

一般室内におけるスピーカの周波数特性測定手法の検討*

☆森谷晃行, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

一般室内でスピーカの周波数特性を測定すると、反射音の影響を受け劣化する (Fig.1 黒線). このため通常、スピーカの周波数特性の測定は無響室や無響箱において行われる. しかし、これらの設備は高価であるため、一般室内でスピーカの周波数特性を測定する手段が望まれる. 本研究では、既存の反射音低減手法を用いて、一般室内におけるスピーカの周波数特性の測定可能性を検討する.

2 反射音低減手法

2.1 MINT

室内インパルス応答 g は一般に非最小位相系である. そのため、 g を打ち消す、すなわち $g * h = \delta$ (*は畳み込み, δ はインパルス信号を表す) となる安定な逆フィルタ h の実現は困難である. そこで、MINT (Multiple input/output INverse Theorem) [1] と呼ばれる多入出力型逆フィルタの利用を検討する.

Fig.2 に MINT の処理の流れを示す. u はスピーカのインパルス応答, g_1, g_2 はスピーカから 2 つのマイクロホンまでの室内インパルス応答を表す. また、 h_1, h_2 は各チャンネルに設置されたフィルタのインパルス応答を表す. この時、 $g_1 * h_1 + g_2 * h_2 = \delta$ を満たすような安定な逆フィルタ h_1, h_2 (以降、MINT フィルタと呼ぶ) が存在することが理論的に示されている. これにより、一般室においても、原理的にスピーカのインパルス応答 u (周波数特性の時間軸表現) を正確に測定することが出来る.

2.2 Semi-blind-MINT

MINT フィルタは室内インパルス応答 g_1, g_2 が既知という条件で算出される. しかし、一般に g_1, g_2 は未知であるため、本研究では Semi-blind-MINT [2] と呼ばれる手法を用いる. この手法は、受信信号間の相関行列を用いて近似的に MINT フィルタを推定する. Fig.3

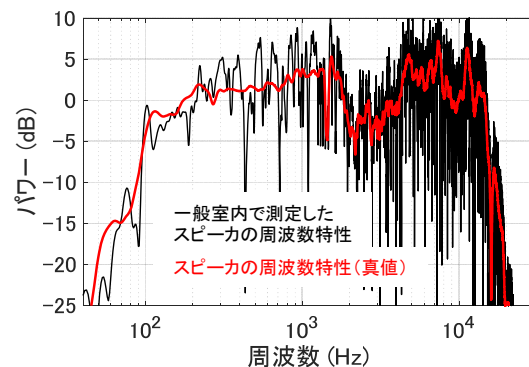


Fig.1 一般室内で測定したスピーカの周波数特性

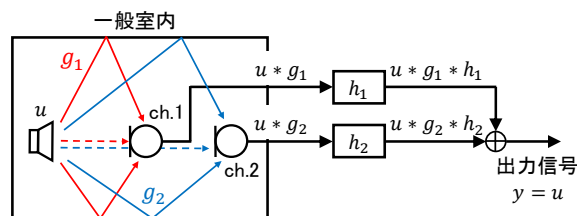


Fig.2 MINT の処理の流れ

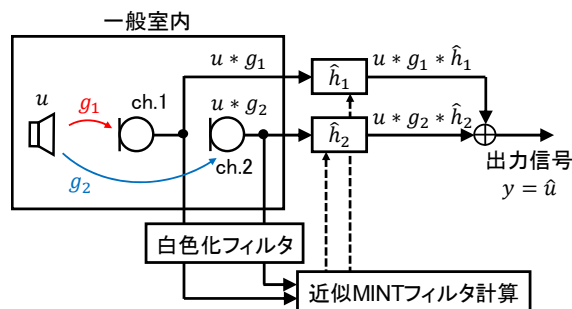


Fig.3 Semi-blind-MINT の処理の流れ

に処理の流れを示す. Semi-blind-MINT は「音源は白色であり、その自己相関関数がデルタ関数となる」という仮定に基づいている. 音源はスピーカのインパルス応答であり白色ではないため、音源特性の白色化を行う. 受信信号に白色化フィルタを畳み込むことで音源の自己相関関数がデルタ関数に近づき、近似 MINT フィルタ \hat{h}_1, \hat{h}_2 を計算できる. 計算された近似 MINT フィルタは室内インパルス応答 g_1, g_2 を打ち消すように作用し、出力信号としてスピーカのインパルス応答 u の近似値 \hat{u} が得られる.

* A study on frequency characteristic measurement of a loudspeaker in an ordinary room, by MORITANI, Akiyuki and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

3 シミュレーション

Semi-blind-MINT が一般室内におけるスピーカ周波数特性の測定に有効であるかどうかを検討するため、反射音低減のシミュレーションを行った。シミュレーションには、Table 1 に示す条件で鏡像法により合成した室内インパルス応答と、無響室で測定したスピーカのインパルス応答とを畳み込んだ信号を用いた。

まず、室内インパルス応答 g_1 , g_2 が既知という条件で、MINT フィルタを適用した。Fig.4 の青線に、MINT によって得たスピーカの周波数特性を示す。赤線は真値である。図より、得られた結果は真値にほぼ等しく（青線と赤線はほとんど重なっており）、MINT の原理が本測定に有効であることが確認できる。

次に、 g_1 , g_2 が未知として Semi-blind-MINT を適用した。Fig.5 の青線に、得られたスピーカの周波数特性を示す。赤線は真値である。図より、Semi-blind-MINT は Fig.1 の黒線に示したような反射音の影響を低減できているが、真値とのずれが大きい。

Fig.6 の黒線に Semi-blind-MINT 処理前、青線に処理後のインパルス応答を示す。赤線は真値である。図より、Semi-blind-MINT 処理を適用すると反射音成分は抑圧される（黒と青の比較）が、直接音成分が劣化している（赤と青の比較）ことが分かる。

そこで、Semi-blind-MINT 処理後の波形の反射音以降（Fig.6 青線波形の時刻 T 以降の部分）と、処理前のインパルス応答波形の反射音の影響を受けていない直接音の一部（黒線波形の時刻 T 以前の部分）とを接合し、この波形の周波数特性を求める方法を提案する。Fig.5 の緑線にその結果を示す。青線と比べ、低域や 2000~4000 Hz 部分の特性が改善されている。

4 まとめ

本稿では、反射音が存在する一般室内におけるスピーカの周波数特性の測定可能性について検討した。シミュレーションの結果、Semi-blind-MINT を用いてインパルス応答の反射音成分を抑圧した波形と、インパルス応答の反射音の影響を受けていない直接音の一部とを接合して周波数特性を求める手法の有効性を確認した。

Table 1 シミュレーション条件

残響時間	約 200 ms
室寸法 (縦×横×室高)	7m×7m×2.7m
スピーカ-マイクロホン間距離	1 m
スピーカ	BOSE 101MM
MINT フィルタ長	100 ms
直接音部分の切り出し長	3 ms
サンプリング周波数	48 kHz

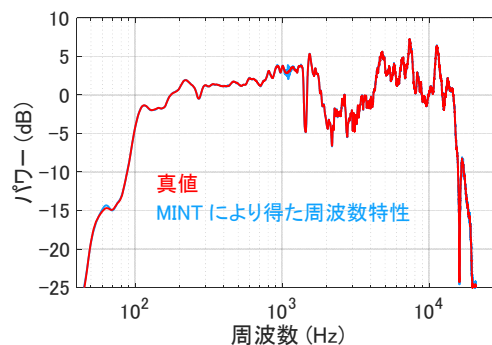


Fig.4 MINT で得たスピーカの周波数特性

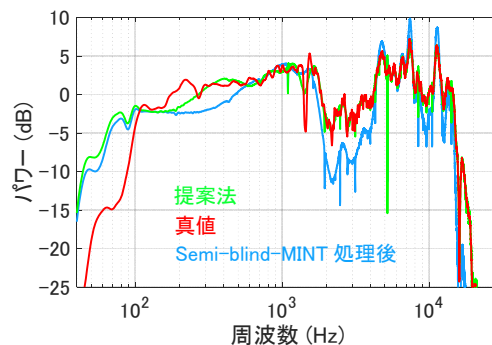


Fig.5 Semi-blind-MINT で得た周波数特性

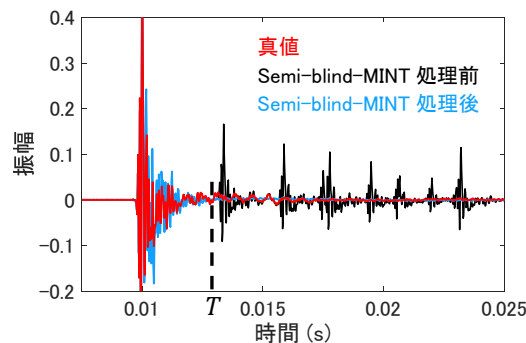


Fig.6 Semi-blind-MINT で得たインパルス応答時間波形

参考文献

- [1] M. Miyoshi and Y. Kaneda, "Inverse filtering of room acoustics," IEEE Trans. Acoust. Speech Signal process., vol.36, no.2, pp.145-152, 1988.
- [2] 古家賢一, 片岡章俊, "チャンネル間相関行列と音声の白色化フィルタを用いた Semi-blind 残響抑圧," 信学論, vol.J88-A10, no.10, pp.1089-1099, 2005.