

リアルタイム光ファイバ計測のための大ひずみ適応型平滑化フィルタリング方法

鹿島建設(株) 正会員 ○青鹿弘行 今井道男 藤原航太郎 岡本圭司 平 陽兵 十川貴行

1. 目的

安全で品質の高い施工管理のために、光ファイバ計測などを一定の時間間隔で連続的に行うリアルタイム計測が活用されている。このとき、時系列データにあらわれるノイズを抑えるために、平滑化されることが多い。しかし重要な監視対象である変状などにより生じる“大ひずみ”が、ノイズ除去のための平滑化によって鈍化してしまい、正確な再現性を損なうという問題がある。これに対し筆者らは、ノイズ除去を行いながらも大ひずみを正確に再現するための大ひずみ適応型平滑化フィルタの検討を行っている。本稿では、同フィルタを適用する際のデータ処理の手法を提案する。

2. 大ひずみ適応型平滑化フィルタ

2.1 大ひずみの鈍化

大ひずみ適応型平滑化フィルタが対象とする大ひずみの鈍化について図-1を例に説明する。計測データ（以下、生値）中の①に示す有意な大ひずみ（以下、有意値）は、平滑化フィルタの対象から除外する必要がある。一方、②に示すスパイク状のノイズ（以下、スパイク値）は、平滑化フィルタの対象とすべきである。しかし平滑化フィルタの例として移動平均を適用すると、スパイク値は除外できるが、有意な変化は③に示すように鈍化してしまう。そこで鈍化することなく有意値を正確に再現しつつ、スパイク値を含むノイズを低減する手法を以下に提案する。

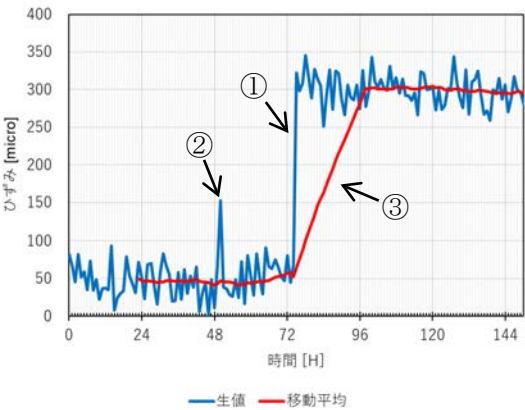


図-1 任意位置のひずみ時系列データ

2.2 大ひずみ適応型平滑化フィルタの概要

図-2に大ひずみ適応型平滑化フィルタの処理フロー（(1)～(4)）を示す。有意値の鈍化が起きる原因は、有意値を跨いで移動平均を行うことで有意値の変化量まで均されてしまうからである。そこで、(1) 有意値の発生を検知し、(2) 有意値の変化量を記録し、(3) 有意値発生後の生値から有意値の変化量をキャンセルし、(4) 移動平均を行った後に有意値の変化量を復元すれば、課題を解決することができる。より詳細な過程を、移動平均の窓長を24時間分の24データとして、以下に説明する。

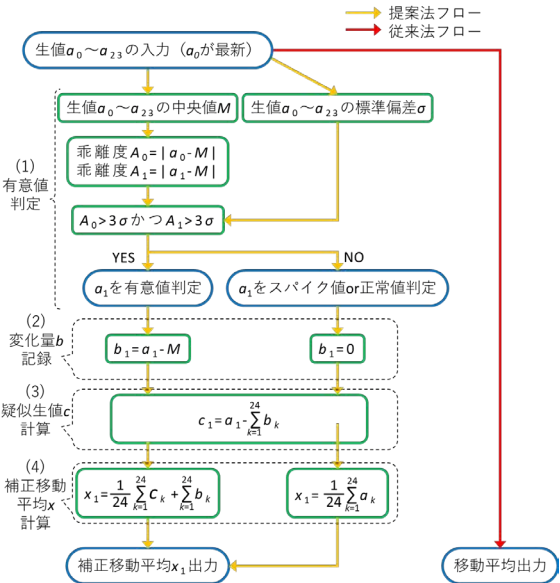


図-2 処理フロー

(1) 有意値判定

ここでは有意値発生 の判定を行う。判定には移動平均の窓内の生値 $a_0 \sim a_{23}$ の中央値 M と標準偏差 σ 、窓内の最新の生値 a_0 および一つ古い生値 a_1 それぞれの中央値 M に対する乖離度 A_0, A_1 を用いる。乖離度 A_0, A_1 が標準偏差 σ の3倍をとともに超えた場合、一つ古い生値 a_1 は有意な変化であると判定する。 a_0 ではなく a_1 に対して判定している理由は、最新の生値が大ひずみであるだけでは有意値なのかスパイク値なのか判別できないためである。 a_0 から $a_1 \sim 1$ 時間経過しても大ひずみを維持した場合に限り、 a_1 を有意値であると判定している。

(2) 変化量記録

変化量 b とは、有意値の変化量である。変化量 b は有意値判定が行われたことを前提として記録されるため、

ある一組の生値 $a_0 \sim a_{23}$ につき一つしか記録できない．変化量 b の記録は， a_1 が有意値の場合は変化量 b_1 として正負符号付きの乖離度 $a_1 \cdot M$ を記録し，そうでない場合は 0 を記録する．また変化量 b_1 が正の値の場合は引張ひずみ変化，負の値の場合は圧縮ひずみ変化を意味する．

(3) 疑似生値計算

疑似生値 c とは，生値 a から有意値の変化量をキャンセルした値である．疑似生値 c_1 の計算には変化量 $b_1 \sim b_{24}$ が必要であるため，窓のスライドを最低 24 回行った後から計算が可能になる．疑似生値 c_1 の計算は，有意値判定の結果に関わらず，生値 a_1 から変化量 $b_1 \sim b_{24}$ の合計値を減じればよい．このため疑似生値 c_1 は変化量 b_1 と同様に，任意の一組の変化量 $b_1 \sim b_{24}$ につき一つしか計算できない．また有意値を区別せずに計算できる理由は，有意値でない場合の変化量 b には 0 しか記録されていないためである．

(4) 補正移動平均計算

補正移動平均 x とは，生値 a から有意な変化を維持しながら移動平均を行った値である．補正移動平均 x_1 の計算には疑似生値 $c_1 \sim c_{24}$ が必要であるため，疑似生値が計算可能になった後に窓のスライドを最低 24 回行ってから計算が可能になる．補正移動平均 x_1 の計算は，有意値判定の場合は疑似生値 $c_1 \sim c_{24}$ の平均に変化量 $b_1 \sim b_{24}$ の合計値を加えると計算でき，有意値判定でない場合は生値 $a_1 \sim a_{24}$ の平均で計算できる．

3. 検証

3.1 検証条件

サンプルデータと実測データ 2 種類に対して提案法を適用し効果の検証を行った．サンプルデータはスパイク値を含むノイズ，引張ひずみ変状，圧縮ひずみ変状をもつデータに，全体的なノイズとして $\pm 50\mu$ ひずみの幅でホワイトノイズを発生させたものを用意した．実測データは分布型光ファイバ計測データ中の任意位置の時系列データを用意した．

3.2 検証結果

図-3 にサンプルデータに対して提案法を適用した結果を，図-4 に実測データに提案法を適用した結果を，それぞれ従来の移動平均結果とともに示す．検証の結果，サンプルデータにおいてスパイク値を含むノイズは除去され，立上り，立下りともに有意値が保持された状態の平滑化フィルタリングが行われ，提案法が有効であることが確認できた．また，実測データにおいてもその有効性が確認できた．

従来の移動平均では，結果が即時出力されるものの，有意な大ひずみ変化については移動平均の窓長分遅れることで正確な結果が出力される．一方，提案法では，一つ古い生値に有意値判定を行うために 1 時間遅れて結果が出力されるものの，有意な大ひずみ変化については正確な結果が遅れることなく出力される点で優れていると考える．

4. 結論

光ファイバ計測などを一定の時間間隔で連続的に行うリアルタイム計測において，重要な監視対象である変状などにより生じる“大ひずみ”を，ノイズ除去のための平滑化フィルタから除外し正確に再現するフィルタリング方法を提案し，サンプルデータおよび実測データを用いて検証した．その結果，提案法が有効であることが確認できた．提案法は分布型光ファイバの計測データに限らず，類似の挙動を持つ時系列データにも適用可能である．今後の課題として，移動平均の窓長の内に複数回の有意な大ひずみが発生する対象へも適用可能にする方法の検証を行っていく予定である．

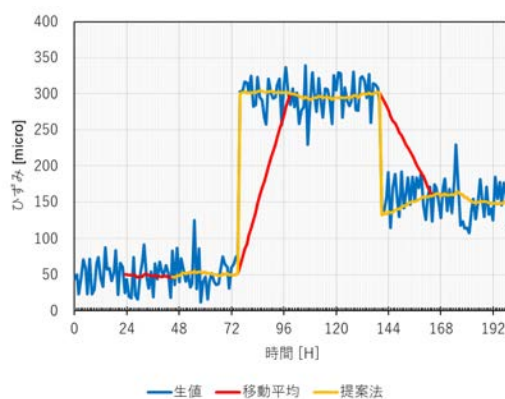


図-3 サンプルデータ

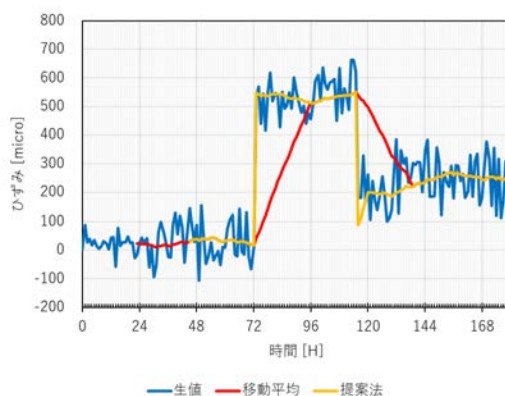


図-4 実測データ