

B-09

EchoPark+ : 音が見えるインタラクティブ仮想音伝搬環境の提案

田中 聖也^{†1}

Seiya Tanaka

外村 佳伸^{†2}

Yoshinobu Tonomura

1. はじめに

近年、デジタル化の進展に伴い、通常は見えない情報を可視化し活用することが盛んである。例えば、本論文で扱う音に関しても音の強さを波形や、音響的なスペクトログラムとして表示することは研究などでよく行われる。これらに対し本研究では、もっと日常生活体験になじむ形で音の性質を、特別なデバイスの装着なしに可視化・体験化することに焦点を当てている。

我々は以前、音の可視化・体験化をめざし、「やまびこ」と呼ばれる現象をベースに音の伝搬速度を体感することができるシステム EchoPark[1]を構築し実験を行った。結果として体験者に音の速度や遅れを体感してもらうことができたが、音の性質を単純化していたため音の方向性や聞こえる音の変化など、システムの体験性における課題も見つかった。そこで今回、前システムでの知見を基に体験性の向上や機能の追加を行い、音をよりインタラクティブに体験できる新たな環境として EchoPark+を構築した。本システムでは音の伝搬や反射が可視化された仮想環境において自分の声の方向性や範囲を体の動作を使って変化させることができ、またその音を聴覚と視覚で体感することができる。

2. 音の可視化と仮想環境

2.1 音の可視化

本来目に見えない音を可視化し、視覚的にとらえることでさまざまな効果や体験を得ることができる。例えば実環境を撮影したパノラマ写真に音の軌跡を線で表すとといったシステムがある[2]。これに対し本研究では、特に近距離では体験しにくい音の伝搬遅延を始め、音を体験することを目的に、仮想環境における柔軟な環境設定のもと、リアルタイムで音の伝わる速度や反射の性質を疑似的に可視化し、直感的に音の伝搬をとらえることめざした。

†1 龍谷大学 大学院 理工学研究科

†2 龍谷大学 先端理工学部 知能情報メディア課程

2.2 仮想環境

構築する仮想環境では、実空間で発した利用者の声が仮想空間内に表示されることを基本に、実空間と仮想空間のつながりをより意識してもらうため、実空間の利用者の視点方向や身体動作が仮想空間での現象に反映されるようなインタラクティブな環境をめざした。

3. EchoPark+

前章で述べた環境を実現する EchoPark+を提案する。

3.1 基本概念

3次元 CG による奥行のある仮想環境を作り、その一番手前を利用者の位置とする。そこで利用者が声を発するとその音は仮想空間内に可視化される。ただし、ここで扱う音は音波伝搬を音響的に厳密なシミュレーションを行うのではなく、音が一定の進行方向を中心に広がり進行することと、その反射による単純化したモデルで考える。また、発生音をある範囲を持つ複数の点音源の進行で表し、音の強さは仮想空間内で可視化された音の面積で変わるものとした。また、音の伝搬性質である空気や地面等による吸収・減音、気象条件による影響[3]は、本システムでは現段階においては考慮していない。

利用者は自分の声が進む方向や音の強さ、障害物によって反射する音の様子を音の点群の進行として観察することができ、戻ってきた音を聞くことができる。

3.2 音の可視化とフィードバック

利用者が発した声は、点音源として仮想空間内で球のオブジェクト（以下「音オブジェクト」）の集合として表示され、進行方向に向かって放射状に拡散しながら秒速 340m で進行していく（図1）。進行した音オブジェクトはその後、障害物（以下「反射オブジェクト」）と接触すると、その進行方向と反射オブジェクト面との角度によってさまざまな

方向に反射する。この時、利用者側に音オブジェクトが返ってきた場合、利用者は視覚的なフィードバックに合わせて、返ってきた自分の声の聴覚的なフィードバックを得ることができる。この時、音オブジェクトの進行方向や拡散具合によって変化する音の聞こえる方向や大きさが、視覚・聴覚あいまって感じることができる。

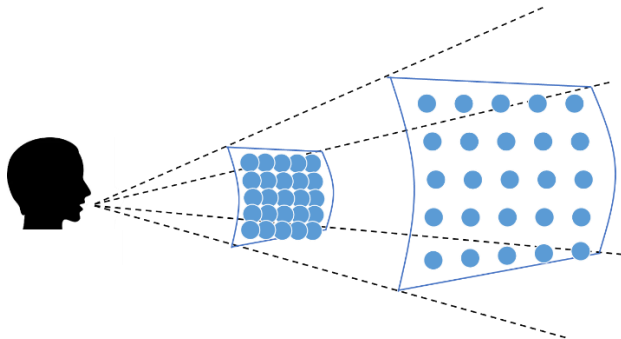


図1 仮想空間内の音オブジェクト

3.3 身体動作と音

本システムでは利用者の身体動作によって可視化される音に変化する。一つは利用者の向いている方向に応じて仮想空間内の音の進行方向が変化することである。利用者の向きと仮想空間内の音の進行方向は常に対応しており、利用者は任意の方向に声を発することができる。

またもう一つの機能として手を使って音の拡散を制御することができる。通常時はより広い範囲に音オブジェクトが拡散していくが、手をメガホンのように使うことでより集中して声を届かせることができる。ただし後述するように、認識条件の都合により、利用者は口元でメガホンのように音の広がりやを制御するのではなく、少し下の身体の前で両手間の広がりによって操作する。

3.4 プロトタイプシステム

実装したプロトタイプシステムでは、アンビエント・ウォールと呼んでいる46インチ液晶7台が連なった大画面ディスプレイを用いた。そのうちの利用者の正面にあたる5台分の画面に仮想空間を表示し、Kinect v2カメラをその前に設置する。利用者はその前に立ち、装着したマイクを通して声を発する（入力する）。またフィードバックされる音は、左右、中央に置かれた3つのスピーカーから音の到来方向に応じて出力される。システムの概要を図2に示す。

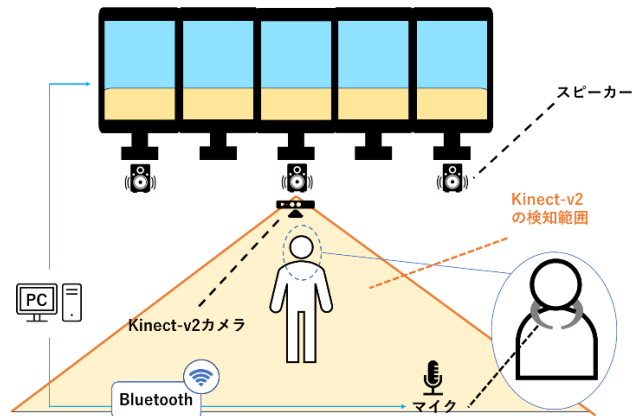


図2 EchoPark+システム概要

3.5 ソフトウェア処理

本システムでは大きく身体動作の処理、仮想空間の描画処理、音声処理の3つのモジュールからなる。ソフトウェア処理の概要を図3に示す。

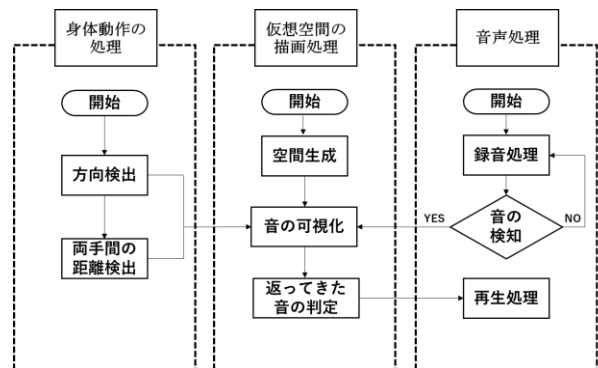


図3 EchoPark+のソフトウェア処理概要

3.5.1 身体動作の処理

身体動作の検出にはマイクロソフト社製のKinect v2を使用した。Kinect v2はRGBカメラや深度センサーを内蔵しており、深度画像データや人体のスケルトン骨格データなどを得ることができる。本システムではKinect v2から得られる計25点からなる骨格の座標データ(図4)を取得し、その一部を使用することで利用者の方向や手の動きに応じた処理を可能にした。

利用者の方向取得に関しては、2点間の絶対距離が変化しづらい左右の肩の座標を用いた。各座標のX、Z座標の値から相対距離を取得し、逆三角関数を用いて利用者の身体の正面方向の角度を算出した。両手間の距離は両手の座標のX座標の差を利用した。ただし、口元近くに手があると特徴点が混雑して安定しないため、少し下の位置で両手を操作することを前提とする。図4に利用した座標を示す。

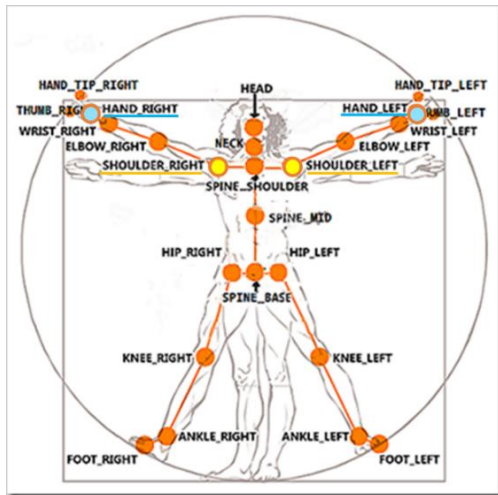
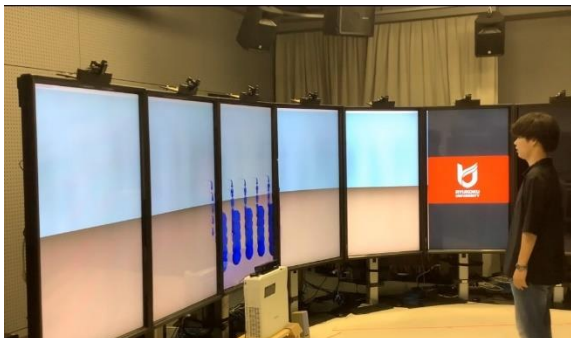


図4 Kinect v2 から得られる骨格の座標

3.5.2 仮想空間の描画処理

3次元CGの仮想空間はJavaFXを用いて構築した。描画処理では音声の入力を検知すると、その時の身体動作の処理で取得した方向に応じて音オブジェクトの集合が飛んでいくアニメーションを行う(図5)。そのアニメーションの拡散範囲は、同様に身体動作の処理で取得した両手間の距離に応じて、その距離が短いほど狭くなる(図6)。また反射オブジェクトに接触すると、接触時の角度に応じて音オブジェクトの進行方向が変化し、反射のアニメーションが行われる。



a. 正面方向の場合



b. 右方向の場合

図5 身体方向によって音の進行方向が変わる様子 a,b



図6 手の操作によって音の拡散角度を制御する様子

3.5.3 音声処理

音声処理では0.1sごとにバッファに音声を録音し、音オブジェクトが利用者側に返ってきた場合は音オブジェクトのアニメーションのタイミングに合わせて音声再生される。この時、音オブジェクトの到来方向に対応したスピーカーから音声再生される。また再生される音の大きさは音オブジェクトの集合の面積によって変化し、その面積が大きいほど音は小さくなる。したがって、返ってきた音の進行距離やもとの拡散が大きいほど集合の面積は大きくなるため再生される音は小さくなる。

4. 評価実験

実装したプロトタイプシステムを用いて、身体動作による音の進行方向や拡散範囲の制御がどの程度可能か、また視覚的および聴覚的なフィードバックを合わせることで、より直感的に音をとらえることができるかどうかを検証するための評価実験を行った。

4.1 実験概要

実験は以下の手順で行った。被験者は20代の男女10人である。

- ① 被験者には既定の位置に立ってもらい身体方向のキャリブレーションを行う。
- ② 反射角度の違う障害物を複数置き、それぞれの方向に向かって声を出し反射音を聞いてもらう。
- ③ ②を手の制御無しで声を出す(音の拡散範囲が広い)場合と手を使って音の拡散範囲を絞る場合で試してもらう。
- ④ アンケートIに答えてもらう。

- ⑤ 反射方向や返ってくるボールの数で反射音が変わることを説明し、再度システムを体験してもらおう。
- ⑥ アンケートⅡに答えてもらう。
- ⑦ 600m 先の動物的を狙って声を出してもらおうミニゲームを行う。
- ⑧ アンケートⅢに答えてもらう。

手順①ではシステム開始時にキャリブレーションを行うことで個人に依存する方向のずれを調整する。手順②に関しては視線だけではなく体もその方向を向くように意識してもらった。また手順③の手を使った制御では肩の位置が手で隠れてしまわないように胸の前あたりで行うことを意識してもらった。実験の様子を図7に示す。

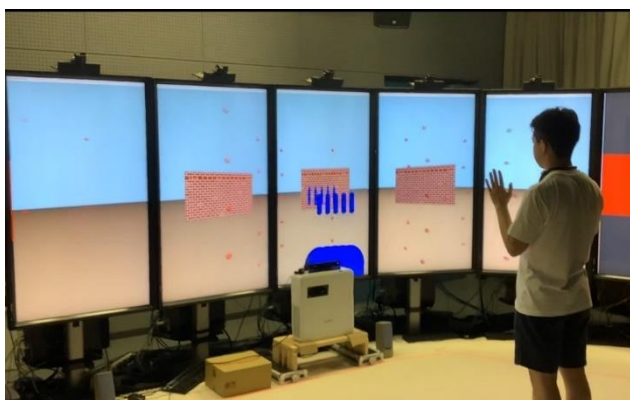


図7 実験の様子

4.2 結果

手順④で行ったアンケートⅠの結果を図8に示す。横軸は人数である。

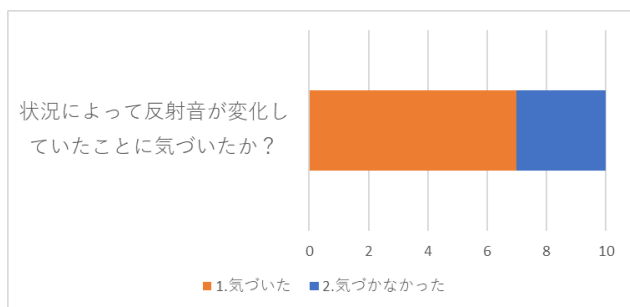


図8 アンケートⅠの結果

また、「気づいた」と答えた被験者にその変化について(複数回答あり)で答えてもらった。回答をまとめたものを表1に示す。

表1 被験者が気づいた音の変化

変化の内容	回答数(人)
音の聞こえる方向について	5
音の大きさについて	1
その他	4

手順⑥で行ったアンケートⅡの結果を図9, 10に示す。

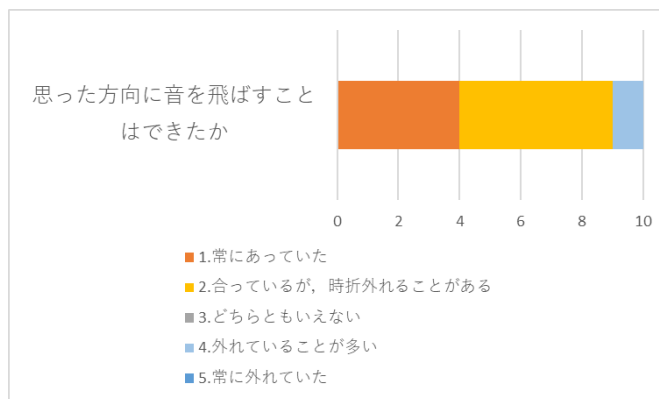


図9 アンケートⅡの結果1

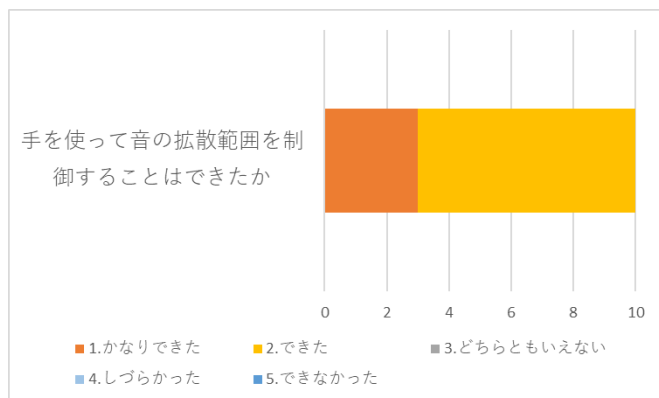


図10 アンケートⅡの結果2

手順⑧で行ったアンケートⅢの結果を図11に示す。

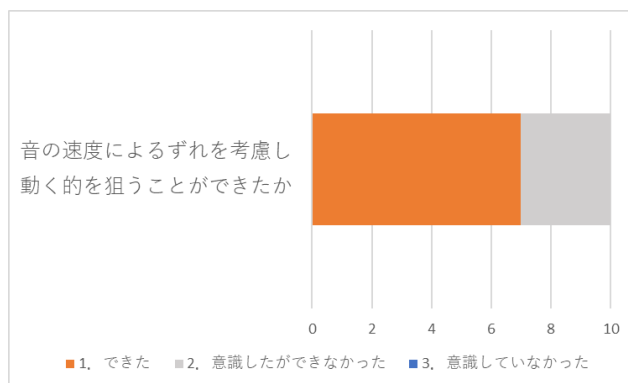


図11 アンケートⅢの結果

5. 考察

5.1 身体動作による制御について

まず体の向きに応じた音の進行方向の制御と、手を使った音の拡散範囲の制御は図 9, 10 からわかるように全体的に高評価だった。特に手を使った音の制御は被験者全員が行うことができていた。しかし、手の動作を胸の前で操作することを意識してもらったが、システムを体験しているうちに口の前で手の動作を行う被験者が一定数確認できた。これは、声を制御する動作としては口に手を当てる方が自然なため、方向の制御や画面に夢中になると無意識で自然な動作を取ってしまうためだと考えられる。また図 9 で半数の人が「時折外れることがある」と答えているが、先ほど述べた手の動作が原因の一つである可能性が高い。そのため肩の座標のみによらない方向の検出が必要であると考える。

5.2 音の可視化と聴覚的なフィードバックについて

音のフィードバックに関しては今回の実験ではあまり良い評価を得られなかった。図 8 では 3 人の参加者が音の変化に気づけなかったと答えている。また被験者が気づいた音の変化として表 1 を見てみると、音の聞こえる方向に関しては 5 人が気づいているが、音の面積に応じた音量の変化に関しては 1 人以外気づいていない結果となった。原因として音の変化量が小さかったことや、帰ってくる音の拡散の範囲と音の大きさが結びつきにくかったのではないかと考えられる。そのためより音の大きさをイメージできるような視覚的なフィードバックを実装する必要があると考える。しかし、音の速度を考慮した伝搬遅延を想定する必要がある声を使った的当てゲームでは、全員に音の速度を意識しながら、ゲームを行なってもらうことができたと考えている。よって音の速度を視覚的にとらえることのできる環境としてはある程度実現できたと考える。

6. おわりに

本論文では音の伝搬や反射を可視化する仮想環境において、声や体の動作を使って、音をインタラクティブに体感するシステム EchoPark+を提案した。その結果、体の動作を使った体験としては良い評価を得たものの、改善点も見つかったため、今回の結果をふまえて発展させていきたい。また音の聞こえ方に応じた音の可視化に関しては音響的処理や、新たな音の視覚的表現など今後もさらなる検討が必要である。

謝辞 被験者実験への参加者全員に謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 田中聖也, 外村佳伸: EchoPark: 仮想やまびこで感じる音の伝搬, 情報処理学会シンポジウムインタラクシオン 2023, 3A-05, 2023.
- [2] 尾本章, 中原雅考, 高島和博: 音の可視化技術, 映像メディア学会誌, 65 巻 4 号 p.453-458, 2011.
- [3] 山本剛夫: 騒音の伝搬特性, 環境技術学会ジャーナル, 6 巻 2 号 p.79-88, 1977.