

信号ボンドモニタリング装置の実用化開発



佐々木 和洋*



金田 敏之*

Practical development of monitoring for Signal Bonds

Kazuhiro SASAKI*, Toshiyuki KANEDA*

*¹ Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

When the signal bond for track circuits drops out, the train operation will be suspended. East Japan Railway Company regularly conducts visual inspection and checks the state of signal bonds many times. However, it takes a lot of labor and it is very hard. We have developed an equipment the anomaly detection of the signal bond by the image recognition in order to reduce the number of periodic inspections.

●**Keywords:** Signal Bond, Monitoring, Anomaly detection, Histogram of Oriented Gradients Feature, Semantic Segmentation

*¹JR東日本研究開発センター テクニカルセンター

1. 緒言

JR東日本（以下、当社）では、メンテナンスの体系を時間基準保全（TBM：Time Based Maintenance）から状態基準保全（CBM：Condition Based Maintenance）に変更し、より効率的な設備保全の実現をめざして業務の変革を進めている。レールと信号装置を電氣的に接続するために取付けられている軌道回路用信号ボンド（以下、信号ボンド）は、脱落などが起きると列車運行に支障を及ぼすため、現在年1～3回の目視検査を行っているが、検査は夜間中心で検査員の負担が大きく、設備も点在しているため効率的な検査が行えていない。そこで、信号ボンドの目視検査の削減と検査の効率化を目的とした「ボンドモニタリング装置」（以降、本装置）を開発した¹⁾。開発した方法は、線路設備モニタリング装置より得られる線路モニタリング画像から、AIや画像処理技術を活用して信号ボンドの正常・異常を判定するものである。本装置は2020年4月に山手線ほか4線区を対象に試使用が開始されており、2022年度には正常・異常判定の精度を向上させ、対象線区も拡大して本使用開始が予定されている。本稿では、本装置の開発と実用化について概要を述べる。

2. 軌道回路用信号ボンドについて

軌道回路は、2本のレールが列車の輪軸（車輪と車軸）で電氣的に短絡することを利用して列車を検知するものである。本稿の対象である信号ボンドは、軌道回路電流をレールに流すために必要な設備であり、通常はレールに溶接されている。しかしながら、列車通過時の振動や経年による劣化などにより、溶接部のレールからの脱落や配線切れなどが発生することもあり、定期的な検査が必要である。

3. ボンドモニタリング装置のシステム構成

本装置は当社の信号通信の検査を委託しているパートナー会社（東日本電気エンジニアリング）で使用されている。東日本電気エンジニアリングでは、線路モニタリングシステムから当社のCBMクラウドにアップロードされた線路モニタリング画像を本装置にダウンロードし、その画像データを用いて正常・異常判定を行う。判定処理済みデータはCBMクラウドに再度アップロードされ、JR保守拠点のユーザーが判定処理済みデータを参照して、設備管理や修繕計画の策定に活用している（図1）。

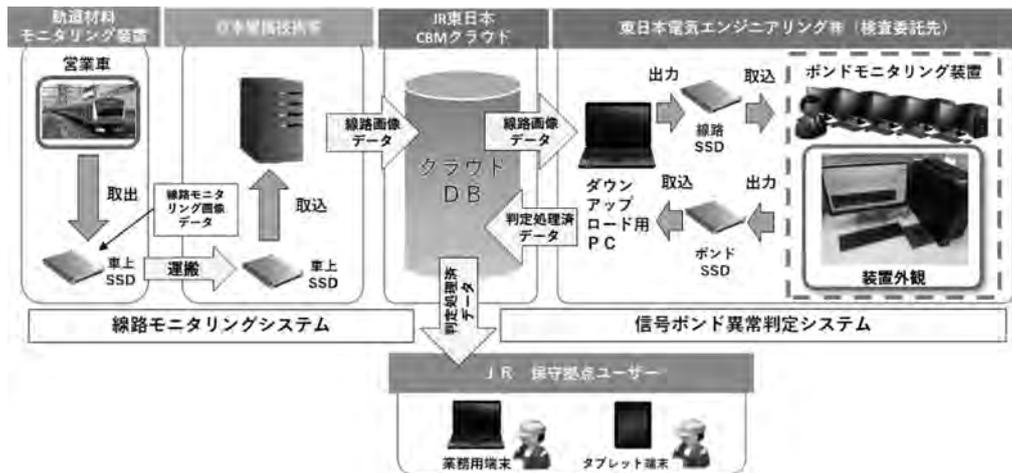


図1 ボンドモニタリング装置のシステム構成

4. ボンドモニタリング装置を用いた信号ボンドの正常・異常判定フロー

4.1 信号ボンドの正常・異常判定の全体処理フロー

ボンドモニタリング装置の正常・異常判定の処理フローを図2に示す。処理は大きくわけて「ボンド抽出処理」「位置合わせ処理」「正常・異常判定処理」の3段階で行う。

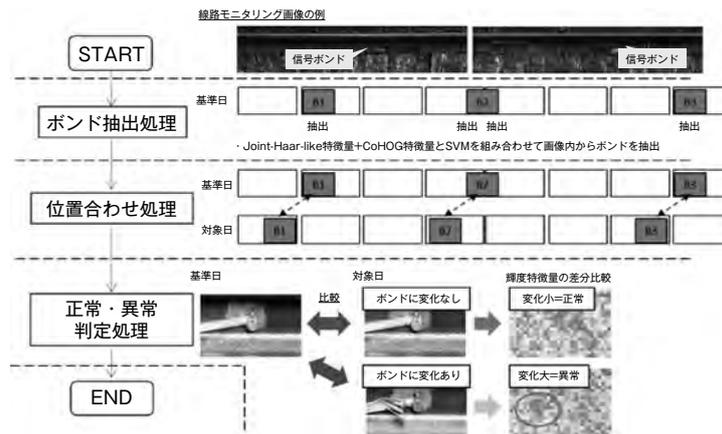


図2 信号ボンド正常・異常判定 (全体処理フロー)

4.2 ボンド抽出処理について

ボンド抽出処理では、線路モニタリング画像から信号ボンドを抽出する方法として、高速計算に向く「Joint-Haar-like特徴量によるスクリーニング」および計算に時間がかかるが強力な識別能力を持つ「CoHOG (Co-occurrence Histogram of Oriented Gradients) 特徴量」²⁾と「SVM (Support Vector Machine)」を用いた（図3）。Joint-Haar-like特徴量によるスクリーニングでは、正例パターン（ボンド）と負例パターン（ボンド以外）のHaar-like特徴を学習させ、大量の線路モニタリング画像の中からJoint-Haar-like特徴が正例パターンと合致する部分の画像をボンドを含む画像と想定して抽出する。続いて、抽出された画像に対して、各ピクセルの隣接ピクセルとの輝度値の勾配方向を基にCoHOG特徴量を算出する（CoHOG特徴量とは、HOG特徴量（4.4 正常・

異常判定処理を参照)をベースにした特徴量)。最後にボンドとボンド以外の画像のCoHOG特徴量を学習させたSVMを用いて、スクリーニングされた画像がボンドかどうかを判別する。ボンド抽出処理での自動抽出の正解率は約87%となっている。

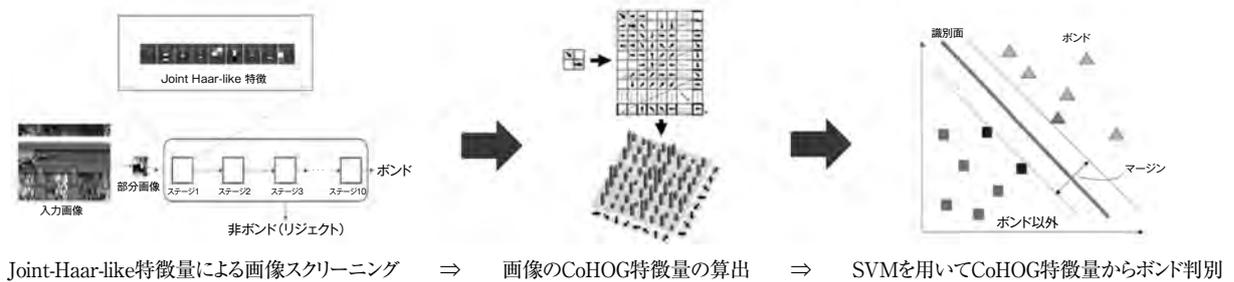


図3 ボンド抽出処理の流れ

4・3 位置合わせ処理について

信号ボンドの位置合わせは「概略位置合わせ」と「詳細位置合わせ」の大きく分けて2つの処理で構成されている。概略位置合わせは、基準日と対象日の同一ボンドの対応づけを行うものである。図4に示すように基準日画像と対象日画像に対して、ボンド抽出処理で検出された複数の信号ボンド間の各区間長Lを計算する。その後、同図の斜め二重線に示すように、同一の区間長L同士を対応づけることで、基準日と対象日とのズレ量を求める。さらに動的計画法 (DP: Dynamic Programming) や基準日に教示されている正解位置情報を用いた対応付けも併用し、対象日の画像に含まれる信号ボンドを基準日の信号ボンドと対応づける。

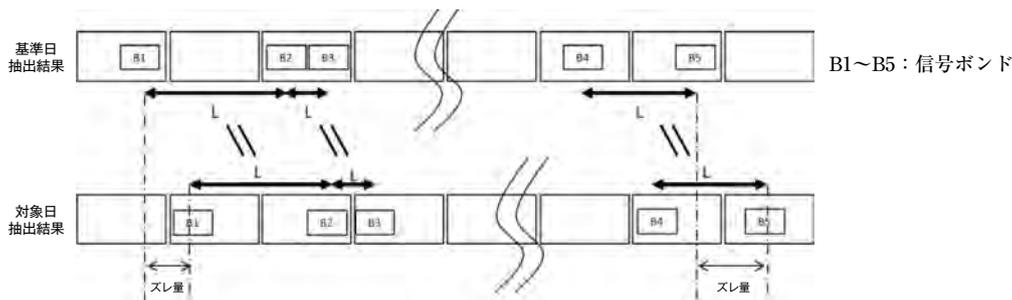


図4 概略位置合わせの概要

詳細位置合わせは、概略位置合わせで対応付けた信号ボンドに対して、角度補正などの微細な補正を実施するものであり、具体的には、図5のように基準日画像と対象日画像の特徴点検出を行い、各々の特徴点の場所で局所特徴量の計算を行う。次にRANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS) 法によりノイズを取り除いた対応点を求め、対応付けた特徴点を用いて射影変換を表すホモグラフィ変換行列の推定を行う。求まった射影変換によって対象日画像を変換することで図6のような補正後の画像を生成する。「概略位置合わせ」と「詳細位置合わせ」による信号ボンドの位置合わせは約99%の成功率となっている。

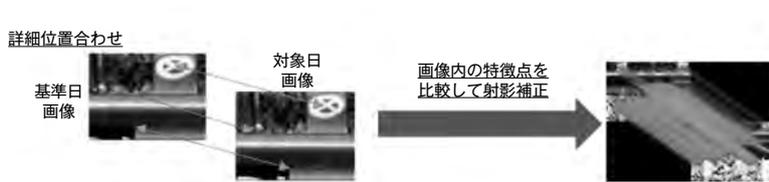


図5 局所特徴量計算と対応付け

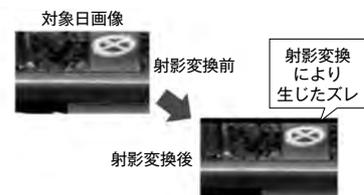


図6 射影変換による画像補正

4・4 正常・異常判定処理

正常・異常判定処理は、HOG (Histograms of Oriented Gradients: 輝度勾配方向ヒストグラム) 特徴量を用いて基準日画像と対象日画像の差分により行う。HOG特徴量は、局所領域の輝度勾配のヒストグラムを特徴量とするもの(図7)で、局所的な幾何学的変形に強く、照明の変動に頑健という特徴を持つ。詳細位置合わせ終了後の基準日画像と対象日画像に対してノイズ除去等の前処理を行った後、対応するセルごとにHOG特徴量の相違度を求め、画像全体の相違度の平均値がしきい値より小さければ「変化小=正常」、大きければ「変化大=異常」と判定する(図8)。

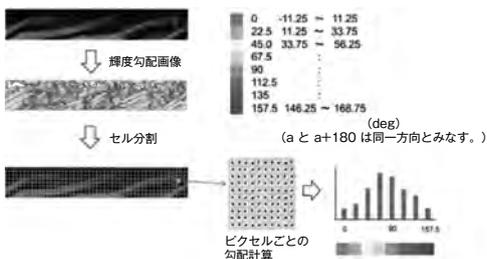


図7 HOG特徴量の概要

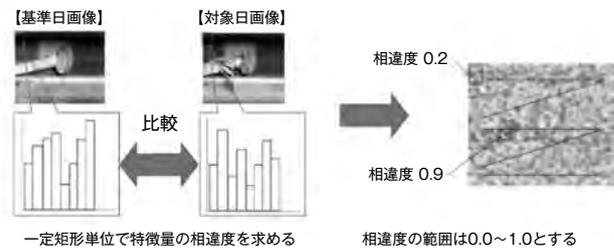


図8 基準日画像と対象日画像の相違度算出

5. 正常・異常判定の精度向上

本装置は2020年4月に山手線ほか4線区を対象に試使用を開始されたが、正常な信号ボンドを異常と誤判定する確率が20%を上回った。そこで、正常・異常判定処理の改良開発を行った。誤判定の原因の約70%が天候などの影響（雨でレール等が濡れて色が変化）による信号ボンド以外の変化が原因であったことから、画像から信号ボンドを抽出し、抽出した部分のみで正常・異常判定処理を行う方式に改良した。画像から信号ボンド部分を抽出する手法にはセマンティックセグメンテーション (Semantic Segmentation) の1つであるFast-SCNN³⁾を用いた。基準日画像に対してFast-SCNNを用いて信号ボンド部分を自動抽出し(図9)、抽出された信号ボンド部分のみで相違度を算出する(図10)ことで、誤判定の発生率が約20%から約14%まで削減、さらに天候や微妙なコントラスト変化を原因とした誤判定の発生率も約70%から約40%に削減できた。

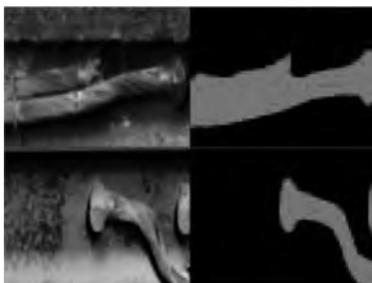


図9 信号ボンドの自動抽出

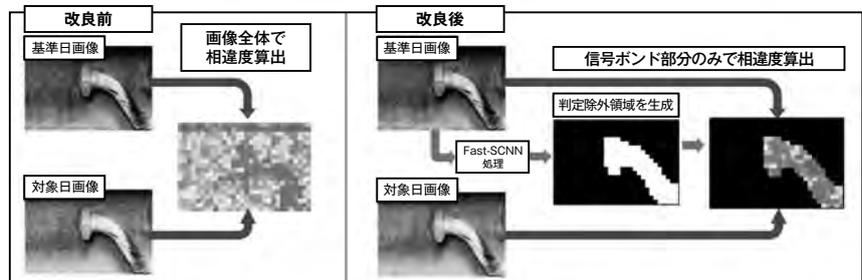


図10 改良前と改良後の判定方式の違い

6. 結言

本稿では、線路モニタリング画像から信号ボンドを抽出、位置同定、正常・異常判定を実現するためのアルゴリズムを検討し、そのアルゴリズムを実装した「ボンドモニタリング装置」の開発について述べた。本装置は2020年4月に山手線ほか4線区を対象に試使用が開始された。さらに、2021年度に正常・異常判定の精度を向上させる改良開発を行った。2022年度には判定精度を向上させた「改良型ボンドモニタリング装置(仮称)」を導入する予定である。今後ボンドモニタリング装置の対象線区は随時拡大される予定であり、当社の電気部門のCBMを実現させる装置の1つとして活用が見込まれている。

参考文献

- 1) 工藤由康、鈴木雅彦、金田敏之、送着ボンドモニタリングの基礎開発、JR EAST Technical Review (in Japanese), No.62, p.53~56
- 2) 小坂谷達夫、伊藤聡、窪田進、2種類の異なる特徴を用いた特定物体検出、東芝レビュー、No.65 (7)、p.33~36、2010
- 3) Rudra PK Poudel, Stephan Liwicki, and Roberto Cipolla, Fast-SCNN: Fast Semantic Segmentation Network, arXiv:1902.04502(2019)