

A-015

テンソル積展開とMTMフィルタによる背景雑音除去 Background Noise Reduction using Tensor Product Expansion with MTM Filter

板井 陽俊†

Akitoshi Itai

安川 博†

Hiroshi Yasukawa

1. はじめに

近年、背景雑音の除去法として絶対値誤差を最小とするテンソル積展開 (TPE-AE: Tensor Product Expansion with Absolute Error) が提案され、2つの源信号の積和で表される観測信号における背景雑音の推定に有効であることが示された。一方、TPE-AEはシステムノイズなどの観測点に独立、かつ全ての観測信号に含まれる雑音を分離することができないため、推定された成分と入力信号との差分に雑音成分が残る。このため、半数近くの観測点に局所的な信号が観測されている場合、背景雑音の推定精度が低下することが問題として挙げられている。本研究では背景雑音の推定精度を向上させる方法としてMTMフィルタ (Modified Trimmed Mean filter) を用いた手法を提案し、その有意性を述べる。

2. TPE-AE

TPE-AEはテンソル積展開を適用する際に絶対値誤差を評価関数とすることで背景雑音を推定する手法である[1]。この手法は大部分を占める背景雑音と低頻度で発生する局所的な信号を主な成分とする観測モデルにおいて背景雑音を推定することを目的として提案された(図1)。観測信号を2次元ベクトル $h(l_1, l_2)$ で表し、 l_1 を時刻、 l_2 を観測点のインデックスとする。TPE-AEは $h(l_1, l_2)$ との絶対値誤差を最小とする1次元ベクトルの積和を求める手法であり、評価関数 J を式(1)のように定義する。

$$J = \sum_{l_1=1}^{q_1} \sum_{l_2=1}^{q_2} |h(l_1, l_2) - (f_1(l_1)f_2(l_2) + f_3(l_2))|. \quad (1)$$

q_1, q_2 は信号長とセンサ数を表し、 $f_1(l_1), f_2(l_2), f_3(l_2)$ はそれぞれ時系列成分・混合係数・直流成分を表す1次元ベクトルである。 J を最小とする $f_1(l_1), f_2(l_2), f_3(l_2)$ を得るため乱数探索を行うモンテカルロ法[2]、解のばらつきを抑制するメジアン法[3]などが提案されている。

3. Modified trimmed mean フィルタ

前述の通りテンソル積展開を用いた背景雑音推定の解法としていくつかの手法が提案されているが、モンテカルロ法やメジアン法では局所信号を含む信号数が半数に近くなるにつれ、背景雑音の推定精度が減少する。本稿では解のばらつきが少なく、推定精度が向上する手法としてMTMフィルタ[4]を用いた外積展開法を提案する。時系列 x_t に対する移動メジアンフィルタは

$$\text{MED}(x_t) = \text{med}(x_{t-k}, \dots, x_{t+k}), t \in \mathbf{Z} \quad (2)$$

と表され、時刻 t から前後 k サンプルの信号を抽出しそのメジアンを x_t に置き換える処理となる。メジアンフィ

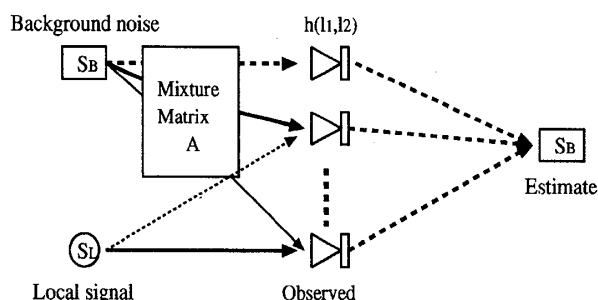


図1: TPE-AE model

ルタはスパイク雑音の除去やエッジ保存にロバストであるが、ガウス雑音除去には向いていない。そこでメジアンフィルタと移動平均フィルタの間にあたる trimmed mean フィルタが提唱された。その中でもMTMフィルタは入力のメジアンから q_t 以上離れたサンプルを除去した集合に対して平均フィルタをかける手法である。

$$\text{MTM}(x_t) = \frac{1}{|I_t|} \sum_{i \in I_t} x_{t+i} \quad (3)$$

$$I_t = \{i = -k, \dots, k : |x_{t+i} - \hat{\mu}_t| \leq q_t\}$$

$$\hat{\mu}_t = \text{med}(x_{t-k}, \dots, x_{t+k}), t \in \mathbf{Z}.$$

このフィルタは $q_t = 0$ で移動メジアン、 $q_t = \text{inf}$ で移動平均フィルタとなる。 q_t は次式に示す median absolute deviation により得ることができる。

$$\hat{\sigma}_t^M = c_n \cdot \text{MED}(|x_{t-k} - \hat{\mu}_t|, \dots, |x_{t+k} - \hat{\mu}_t|). \quad (4)$$

ここで、 c_n は窓長に依存する係数であり、大きな n に対して $c_n = 1.483, n = 21$ では $c_n = 1.625$ のように設定される。 q_t は $q_t = 2\hat{\sigma}_t^M$ により与えられる。

MTMフィルタを元にした推定法を提案する。 $\text{MTM}_{l_i}()$ は窓長 q_i ($i = 1, \dots, q_i$ 上) のMTMフィルタ関数とする。 $f_1(l_1), f_2(l_2), f_3(l_2)$ それぞれを自由パラメータとした場合における各変数のMTMは以下の通りである。

$$f_1(l_1) = \text{MTM}_{l_2}((h(l_1, l_2) - f_3(l_2))/f_2(l_2)) \quad (5)$$

$$f_2(l_2) = \text{MTM}_{l_1}((h(l_1, l_2) - f_3(l_2))/f_1(l_1)) \quad (6)$$

$$f_3(l_2) = \text{MTM}_{l_1}(h(l_1, l_2) - f_1(l_1)f_2(l_2)) \quad (7)$$

この処理を N 回繰り返しMTMフィルタによる外積展開を行い、 $f_i(l_i)$ の積和から背景雑音を推定する。

背景雑音除去への適用

既知の関数を用いて背景雑音と局所信号からなる入力信号を生成し、メジアン法とMTM法における背景雑音の推定精度について検討を行う。表1に示す正弦波と矩形波からなる5760点の時系列A-Eより、5760*5の要素

†愛知県立大学大学院情報科学研究科

表 1: Condition for input signal

	背景雑音	矩形波
A	$\sin(2\pi/576)/3.0+N(0.8,0.05^2)$	
B	$\sin(2\pi/576)/3.0+N(1.2,0.05^2)$	0.3
C	$\sin(2\pi/576)/4.0+N(1.0,0.05^2)$	
D	$\sin(2\pi/576)/5.0+N(0.8,0.05^2)$	0.6
E	$\sin(2\pi/576)/5.0+N(1.2,0.05^2)$	

: $N(\mu, \sigma^2)$ は平均 μ , 分散 σ^2 のガウス白色雑音

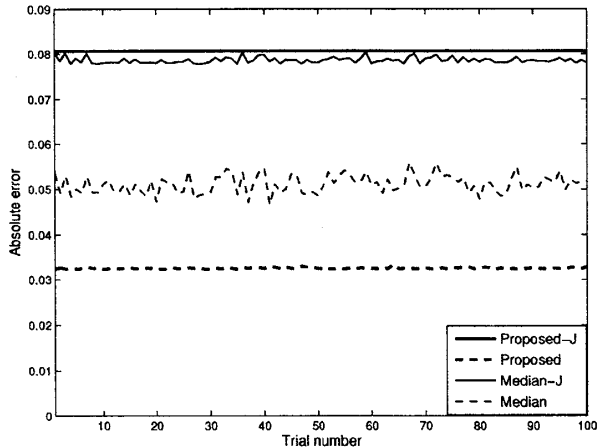


図 2: Absolute error for MTM and MED

を持つ入力ベクトルを生成する (図 3)。正弦波を背景雑音、矩形波を局所信号、さらに白色ガウス雑音からなる入力信号から各手法を用いてテンソル積を求め、真の背景雑音との差分を求める。メジアン法、MTM 法は全次元ベクトルを $N = 10$ 回ずつ推定し、 f_1, f_2, f_3 の初期値を平均 0、分散 1 の白色ガウス乱数で与える。2つの推定手法を初期値をかえ 100 回ずつ行い、各試行における背景雑音と推定雑音の平均絶対値誤差を図 2 に示す。図の横軸は試行回数、縦軸は平均絶対値誤差を表し、太実線は MTM 法の入力信号と推定雑音の平均絶対値誤差、太破線は MTM 法における真の背景雑音-推定雑音、実線はメジアン法の入力-推定雑音、破線はメジアン法における真の背景雑音-推定雑音の誤差を示す。

図 2 より、入力信号と推定雑音の誤差は MTM 法が大きいのにに対し、真の背景雑音-推定雑音の誤差は MTM 法の方が小さくなるのがわかる。これは MTM 法を適用することにより絶対値誤差は大きくなるが、精度のよい背景雑音が推定可能であることを示している。TPE-AE がガウス雑音などの影響を考慮していないため、ガウス雑音が含まれる信号に対する推定精度がよくなかったが、MTM により入力信号に付加された独立なガウス雑音の影響を平均化できたため、TPE-AE より精度が向上したものと考えられる。

入力信号から背景雑音を除去し、局所信号を抽出した例を図 4 に示す。図内上段は SignalD、下段は SignalE の局所成分であり、左側は MTM 法、右側はメジアン法を適用した結果である。図 4 より、メジアン法を用いた場合は局所信号を含まない信号に対し、右下図、7-10 周期目のように振幅の低減が見られる。一方、MTM 法を用いた結果では左下図、7-10 周期目のように振幅の低減

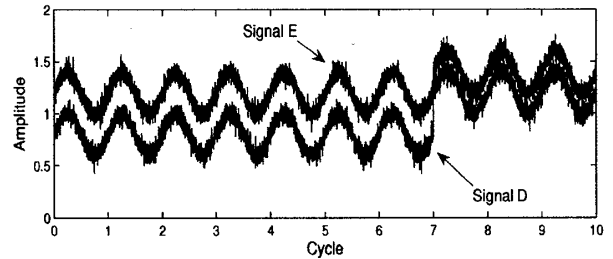


図 3: Input signal

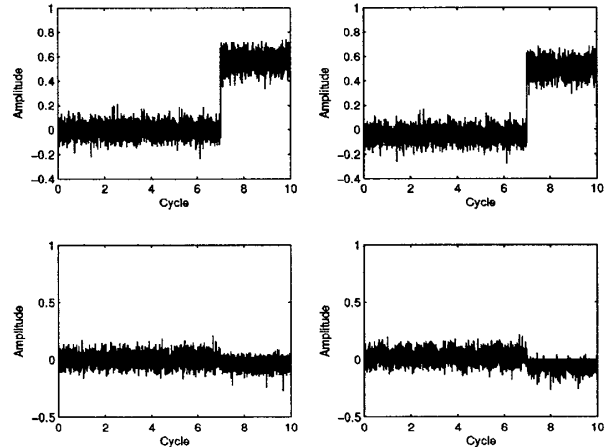


図 4: The result of subtracting estimated signals from an input signal for MTM and median method

が小さくなっており、提案手法の有効性が確認された。

まとめ

本研究は 2つの成分からなる観測信号から背景雑音を推定する手法として、MTM フィルタを用いた外積展開法を提案した。従来手法では局所信号が含まれる信号が多くなるにつれ、背景雑音の推定精度が低減する問題があったが、MTM 法は従来法に比べ背景雑音の推定精度が向上し、局所信号発生時の振幅低減に有効であることを示した。一方、MTM 法のベースとなっているメジアン法は入力信号が特定の条件を満たす場合に TPE-AE と等価であるが、MTM 法と TPE-AE の関連について十分な検討がなされていない。今後、TPE-AE とメジアン法および MTM 法の位置付けについて検討する必要がある。

参考文献

- [1] A.Itai, et al., "Global Noise Estimation Based on Tensor Product Expansion with Absolute Error," IEICE Trans., Vol.E90-A, No.4, pp.778-783, 2007.
- [2] 板井, 他, "背景雑音の推定と外積展開に関する一検討," 電気関係学会東海支部大会, O-262, 2006.
- [3] 板井, 他, "マルチセンサを用いた観測信号における背景雑音の推定に関する一検討," 信学技報-SIP, Vol.106, No.259, pp.13-18, 2006.
- [4] Lee, Y., and Kassam, S., "Generalized median filtering and related nonlinear filtering techniques," IEEE Trans. Acous. 33, pp.672-683, 1985.