

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500110

研究課題名(和文) インタラクティブ音空間システムの構築

研究課題名(英文) Development of Interactive Spatial Hearing systems

研究代表者 岩谷 幸雄 (IWAYA YUKIO)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：10250896

研究成果の概要(和文)：

臨場感あふれる 3 次元音空間の提示システムの構築を目的として、聴取者の移動を可能とするインタラクティブ音空間システムの要素技術とプロトタイプシステムの試作を行った。主に、音空間レンダリング技術の高精細化、聴取者の動きに応じた音空間提示法の開発、プロトタイプシステムの試作について検討を行った。その結果、知覚上、背景音も含めて音空間を動的にレンダリングするシステムの試作を行うことができた。

研究成果の概要(英文)：

The objective of this project was development of three-dimensional auditory display with high-sense of presence. An interactive system, in which listener can move freely, was aimed. Mainly, three points of study were investigated, such as sound rendering techniques in three-dimensional space, auditory display technique responsive to listeners' movements, and development of a prototype system of interactive system. As a result, a dynamic auditory display system was developed and evaluated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ、聴覚ディスプレイ、頭部伝達関数、音空間、臨場感、クlostトークキャンセラ

1. 研究開始当初の背景

(1) 聴覚は、常に前方向をセンシングしており、その入力情報は、臨場感を司る大きな要因の一つである。しかし、5.1チャンネルシステムも含めた現在の音響装置によって再生される音は、スピーカ再生では、最適聴取点に頭部を置くことが必要であったり、再生される音をじっと身じろぎもせず聴取することが求められる。さらにヘッドホンを使った

再生も頭内に音がこもってしまう(頭内定位)など、パッシブな聴取にとどまり臨場感に欠けるものとなっている。

(2) 一方、聴覚ディスプレイと呼ばれる音響バーチャルリアリティ技術に関する研究が国内外で盛んに行われており、音の位置情報については、頭部伝達関数を個人化することで一定の再現性能が達成できる。しかし、位

置情報は、臨場感を売るためのひとつの条件であって、全てではない。これまでのこの分野の研究から、聴取者が積極的に音空間へ働きかけることで臨場感が飛躍的に向上する可能性があることが示されている。例えば、Toshima らの開発したテレヘッドでは、聴取者の頭部の動きに応じ擬似頭が動くことにより臨場感が増すという報告もあるし、大内らは頭部運動感応型聴覚ディスプレイ技術を使った視覚障害者用訓練システムを構築し、聴取者が音の位置を当てそれを叩くという操作により、音源定位の向上のみならず、フェースコンタクト能力や障害物検知能力への転移効果なども確認されている。これらの知見から、聴取者が音源・音場に対して積極的に働きかけることが可能な音空間の構築が、臨場感の飛躍的向上につながる。

(3)また、日本国としても U-Japan 戦略におけるユニバーサルコミュニケーションの一つとして臨場感通信技術が掲げられているなど国内外でも臨場感提示システムへの関心が高まっている。

2. 研究の目的

研究期間内に行う事項は以下の3点であった。

(1) 音空間レンダリング技術の高精細化

①臨場感あふれる音空間を提示するためには、無響空間で測定した頭部伝達関数による響きのない位置情報だけでなく、さまざまな分離現象等を持つ、豊かな響きのある音情報をレンダリングする技術が必要となる。これまで培ったレンダリング技術を元にさらに高精細化する。

②基本となる頭部伝達関数を個人ごとに合わせて必要条件であるが、敢えてデフォルトすることで、伝えたい音空間の属性を強調することができるようになる可能性があり、これを検討する。

(2) 聴取者の動きに応じた音空間提示法の開発：聴取者が音場に積極的に働きかけるためには、聴取者の動きに応じた音空間の提示方法が必要になる。背景音や音のオブジェクトなどについても、どのように提示するべきかについて、心理物理学的手法を取り入れた聴取実験などにより考察する。

(3)プロトタイプシステムの試作：レンダリング技術や聴取者の動きに応じた音場の提示を考慮した音空間提示システムを構築し、問題点やその効果を洗い出す。

3. 研究の方法

(1) 音空間レンダリング技術の高精細化：

①回折音のレンダリング手法を検討し、聴覚ディスプレイミドルウェアに組み込む。また、3次元音空間ミドルウェアの改編にも努力し距離遅延やたたみこみのFFT化などによる48kHz サンプリング化などを終了することができた。

②背景音をレンダリングするに当たり、環境音の周波数スペクトルを解析し、その特性を理解する。

③頭部伝達関数をデフォルメした際の音像定位の変化について系統的に調べる。

(2) 聴取者の動きに応じた音空間提示法の開発：

①頭部運動に感応する背景音の音空間臨場感に対する影響：提示する音空間のリアリティを向上するために、背景音の付加を試みる。このとき、背景音も頭部運動に感応させるのが良いのかどうか、またどのような空間音圧分布を与えたらよいのかについても聴取実験を通して考察する。

②聴覚アバターロボットを用いた音空間転送と頭部運動感応の効果：聴覚アバターロボットテレヘッドを使って遠隔地（別部屋）のスピーカアレイの正中面定位の実験を行う。頭部運動に感応した音空間の転送が定位にどのように影響するのかを調べる。

(3) プロトタイプシステムの試作：頭部運動や身体の移動などを含めた自由聴取が可能なインタラクティブ音空間システムを試作し、その効果を調べる。特に、東北大学電気通信研究所内にある包囲型スピーカアレイ（157チャンネルスピーカ）を用いた不整形アンビソニックス再生システムと、動的クロストークキャンセラを用いた聴覚ディスプレイシステムについて注力する。

4. 研究成果

(1) 音空間レンダリング技術の高精細化

①回折音のレンダリングアルゴリズムを検討し、Calamia-Svenssonの手法を改良し、従来我々が構築してきたソフトウェア聴覚ディスプレイミドルウェアに実装した。パラメータとして聴取者の位置情報及び頭部の方向情報、音源の位置情報、及び障壁の配置位置情報を入力することで、方向特性を付加した回折音を出力する仕様とした。

②背景音をレンダリングするにあたり、実環境において録音された環境音の周波数スペクトルを解析し、レッドノイズがそれに近いことが分かった。

③頭部伝達関数のピークやディップを個人

に合わせてデフォルメするための、高精度空間補間方法について検討を加えた。ピークの深さや位置を正確に補間、再現するために、共通極モデルでモデル化を行い、 z 平面上で補間を行うことにより音源に対して影とならない耳で精度が向上することを確認した。一方、影となってしまう角度についてこの方法は、うまくモデル化が行えず時間軸や周波数軸における線形補間とあまり精度がかわらないことが示された。また、ディップ等をデフォルメすると知覚される上昇角が一定程度制御できる可能性が示唆された。

(2) 頭部運動に感応する背景音の音空間臨場感に関する影響：

① 通常的环境音と同様のスペクトルを持つレッドノイズに対して、頭部の動きに応じて頭部伝達関数を用いて空間性を与えた背景音を与え、両耳間相互相関関数を制御する方法を検討し、単純に背景音をモノラルで加えるよりも、音空間の臨場感が向上することがわかった。しかし、この場合には頭部運動の有無による、効果の向上は有意ではなかった。このため、空間の一部に音圧の重みを与え、その部分をアンカーとして頭部運動に追従させることをこころみ(図1)た。その結果、頭部運動がある場合に、聴取者の感じる音空間が安定し、全体の臨場感が向上することが示唆された。

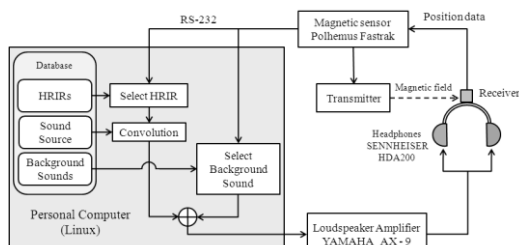


図1 頭部運動感応型背景同時提示聴覚ディスプレイ概要図

② 聴覚アバターロボットを用いた音空間転送と頭部運動感応の効果を検査した結果、ロボットの擬似頭を頭部運動に感応させることで音像の上昇角定位が向上することが確認された。さらに、感応の度合いは、必ずしも実動作に完全に対応する必要はなく、微小な運動であっても、聴取者の動きに正の相関を持つものであれば、効果に有意差が無いことが分かった。これは、微小な頭部運動であっても音空間のリアリティを向上することを示唆する重要な結果である。

(3) プロトタイプシステムの試作

① 157 チャンネル不整形包囲型スピーカアレイによるアンビソニックス音空間再現システムの試作：音空間のリアリティを向上させる

には、単に頭部伝達関数をたたみこんで音の位置情報だけを与えるのではなく、聴取者を取り囲むように配置し、頭部運動に感応するような背景音が効果的であることがわかった。このため、本研究所の設備としてあった157チャンネル包囲型マイクロホンアレイ上に、アンビソニックス集音再生原理に基づく、高精細音空間提示システムを設計することとした。本原理に基づけば、聴取点位置における平面波の到来の物理現象は、実空間のそれと正確に一致させることができる。したがって、聴取者は自由に頭部を動かすことができ、自然な物理現象として頭部伝達関数がたたみこまれる。一方、アンビソニックス集音再生原理は球面調和解析に基づく手法であるが、包囲型マイクロホンアレイは矩形状に配置されているため、有効な実チャンネル数を見積もる必要がある。検討の結果、5次の次数までは音場を作ることができることを明らかにした。また、音の制御にはこれまで、オフラインで編集した音を使うのみであったが、本年度はフランスのIRCAMで考案・作成された pure data (PD) を導入することにし、準リアルタイムでインタラクティブ性のある音場を構成することが可能となった。

② トランスオーラル型の耳介開放型のインタラクティブ音空間システム：クロストークキャンセラを構成するためには、スピーカから両耳までの伝達関数に共通零点がないこと、大きなレベル差がないことが望ましい。しかしながら、クロストークキャンセラを頭部運動に追従させるために、頭部位置に応じてクロストークキャンセラを構成する必要があり、スピーカからみて頭部の影側に耳が位置するときには、フィルタが不安定になりがちであることが分かった。これを回避するには、数チャンネルのスピーカアレイで頭部を囲む必要がある。今後、このシステムを発展させるためには、聴取位置における頭部運動に対してどの位置にスピーカを配置すべきであるかを検討する必要がある。また、アンビソニックスに基づく音空間合成システムについても、不均一スピーカアレイを想定した新しいデコーディング手法を提案し、その有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Iwaya, Yukio, Sato, Wataru, Okamoto, Takuma, Otani, Makoto, Suzuki, Yoiti, interpolation method of head-related transfer functions in the z -plane domain using a common-pole and zero

model, Proceedings of International congress on Acoustics 2010, 査読有, CDROM book, 2010, 5 pages in CDROM.

- ② Trevino, Jorge, Okamoto, Takuma, Iwaya, Yukio, Suzuki, Yoiti, “High order Ambisonic decoding method for irregular loudspeaker arrays,” Proc. of International congress on Acoustics 2010 (ICA2010), 査読有, 8 pages in pdf proceeding book, 2010.
- ③ Iwaya, Yukio, Masuyama, Yusuke, Otani, Makoto, Suzuki, Yoiti, “Sound localization in median plane using an avatar robot “TeleHead” with synchronization of a listener’s horizontal head rotation,” 査読有, 6 pages in pdf proceeding book, 2010.
- ④ Yukio IWAYA, “Sound space perception in virtual environments with head movements,” Proc. of International workshop on the Principles and Applications (invited paper), 査読無, 2009, 6 pages in CDROM proceeding book.
- ⑤ Satoshi Yairi, Yukio Iwaya, Maori Kobayashi, Makoto Otani, Yoiti Suzuki, Takeru Chiba, “The effect of ambient sounds on the Quality of 3D virtual Sound space,” Proc. of the fifth IEEE international conference on Intelligent information hiding and multimedia signal processing, vol. 1, 2009, pp. 1-4, 査読有.
- ⑥ Akio Honda, Hiroshi Shibata, Souta Hidaka, Yukio Iwaya, Jiro Gyoba, Yoiti Suzuki, “Transfer effects on communication and collision avoidance behavior from playing a three-dimensional auditory game based on a virtual auditory display,” 査読有, Applied Acoustics, Vol. 70, 2009, 868-874.

[学会発表] (計 6 件)

- ① トレビーニョホルへ, 岡本拓磨, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, Comparison of Ambisonic decoding methods for an irregular, 157-channel loudspeaker array, 日本音響学会秋季講演論文, 2010 年 9 月 15 日, 大阪市
- ② 韓喆洙, 岡本拓磨, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, 動的クロストークキャンセラを用いた頭部運動感応型聴覚ディスプレイ, 2010 年度電気関係学会東北支部連合大会, 2010 年 8 月 26 日, 八戸市
- ③ Yukio IWAYA, “Effects of head movement on sound space perception,”

Mini-RIEC workshop on multimodal perception (Invited lecture), 2009 年 4 月 25 日, 仙台市

[図書] (計 3 件)

- ① Y. Iwaya, M. Otani, Y. Suzuki, Development of virtual auditory display software responsive to head movement and a consideration on spatialised ambient sound to improve realism of perceived sound space, a book chapter of “Principles and Applications of Spatial Hearing,” World Scientific, 2011, pp. pp. 121-135 (13 pages).
- ② Akio Honda, Hiroshi Shibata, Souta Hidaka, Yukio Iwaya, Jiro Gyoba, Yoiti Suzuki, “Transfer Effects on Auditory Skills from playing virtual three-dimensional auditory display games,” Nova Science Publishers, Book chapter of New research on Acoustics, 2009, pp. 1-20 (20pages).

[その他]

ホームページ等

<http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/~iwaya/iwaya.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩谷 幸雄 (IWAYA YUKIO)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：10250896