

パワーエンベロープ逆フィルタ処理を用いた 音場創成システムの高域改善

正 員 広林 茂樹* 非会員 入江 重勝*

Improvement on High Frequency Range of Sound Field Generation System using a Power Envelope Inverse Filter

Shigeki Hirobayashi*, Member, Shigekatsu Irie*, Non-member

In this paper, we develop the high presence Sound Field Generation System using a power envelope inverse filter proposed by the author, with a pretreatment of Sound Field Generation System, and performed quantitative evaluation. In an experiment, reproduction signal was created approximating classical music by computer simulation. Consequently, an objective evaluation experiment showed an improvement in the results of approximately 2.7dB in the less than 4kHz band, and up to 8.6dB in the above 4kHz band.

キーワード：パワーエンベロープ，信号改善，残響抑圧，逆フィルタ

Keywords: power envelope, signal processing, dereverberation, inverse filter

1. はじめに

近年，電気音響の技術の進歩により精度の高い音場制御 AFC(Active Field Control)⁽¹⁾ が可能となっている。それらのシステムの中でも音場創成システム SFGS(Sound Field Generation System) は，システム構成が容易なため広く用いられている。SFGS は任意空間のインパルス応答を畳み込み処理によって付加することで信号に残響を与えるシステムである⁽²⁾。しかし，SFGS は再生音場の影響が考慮されておらず，再生時には信号を加工するために利用されたインパルス応答と再生音場のインパルス応答が二重にたたま込まれ，明瞭度や響きが劣化される。

そこで著者らはパワーエンベロープ逆フィルタ処理⁽³⁾⁽⁴⁾ を SFGS における再生の前処理に用いることに着目した。一般的な信号の逆フィルタリングでは，波長の長い低周波数域での制御が容易であるが，波長の短い高周波数域での制御が難しい。筆者らによって開発されたパワーエンベロープ逆フィルタ処理では，高周波数域での制御が信号の逆フィルタリングに比べ容易に実現できる。⁽⁵⁾⁽⁶⁾ 本報告では，パワーエンベロープ逆フィルタ処理に基づいて SFGS の再生音場の影響を事前に軽減し，高い臨場感を創出するシステムを提案し，その改善効果を定量的に調べた。

2. 残響抑圧システム

SFGS による音場創成は目的音場の伝達関数 $H_{\text{imag}}(\omega)$

を測定し，音源 $S(\omega)$ に次式のように乗算することにより，目的信号 $X(\omega)$ を創成する。

$$X(\omega) = S(\omega)H_{\text{imag}}(\omega) \cdots \cdots \cdots (1)$$

しかし，実際の再生音場では創成信号 $X(\omega)$ に再生音場の伝達関数 $H_{\text{real}}(\omega)$ の影響が加わるため，次式の信号 $Y(\omega)$ が観測される。

$$\begin{aligned} Y(\omega) &= X(\omega)H_{\text{real}}(\omega) \\ &= S(\omega)H_{\text{imag}}(\omega)H_{\text{real}}(\omega) \cdots \cdots \cdots (2) \end{aligned}$$

そこで，目的の信号 $X(\omega)$ と観測信号 $Y(\omega)$ を一致させるためには，あらかじめ再生音場の影響 $H_{\text{real}}(\omega)$ の影響を軽減するシステムを構築することで目的信号に近い再生音 $\hat{X}(\omega)$ を得ることが可能である。

$$\begin{aligned} \hat{X}(\omega) &= X(\omega)H_{\text{real}}^{-1}(\omega)H_{\text{real}}(\omega) \\ &= S(\omega)H_{\text{imag}}(\omega) \cdots \cdots \cdots (3) \end{aligned}$$

本報告では，(3) 式の再生音場の伝達系の逆フィルタリング $H_{\text{real}}^{-1}(\omega)$ を再生音場の伝達系からなるパワーエンベロープの最小位相逆フィルタリング処理に置き換えた。一般に $H_{\text{real}}(\omega)$ は最小位相系ではないが，そのパワーエンベロープは単調に減少し，最小位相系に近い。そこで，本処理では 250Hz 幅のフィルタバンクを用いて狭域化を用い信号の各帯域のパワーエンベロープのみを補正する。なお，ヒルベルト変換を用いたエンベロープ抽出にあたっては，ローパスフィルタ f_c (cut off frequency)10Hz を周波数とした。システム全体の概略を図 1 に示す。提案するシステムで

* 富山大学工学部

〒 930-8555 富山県富山市五福 3190 番地

University of Toyama, Gohoku3190 Faculty of Engineering,

Toyama-shi, Toyama, 930-8555

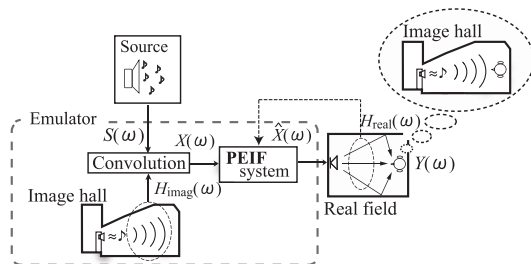


Fig. 1. Sound Field Generation System using Power Envelope Inverse Filter

は、SFGSによって加工された信号に、パワーエンベロープ逆フィルタ処理を用いて、再生音場 (Real field) の影響を事前に軽減することによって、より高い臨場感創出の可能性がある。

3. 評価実験

実験を行うにあたり、富山県富山市にあるオーバードホール (客席数 2,200 席) と同市市民プラザホール (客席数 308 席) の室内インパルス応答を 32kHz サンプリングの TSP 信号⁽²⁾を用いて 5 回の同期加算によって測定した。本実験ではオーバードホールの響きを市民プラザホールで再現することを想定し、計算機シミュレーションを用いて評価した。実験には Chopin「英雄」の開始約 28 秒間の部分から約 2 秒間を再生信号として用いた。また、出力信号を評価する指標として、一般的に残響音声における残響感と音声の包絡線変化には高い相関関係があることから、次式の指標を用いた⁽⁴⁾⁽⁵⁾

$$I_p = 10 \log_{10} \frac{\int_0^T \{e_x(t) - e_y(t)\}^2 dt}{\int_0^T \{e_x(t) - \hat{e}_x(t)\}^2 dt} (\text{dB}) \dots \dots (4)$$

(4) 式の $e_x(t)$ は目的とする信号のエンベロープ、 $e_y(t)$ は未処理の信号のエンベロープ、 $\hat{e}_x(t)$ は処理した信号のエンベロープ、 T は分析時間である。(4) 式によって得ることが出来る値を回復値 (IP) とする。

図 2 に信号の各帯域ごとの回復値を示す。図 2 の横軸は周波数、縦軸は回復値を示している。図 2 から低域では回復値が低いが、高域においては高い回復値を得ていることがわかる。4kHz 以下の帯域では約 2.7dB、4kHz より高い帯域では約 8.6dB となった。全体の回復値は約 7.2dB であった。

図 3 に目的信号、未処理信号、処理信号のケプストラムロータイム処理 (約 0.02 秒) によるスペクトル包絡を示す。図 3 の横軸は周波数、縦軸は振幅を示す。図 3 から、約 4kHz までは未処理信号と処理信号に違いはないが、それよりも高い帯域からは未処理信号よりも処理信号の方が目的の信号に近い値を得ていることがわかる。

4. まとめ

本報告では、音場創成システムの精度向上のため、パワーエンベロープ逆フィルタ処理を応用したシステム提案し、提案システムを定量的に評価した。これまでの音場創成システムでは、目的音場と再生音場のインパルス応答が 2 重に

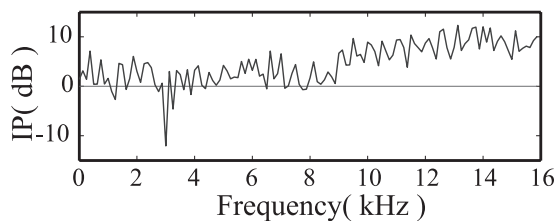


Fig. 2. Improvement index of using Power Envelope Inverse Filter

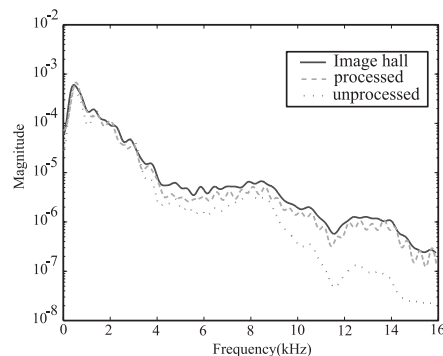


Fig. 3. Envelope of power spectrum

たたみ込まれるため、目的とする信号を正確に再現することは困難である。そこで、広域的に制御できるパワーエンベロープ逆フィルタ処理を用いて再生前に残響を軽減することに着目した。

実験では、提案手法を用いた処理信号、従来の SFGS で創出された未処理信号をコンピュータシミュレーションによって作成し、それぞれの信号の回復値を求めた。実験の結果、目的信号に対して、処理信号は全体の回復値として約 7.2dB の回復値を得ることがわかった。帯域ごとの回復値に着目すると 4kHz 以下の帯域では約 2.7dB、4kHz より高い帯域では約 8.6dB の回復値を得ることがわかった。また、ケプストラムロータイム処理による比較においても、処理信号は未処理信号よりも目的の信号に近い包絡を得ることがわかった。

(平成 19 年 3 月 12 日受付, 平成 19 年 6 月 1 日再受付)

文 献

- (1) 高橋顕吾・山川高史:「建築音響 ホール設計ーより良い響きの追求ー」, 計測と制御, Vol.43, No.4, pp.348-352 (2004)
- (2) 鈴木陽一・浅野 太・曾根敏夫:「音響系の伝達関数の模擬をめぐって (その 2)」, 日本音響学会誌, Vol.45, No.1, pp.44-50 (1989)
- (3) 広林茂樹・野村博昭・小池恒彦・東山三樹夫:「パワーエンベロープ伝達関数の逆フィルタ処理による残響音声の回復」, 信学論, Vol.J81-A, No.10, pp.1323-1330 (1998)
- (4) 広林茂樹・山淵龍夫:「帯域分割を用いたパワーエンベロープ逆フィルタ処理の残響抑圧効果」, 信学誌, Vol.J83-A, No.8, pp.1029-1033 (2000)
- (5) 広林茂樹・寺島洋行・山淵龍夫:「残響音場における音響信号のエンベロープ推定法の評価」, 日本シミュレーション学会, Vol.22, No.3, pp.208-215 (2003)
- (6) M. Unoki, K. Sakata, M. Furukawa, and M. Akagi: "A speech dereverberation method based on the MTF concept in power envelope", Acoustical Science and Technology, Vol.25, no.4, pp.243-254 (2004)