

携帯情報端末による車両位置同定手法の営業路線への適用

東京大学 学生会員 ○中田 雄大

東京大学 正会員 蘇 迪

鉄道総合技術研究所 正会員 田中 博文

1. 研究の目的

中小の鉄道事業者向けに、軌道状態を適切に評価し効率的な軌道管理を行うための営業車両に搭載可能な軌道モニタリング装置に関する研究が近年盛んに行われている^{1),2)}。その際、軌道上を走行する測定車両の位置を同定し、測定データにキロ程を付与する必要がある。そのため蘇ら³⁾は、車両の前後加速度を一回積分して車両の走行速度を算出しており、車内で収録した音データから車輪がレール継目を通過する応答を抽出して精度向上に活用する速度補正手法を提案した。しかし、その有効性は実験線での検証に留まっていたため、本稿では実際の営業線への適用について検討する。

2. 検討データの概要

表-1 に、検討に用いたデータの概要を示す。本研究では、蘇らが検証した実験線のデータに加え、新たに営業線の計測データを用いて検討を行った。計測には、3軸の加速度センサおよびジャイロセンサ、さらにマイクروفोनを搭載している iPod touch を用いた。3軸加速度の向きと正負は x 軸が水平左右方向、y 軸が進行方向、z 軸が鉛直上向き方向となるように設置した。また、比較対象として、鉄道総研で開発した可搬型の軌道モニタリング装置²⁾を用いて、GPS の速度データを取得した。

表-1 検討データの概要

(a) 路線概要

路線	A	B
計測路線	実験線	営業線
計測時間	5 分 10 回	70 分 2 回
計測車両	通勤型車両 (電車)	特急型車両 (電車)
走行距離	0.75 km	80.11 km
最高速度	45 km/h	130 km/h

(b) 計測概要

データ	路線 A, B 共通
携帯情報端末による計測項目	加速度 (3 軸), 角速度 (3 軸) 車内音
比較データ	速度 (GPS)

3. 走行時間の推定

(1) 異なる路線における動揺指数の分析結果

蘇らの手法³⁾では加速度のみから車両の走行状態を

判別する必要がある。そのために式(1)に示す動揺指数 $\sigma(t)$ と呼ばれる値を定義している。

$$\sigma(t) = \sigma_z^2(t) \times \sigma_x^2(t) \quad (1)$$

ここに、 $\sigma_z^2(t)$ および $\sigma_x^2(t)$ は時刻 t から $t+1$ s の間の z 軸および x 軸加速度の分散を表す。動揺指数の計測値としきい値との大小関係を比較して、計測値がしきい値を連続して上回っている区間が長いものを走行区間と判定する。蘇らは実験線での計測結果に基づいてしきい値を $\sigma_{th} = 1.4 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \text{ s}^{-8}$ と定めた。

しかし、本研究で同様の手法を営業線のデータに適用したところ、図-1 に示すように実験線の動揺指数とは差が生じており、一律に定めたしきい値では路線によっては走行と停止の判別ができない可能性があることが判明した。そこで、本研究ではこのように動揺指数の水準が異なる路線でも計測データから路線ごとに適したしきい値を算出する手法を考案した。

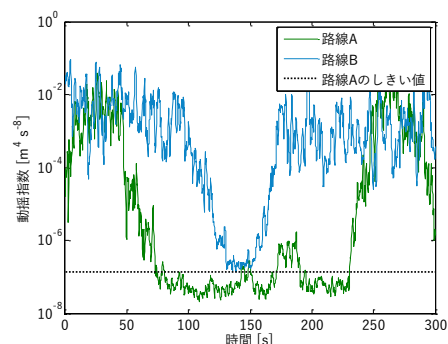


図-1 異なる路線の動揺指数の相違

(2) 動揺指数のしきい値の自動決定方法

動揺指数について、走行時と停止時の 2 種類に大別し、それぞれが独立な対数正規分布に従うと仮定する。このとき、動揺指数の常用対数 $\lambda(t) = \log_{10}\sigma(t)$ の全標本は 2 成分からなる混合正規分布に従い、 $\lambda(t)$ の確率密度関数は 5 つのパラメータ $\rho, \mu_1, \sigma_1, \mu_2, \sigma_2$ を用いて式(2)のように書ける。

$$f(x) = (1 - \rho) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left[-\frac{(x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] +$$

$$\rho \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left[-\frac{(x-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right] \quad (2)$$

計測データから各パラメータの最尤推定値を求める。 μ_1 の最尤値を μ_{stat} 、 μ_2 の最尤値を μ_{dyn} とおく。両最尤値

キーワード：モニタリングシステム、鉄道車両、携帯情報端末、位置同定、軌道管理

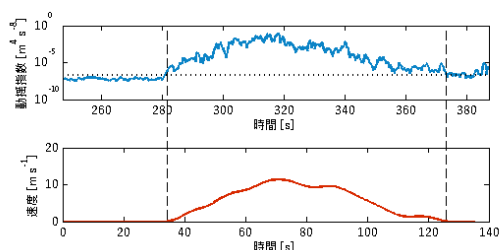
連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

はそれぞれ停止時と走行時の動揺指数の平均値である。今回しきい値が式(3)のように書けると考えた。

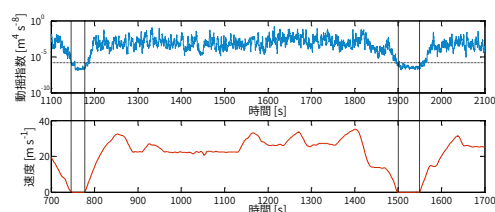
$$\log_{10} \sigma_{th} = (1 - \alpha) \mu_{stat} + \alpha \mu_{dyn} \quad (3)$$

路線 A, B ともにそれぞれ定めたしきい値をもとに α の値を検討した結果、 $\alpha = 0.15$ に決定した。

図-2 に、この手法で新たに算出したしきい値を用いて、走行時間を推定した結果を示す。各図において、下段が GPS を用いて計測した速度データであるが、動揺指数の水準の異なる路線に対しても同一の手法で停止時と走行時の判別が可能になっている。



(a) 路線 A



(b) 路線 B

図-2 走行時間の推定結果

4. レール継目による速度誤推定の検出

実験線への適用では、レール継目音の利用による速度推定の精度向上が認められたが、今回営業線で実施したところ、図-3 のとおり本来の走行速度から大きく外れた値が多数推定された。その結果、加速度の一回積分よりも補正後の速度の精度が低下している。これは、図-4 のように、推定精度が悪い時刻における継目音は、左右レールの継目位置がずれており、左右の車輪がそれぞれの継目を通過する際のパルス状の応答の相関が弱いためであると考えられた。そこで、相関係数の絶対値が一定値 (0.4) 未満である継目音ペアについて棄却することにより、図-5 のとおりレール継目音による補正精度の低下を防ぐことを可能にした。

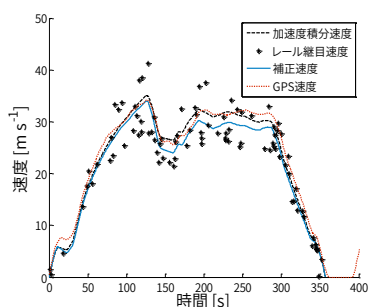
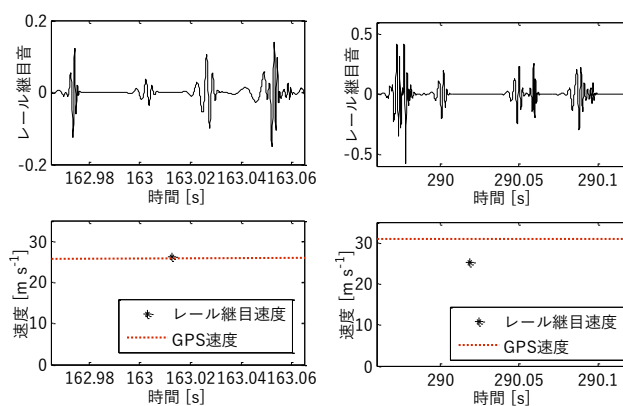


図-3 レール継目音による誤推定棄却前の結果



(a) 推定精度の良い例 (b) 推定精度の悪い例

図-4 レール継目音による速度の推定例

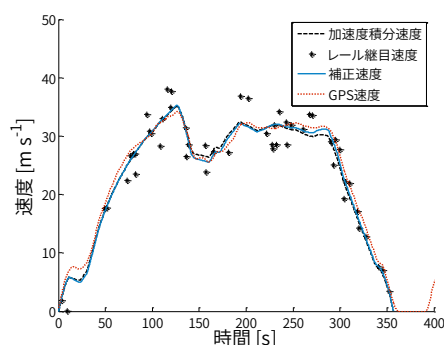


図-5 レール継目音による誤推定棄却後の結果

5. 結論

携帯情報端末等を用いた簡易な軌道モニタリング装置に適用可能な位置同定手法の精度向上を目的として、路線毎に異なる動揺指数のしきい値を走行時と停車時の動揺指数が適当な確率分布に従う仮定のもとしきい値を観測データから自動的に求める手法を提案した。

さらに、レール継目による推定速度の精度が悪い点におけるレール継目音の特徴を明らかにして、両輪によるレール継目音の類似性を相関係数で評価して精度が悪いレール継目による推定速度の除去法を考案した。

以上の検討結果より、GPS を併用すればこの位置同定手法は営業線でも十分適用可能だと考えられる。

参考文献

- 1) 石井ら：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, Vol. 64, No. 1, pp. 44-61, 2008.
- 2) 猿木ら：可搬型レール波状摩耗モニタリング装置の開発，土木学会第 66 回年次学術講演会，2011.
- 3) 蘇ら：加速度と車内音の相互補正による鉄道車両の位置同定手法，構造工学論文集 A, Vol. 64, pp. 571-584, 2016.