

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：21401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700120

研究課題名(和文) 並列畳み込み処理に基づく複数聴取者のための仮想音空間共有システムの開発

研究課題名(英文) Development of a system for multiple listeners to share the same virtual acoustic field based on convolution with parallel processing

研究代表者

渡辺 貫治 (Watanabe, Kanji)

秋田県立大学・システム科学技術学部・助教

研究者番号：20452998

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：音源から聴取者の鼓膜面上までの音の伝搬を表す頭部伝達関数(head-related transfer function, HRTF)を音源信号に畳み込むことで、聴取者に仮想的な音源を知覚させることができる。本研究では、計算機の描画用プロセッサであるGPU(graphics processing unit)を用いた並列処理によって、複数の聴取者に同じ仮想音空間を共有するシステムについて検討を行った。システムを実現するため、聴取者の位置及び頭部の向きを画像処理によって検出するインタフェースを実装した。聴取者の人数や移動範囲に制限があるものの、同じ仮想音源を知覚させることが可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)： A head-related transfer function (HRTF) represents characteristics of sound propagation from a sound source to each eardrum of a listener. The sound convolved with HRTF makes a listener localize a virtual sound. In this study, the system that is able to present the same virtual acoustic field to multiple listeners is investigated by processing the convolution in parallel on graphics processing unit (GPU). This system can detect the position and direction of each listener's head by image processing. Although there were a few limits to detect moving range and the number of listeners, it was demonstrated that the listeners perceived the same sound images.

研究分野：総合領域

キーワード：聴覚ディスプレイ 頭部伝達関数 GPU 複数聴取者 複数音源 マルチユーザー マルチチャンネル共有

1. 研究開始当初の背景

(1) 聴取者の両耳に入力される音は、音源から出力され直接聴取者に到達する音に加え、室の床や壁面、あるいは聴取者自身の身体において反射・回折した音が重ね合わさったものである。音源と聴取者が存在する空間を一つのシステムと考えると、音源を入力、鼓膜面上の音を出力とすることで、伝搬における反射・回折の影響を伝達関数として総合的に表現できる。特に、室内の反射・回折の影響がない場合を頭部伝達関数と呼ぶ。任意の音信号に頭部伝達関数を畳み込むことで、ある位置に音源があるときに両耳に入力される信号を模擬することができ、聴取者に仮想的な音源を知覚させることができる。

(2) 頭部伝達関数などを用いて仮想音源を提示・制御するシステムを一般に聴覚ディスプレイシステムと呼ぶ。頭部伝達関数は音源位置に依存するため、仮想音源ごとに頭部伝達関数を切り替えて畳み込みを行う必要がある。研究代表者は、これまでの研究において、計算機の描画用プロセッサである graphics processing unit (GPU) を用いた並列処理によって、多数の音源方向に対応する頭部伝達関数を同時に処理することで、多数の仮想音源を制御する聴覚ディスプレイの実装を行った(科研費, 21700140)。

(3) 聴覚ディスプレイに関する先行研究では、想定している聴取者が一人である。しかし、遠隔会議などのようなシステムでは、同じ空間を複数の聴取者が共有することとなる。その場合、ある音源に対し、各聴取者からの相対的な音源位置は異なるため、それぞれ並列に処理する必要がある。そこで、GPUを用いた多数の仮想音源を同時に処理する聴覚ディスプレイを応用し、多数の聴取者に対する処理を同時に行う聴覚ディスプレイを実現できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

頭部伝達関数の畳み込み処理によって仮想音源を提示する聴覚ディスプレイシステムを発展させ、複数の聴取者が同じ仮想音空間を共有可能なシステムの実現を目的とする。そのために、研究代表者が開発した GPU に基づく聴覚ディスプレイを拡張し、聴取者ごとに対応した頭部伝達関数の畳み込みを同時に行い、それぞれの音信号を適切に提示する。

(1) 複数の聴取者が仮想空間を共有するシステムの実現のために、本研究課題では、ある一つの仮想音源を複数の聴取者が同じ位置にあると知覚するように実装を行うことを最初の目標とした。各聴取者は異なる位置に存在し、聴取者から見た仮想音源の位置は異なるため、それぞれ対応した頭部伝達関数を選択して畳み込むこととなる。そのためには、まずシステムが聴取者ごとの位置を検出

する、従来のシステムにはないインタフェースが必要である。そこで、そのようなインタフェースを実装し、所望の動作が行われるかを評価する。

(2) 実装するインタフェースでは、複数の聴取者の位置、及び頭部の向きが検出されなければならない。また、得られた位置・頭部の向きの情報に追従して、頭部伝達関数が適切に選択されなければならない。さらに、最終的には複数の聴取者が同一の仮想音源を知覚することが示されなければならない。以上の評価を、客観的・主観的に行い、現時点でのシステムの性能を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究課題で実装するシステムでは、図 1 のような仮想空間を想定する。

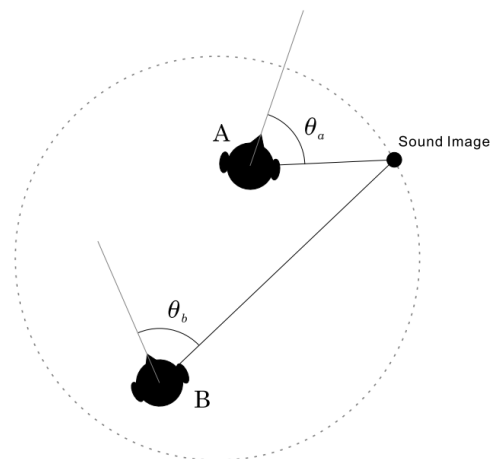


図 1. 共有する仮想空間のイメージ

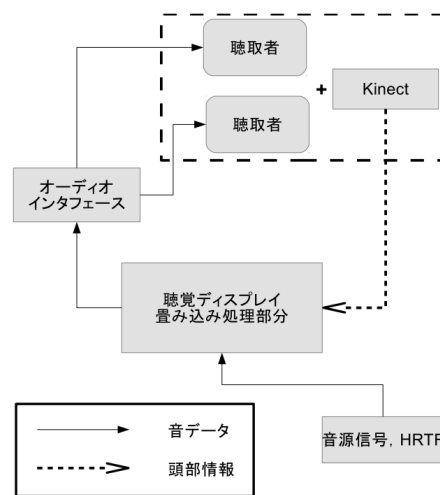


図 2. 構築した聴覚ディスプレイシステムの構成

ある仮想音源に対し、聴取者 A, B が存在する場合、聴取者から見た音源の方向は異なる。すなわち、聴取者 A には θ_a の方向、聴取者 B には θ_b の方向の頭部伝達関数をそれぞれ

選択し、同時に畳み込んだ音を提示することで同じ仮想音源を共有可能とする。各音源方向は、聴取者の位置と聴取者の頭部の向きから算出される。そのために、位置と頭部の向きを取得するセンサとして、Microsoft 社製の Kinect for Windows を用いることとした。複数の頭部伝達関数を同時に畳み込む処理については既実装しているため、本研究では、聴取者を検出してその情報を渡すインタフェース部分の構築を行った。図 2 に構築した聴覚ディスプレイシステムの構成を示す。破線で囲まれた部分が、本研究で構築したインタフェース部である。

(1) システムの評価として、聴取者の位置と頭部の向きに対して、適切な頭部伝達関数が選択されているかを確認する客観評価実験を行った。聴取者の人数は Kinect の仕様で検出可能な 2 人とした。評価は、聴取者が異なる位置に立っているがどちらも正面を向いている場合と、頭部の向きも異なる場合の 2 種類について行った。

(2) システムの別の評価として、複数の聴取者が同一の映像を知覚するかを主観評価実験によって評価した。実験では、システムによって提示された仮想音源の方向を被験者に回答させた。

(3) 使用していた Kinect の仕様によって、認識できる人数が 2 人までという制限があった。また、頭部の回転も ± 40 度（正面を 0 度）を超えると検出精度が悪くなる、という問題があった。そこで、別の画像認識の方法を検討中である。特に物体の回転に頑健な方法を実装しようと考えているが、研究期間内にその性能を評価することはできなかった。

4. 研究成果

(1) 図 3 は、ある位置に仮想音源が提示されている場合のシステムが基準とする音源の方向 (θ_s) と聴取者 A から見た音源の方向 (θ_a) を表している。実験では、図の点線の円軌道で音源を移動させつつ、聴取者の位置を検出して θ_a を算出することで、頭部伝達関数の選択が適切に行われているかを検証した。聴取者 B についても、円の中心に対して A と対称の位置に立たせて同様に検証した。図 4 に聴取者 A について結果を示す。図の横軸はシステムが提示する仮想音源の方向 (θ_s)、縦軸は、聴取者 A から見た音源方向 (θ_a) である。印はシステムが算出した値をプロットしたもので、実線は図 3 から幾何学的に求めた理論値である。図から見て取れるように、理論値とややずれているものの聴取者から見た音源方向に対応する頭部伝達関数が適切に選択されていることがわかる。

図 5 は、同様の実験を聴取者に頭部を左右に回転させるようにして実施した結果である。動的な変化であるため、時間ごとにプロットしてある。横軸は時間、縦軸はシステム

が検出した聴取者の頭部の向き（下図）と聴取者に提示する仮想音源の方向（上図）である。どちらもほぼ同じ変化をしていることから、頭部運動に追従して遅延なく提示方向を制御できていると言える。

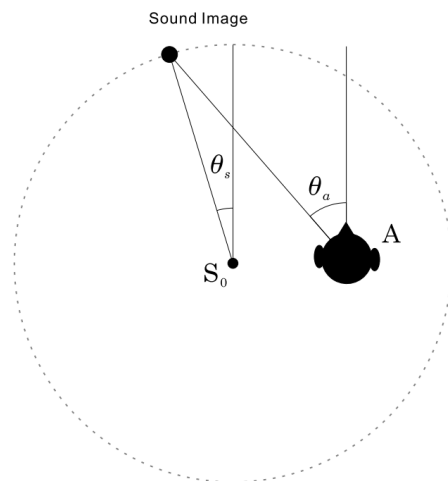


図 3. システムの基準に対する仮想音源の方向と聴取者から見た仮想音源の方向

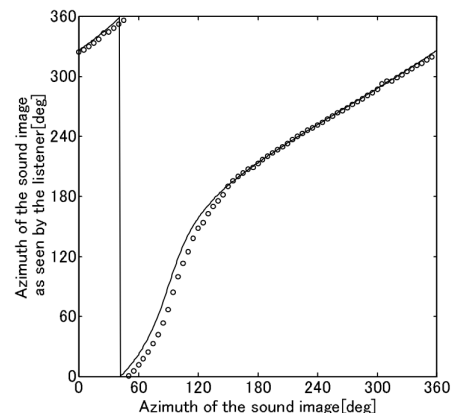


図 4. 提示した方向 θ_s に対する選択された頭部伝達関数の方向 θ_a (聴取者 A, 実線は理論値)

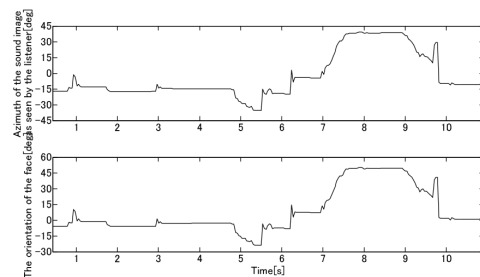


図 5. 聴取者の頭部回転（下）とシステムが算出した聴取者から見た音源方向（上）の時間変化

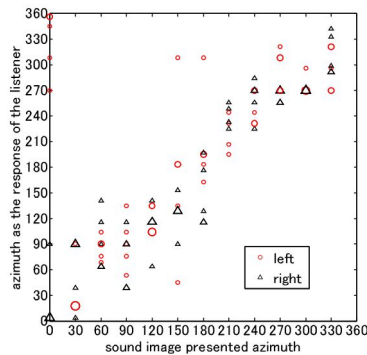


図6. 方向知覚実験の結果

(2) 図6は、システムが提示した仮想音源の方向に対して、異なる2地点(図3の中心 S_0 に対して左右)で聴取したときに知覚した音源方向をプロットしたものである。ただし、回答は聴取者から見た方向であったが、それを S_0 が基準となるように変換してプロットした。横軸が提示方向、縦軸が変換した回答方向であり、とで聴取位置の違いを示している。とが一致していれば、異なる位置で聴取していながら同じ位置に仮想音源を知覚したといえる。図から、全体的な傾向としては回答が一致しているといえる。ただし、ばらつきも大きく、同じ仮想音源を共有させるためには、さらに検討が必要である。

以上の検討から、いくつかの制限があるものの、複数の聴取者の位置、及び頭部の向きを検出し、それぞれの聴取者に対し適切な仮想音源を提示可能であることが示された。今後の展望としては、聴取者の人数を増やすこと、より自由に移動が可能なシステムを実現することが考えられる。そのためには、ネットワークの利用や複数のセンサを用いることで、固定カメラの制約によらない検出方法やインタフェースの構築が重要であると考えている。

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2件)

Kanji Watanabe, Ryosuke Kodama, Sojun Sato, Shouichi Takane, and Koji Abe, Influence of flattening of head-related transfer functions in low-frequency region on sound localization, *Acoust. Sci. & Tech.*, 査読有 Vol. 35(4), 2014, 192-200. DOI: 10.1250/ast.35.192

Kanji Watanabe, Yukio Iwaya, Yo[^]iti Suzuki, Shouichi Takane, and Sojun Sato, Dataset of head-related transfer functions measured with a circular

loudspeaker array, *Acoust. Sci. & Tech.*, 査読有, Vol. 35(3), 2014, 159-165. DOI: 10.125/ast.35.159

[学会発表](計8件)

渡邊貫治, 赤坂広大, 佐藤宗純, 高根昭一, 安倍幸治, 頭部インパルス応答の量子化精度に基づく簡略化の一検討, 日本音響学会講演論文集, 2014年9月3-5日, 北海学園大学(北海道・札幌市)。

Kanji Watanabe, Yusuke Oikawa, Sojun Sato, Shouichi Takane, and Koji Abe, Development and performance evaluation of virtual auditory display system to synthesize sound from multiple sound sources using graphics processing unit, International Congress on Acoustics, 2013年6月2-7日, カナダ(モントリオール)

鈴木康平, 渡邊貫治, 佐藤宗純, 高根昭一, 安倍幸治, 複数聴取者向け聴覚ディスプレイシステムに用いる聴取者位置取得インタフェースに関する検討, 電気関係学会東北支部連合大会, 2013年8月22-23日, 会津大学(福島県・会津若松市)。

鈴木康平, 渡邊貫治, 佐藤宗純, 高根昭一, 安倍幸治, Kinectを用いた複数聴取者向け聴覚ディスプレイシステムの構築に関する検討, 日本音響学会聴覚研究会, 2013年8月9-10日, 東北大学(宮城県・仙台市)。

渡邊貫治, 及川祐亮, 佐藤宗純, 高根昭一, 安倍幸治, GPGPUに基づく複数の仮想音源を合成する聴覚ディスプレイにおける加算処理の高速化及び性能評価, 日本音響学会講演論文集, 2013年3月13-15日, 東京工科大学(東京都・八王子市)。

渡邊貫治, 及川祐亮, 佐藤宗純, 高根昭一, 安倍幸治, GPGPUに基づいた複数の仮想音源を制御可能な聴覚ディスプレイシステムの実装及び評価, AESジャパンコンファレンス・仙台2012, 2012年10月9-11日, せんだいメディアテーク(宮城県・仙台市)。

及川祐亮, 渡邊貫治, 佐藤宗純, 高根昭一, 安倍幸治, 複数音源を提示可能な聴覚ディスプレイのGPGPUに基づいた構築と評価, 日本バーチャルリアリティ学会大会, 2012年9月12-14日, 慶應義塾大学(神奈川県・横浜市)。

及川祐亮, 渡邊貫治, 佐藤宗純, 高根昭一, 安倍幸治, GPGPUに基づく聴覚ディスプレイシステムにおける提示可能音源数の聴取実験による評価, 電気関係学会東北支部連合大会, 2012年8月30-31日, 秋田県立大学(秋田県・由利本荘市)。

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

The RIEC HRTF Dataset,
<http://www.riec.tohoku.ac.jp/pub/hrtf/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 貫治 (WATANABE KANJI)

公立大学法人秋田県立大学・システム科学技
術学部・助教

研究者番号：20452998

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：