

反射音のリアルタイム畳込み機能および頭部回転追従機能を搭載した3次元聴覚ディスプレイの開発*

☆堀越健也 (千葉工大院・工学研), 飯田一博 (千葉工大・工)

1 はじめに

音源信号に頭部伝達関数(HRTF : Head-Related Transfer Function)を畳込み, ソフトウェア上で音像を制御する聴覚ディスプレイが開発されてきた. その中には, 1 次の反射音に対応した聴覚ディスプレイ[1,2]があり, 高次の反射音をリアルタイムに畳込む聴覚ディスプレイが三橋他[3]によって開発された.

一方, モーションセンサを用いて受聴者の頭部運動に追従し, 音像を制御する動的聴覚ディスプレイ[4]がある. 受聴者の頭部運動によって, 直接音や反射音の入射方向が変化する度に, 入射方向に対応する HRTF を音源信号にリアルタイムに畳込む必要があるため, 高次の反射音を含む場合, リアルタイムに畳込むことは難しい.

本稿では, 高次の反射音をリアルタイムで畳込み, 頭部回転運動にも追従する機能を開発し, 本研究室で開発している聴覚ディスプレイ SIRIUS に搭載したので, アルゴリズムについて報告する.

2 聴覚ディスプレイ SIRIUS の基本構成

SIRIUS は Windows 7 以降搭載の PC にて動作する. 音源信号に頭部インパルス応答 (HRIR : Head-Related Impulse Response)をリアルタイムに畳込み, 音像を制御する. 音源信号は WAVE 形式(48000 Hz, 16 bit)に対応し, ハードディスク上に HRIR データベース(応答長 : 512 サンプル, 約 11 ms)を持つ. このデータベースは, 日本人成人 120 耳の上半球正中面 7 方向($0^\circ \sim 180^\circ$, 30° 間隔)の HRIR で構成される. さらに, 両耳間時間差(ITD : Interaural Time Difference)と組み合わせることで 3 次元方向に展開し[5], 任意の方向への音像の制御を実現している. また, GUI 上でマウスを用いて, 音像位置の設定, 畳込む HRIR および音源の変更を行うことができる. さ

ら, ヘッドトラッカ(9 軸モーションセンサ ZMP IMU-Z), 3D 位置センサ (Kinect for Windows)を用いて, 受聴者の頭部運動, 位置情報を反映した音像制御が可能である. 開発言語は Visual C++, C#である. Fig. 1 に SIRIUS の処理フローを示す.

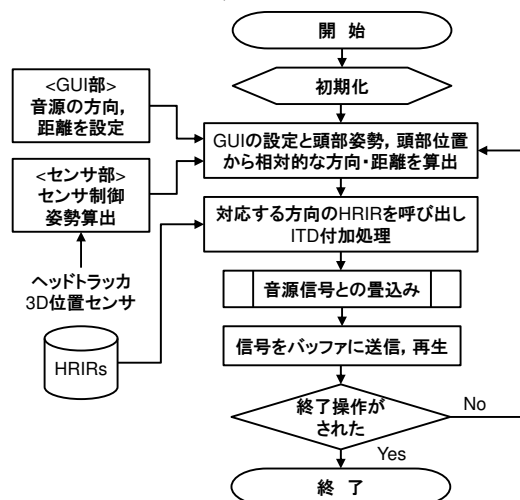


Fig. 1 聴覚ディスプレイ SIRIUS の処理フロー

3 反射音のリアルタイム畳込み

空間において音源から発せられた音響信号は, 壁や天井による反射や, 障害物による回折等の影響を受ける. その特性を表したものを空間インパルス応答(RIR : Room Impulse Response)という. RIR に左耳および右耳の HRIR を畳込んだ, バイノーラルインパルス応答(BRIR : Binaural Room Impulse Response)を音源信号に畳込むことで, その空間を再現することができる.

しかし, RIR が長い場合, 従来の overlap-add 法では音源信号と BRIR をリアルタイムに畳込むことは難しい.

本機能では三橋他[3]によって開発された, 音源信号と BRIR をフレーム (1 フレーム : 512 サンプル)で分割し, 反射音をリアルタイムで畳込むアルゴリズムを用いた. その概念図を Fig. 2 に示す.

* Development of three-dimensional auditory display with real-time convolution of reflections and head tracking, by HORIKOSHI, Kenya and IIDA, Kazuhiro (Chiba Institute of Technology).

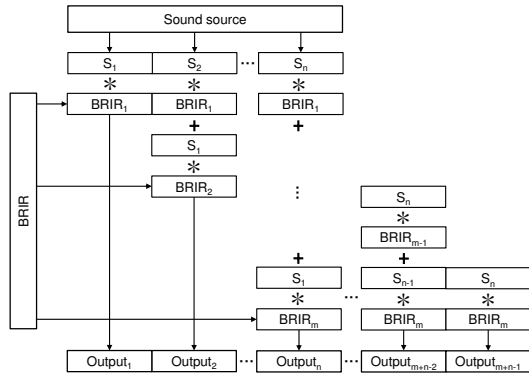


Fig. 2 反射音のリアルタイム畳込みの概念[3]

4 水平面 1° 間隔の BRIR の作成

受聴者の頭部回転運動に追従するために、受聴者を水平面内にて 1° 間隔で回転させた、0° ~ 359° の BRIR を作成するアルゴリズムを開発した。処理フローを Fig. 3 に示す。

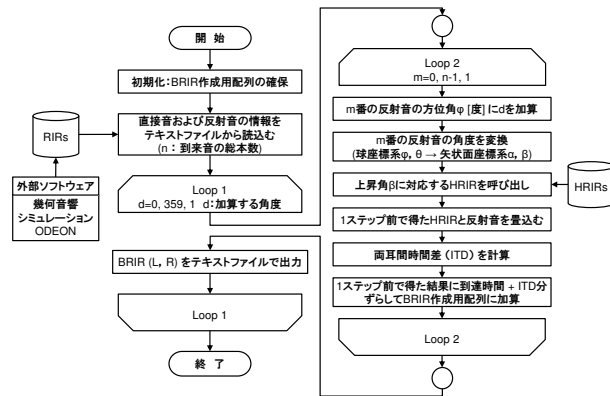


Fig. 3 水平面 1° 間隔の BRIR 作成処理フロー

本処理のアルゴリズムは以下の通りである。

- 1) 幾何音響シミュレーション ODEON[6]にて 1/3 オクターブバンドごとに RIR を計算する
- 2) 全帯域の RIR を合成する
- 3) RIR の直接音および反射音の仰角に対応する HRIR を畳込む
- 4) RIR の直接音および反射音の方位角から ITD を求め、左耳または右耳の信号を ITD 分遅らせる
- 5) 左耳および右耳の BRIR として出力する
- 6) 受聴者を水平面内にて 1° 回転させ、359° まで 2) ~ 6) を繰り返す

5 頭部回転追従

本機能では頭部運動のうち、Yaw における頭部回転運動に追従するアルゴリズムを開発した。処理フローを Fig. 4 に示す。

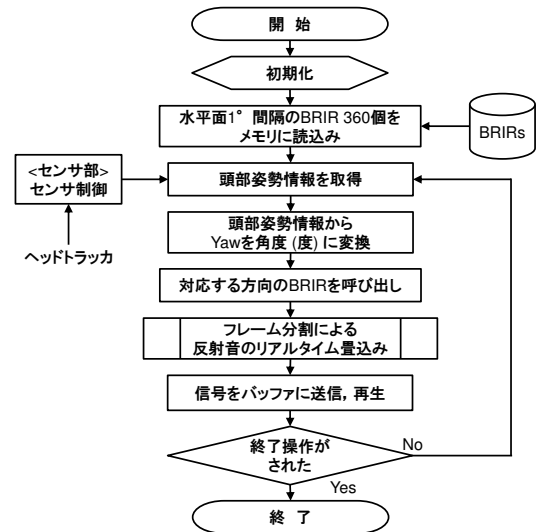


Fig. 4 頭部回転追従の処理フロー

本処理のアルゴリズムは以下の通りである。

- 1) 4 章にて作成した BRIR(0° ~ 359°, 360 個)をメモリに読み込む
- 2) センサから頭部姿勢情報を取得し、Yaw を角度(度)に変換する
- 3) Yaw の角度から対応する BRIR をメモリから呼び出す
- 4) 呼び出した BRIR と音源信号を 3 章にて述べた方法にて畳込む
- 5) 4) の畳込みによって得た信号をバッファに送信し、再生する
- 6) 2) ~ 6) をプログラム終了まで繰り返す

6 おわりに

本稿では、反射音をリアルタイムに畳込み、頭部回転運動にも追従するアルゴリズムを述べ、聴覚ディスプレイに搭載した。

謝辞

本研究の一部は文科省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(S1311003)により実施した。

参考文献

- [1] J.D.Miller, E.M.Wenzel, ICAD 2001, 2001.
- [2] 大内他, 日本音響学会誌 62 (3), 224-232, 2006.
- [3] 三橋他, 音講論 (秋), 709 - 710, 2013.
- [4] J.D.Miller, E.M.Wenzel, ICAD 2002, 2002.
- [5] Morimoto *et al.*, Acoust. Sci. Tech., 24 (5), 267-275, 2003.
- [6] ODEON, <http://www.odeon.dk/>