

インパルス応答測定用掃引正弦波の帯域制限方法の検討*

☆中原優樹, 金田豊 (東京電機大)

1 はじめに

インパルス応答の測定用信号として, 掃引正弦波(SS:Sine Sweep)信号が広く用いられている. その中で, 測定信号のスペクトルを測定環境の雑音に適応させることで測定結果に含まれる雑音成分を最小化できるMN-SS(Minimum Noise-SS)信号がある[1]. しかし, 信号の合成に際して, 雑音スペクトルを高い周波数解像度で推定した結果を利用すると信号が時間軸方向に拡散してしまうといった問題が生じる.

時間軸方向への信号の拡散は雑音スペクトル曲線の帯域制限(平滑化)を行うことで改善されるが, 平滑化によって真の雑音スペクトルから離れてしまうと雑音低減効果が減少してしまう. 本報告ではそれぞれの問題点について述べ, MN-SS 信号の特徴を損なわない信号の合成方法について述べる.

2 MN-SS 信号の時間軸上拡散

MN-SS 信号は測定環境雑音のパワースペクトル $P_N(\omega)$ に対して $\sqrt{P_N(\omega)}$ のパワースペクトルを持つ, 掃引正弦波信号である. しかし, 雑音のパワースペクトルの高分解能な推定結果を利用すると図1に示すような, 信号の時間軸方向への拡散が生じてしまう. これは, 測定信号の振幅スペクトルの変化が激しいためである. このような信号を用いて, 非線形特性を含む系のインパルス応答を測定すると図2に示すように, 非線形誤差が主応答に影響を及ぼしてしまう. 音響測定に使用されるスピーカーは一般的に非線形特性を含むために, このような信号を利用することは, 分離不可能な誤差の発生を引き起こす.

3 雑音スペクトルの平滑化

上記の問題を解決する方法として雑音パワースペクトルの平滑化がある. 平滑化の方法として最も簡単なものは雑音を短時間で切り出しパワースペクトルの平均(もしくは周波数軸上での移動平均)をとる方法である. しか

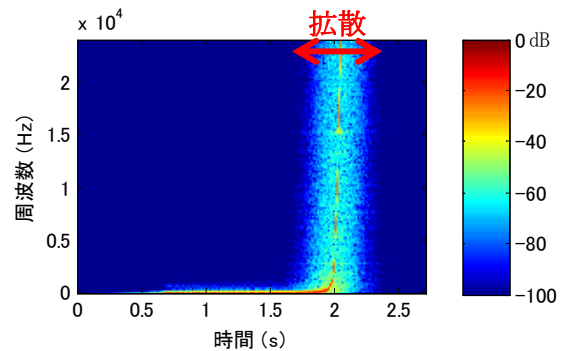


図1 時間方向の拡散が発生した MN-SS 信号

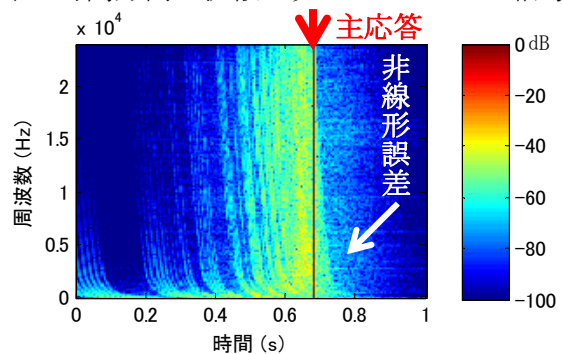


図2 主応答に影響を与える非線形誤差

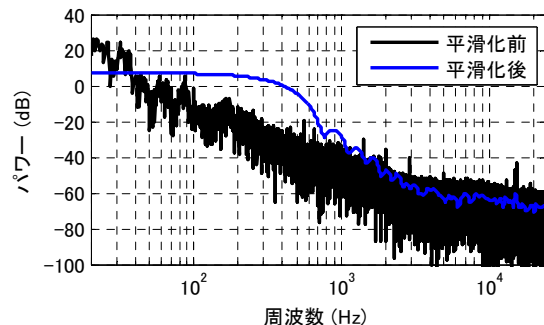


図3 短時間切り出しによる雑音スペクトルの平滑化

しこの方法には問題がある. 図3に平滑化後のパワースペクトルを示す. 信号の時間軸方向への拡散が発生しない程度の切り出し長で平滑化を行うと, 雑音のパワースペクトル形状が大きく変化してしまう. これは短時間の切り出しにより特に低周波帯域での周波数解像度が低下したことによるものである. このような雑音パワースペクトルを用いて合成した信号で測定を行うと, 測定結果に含まれる雑音の抑圧量が減少してしまう.

* A study of band-limiting method of swept sine signal for impulse response measurement, by NAKAHARA, Yuki and KANEDA, Yutaka (Tokyo Denki University).

4 提案する雑音平滑化

上記のそれぞれの問題を解消するために雑音のパワースペクトルを最小二乗法で曲線近似する平滑化を提案する。最小二乗法の適用にあたっては、雑音パワーの大きい低周波帯域に対してより細かな近似を行うために、低周波帯域の誤差に大きい重みづけを行った。

提案法によって平滑化を行った結果を図4に示す。短時間切り出しによって雑音の平滑化を行った場合(図3)に比べ低周波帯域までよく近似できていることがわかる。

図5に提案法で平滑化を行った雑音のパワースペクトルを用いて合成したMN-SS信号のスペクトログラムを示す。平滑化を行わない場合(図1)に比べて信号の時間軸方向への拡散が抑えられていることがわかる。

5 有効性の検証

図6に非線形特性を持つ系をシミュレーションした時のインパルス応答測定結果のスペクトログラムを示す。図6を図2と比べると、発生している非線形誤差が小さく、かつ主応答にかかっていないために、この部分を切り出すことによって非線形誤差の分離が可能であり、影響は小さいと考えられる。

表1にMN-SS信号による、測定結果に含まれる雑音成分パワーを示した。表示は平滑化を行わない場合を基準(0dB)とした。騒音A, B, Cはそれぞれ室内の実録騒音である。表1より、平滑化を行うことで雑音パワーは増加するが、提案法を用いることで、短時間切り出しを行って平滑化を行った信号よりも3~6dBほど雑音パワーを抑えられた。

平滑化を行わない信号は時間軸方向への拡散が発生しているために測定信号としては不適切であるため、提案法によって合成した信号がより好ましい測定信号であるといえる。

6 まとめ

本報告ではMN-SS信号を合成する際に用いる効果的な雑音スペクトルの平滑方法を提案した。従来の方法では高分解能な推定雑音を用いた場合は、雑音低減効果は大きいですが、信号の時間拡散が大きくなっており、反対に低解像度の信号を用いると、拡散は抑えられるが、雑音低減性能が低下していた。提案法により平滑化を行った信号は、信号の拡散が

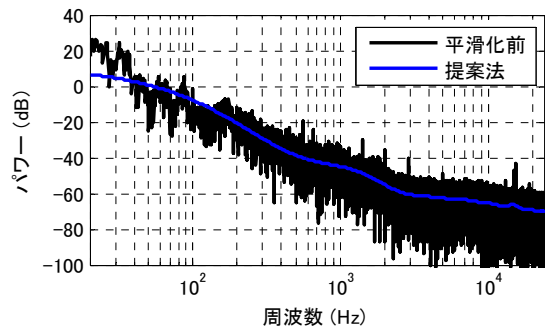


図4 提案法による雑音スペクトルの平滑化

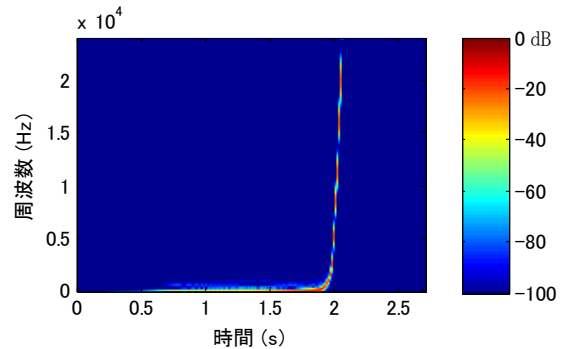


図5 提案法により合成された信号

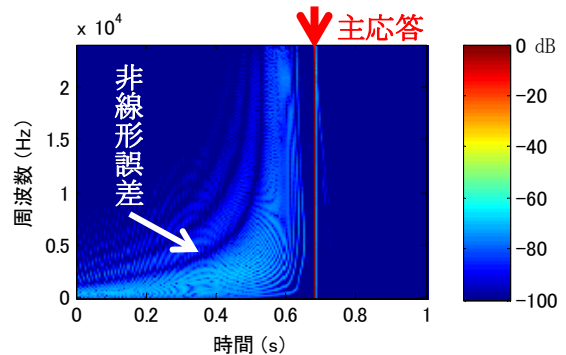


図6 提案法により合成された信号の非線形誤差の発生の様子

表1 平滑の方法による測定結果の雑音成分パワー

	騒音 A (dB)	騒音 B (dB)	騒音 C (dB)
平滑なし	0	0	0
短時間切り出し	9.2	5.5	4.3
提案法	3.0	2.0	1.1

少なく、かつ短時間切り出し(移動平均)による平滑化に比べ雑音低減効果が大きいことをシミュレーションにより確認した。

参考文献

[1]守屋, 他, 音楽誌, 64(12), 695-701, (2008)