

純白色擬似雑音信号を用いたインパルス応答測定における 時間揺らぎ耐性の検討*

☆森健太郎, 金田豊 (東京電機大・工)

1 はじめに

インパルス応答測定は、伝達系の線形時不変性を前提としている。従って、大空間測定時の風などによる伝達系の時間変動や、再生系の DA と録音系の AD のクロックの微小なズレなどが発生した場合には測定誤差が発生する。そしてこの誤差は測定信号の種類によって異なり、TSP などの掃引正弦波を用いた場合には誤差が小さいが、M 系列などの擬似雑音を用いた場合では大きな誤差が発生する [1]。本報告では擬似雑音を用いた場合の誤差要因を検討し、それを改善する純白色擬似雑音を提案する。

2 誤差要因の検討

Fig. 1 は、伝達系の周波数特性(インパルス応答の等価量) $H(k)$ 測定の模式図を示す。ただし k は離散周波数番号を表すが、図では省略している。時間揺らぎが無い場合には測定信号 $S(k)$ の種類によらず、 $H(k)$ が求められるが、時間揺らぎがあると、誤差を含んだ測定結果、

$H'(k) \cdot S'(k)/S(k)$ となる。ただし $H'(k)$ 、 $S'(k)$ はそれぞれ時間揺らぎを受けた周波数特性と測定信号成分を表す。

前述したように、測定信号によって、測定誤差が大小することから、 $S'(k)/S(k)$ が、1 から大きく異なることが誤差の原因と考えられる。ここで測定信号として TSP や M 系列などの離散白色信号を考えると、 $|S(k)| = 1$ であるので、

$$\left| \frac{S'(k)}{S(k)} \right| = |S'(k)|$$

となる。従って、測定結果の振幅スペクトルに注目した場合、その誤差は $|S'(k)|$ が 1 から変動することが原因と考えられる。

ここで M 系列の 1 周期のみのスペクトル (M 系列 1 周期に多数の 0 を付加して DFT したものの) の一部を Fig. 2 の青線に示した。図

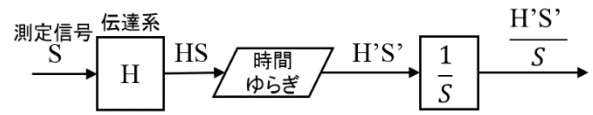


Fig. 1 時間揺らぎを含んだ周波数特性測定の模式図

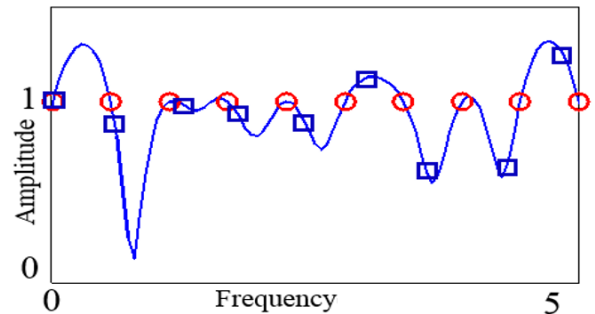


Fig. 2 M 系列 1 周期のみのスペクトルの一部

において赤○ は M 系列の時間軸の伸縮がない場合の周波数サンプル点を表しており、周波数によらない一定値となっている。一方、青□ は、風などの影響で時間軸が伸縮し、その影響で周波数軸がズレた場合のサンプル点のモデルを表しており、振幅特性に大きな変動が発生することが分かる。一方、TSP 信号は一周期のみのスペクトルも平坦であるため、このような影響を受けにくい。

このように一周期のスペクトルが平坦ではない M 系列のような擬似雑音は時間揺らぎの影響を受けやすい。そこで本報告では、一周期のスペクトルが平坦な擬似雑音を提案する。

3 純白色雑音信号

長さが L で 1 周期のスペクトルが平坦である擬似雑音の合成方法 [2] を Fig. 3 に示す。図に示すように①長さ L の乱数 $w(n)$ を原信号とし②ゼロ詰めしてスペクトルを求める。③この振幅スペクトルは Fig. 2 青線のように変動しているので、これを平坦化した後に④逆 DFT して時間波形を求めると、⑤長さは L より大きいものとなっている。そこで長さが L より大きくなった部分を強制的に 0 とし信号長を修正する。⑥その後 DFT を行

* Study of time jitter immunity of pure white noise signal for impulse response measurement, by MORI, Kentaro and KANEDA, Yutaka (Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University).

って、③再度振幅スペクトルの平坦化を行うという手順を繰り返すことで、所望の信号を得る。

Fig. 4(a)は Fig. 3 のアルゴリズムの結果得られた信号波形である。波形全体は窓関数がかかったように両端が小さなものになっているが、その一周期のスペクトル(Fig. 4(a)の波形に多数の0を詰めてDFTしたものは Fig. 4(b)に示すように平坦になっている。この信号を純白色擬似雑音と呼ぶことにする。

4 時間揺らぎシミュレーション

4.1 シミュレーション条件

純白色擬似雑音の時間揺らぎ耐性を確認するために、シミュレーション実験を行った。M 系列と純白色擬似雑音の信号長は 16383、TSP の信号長は 16384 とし、サンプリング周波数は 48kHz とした。伝達系は平坦な周波数特性を持つものとし、測定信号長全体(16384 又は 16383 サンプル)が 0.5 サンプル増加する一様な時間軸の伸長を加えた。

4.2 シミュレーション結果

Fig. 6 に TSP、M 系列、純白色雑音信号を用いた場合の測定シミュレーション結果の振幅周波数特性を示した。図より TSP に時間揺らぎを与えても周波数特性は平坦であるが、M 系列に時間揺らぎを与えると、高域ほど周波数特性に誤差が発生していることが確認できる。

対して、純白色雑音に時間揺らぎを与えた場合の周波数特性は、全周波数帯においてほぼ平坦となっている。これは、時間揺らぎが発生し、その結果周波数軸上のサンプル点の変動しても純白色雑音の振幅スペクトルは、ほぼ一定の値を取るため影響を受けなかったと考えられる。

5 まとめ

本報告では、時間軸の揺らぎに耐性を持つ純白色擬似雑音信号の生成手法を示し、シミュレーションにより、従来用いられている白色擬似雑音(M 系列)に対する純白色雑音の時間揺らぎ耐性の優位性を示した。

参考文献

- [1]中島他, 音響学会講演論文集, 1-9-2 (1992-9).
- [2]森他, 信学会ソ大会講演論文集, A (2015-9).

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 15H02728 の助成を受けたものです。

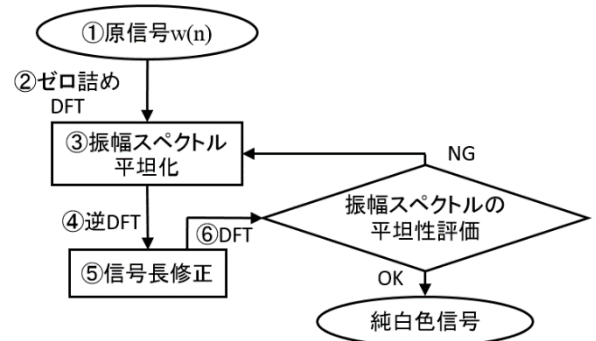


Fig. 3 純白色擬似雑音の生成アルゴリズム

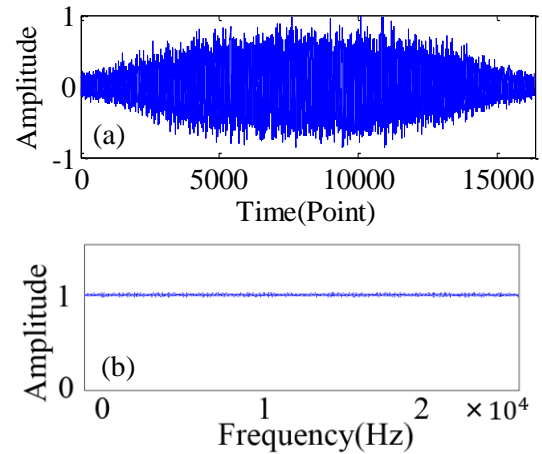


Fig. 4(a)純白色擬似雑音の時間波形、(b)純白色擬似雑音の振幅スペクトル

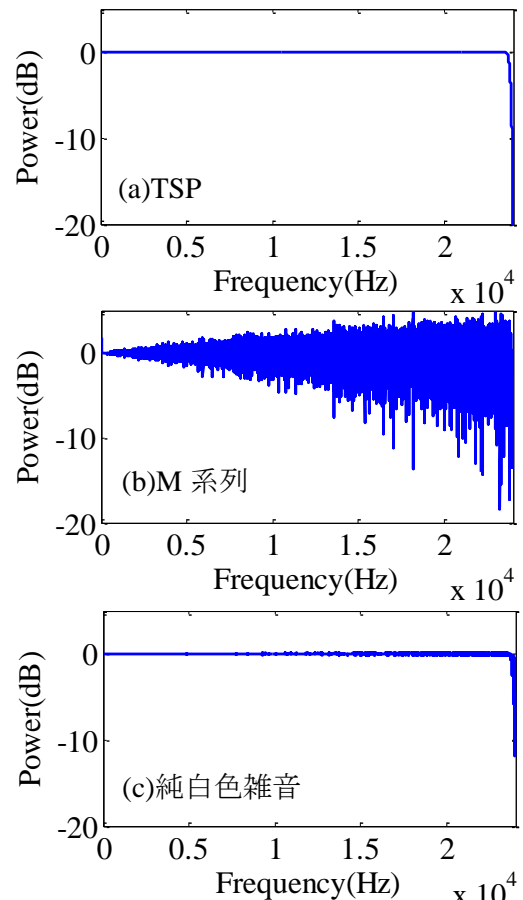


Fig. 6 時間揺らぎを与えた場合の振幅周波数特性測定結果