

機械学習を用いた軌道の状態診断に関する研究

日大生産工(院) ○林田 悠一 日大生産工(院) 小田嶋 舞
日大生産工 綱島 均

1 緒言

鉄道にとって軌道とは、列車荷重を支持・案内し、列車を円滑に走行させるための重要な要素である。鉄道車両を安全かつ快適に走行させるためには、軌道の維持管理及び予防保全が必要不可欠であり、常時または高頻度で監視する事が望ましい。鉄道事業者の多くは専用検測車を用いた軌道検測を行っているが、地方鉄道では軌道検査に必要な費用や人員などの点から、十分な検査を行えない事業者も多数存在している。

そこで、センサ類、GPSなどで構成された小型プローブ診断装置¹⁾を用いて、営業運転を行いながら軌道状態の常時診断が可能なシステムが開発されている。しかし、本システムは営業列車の位置情報や車体動揺などの大量のデータを取り扱うため、多くの鉄道事業者に対応するには自動的に軌道状態を診断・予測するシステムが必要となる。

そこで本研究では、軌道異常検出の自動化を実現するために機械学習を導入し、車体振動加速度から軌道状態を自動的に診断するアルゴリズムを構築した。さらに構築したアルゴリズムを用いて、実際の地方鉄道の軌道状態の診断可能性を検討した。

2 軌道状態診断アルゴリズムの構築

2.1 車両動揺から特徴量抽出

軌道状態を管理する指標として高低不整、通り不整、水準不整がある。これらの軌道不整と車体動揺には高い相関があるため、車体動揺の大きさは軌道状態の傾向を知るには有効な手段である。また、軌道状態診断システム²⁾は営業車両が走行した際の車体の上下、左右加速度及びロール角速度の収集が可能である。そこで機械学習を用いて軌道不整の診断を行うために、収集した車両振動から分析する際の特徴量を抽出することで、教師あり学習に必要な学習データを作成する必要がある。

本研究では、マルチボディダイナミクス解析ソフト SIMPACK³⁾を用いて、走行シミュレーションを行い、軌道不整上を走行した際の車両振動を出力した。入力した軌道形状は、地方鉄道を想定した標準的な軌道形状

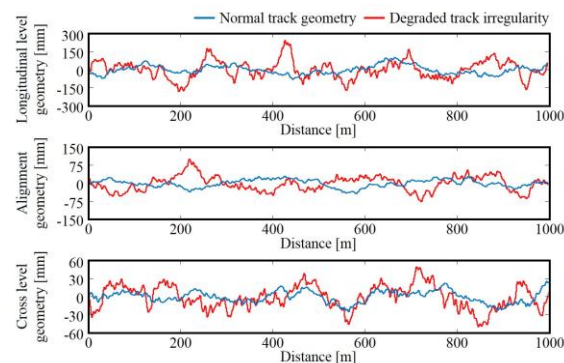


Fig.1 Track geometry

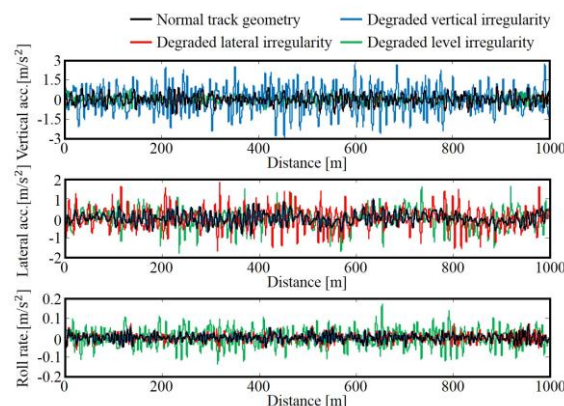


Fig.2 Calculated car-body vibration

と軌道異常が生じた軌道形状を模擬した。作成した軌道形状を図1に示す。入力は高低、通り、水準不整が全て標準的な軌道と各軌道不整の項目の内、1つが劣化した軌道でシミュレーションを行った。また、走行距離を1000m、走行速度を60km/hとした。

シミュレーション結果を図2に示す。図2より、高低、通り不整の劣化は、それぞれ、上下、左右加速度に相関があり、水準不整の劣化は左右加速度とロール角速度の双方に相関があることが確認できる。また、出力した車両動揺から10m間ごとのRMS値を算出し、3次元

Development of Algorithm to Diagnose Track Conditions using Machine Learning

Yuichi HAYASHIDA, Mai ODASHIMA and Hitoshi TSUNASHIMA

空間にプロットした特徴空間を図3に示す。図3より、軌道状態が正常、高低異常、通り異常、水準異常の4つのクラスターが生成されることがわかる。このような特徴空間を学習データとして活用することで、機械学習による識別が可能になる。

2.2 機械学習を用いた識別方法

軌道状態診断アルゴリズムは2クラスの分類問題を解くために作られた学習アルゴリズムであるサポートベクターマシン(SVM)を用いる。SVMは2つのグループ間の最も離れた箇所(最大マージン)を見つけ出し、その中心に境界を引く。このマージンを最大化することによって高い汎化能力が得られるという特徴がある。

本アルゴリズムは4択問題である多段識別を行う。そのため、識別対象を高低異常、通り異常、水準異常、正常な軌道形状の4通りで実行する。例として識別対象を高低異常とすると、SVMで行う識別は高低異常か高低異常以外かの2択問題として取り扱うことにより軌道の状態を診断する。

3 地方鉄道の軌道状態診断

本章では機械学習を導入した軌道異常検知の初期研究として、地方鉄道の車両動揺データから簡易的な特徴量のクラスターを作成し、軌道状態の診断可能性を検討する。学習データの作成は2016年10月に高低不整の補修があった一駅区間を2016年1月、2月、5月、6月、7月、11月に小型プローブ診断装置で測定した車両動揺データを用いた。この特徴空間は高低異常クラスターを上下加速度 $1.0[\text{m/s}^2]$ 以上、通り異常クラスターを左右加速度 $1.1 [\text{m/s}^2]$ 以上且つロール角速度 $0.05[\text{rad/s}]$ 以下、水準異常クラスターはロール角速度を $0.05[\text{rad/s}]$ 以上のデータを抽出し、正常クラスターは高低不整の補修後の11月に測定したデータを用いてクラスターを作成した。

本アルゴリズムは軌道距離10mごとに診断を行い、軌道異常がある場所と種類を検出する。図4に軌道検測車により高低不整補修前の7月に測定した車両動揺をRMS値に算出したグラフと、本研究で構築したアルゴリズムにより高低、通り、水準異常の検出結果を各RMS値グラフ上段のカラーマップで示す。図4より上下、左右加速度およびロール角速度のRMS値グラフが突出した箇所において、高低、通り、水準異常と診断された。これより、軌道異常が生じている可能性がある場所とその種類の特定において、機械学習を用いた軌道状態の診断は有効であると考えられる。また、収集した車両動揺のビッグデータからK-means法などのクラスタリングを行うことで特徴量を抽出した学習データを作成することで、より効果的な軌道異常検出が可能になると考えられる。

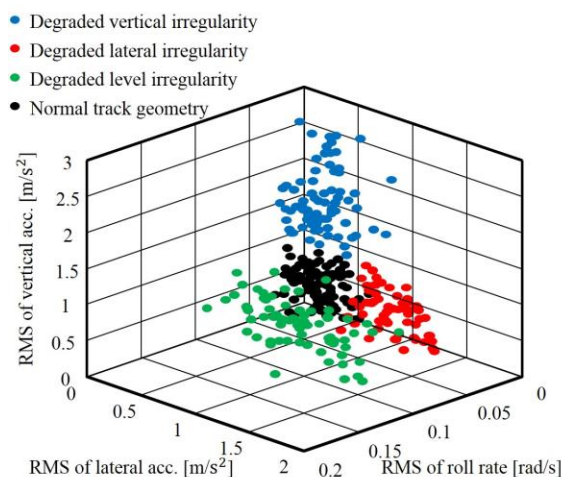


Fig.3 Feature space from the simulation

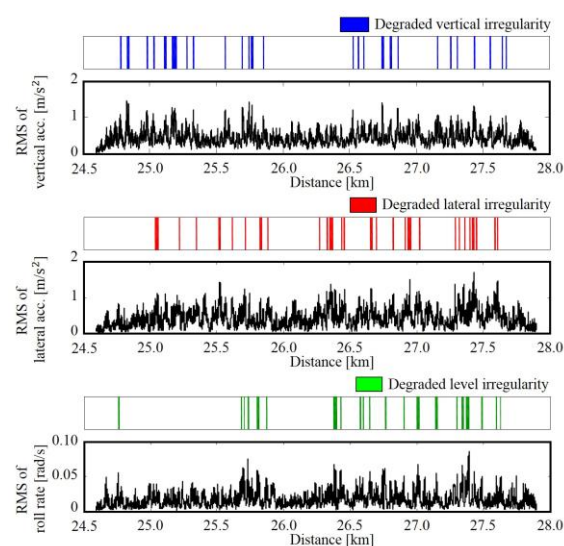


Fig.4 RMS of car-body accelerations and results of machine learning

4 結言

営業車両の車体動揺から軌道状態を診断するアルゴリズムを構築し、実際の地方鉄道の軌道状態の診断可能性を検討した。その結果、軌道の高低不整、通り不整、水準不整について、異常を自動的に検出できることを示した。

「参考文献」

- 1) 小島崇, 綱島均, 松本陽, 水間毅, 車上測定データによる軌道の異常検出(第2報, プローブシステムの開発と検証), 日本機械学会論文集C編, 75巻754号, (2009)pp.264-271.
- 2) 荻野誠之, 綱島均, 柳沢一機, 他, 小型レール診断装置を用いた軌道の状態診断システムの開発, 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), Vol.135, No.4, (2015)pp.395 -402.