

振動応答を利用した簡易列車位置同定手法

東京大学 学生会員 ○遠藤 漢

東京大学 正会員 蘇 迪

東京大学 正会員 長山智則

1. 背景と目的

列車の脱線事故などが起こらないよう軌道は定期的に様々な方法で検査されている。軌道管理においては軌道の異常を精度良く検知し、その位置を正確に把握することが重要である⁽¹⁾。速度発電機パルスを利用した位置同定は高額な車両改造が必要であり、一方 GPS やヨーレート⁽²⁾を用いた簡易な手法では適用区間が限定されるなどの問題点がある。本研究では簡易で GPS に依存しない位置同定手法を提案する。

2. 提案手法の概要

図1のように車両内の前後台車直上にそれぞれ6軸加速度・角速度計を設置する。継目位置通過時に前後台車近くで生じる図2のような高周波応答⁽³⁾を計測しその時間差より、平均走行速度 $V=r/\Delta t$ を求める。その積分により走行距離 $L=r/\Delta t \cdot t$ を算出する。本研究では 10 km/h, 20 km/h, 30 km/h で手法の検証を行った。

3. 角速度を利用した時刻同期

営業列車への実装を想定すると、前後の計測システム間に配線することは困難であるので、両システム間の時刻同期手法を検討した。列車が剛体運動し、前後のシステムで同じ角速度波形が計測されると仮定し、両システムで計測される角速度波形のマッチングにより時刻同期を行った。両システム間の同期誤差を仮定して2波形の相関係数を求め、これが最大となる同期誤差を推定した。ピッチング、ローリング、ヨーイングの3成分の角速度応答を対象に応答波形のマッチングを、計160秒分行ったところ、ローリング成分を用いた場合に相関係数が0.95以上となり、また、同期誤差の変動幅も0.03秒以内であり、最も精度良く時刻同期が可能であることがわかった(図3)。

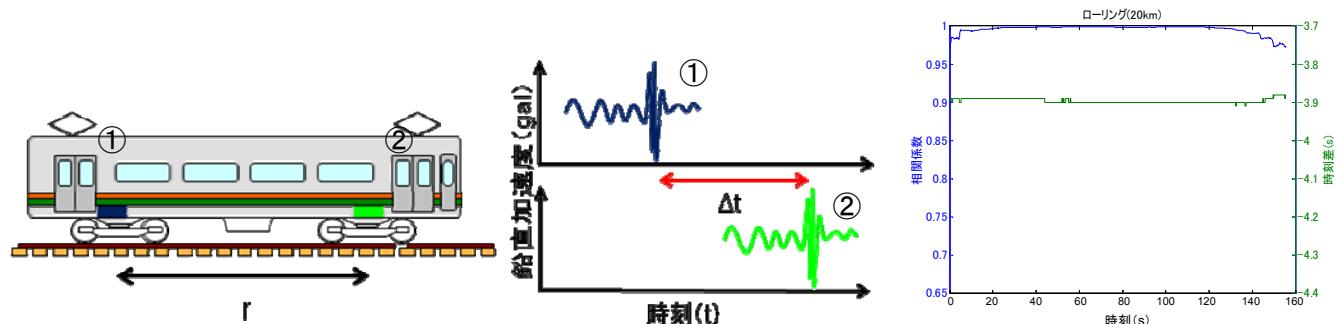


図1 車内計測機器設置箇所

図2 継目における高周波応答の時間差

図3 相関係数と同期誤差

4. 走行速度推定

次に前後2ヶ所で計測された鉛直加速度応答にハイパスフィルター(250 Hz)をかけて、継目における高周波応答を抽出し、それらの時間差から走行速度を推定する。後台車上の加速度応答の一部分を比較波形として取り出し、前台車上の加速度応答との相関係数を計算し、継目などにおける高周波応答の時間差を算出する。台車間距離が既知であるので、この時間差から車両の走行速度を推定できる。比較波形の長さ、相関係数の閾値について表1に示すパラメータを設定すると精度良く走行速度を推定することができた。図4～6はそれぞれ10 km/h～30 km/h 走行における推定走行速度とGPSの速度出力を比較したものである。走行速度の変動が小さい区間については精度良く推定できていることがわかる。

キーワード 列車位置 振動応答

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学系研究科社会基盤学専攻 橋梁研究室 03-5841-6097

表 1 使用したパラメータの値

速度	10 km/h	20 km/h	30 km/h
比較波形長さ	10 秒	10 秒	10 秒
棄却する相関係数ピーク差	0.1	0.2	0.2
棄却する相関係数閾値	0.8	0.5	0.7

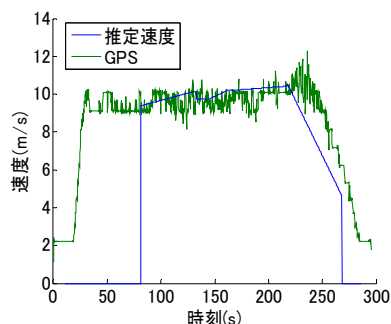


図 4 推定走行速度(10 km/h)

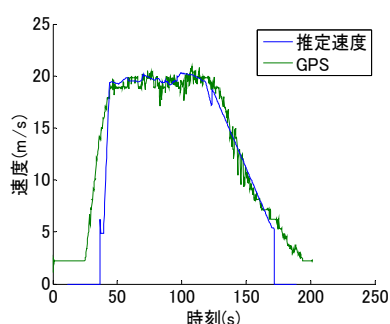


図 5 推定走行速度(20 km/h)

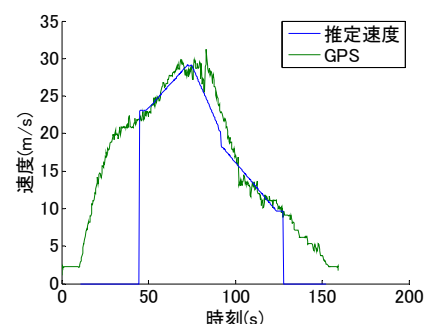


図 6 推定走行速度(30 km/h)

5. 走行距離推定

走行速度の時間積分により距離を推定し、その検証を行った。実験に用いた車両には軸箱加速度計が設置されており、継目などにおける高周波成分を捉えることができる。そこで提案手法により軸箱加速度を距離軸に変換し、軌道狂い計測データから推定される継目位置と比較することで、本システムの走行距離推定精度を検討した。時速 20 km の走行試験において継目位置をとらえられた区間について、軌道狂いデータに基づく継目位置と比較した結果が表 2 である。区間が限定的ではあるが精度良く継目位置が検出できたと言える。誤差の原因としては、比較波形長分は走行速度が一定であるとの仮定が厳密には満たされない、内軌外軌の継目位置の違いが影響する、台車鉛直加速度に必ずしも全ての継目応答が現れない、といったことが挙げられる。

表 2 推定距離と誤差

時速 (km/h)	10	20	30
推定可能区間 (m)	169	169	134
誤差 (m)	3.1	6.1	3.2
誤差率	1.89%	3.61%	2.38%

6. 今後の展望と課題

本研究では一部分の位置同定を同じ継目位置通過時の高周波応答の時刻差により精度良く行うことができた。これにより簡易な位置同定システムの構築に利用できることが期待される。また急激な速度変化が起こる区間、走行開始付近については速度を推定する手法の構築が今後の課題である。

謝辞

本研究にあたり公益財団法人鉄道総合技術研究所の田中氏に多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 石井博典, 藤野陽三, 水野裕介, 貝戸清之:「営業車両の走行時の車両振動を用いた軌道モニタリングシステム (TIMS) の開発」, 土木学会論文集 F, No. 1, pp. 44-61, 2008. 2
- (2) 田中博文, 猿木雄三, 芳賀昭弘, 福山幹康:「可搬式軌道状態モニタリング装置のための車上測定データ距離化手法」, 第 17 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp. 337-340, 2010. 12
- (3) 松本好弘:「車両振動応答による移動体センシングの位置同定と軌道変状の検出」, 東京大学修士論文, 2008. 3