

高頻度検測データを用いた軌道変位時系列データのノイズ除去

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○葛西 亮平
 国立研究開発法人 理化学研究所 末廣 大貴
 国立研究開発法人 理化学研究所 田部井 靖生

1. 概要

営業列車搭載型線路設備モニタリング装置は、『軌道変位モニタリング装置』及び『軌道材料モニタリング装置』から構成されている（図－１）。

軌道変位モニタリング装置は、（公財）鉄道総合技術研究所において開発された慣性正矢法による測定装置を営業列車の車両床下に搭載したものであり、列車運行の都度、高頻度に軌道変位が測定可能である。現在そのデータを用いた将来予測が実務に活用されているが、測定データにノイズが含まれる場合、若干精度が低下することがある。

今回、そのノイズ除去を試みたので報告する。



図－１ 線路設備モニタリング装置外観

2. 既往技術と課題

軌道変位モニタリング装置から取得されたデータはクラウドに自動送信されモニタリングセンターにおいて軌道保守管理データベースシステム LABOCSにより各測定データの位置合わせ処理を行い¹⁾、1 検測/日程度のデータをクラウドへ送信している。

送信されたデータは毎日軌道変位の将来予測を行い、異常箇所を抽出しユーザーにアラートする。将来予測を精度よく行うためには、

- ① 検測データの位置合わせ
- ② 検測データから得られた時系列データの変化点及びノイズの処理

が重要であるが、既存の処理において、まれに上記①②に起因した予測精度低下が生じる場合がある。

キーワード 線路設備モニタリング装置、将来予測

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479 TEL 048-651-2389 FAX 048-651-2289

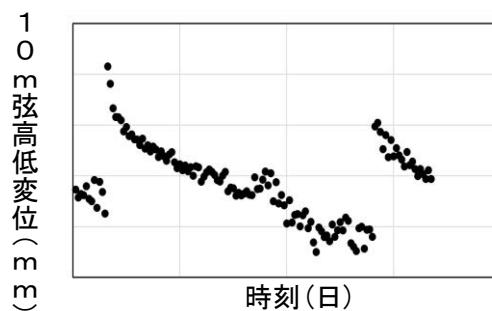
2. 位置合わせの改良によるノイズ軽減

既往技術においては検測データ間の位置合わせは、『基準データ』と呼ばれる、正確であるとみなせる軌道変位データを基準に各検測データに対して相互相関法により位置を合わせるが¹⁾、位置情報車輪の回転により取得するため、測定する車両空転や滑走がある場合に位置ずれが生じることがある。その結果時系列データのノイズとして表れる。

この問題に対応するため、相互相関法と動的時間伸縮法のそれぞれの長所を併せ持つ位置合わせ法を開発し実装した（詳細は文献²⁾参照）。

3. 変化点検知

線路の工事を行うと、時系列データに変化点が生じるため（図－２）、将来予測を行うためには、直近の変化点以降のデータを用いる必要がある。また、後述のノイズ除去を行う際にも変化点検知の情報が必要である。



図－２ 変化点を伴う軌道変位時系列データ例

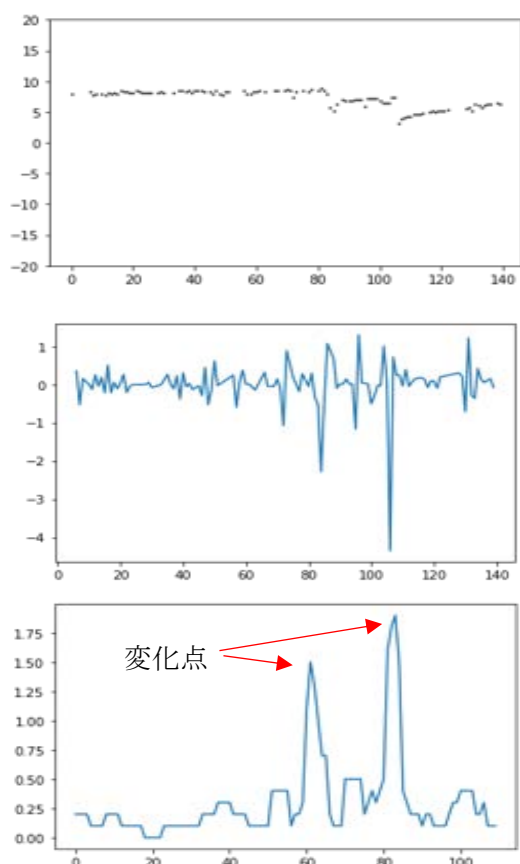
前日データとの差分（図-3 中段）に対して、変化点スコアを式（１）より求める（図-3 下段）。変化点スコアの標準偏差に対して、 2σ を超える点を変化点として扱うこととした。

$$\hat{y}_n = \sqrt{\frac{1}{2k} \sum_{i=-k}^k (y_{n+i} - \bar{y}_n^k)^2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし,

$$\bar{y}_n^k = \frac{1}{2k} \sum_{i=-k}^{2k} y_{n+i}$$

y: 時系列データ



上段: 軌道変位時系列データ

中段: 時系列データの差分

下段: 変化点スコア

(ただし, 0, 25 単位で丸めている.)

図-3 変化点の検知例

4. ノイズ除去

軌道変位の時系列データにおいては, 検測誤差によるノイズと, 継目前後において軌道変位が異なる場合に時系列データが2極化するノイズがある(図-4). それら2つを効果的に取り除くこととした.

まず, Super Smoother という局所最適化した移動平均により基準線を算出する³⁾. 基準線から各点との差についてカーネル密度推定を行い(図-5), 2峰存在する場合は, Silverman 検定を行い, 2つ目の峰の存在が確からしいか検定する⁴⁾. 2つ目の峰が確からしい場合にその時系列データを消去する(図-6). 上記処理により予測しやすい時系列データを作成することが可能となった.



図-4 2極化した時系列データ例

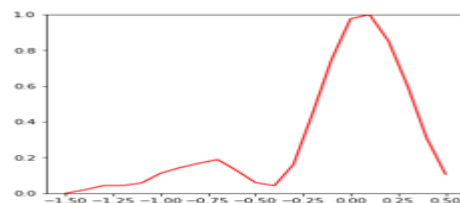


図-5 基準線からの差のカーネル密度分布



黒: 時系列データ, 赤: Super Smoother, 青: 直近変化点

図-6 ノイズ除去された時系列データ

6. まとめ

高頻度軌道変位データにより時系列データを作成した際に生ずる変化点や固有のノイズに対する効果的な処理方法を開発した. この方法を用いることで, 予測精度が向上すると考える.

参考文献

- 1) 田中博文, 山本修平, 森忠夫, 西藤安隆: 「相互相関法を用いた波形レベルでの軌道変位進み算定手法の開発」, 第23回鉄道技術連合シンポジウム, S1-3-4, 2016
- 2) 葛西亮平, 山本修平, 末廣 大貴, 田部井 靖生: 「正規化相互相関を指標とした動的時間伸縮法による軌道変位の位置合わせ手法の構築」, 第29回鉄道技術連合シンポジウム, S1-1-3, 2022
- 3) Friedman, J.H. 「A variable span scatterplot smoother」, Laboratory for Computational Statistics, Stanford University Technical Report No.5, 1984
- 4) 楠橋直, 岡本隆: 「ノンパラメトリックな多峰性検定-Silvermanの検定-とその古生物学への導入」, 日本古生物学会「化石」, Vol197, p. 23-37, 2016