 実験結果

本章では各実験の結果を記述する。

5.1 不快感計測実験結果

実験で得られたアンケート結果において結果が大きく見られたパターン1と3における1000Hzの位置把握度と違和感の散布図を図3に示す。横軸が回答番号であり、縦軸は回答した人数を示している。アンケートは6項目あり、酔いの有無以外の項目は8段階評価で、それぞれ、無い、とても弱い、弱い、普通、やや強い、強い、とても強い、非常に強い、であり、1~8で置き換えた。酔いは全てのパターンにおいて発生しなかった。スコアは個人の弾の発射レートの違いを考慮し、パターンごとに偏差を取り評価した。スコアはパターン3を除き、周波数が低いほど負の方向に、高いほど正の方向に増加する傾向がみられた。

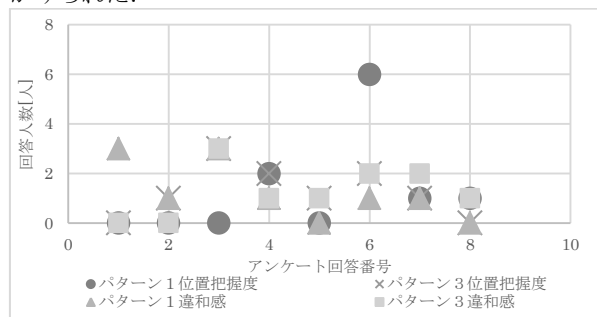


図3 位置把握度と違和感散布図

5.2 誤認識計測実験結果

答えてもらった球体の位置と正しい音源の位置との水平角と垂直角を取り、それぞれの誤認識の回数を計測した。この角度が大きいかほど誤認識していることを示している。なお、右と上方向にずれていた場

合は正、左と下方向にずれていた場合は負の値とした。別々の球体から2種類の音を再生した時の音源の位置別の結果を記録した。位置別の水平角の結果を表3に、位置別の垂直角の結果を表4にそれぞれ示した。

表3 水平角の結果

音源数(個)	位置	180度[回]	135度[回]	90度[回]	45度[回]	0度[回]	-45度[回]	-90度[回]	-135度[回]
1	左右前後	6	9	12	30	29	12	17	5
	前後左右	18	9	10	24	38	14	22	15
2	左右前後	16	13	14	43	55	16	7	16
	前後左右	17	14	17	23	59	22	12	16

表4 垂直角の結果

音源数(個)	位置	90度[回]	60度[回]	30度[回]	0度[回]	-30度[回]	-60度[回]	-90度[回]
1	左右前後	0	3	23	40	46	8	0
	前後左右	2	12	35	48	45	8	0
2	左右前後	1	7	30	58	43	34	7
	前後左右	1	6	26	43	69	28	7

6. 考察・結論

本章では各実験の結果より考察及び結論を記述する。

6.1 不快感計測実験

パターン1よりもパターン3のほうが位置把握度は低くなり違和感が増加する結果となった。不快感はわずかに増加したが、大きな差は見られなかった。類似研究では音ズレがある場合とない場合では不快感に大きな差が出ており結果が異なったが、今回の研究とは自身の映像の操作の可否の違いが原因と考える。スコアは、周波数が高いほど増加したため、周波数が高いほど物体の位置が把握しやすいと考えられる。今回は正方形の箱を用いたが、現実で見慣れた物体と音をずらした場合や、物体の速度の違いによる不快感の違いも検証する必要があると考える。

6.2 誤認識計測実験

左右に比べ、前後に配置された音源には水平角に大きな誤差が多く出る結果となった。これは頭部伝達関数と方向知覚(飯田,2017)[2]で「他人の頭部伝達関数を使用したとしても、左右方向の知覚についてなら再現できる」とあるように、前後の知覚と比べて、左右の知覚には頭部伝達関数に含まれる両耳間時間差が手がかりとなるため、オーディオソフトの頭部伝達関数でも大きな誤差が少なかったと考えられる。このため、前後の知覚まで正確に再現するためには、個々人の頭部伝達関数を測定し、使用する必要があると考えられる。今回は音源を静止した状態で音を再生したが、移動する音源での誤認識の有無も検証する必要があると考えられる。

参考文献

[1] 楠本直毅. “仮想空間内で効果音の動きがバーチャルリアリティ酔に及ぼす影響”. <http://jairo.nii.ac.jp/0005/00010034/en>, 三重大学大学院工学研究科博士前期課程情報工学専攻, 2011.

[2] 飯田一博. “水平面の頭部伝達関数と方向知覚”. 頭部伝達関数の基礎と3次元音響システムへの応用. コロナ社, 2017, p.23-26.