

周波数領域ベルベットノイズを用いた複数方向の HRIR の同時測定

○丹野圭吾, 岩谷幸雄 (東北学院大学)

1. はじめに

聴取者に3次元音場を提示する聴覚ディスプレイの構成方法の一つに頭部伝達関数 (HRTF: head-related transfer function) 合成法がある。用いる HRTF を個人化できれば、聴取者に高い臨場感を与えることが可能となる [1]。HRTF の個人化については、飯田が提案する聴取者の耳介形状に近い耳の HRTF を用いる方法 [2]、西塔らが提案するデータベースの中から定位感の良かった HRTF を主観評価によって選ぶ方法 [3]、高根らが提案する 3D スキャナ・3D プリンタおよび耳型を用いた頭部モデルを用いて HRTF を取得する方法 [4] などさまざまな方法が検討されているが、直接聴取者の HRTF を測定により得られれば確実である。しかしながら HRTF を得るには、被験者が動かないように拘束して、様々な方向の頭部インパルス応答 (HRIR: head-related impulse response) を測定する必要がある、被験者に負担をかけてしまう。したがって、できるだけ高速に測定ができることが望ましい。

本研究では河原らが提案する周波数領域ベルベットノイズ (FVN: Frequency domain variant of Velvet Noise) [5] を用いて、複数の方向の HRIR を同時に測定する方法を検討・提案した。その結果を報告する。

2. 提案方法

TSP を用いた測定 [6] では、方向ごとに時間を違えて TSP 応答を測定し、逆 TSP を畳み込んでインパルス応答を測定する。これ

は、TSP が周波数軸上で設計され、逆特性を持つからである。FVN は、ノイズでありながら周波数領域で設計するため、逆特性を持つノイズが設計でき、TSP と同様に時間軸上で畳み込むことでインパルス応答を測定できることが特徴である。このとき、互いに相関の低い FVN を複数用意することで、違う方向のインパルス応答を同時に測定できる。ただし、TSP のように等時間間隔で同期をとりながら放射すれば、推定されたインパルス応答は相関があるだけ他のチャンネルがノイズとして重畳される。これを避けるために、各チャンネルの放射時間間隔をランダム化することを提案する。ランダム化により重畳される他チャンネルのノイズが平均化の過程で相殺されることが期待される。

3. 測定実験

測定は、東北学院大学の無響室で行った。128 ch の水平面スピーカアレイの中心にダミーヘッド (B&K 4100) を置き HRIR を測定した。128 ch スピーカからは乱数により設計した相関の低い 0.05 s の FVN を同時に 1000 回放射した。

4. 測定結果

測定した HRIR の一例として被験者の正面 0 度について、FVN を用いて測定した波形と、比較のため TSP 信号を用いて測定した波形を示す。

*Simultaneous measurement of head-related transfer functions in multiple directions using Frequency domain variant of Velvet Noise, by TANNO, Keigo and IWAYA, Yukio (Tohoku Gakuin University).

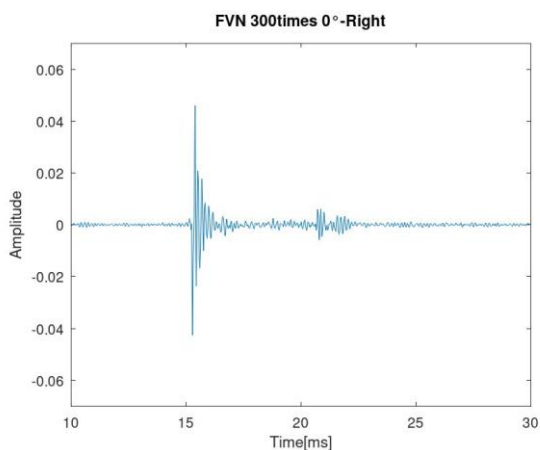


Fig. 1 FVN を 300 回放射して測定した HRIR (0 度右耳)

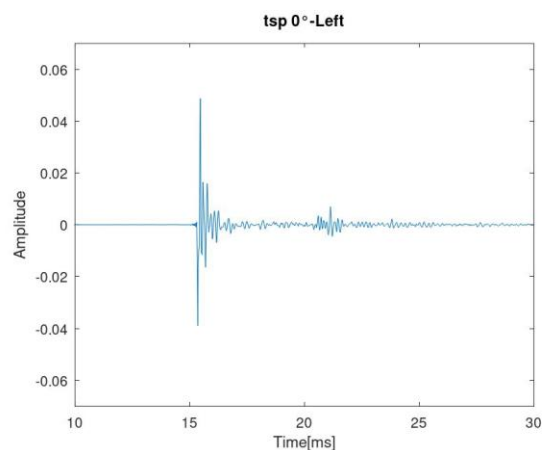


Fig. 4 TSP を 4 回放射して測定した HRIR (0 度左耳)

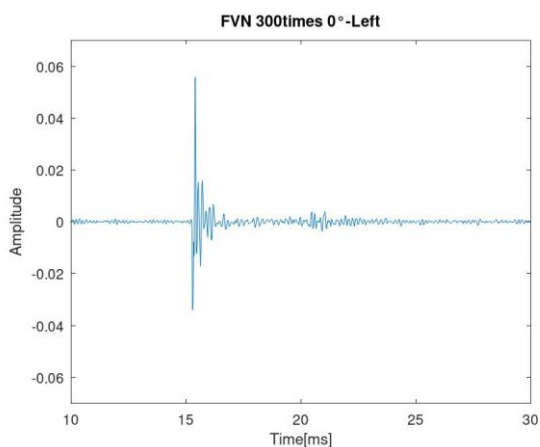


Fig. 2 FVN を 300 回放射して測定した HRIR (0 度左耳)

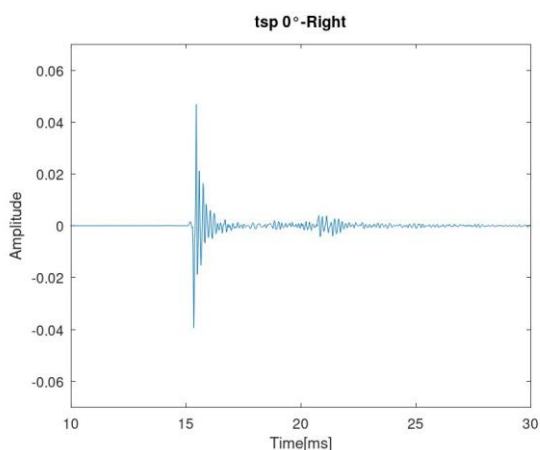


Fig. 3 TSP を 4 回放射して測定した HRIR (0 度右耳)

また、TSP で測定した応答をリファレンスとしたときの、FVN の放射回数と SN 比の関係を Fig. 5 に示す。

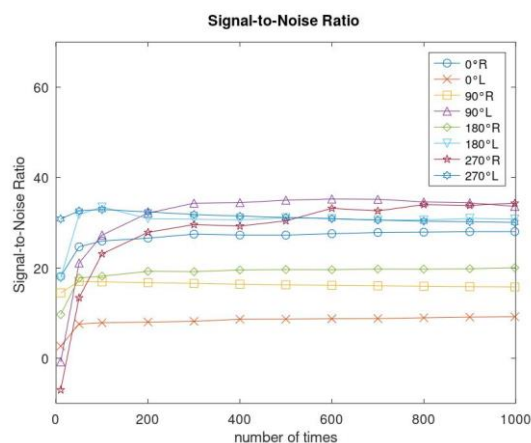


Fig. 5 FVN の放射回数による SN 比の変化

Fig. 1 と Fig. 3 および Fig. 2 と Fig. 4 のインパルス応答の相関は、それぞれ 0.98, 0.93 であった。他の角度 90°、180°、270° の HRIR について相関係数は、90° 0.92 (右)、0.99 (左)、180° 0.94 (右)、0.99 (左)、270° 0.98 (右)、0.99 (左) であり、十分高い相関であった。

Fig. 5 では被験者から見て右回りに 0°、90°、180°、270° のスピーカから放射された FVN に対する HRIR について、放射回数と SN 比の関係を表わしている。

このグラフから放射回数 300 回になると SN 比の向上が頭打ちになることが分かる。FVN

を300回放射するのに要する時間は約9分であるため、9分ほどで128方向のHRIRが測定できることが示された。

5. おわりに

本報告では周波数領域ベルベットノイズを用いた複数の方向のHRIRの同時測定について各チャンネルのFVNの放射時間間隔をランダム化する方法を提案し検討した。TSPを用いた場合と比較して十分高い相関のある測定が可能であることが示された。

しかし、本研究に用いたFVNは0.05sで作成したが、作成した音源には0.05sのFVNの前後に無音の時間があるため、FVNを1度放射するのに1.5sほどかかる。そのため全体の測定時間も長くなってしまっている。

今後はFVNの継続時間を短くしてHRIRを得られるように改善を目指す。

参考文献

- [1]岩谷幸雄, “頭部伝達関数による音像定位”, 日本音響学会誌 73 巻 3 号 (2017) ,pp.173-180
- [2]飯田一博, “頭部伝達関数の個人性”, 日本音響学会誌 73 巻 3 号 (2017) ,pp.181-188
- [3]西塔 他, “定位感に基づいて勝ち抜き選択された HRTF による音像定位”, FIT2005 (第 4 回情報科学技術フォーラム) ,pp. 381-383
- [4]高根 他, “3D スキャナ・3D プリンタを利用した個人の頭部伝達関数の取得”, 第 23 回バーチャルリアリティ学会大会論文集, 11B-3, (2018)
- [5]河原英紀, “インパルス応答の基本概念”, 日本音響学会誌 76 巻 3 号 (2020) ,pp. 148-155
- [6]平原達也, “両耳インパルス応答の測定”, 日本音響学会誌 76 巻 3 号 (2020) ,pp. 172-179