

有色疑似雑音を用いたインパルス応答測定の見直し*

☆篠原亮, 金田豊 (東京電機大・工)

1 はじめに

音響系の周波数特性や残響時間を導き出すためにインパルス応答の測定が重要である。これまで我々は、測定結果に含まれる雑音成分を最小化する MN-SS (Minimum Noise Swept Sine) 信号を提案、検証してきた[1][2]。一方、測定信号の種類としては、掃引正弦波(SS)の他に疑似雑音(PN)の利用が考えられる。疑似雑音は非定常雑音の影響を受けにくいという長所がある反面、一般に、波高率(または Crest Factor)が高くなる場合があり、SN 比が低下する。本報告では、有色疑似雑音の波高率低減方法を示し、測定時の雑音成分を最小化する、MN-PN (Minimum Noise Pseudo Noise) 信号の有効性を確認する。

2 有色疑似雑音

インパルス応答の測定結果に含まれる雑音レベルは測定信号の振幅スペクトル $|S(\omega)|$ に依存する[2]。そこで適切な振幅スペクトル $|S(\omega)|$ を持った測定信号の利用が望ましい。振幅スペクトル $|S(\omega)|$ を持った有色疑似雑音 $S(\omega)$ は

$$S(\omega) = |S(\omega)| \cdot \exp(j\theta(\omega)) \quad (1)$$

と表される。ただし位相スペクトル $\theta(\omega)$ は乱数として与えられる。時間信号はこれを逆フーリエ変換することで求められる。

3 波高率低減処理

3.1 デジタル信号の波高率

波高率は、次式で定義される。

波高率 = 振幅絶対値の最大値 / 実効値 (2)
ただし、デジタル信号はアナログ信号に変換される過程で、時間軸で補間されるため、Fig. 1 に示すように振幅最大値が増加する。したがって、デジタル信号の波高率を計算する際には、補間を行って、アナログ信号としての振幅最大値を計算する必要がある。そうすると、例えば M 系列のように 1 と -1 だけの信号であっても波高率は 1 とならず、約 2.7 と高い値をとるようになる。

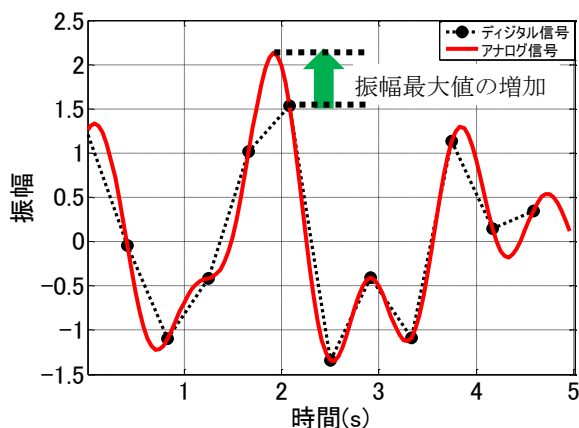


Fig. 1 補間による最大値の変化

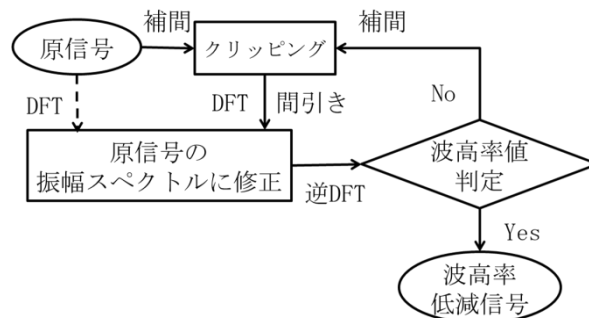


Fig. 2 波高率低減アルゴリズム

3.2 波高率低減処理

Ouderaa らの手法[3]を基に Fig. 2 に示す波高率低減処理方法を提案する。Fig. 2 において、まず、原信号(有色疑似雑音)は補間を行った後、振幅のクリッピングを行う。その結果、振幅最大値が低減して、波高率が低下する。しかし、クリッピングの結果、振幅スペクトルが変化してしまう。そこで、信号を原信号と同じサンプリング周波数に間引きを行った後、DFT し、その振幅スペクトルを原信号の振幅スペクトルに修正する。このスペクトルを逆 DFT した信号に対して波高率を計算して収束判定を行い、未収束の場合には再度同一手順を用いて繰り返し処理を行う。このような繰り返し演算を行うことで原信号と同一の振幅スペクトルで波高率の低減した信号を得ることができる。

* Study of the impulse response measurement using colored pseudo noise, by SHINOHARA, Ryô and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

4 インパルス応答測定シミュレーション

4.1 シミュレーション条件

MN-PN 信号の雑音低減効果を確認するために、雑音下でのインパルス応答測定のシミュレーションを行った。雑音は Fig. 3 にスペクトルを示した 4 種類の雑音を利用した。未知系としては無響室で測定したスピーカのインパルス応答を用い、信号長は 2^{15} とした。

4.2 波高率低減 MN-PN 信号の合成

測定時に含まれる定常雑音のスペクトルを $P_N(\omega)$ とすると、雑音を最小化する測定信号の振幅スペクトル $|S(\omega)|$ は、

$$|S(\omega)| = C \cdot \sqrt{P_N(\omega)} \quad C: \text{定数} \quad (3)$$

と与えられる[1]。これを、式(1)に代入して MN-PN 原信号を合成し、Fig. 2 のアルゴリズムによって波高率低減を行った。

4.3 シミュレーション結果

クリッピングレベルを実効値の 1.15 倍として行った波高率低減アルゴリズムの収束特性を Fig. 4 に示す。100 回の繰り返し演算後にはどの雑音に対しても波高率が 1.5 以下に低下している。この時に得られた最小波高率を図中右上部に示す。いずれの雑音に対しても掃引正弦波の最小波高率である $\sqrt{2} = 1.41$ を下回っている。Fig. 5 に波高率低減前後の MN-PN 信号の波形の例を示す。同一スペクトル、同一実効値であるが、振幅最大値が低減していることがわかる。

Table 1 に MN-SS 信号と MN-PN 信号を用いた場合の測定結果に含まれる雑音レベルを示した。数値は白色信号(TSP)を用いた場合の雑音パワーを基準として dB 値で表示した。MN-SS 信号と MN-PN 信号は振幅最大値が一致するように振幅調整を行った。Table 1 より、MN-PN 信号は白色信号と比べて 14~24dB 雑音レベルを低下させることができた。また、MN-SS 信号に対して約 3dB 程 SN 比が向上した。これは、波高率低減により MN-PN の実効値が MN-SS に比べて上昇したためである。

5 まとめ

本稿では、インパルス応答の測定結果に含まれる雑音を最小化する有色疑似雑音(MN-PN)の有効性を検討した。その結果、掃引正弦波信号 MN-SS と比べて、波高率が小さくなったため、より大きい SN 比向上が確認できた。

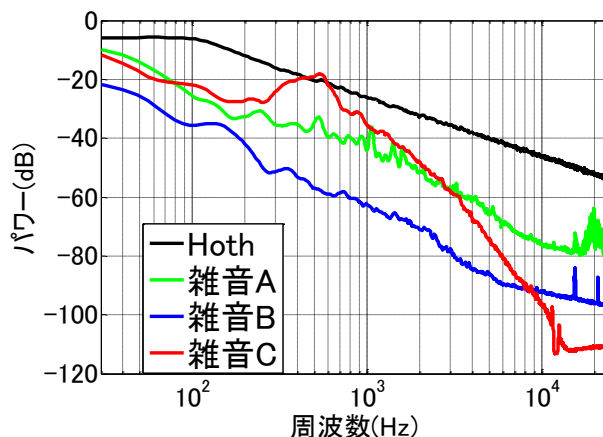


Fig. 3 使用した雑音のスペクトル

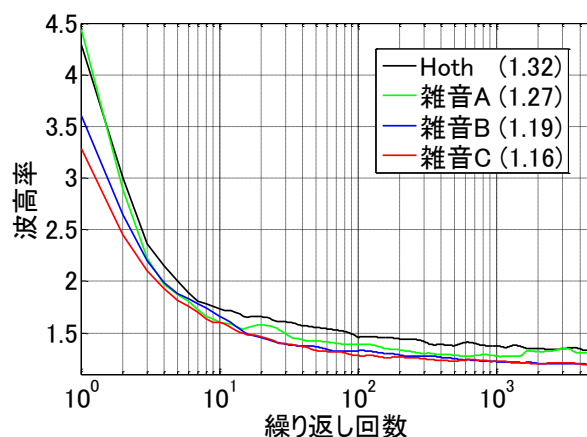


Fig. 4 波高率低域アルゴリズムの収束特性

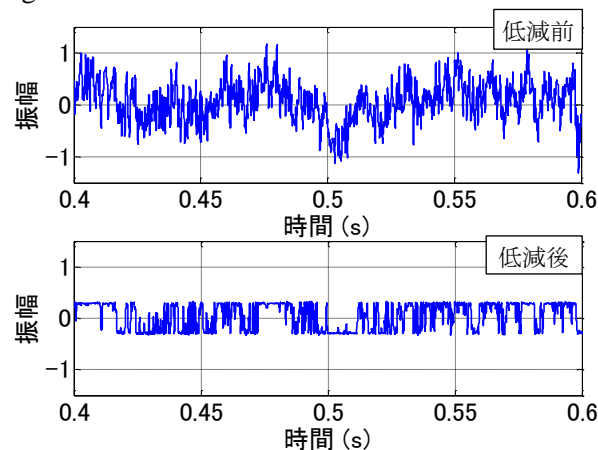


Fig. 5 波高率低減前後の MN-PN 波形

Table 1 MN-PN と MN-SS による雑音低減効果

	Hoth	雑音 A	雑音 B	雑音 C
MN-SS	-10.9 dB	-19.7	-20.3	-15.0
MN-PN	-14.2	-22.7	-24.2	-18.2

参考文献

- [1] 守谷, 他, 音学誌, 64, 695-701, 2008.
- [2] 中重, 他, 音講論(春), 821-822, 2013.
- [3] E. V. Ouderaa, et. al., IEEE Trans. Instrum. Meas. 37, 1, 144-147, 1988.