

# 多地点間仮想空間コミュニケーションのための 3 次元音響機能

中山裕美<sup>†</sup> 梶 克彦<sup>‡</sup> 河口信夫<sup>‡</sup>

名古屋大学工学部<sup>†</sup> 名古屋大学大学院工学研究科<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

実環境でのイベントに遠隔地から参加したいとき、現時点での遠隔コミュニケーション技術では、会場の「わいわいがやがや」している雰囲気や、十分に再現できているとはいえない。実環境では、人が集まっている雰囲気や、聴衆の表情、声の伝達方向などが重要な役割を果たしているためである。

例えば、1 会場に 10 名の発表者がいるようなポスターセッションで発表を聞く場合、どのポスターが盛り上がっているかを直感的に確認できる。仮想空間上でポスター発表に参加するときに、誰が発表を行っているのか、誰が聴いているのか、どのくらい盛り上がっているのかを知ることが出来れば、どの発表から聴くかを定める手がかりとなる。

本研究では、仮想空間上での多地点間コミュニケーション[1](図 1)のための 3 次元音響機能を提案する。本機能では、仮想空間上の参加者同士の位置や距離に応じて複数の音声ストリームを合成し、その音場を再現する。これにより、実空間に近い音場環境が仮想空間上でも実現され、従来よりも高い臨場感をもつコミュニケーションが可能になる。



図 1. 仮想空間上での多地点コミュニケーションシステム

## 2. ステレオヘッドホンによる 3 次元音場制御

ステレオヘッドホンで 3 次元音場を実現するためには、頭部伝達関数 (Head-Related Transfer Function : HRTF)[2]を用いることや Open Audio Library(OpenAL)[3]というツールキットを用いることなどが挙げられる。

### 2.1. HRTF

HRTF とは耳殻、人頭および肩まで含めた周辺物によって生じる音の変化を伝達関数として表現した

ものである。従来用いられてきた両耳時間差 (Interaural Time Difference : ITD)や両耳間強度差 (Interaural Level Difference : ILD)では、左右の区別は可能であったが、前後・上下の区別は不可能であった。HRTF では左右・前後・上下の判別が可能である。

HRTF は実測可能で、公開されているデータベースを用いることが可能である。しかし、データベースでは離散的に配置された音源位置に対する HRTF しか用意されていないため、用意されていない音源位置に対する HRTF は補間や計算によって HRTF を指定する必要がある。

### 2.2. OpenAL

OpenAL は、クロスプラットフォームで動作する 3 次元オーディオの API である。3D グラフィックスのための API である OpenGL[4]に似せてある。OpenAL はバッファ、ソース、リスナの基礎オブジェクトを用いる。ソースの聞こえ方は、リスナオブジェクトに関する方向や配置によって決定される。ソースやリスナの方向や位置を更新することによって 3 次元音響を実現する。

リスナは音量・位置・速度・方向のプロパティを任意に設定し、取得することが可能である。またソースは音量・位置・速度・方向の他に、音量の最大値・最小値、ループの有無、状態、再生位置などのプロパティを持つ。OpenAL の座標軸は、リスナオブジェクト・ソースオブジェクトに対して、x 軸が左右方向、y 軸が上下方向、z 軸が前後方向を表す。

## 3. システムの実装

本システムでは、OpenAL を用いている。これは、仮想空間上での多地点間コミュニケーションシステムのグラフィックスが OpenGL を用いて描かれているため、対応する OpenAL を用いた。本システムでは、OpenAL のリスナオブジェクトとなるノードと、ソースオブジェクトとなる他のノードの双方が移動する。

従来システムの音声再生手法では、ノード間の距離と向いている方向でのみ音量を制御していた。この場合、他のノードが離れていく・後ろを向いているということは判別可能だが、どの方向へ動いているのかはほとんど判別できない。

提案機能の音声の再生方法を図 2 に示す。仮想空間上での自分(ノード A)の位置・向いている方向を、

Stereophony for Multipoint Virtual Communication  
Yumi Nakayama<sup>†</sup>, Katsuhiko Kaji<sup>‡</sup>, Nobuo Kawaguchi<sup>‡</sup>  
<sup>†</sup>School of Engineering, Nagoya University  
<sup>‡</sup>Graduate School of Engineering, Nagoya University

リスナの位置・向きとし,他のノード(ノード B, ノード C) の位置・向いている方向をソースの位置・向きとして OpenAL の 3D 音源を設定し,各ノードから送信されるデータを再生する.各ソースの音量はリスナとの距離とリスナおよびソースの向いている方向に応じて変化する.このとき,x 軸はリスナの左右方向,y 軸は上下方向,z 軸は前後方向を示す.また,それぞれの位置・向きは相対座標ではなく,絶対座標で示される.

複数のノードから 1 度に音声データが送られてきた場合, 音声データで満たしたバッファをノードごとのソースにアタッチすることで音声を再生する.複数ノードから送信される音声を同時に再生することで,複数ストリームが合成され,仮想空間上の各ノードの位置から聞こえるように音声が再生される.

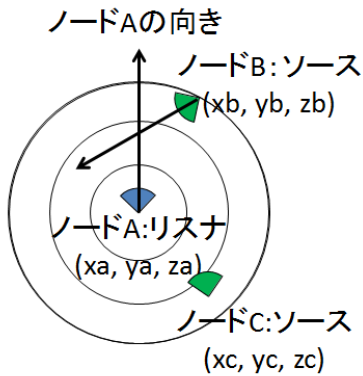


図 2:提案機能の音声再生手法

#### 4. 評価実験

##### 4.1. 実験内容

提案機能で 3 次元的に音場を再現したときの音源と話者の位置との対応を確かめるために 10 人の被験者に対する実験を行った.被験者には,1.音源位置を提示して従来手法で再生,2.音源位置を提示して提案手法で再生,3.音源位置を提示しないで提案手法で再生,という 3 パターンで聴取してもらった.音源位置を提示した場合には,表示された位置と再生された位置が合致しているかを 5 段階で評価してもらい,提示しない場合には,音源位置の軌跡を記入してもらった.3 パターンの再生順序はカウンターバランスを取った.

##### 4.2. 実験結果

提案手法は全ての音源位置について,従来手法よりも高い評価となった(表 1).

従来手法と提案手法では,左右方向の評価結果において,大きく差が出た.提示なしの場合でも,左右方向の正答率が最も高かった.また,提案手法における,前後方向について,音源位置を提示することにより,高い評価となった.

表 1:実験結果

音源位置	1.従来手法 (提示あり) 5段階	2.提案手法 (提示あり) 5段階	3.提案手法 (提示なし) 正答率(%)
左	2.3	5.0	100
右	2.2	5.0	85
前	3.5	4.2	30
後	2.4	3.2	60
円運動 (右回り)	-	4.0	20
円運動 (左回り)	-	3.9	40
前後移動	1.8	4.8	20
左右移動	2.1	5.0	100
斜め移動	1.7	4.4	25

#### 4.3. 考察

実験結果より,提案機能では従来システムより仮想空間上に音場環境を再現できている.提案機能において,左右方向の移動は位置提示なしでも判別可能である.一方,前後方向は位置提示なしの場合では判別しづらい.しかし,前後の判別は音源位置を提示することで改善される場合がみられた.また,音源位置を提示は,円運動や斜め運動についても定位の助けになると考えられる.

#### 5. まとめ・今後の課題

多地点間の仮想空間コミュニケーションシステムにおいて,実環境の音場を再現することによって,仮想空間上で音源の位置を判別可能になる.本研究では,ステレオヘッドホンによる 3 次元音響を OpenAL を用いて実現した.また,仮想空間上で話者の空間的位置に応じた音場環境を再現により,話者の位置が特定できることを示した.

今後の課題として,複数音源を定位させたときの音場再現性を確かめること,rat[5]のように通信にロバスト性を持たせること,実際のイベント時に仮想空間上での多地点間コミュニケーションでシステムを運用することなどが挙げられる.

#### 参考文献

- [1]西浦俊太郎, 河口信夫, “3 次元仮想空間を用いた多地点ビデオコミュニケーションシステム”, 情報学ワークショップ(WiNF), pp343-346, 2009.
- [2]矢入聡, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, “6.聴覚ディスプレイ”, 映像情報メディア学会誌, 61,10, pp.1427-1430, 2007.
- [3]OpenAL, <http://connect.creativelabs.com/openal>
- [4]OpenGL, <http://www.opengl.org/>
- [5]岸田崇志, 河野英太郎, 前田香織, 天野橘太郎, “多目的な音声伝送システムの設計”, 情報処理学会研究報告, 2002-DSM-26-3, pp.13-18, 2002.