

2204 データ駆動型アプローチによる台車部品の故障検知手法の基礎検討

○中岡 輝久 松木 信哉 高橋 恵介 榎本 雅幸 三津江 雅幸 横尾 篤志 (川崎重工業株式会社)

A study on fault detection method of bogie parts by data driven approach

Teruhisa NAKAOKA, Shinya MATSUKI, Keisuke TAKAHASHI, Masayuki ENOMOTO, Masayuki MITSUE, Atsushi YOKOO
(Kawasaki Heavy Industries, Ltd.)

Railway vehicle is maintained regularly to secure the safety using great cost. We consider that the maintenance cost will be reduced if the railway-vehicle could be maintained based on running condition. We have developed condition monitoring system for safety of railway vehicle, and are trying to develop fault detection method of bogie parts to improve this system for the maintenance. We tried to detect a fault of bogie parts by using MT method that is often used in the field of quality engineering. And we evaluated the performance of the fault detection method using the running condition data and confirmed the validity of the method.

Keywords : fault detection, bogie parts, maintenance, condition monitoring, mahalanobis taguchi method

1. はじめに

鉄道車両は、定期的なメンテナンスによる予防保全が行われている。一方、走行状態に基づく予測保全が可能となれば、事故の未然防止による安全性向上だけでなく、定期メンテナンス時期の見直しによるメンテナンスコストの削減も期待できる。

我々は走行安全性を阻害する異常を早期に検知する台車のオンライン状態監視装置の開発を行ってきており¹⁾、同装置の機能向上の一環として、データ駆動型アプローチによる台車部品の故障検知に取り組んでいる。具体的には、実走行時の車両各部の挙動から、台車部品のうちバネ・ダンパ系の故障検知を試みた。さらに、少数のセンサで故障検知を実現可能とするために、各台車部品の故障検知に有効なセンサの評価も行った。以下に詳細を記す。

2. 手法

2.1 故障検知

台車部品の故障検知手法として、品質工学の分野で広く用いられているMT法を使用する。このMT法で用いる特徴量として、 p 箇所に設置した各センサ出力の特定の周波数成分(q 成分)のパワースペクトルを用いる。このときの特徴量の次元数は $k = p \times q$ である。

MT法では、正常時の特徴量の分布(正常分布)を利用し、正常分布からの逸脱を見ることで異常を検知する。具体的には、正常時のデータから抽出した n 個の特徴量($\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$)から、平均ベクトル $\boldsymbol{\mu}$ 、分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}$ を計算し、正常時の分布を定義する。ここで、 k 次元特徴量ベクトルは $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik})^T$ とする($i = \{1, 2, \dots, n\}$)。そして、評価対象となる特徴量ベクトル $\mathbf{y}_j = (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk})^T$ と正常分布との逸脱度を表すマハラノビス距離(MD)を、

$$MD_j = \sqrt{\frac{1}{k}(\mathbf{y}_j - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{y}_j - \boldsymbol{\mu})}$$

と定義し、この MD_j がしきい値 T 以上のときに、故障と判断する。

2.2 有効なセンサ評価

多次元の特徴量の中から各台車部品の故障時にMDの値が大きくなる特徴量を選択することで、各台車部品の故障検知に有効なセンサの評価を行う。特徴量の組み合わせによってもMDの値は変化するため、様々な特徴量の組み合わせにおいてMDの値が大きくなる特徴量を選択する。すべての特徴量に対する組み合わせ数は膨大となるため、実験計画法における直交表を用いることで評価する組み合わせ数を削減し、故障を把握するために有効な特徴量の選択を行う。

3. 実験

実験データとして、2006年に実施した台湾高速鉄道の走行試験時に取得した定速走行時の加速度データを用いた。同試験では、走行安定性の評価のため、バネ・ダンパ系を模擬的に故障させた際の同様のデータも取得したため、通常走行時のデータと併せて本評価に用いた。Fig.1に示す車体・台車枠・軸箱にそれぞれ5軸(前後1軸、上下、左右2軸)ずつ計15軸($p=15$)設置した加速度センサの出力値を用いて故障検知を試みた。周波数成分として0.5Hz~10Hzまでの低周波成分の20成分($q=20$)を用い、特徴量の次元数は300次元($k=300$)とした。健全状態での走行データを正常データ、模擬故障時の走行データを台車部品故障時のデータとして使用し、台車部品の故障検知手法の有効性を評価する。

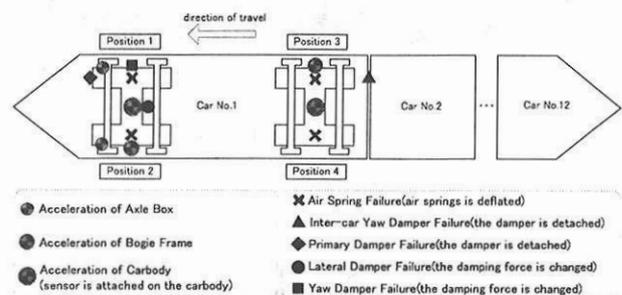
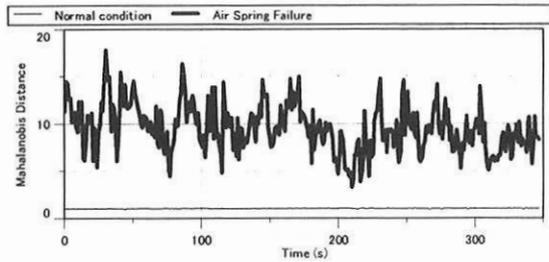
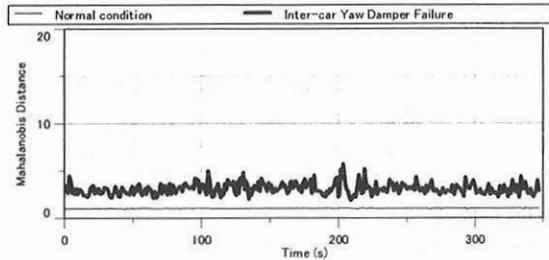


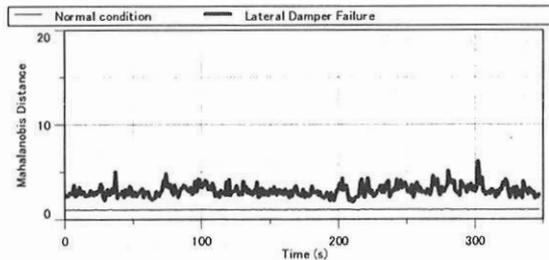
Fig.1 Sensor positions and failure positions



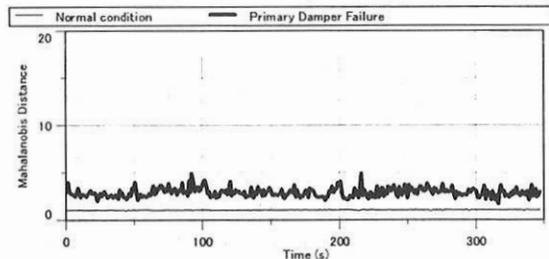
(a) Air Spring Failure



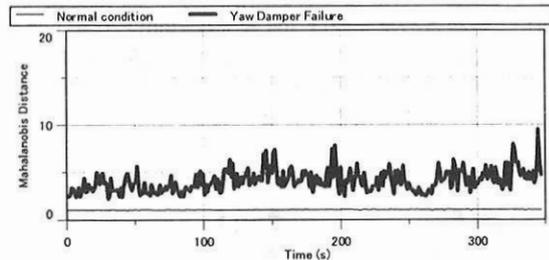
(b) Inter-car Yaw Damper Failure



(c) Lateral Damper Failure



(d) Primary Damper Failure



(e) Yaw Damper Failure

Fig.2 Detection result

Table 1 Effective sensors for each failure condition

Failure Conditions	Effective sensor
Air Spring Failure	Vertical Acceleration of Bogie and Carbody
Inter-car Yaw Damper Failure	Longitudinal Acceleration of Carbody
Lateral Damper Failure	Lateral Acceleration of Axle Box and Bogie Frame
Primary Damper Failure	Lateral Acceleration of Axle Box and Bogie Frame
Yaw Damper Failure	Acceleration of Carbody

4. 結果及び考察

各台車部品の故障に対する検知結果を Fig.2 に示す。健全時と故障時の MD 値の分離性は極めて良く、適当なしきい値設定により、今回対象とした台車部品の故障を全て検知可能であることが確認できた。

次に、各台車部品の故障時の MD 値により 15 個のセンサから選択した故障検知に有効なセンサを Table 1 に示す。空気バネの故障検知に有効な車体上下加速度センサだけで故障検知した結果を Fig.3 に、ヨーダンパの故障検知に有効な車体前後加速度センサだけで故障検知した結果を Fig.4 にそれぞれ示すが、センサを 1 つに絞っても故障検知が可能であることが確認できる。各台車部品の故障検知に有効な特徴量を評価したことで、より少ないセンサ数で故障検知機能を実現できることが期待できる。

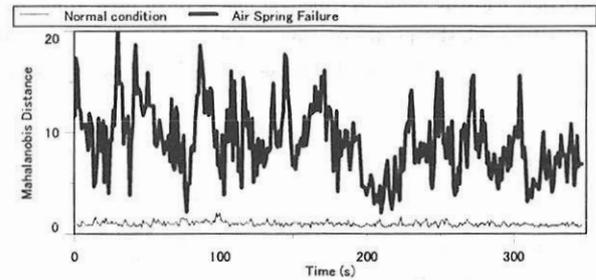


Fig.3 Detection result of air spring failure when using only the vertical acceleration of carbody.

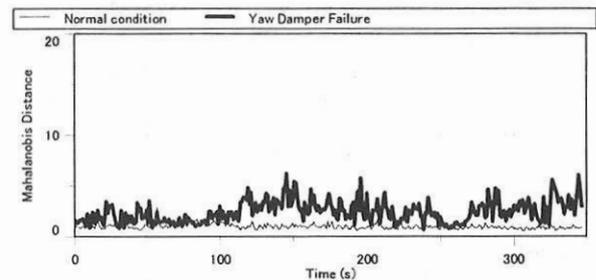


Fig.4 Detection result of yaw damper failure when using only the longitudinal acceleration of carbody.

5. おわりに

実走行時に取得した加速度データを用いて、MT 法による台車部品の故障検知手法を評価した。その結果から、同手法が台車部品の故障検知に有効であることを確認した。また、MD 値を評価尺度として、故障検知に用いるセンサ数の削減が可能であることを確認した。

今後の課題としては、走行速度、加減速、満車・空車、車両の個体差、軌道等の走行条件の違いが与える影響についても今後評価が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 奥 保政 :世界最高水準の走行性能・安全性・環境性能への取り組み, 川崎重工技報, 170 号, pp.5-9, 2010