

多重モデル推定器を用いた鉄道車両の故障検知に関する研究

日大生産工(院) ○小松一樹 日大生産工 丸茂 喜高 日大生産工 綱島 均

1. 諸言

現在、日本の三大都市圏の鉄道利用率は、海外の都市に比べて高く、平日1日に都心部に流入する交通手段を見てみると、東京は、80%以上の鉄道利用率を占めている事から、現代社会において鉄道は欠かせない交通手段となっている。鉄道路線の整備が進んでいる反面、鉄道の混雑がとても高い事と狭い国土という事から、大都市を中心に路線密度と運行頻度が高い状況にある。このことから、曲線軌道の多い我が国の鉄道では鉄道車両とレールに重い負荷がかかることにより、レールには軌道不整が頻繁に生じてしまうため、曲線軌道や軌道不整上をいかに高速でかつ安定させて鉄道車両を走行させるかという問題がある。

このような問題に対して、営業車両に簡便なセンサを装備して、常時軌道推定を行い走行することで、特殊車両の走行を最小に抑え、低コスト化を可能にするプローブ車両が考えられている¹⁾。また、軌道推定の結果を車両にフィードバックし車両を制御することで、その軌道に適した走り方が可能となり、走行安全性の向上に貢献する。

本研究は車両の故障の検知が目的であり、加速度などのデータから異常を把握することは困難であり、車両の状態推定を行い異常を検知することを目的とする。この方法であれば簡易なセンサとアルゴリズムだけで車両の異常を検知できると考えられる。故障には様々な箇所が考えられるが、今回は、多重モデル法を用いて車両のばねの故障検知の有効性を検討した。

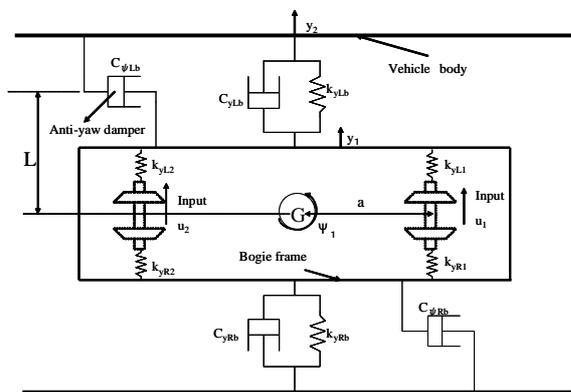


Fig.1 Vehicle model

2. 車両モデル

車両モデルは図1に示す²⁾。車体の左右、台車の左右、ヨー運動を考えた3自由度のモデルである。輪軸以下の運動については考えていない。そのときの車両の運動方程式を以下に示す。今回 w_k は0とした。

$$\dot{x} = Ax + Bu + w_k \quad (1)$$

ここで

$$x = [\dot{y}_1 \quad y_1 \quad \dot{y}_2 \quad y_2 \quad \dot{f}_1 \quad f_1]^T \quad (2)$$

$$u = [u_1 \quad u_2]^T \quad (3)$$

観測方程式は、

$$y = Cx + Eu + v_k \quad (4)$$

ここで

$$y = [\ddot{y}_1 \quad \ddot{y}_2 \quad \dot{f}_1]^T \quad (5)$$

今回は、車体台車間の左右方向ばねの故障を仮定して故障検知した。

3. IMM法による推定アルゴリズム

IMM法の推定アルゴリズムを図2に示す。今回の推定には、車体と台車の横加速度、ヨーレイトを計測したとし、カルマンフィルタを設計し行った。システムのモードは正常と異常の違いにより m 個のモードを考える。モード間の遷移確率を表す遷移行列 p_{ij} の (i, j) 要素はモード $i \rightarrow j$ の遷移を表す。

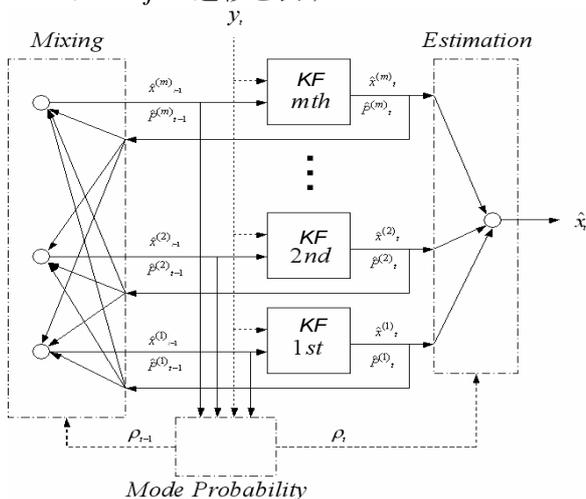


Fig.2 IMM algorithm

Fault Detection of Railway Vehicles Using Multiple Model Estimator

Kazuki KOMATSU, Yoshitaka MARUMO and Hitoshi TSUNASHIMA

4. シミュレーション

4.1 シミュレーション条件

車両故障の精度の高い推定を行うために IMM 法を用い、推定を行った。車体台車間のばねが正常の場合(mode1)と、故障を起こせばねが働かなくなった場合(mode2)とした時の2個のモードを設定した。走行速度は72[km/h]で、直線走行とした。入力は輪軸の変位として与えて、時間遅れでもう一つの輪軸に入力した。3秒後に車体台車間の左右方向のばねが故障するとした。シミュレーションに用いた車両緒言を表1に示す。

4.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を入力(輪軸変位)、観測データ(車体、台車の横加速度、ヨーレート)、生起確率の順に図3に示す。図より、観測データからは故障が発生していることが判断できない。しかし、モードの生起確率を見ると故障の程度を判断することが可能である。

5. 結言

加速度データ等からは把握できない異常を、IMM法を適用してモードの生起確率を見ることで、車両の異常を推定する手法を示した。また、シミュレーションにより有効性を確認した。今後は、条件の詳細な検討を行い、広範囲の状況に対応できるように検討を行う。

参考文献

(1) 網島均, 松本陽, 中村英夫, 山下博, プローブ車両技術の導入による軌道交通システムの再生に関する基礎的研究, 第13回交通・物流部門大会講演論文集, 2004-12

(2) Ping Li, Roger Goodall and Visakan Kadiramanathan, Estimation of parameters in linear state space model using Rao-Blackwellised particle filter, IEE proceedings. Control Theory and Applications,

Table1 Vehicle parameters

Symbol	Description	Value
m_1	Bogie Mass	2000[kg]
m_2	Body Mass	8720[kg]
I_1	Bogie Yaw Inertia	2300[kg ² m]
a	Semi Wheel-Wheel Spacing	1.05[m]
l	Half Gauge	0.75[m]
k_{sl1}	Primary Lateral Stiffness per Bogie of Left	4.0×10^6 [N/m]
k_{sl2}	Primary Lateral Stiffness per Bogie of Left	4.0×10^6 [N/m]
k_{sr1}	Primary Lateral Stiffness per Bogie of Right	4.0×10^6 [N/m]
k_{sr2}	Primary Lateral Stiffness per Bogie of Right	4.0×10^6 [N/m]
k_{slb}	Secondary Lateral Stiffness per Bogie of Left	160×10^3 [N/m]
k_{srb}	Secondary Lateral Stiffness per Bogie of Right	160×10^3 [N/m]
c_{y1b}, c_{y1r}	Yaw Damping	16×10^3 [Ns/m]
c_{lb}	Secondary Lateral Damping per Bogie of Left	500×10^3 [Ns/m]
c_{rb}	Secondary Lateral Damping per Bogie of Right	500×10^3 [Ns/m]
v	Vehicle Velocity	20[m/s]

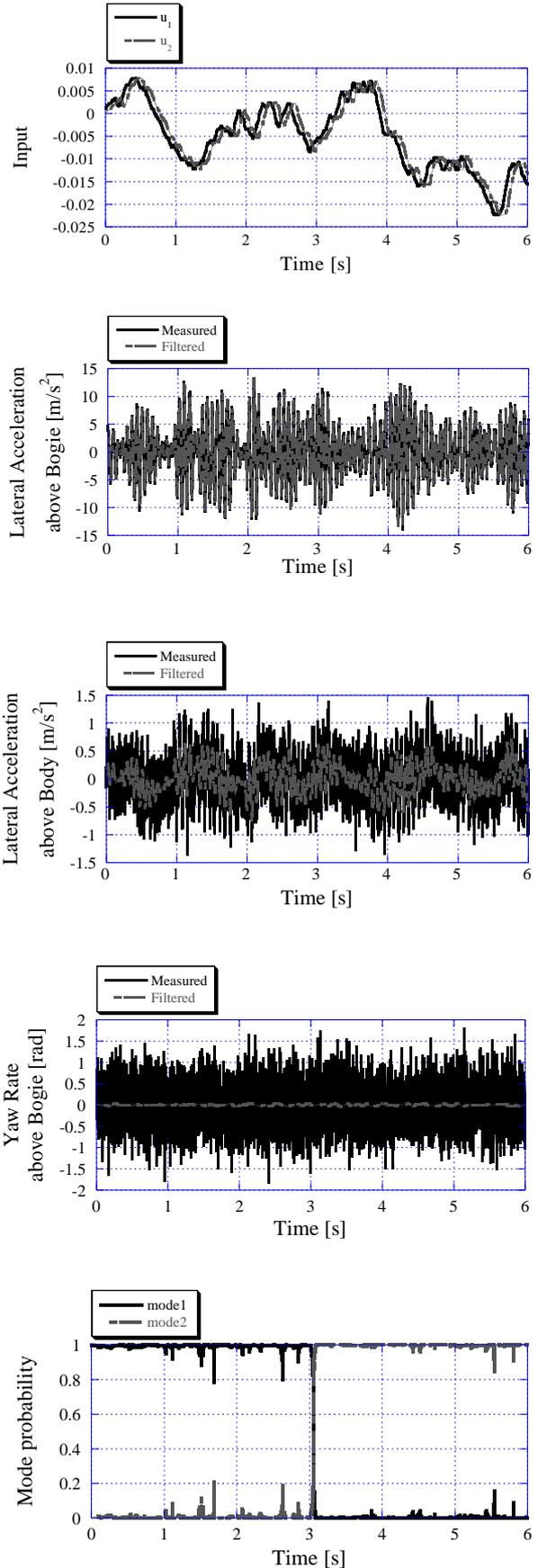


Fig.3 Simulation results