

スマートフォンを用いた軌道状態監視システムの開発

本田 隆* (日本大学大学院) 網島 均 (日本大学)

Development of track condition monitoring system using smart phones

Ryu Honda (Graduate school of Nihon University)

Hitoshi Tsunashima (Nihon University)

Although track maintenance is important, many operators of regional railway with limited financial resources are unable to conduct sufficient track inspections. In response to this problem, a track condition diagnosis system using a car-body vibration has been developed. In the developed monitoring system, a dedicated measurement device has been used. In this study, a track condition monitoring system using a smartphone for general use was developed to reduce the cost of the system. The results of filed test shows that track condition diagnosis is possible using smartphone-based monitoring system.

キーワード：スマートフォン，鉄道，状態監視，車体振動加速度，
(Smartphone, Railway, Condition monitoring, Car-body acceleration)

1. はじめに

鉄道において、車輪を支持・案内するための軌道の管理は、快適性、安全性の面から非常に重要である。そのため保線係員や軌道検測車を用いた軌道管理が行われている。しかし、これらの方法は人員と費用がかかり、財源の少ない地方鉄道においては十分な軌道検測が行えない事業者が少なくない。この問題に対し、専用の車体動揺計測装置を用いた軌道診断システム^①が開発されているが、システムが大型かつ高価であり、未だ地方鉄道での導入では厳しい現状である。

本研究ではシステムの低コストを行うために、スマートフォンを用いた軌道状態監視システムの開発を行なった。業務用 IoT デバイス、市販されているスマートフォンの二種を使用し、実車において計測、両端末における性能の比較、実際に軌道状態の診断を行った。

2. 軌道診断システムの構築

〈2・1〉 軌道管理手法の概要

本研究における軌道管理手法を図 1 に示す。スマートフォンに搭載されている 3 軸加速度センサにより車体動揺、3 軸ジャイロセンサにより角加速度、GNSS センサにより位置情報や走行速度が測定され、それらのデータは 4G 回線によりサーバに伝送される。伝送されたデータを解析する事により軌道状態を診断、鉄道事業者はその結果に基づき軌道のメンテナンスの優先順位を決めて作業が可能とな

る。

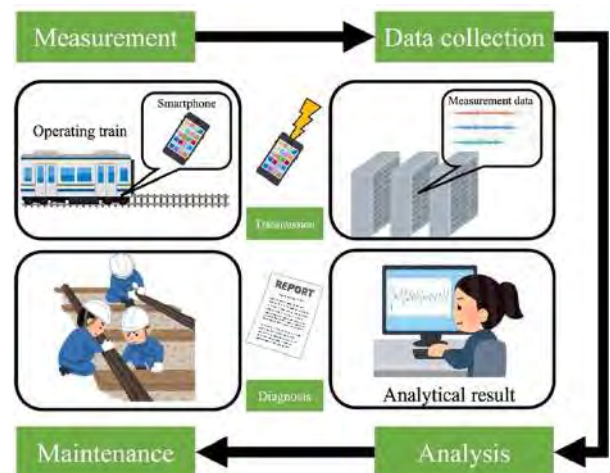


Fig. 1. Track condition management using car-body vibration.

〈2・2〉 車体動揺の計測

(1) 計測機器について

計測機器として業務用 IoT デバイス BL-02 (以下、B 装置と記載) と市販向けスマートフォン GalaxyS7-edge (以下、G 装置と記載) を選定した。外観写真を図 2 に、仕様を表 1 に示す。両機器とも 3 軸加速度センサ及び 3 軸ジャイロセンサ、位置情報や走行速度を計測する GPS センサ、データの送受信に必要な 4G インターネット回線が搭載されている。計測時、B 装置は 232Hz、G 装置は 417Hz で計測され、解析処理でかかる負荷を低減させるためサーバー



Fig. 2. Appearance of the BL-02 IoT device for business use and the GalaxyS7-edge smartphone for general use.

Table 1. Specifications of smartphone.

	BL-02	GalaxyS7-edge
CPU	Cortex-A7	Snapdragon820
OS	Android6.0	Andorid6.0
Display	2.8inch	5.5inch
RAM	1GB	4GB
ROM	8GB	32GB
Sensor	GPS,3 axle	GPS,3axle
Frequency	232Hz	417Hz
Size	94×58×16mm	151×73×8.3mm
Weight	102g	158g

から取得時には 80Hz にダウンサンプリングされる。

これらを利用することにより車体動揺を計測、診断する事が可能となる。スマートフォンの設置場所は利便性及び GNSS の受信環境に考慮し、図 3 に示すように運転台近くに設置した。

(2) 動揺測定的位置同定について

位置同定については、スマートフォンにおいても緯度経度情報が取得可能であるが、マップマッチングなどの手法

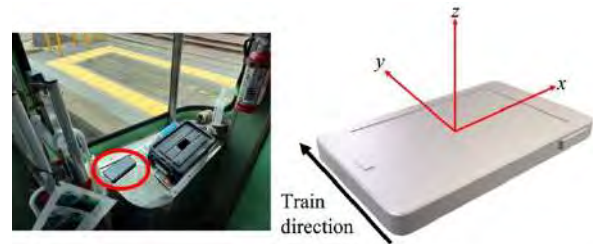


Fig. 3. Location of measurement devices.

を使用しない場合は、位置検知の誤差が大きくなることが知られている。そのため、本検討では、GNSS 搬送波のドップラ効果から算出される GNSS 速度から、キロ程を算出する方法を採用した⁽²⁾。

3. 測定データの検証

〈3・1〉 振動・角速度データの検証

図 4 は、地方鉄道 A において 2021 年 12 月に、B 装置及び G 装置を実車に搭載し、同時計測したものである。両装置で計測されたデータは位相、振幅がほぼ一致している事がわかる。また図 5 は同時測定した車両の上下振動加速度のパワスペクトル密度を求めたものである。両装置とも周波数特性が一致しており、車体動揺計測装置として十分な精度を有していることが確認できた。

〈3・2〉 GNSS 速度の検証

(1) GNSS 速度の比較

軌道管理を行うために列車位置の同定が重要になる。本システムにおいては GNSS 速度からキロ程を算出するため GNSS 速度の検証を行なった。結果を図 6 に示す。

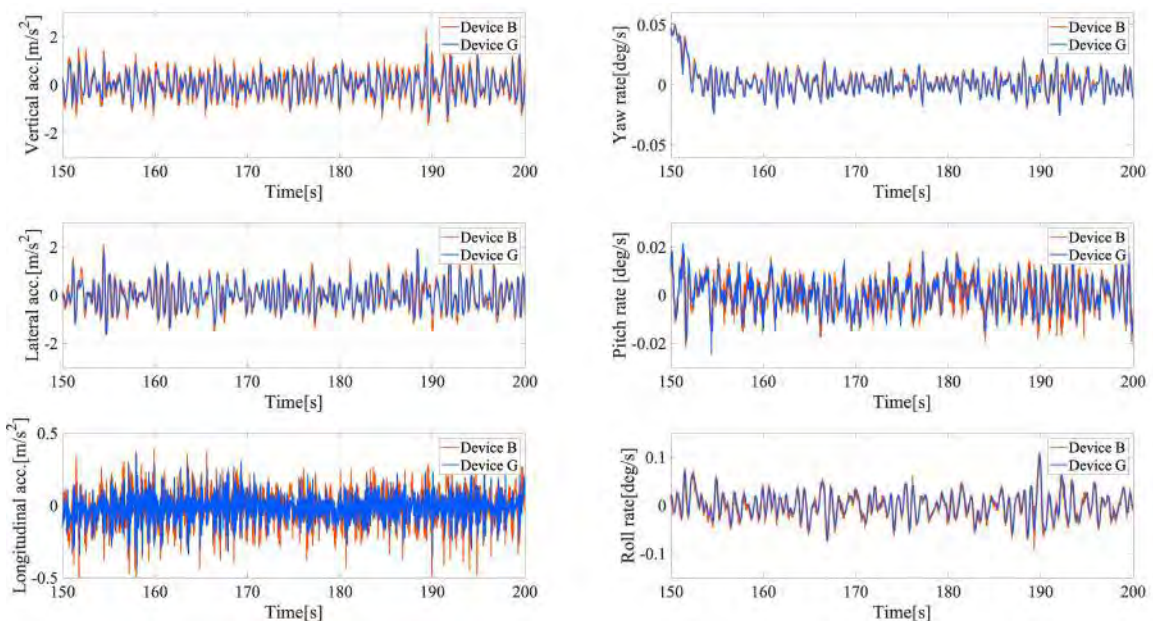


Fig. 4. Measured car-body vibration with Device B and Device G.

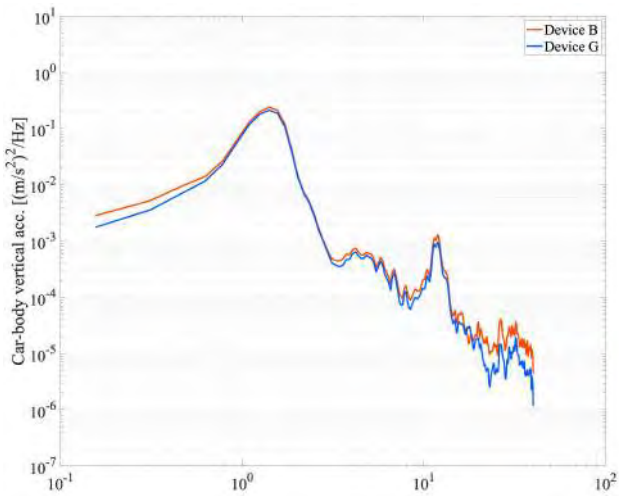


Fig.5. PSD of measured car-body vertical acceleration. by Device B and Device G .

これは対応している衛星測位システムの数に影響していると考えられる。B 装置は対応している衛星測位システムが少なく、さらにA-GPSにも対応していない。そのため衛星受信数が異なり、マルチパスの影響を受けやすいと考えられる⁽³⁾。

(2) GNSS 速度の補正

マルチパスの影響を受けた GNSS 速度に対し、メディアンフィルタを用いた補正処理を検討した。B 装置で計測された GNSS 速度に対し、マルチパスの影響の大きさを考慮し、前後 5 秒間窓サイズ 800 データにてメディアンフィルタ処理を行なった結果、図 7 に示すようにマルチパスによる急激な速度の低下が改善されることがわかった。

また、メディアンフィルタ処理が位置同定精度に与える

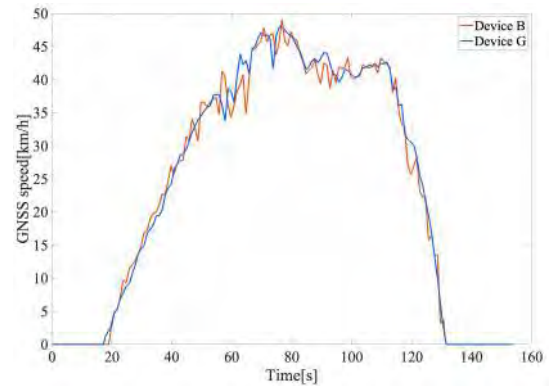


Fig.6. Measured GNSS speed.

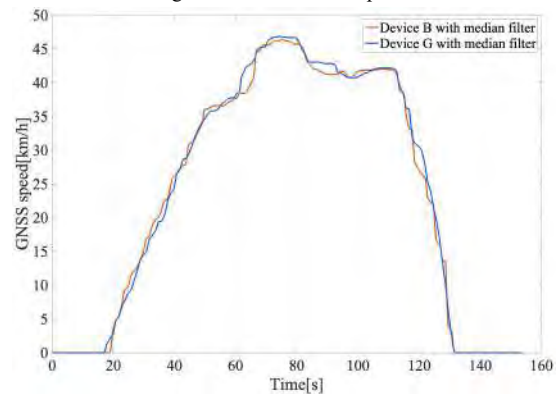


Fig.7. Median filtered GNSS speed.

影響を評価するため、GNSS 速度を積分して求めた車両位置と車体上下振動加速度の関係を図 8 に示す。

図 8 より、マルチパスの影響を特に受けている 450m から 550m の区間においては、位置誤差が大きく改善されていることがわかる。

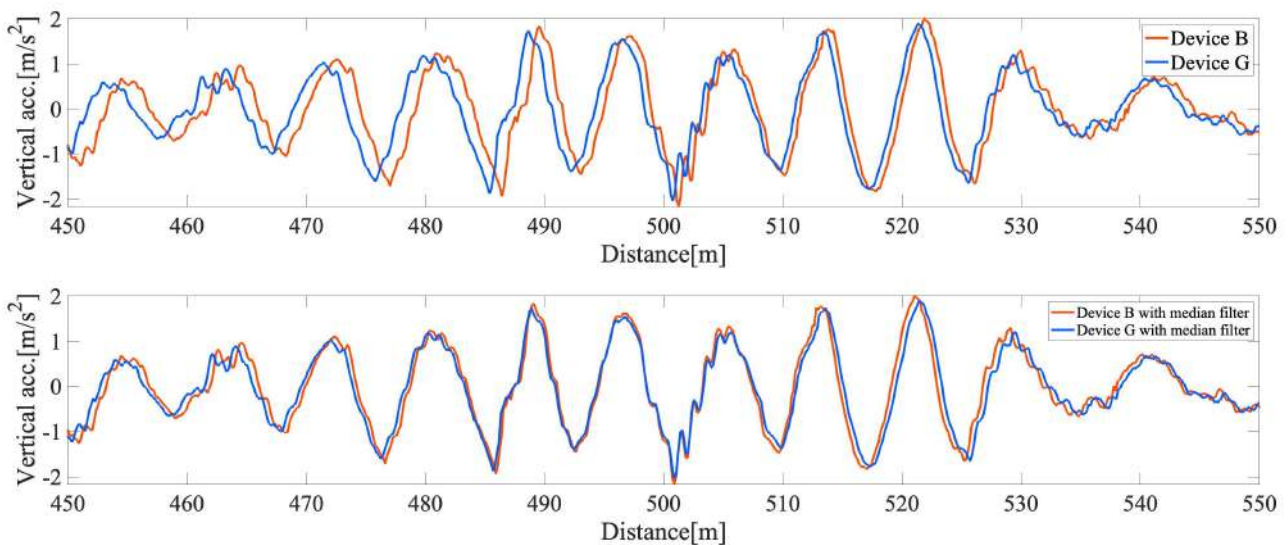


Fig.8. Measured car-body vertical acceleration and vehicle location.

4. 時間周波数解析による詳細解析

計測されたデータより、詳細な軌道異常の位置と種類を特定、評価するために時間周波数解析を行なった。列車は異常が発生している軌道上を走行すると、軌道異常の種類に対応した特徴的な振動が発生することが知られている。そこで、時間周波数平面を用いて分析することにより、軌道の異常種別と発生位置を特定できる可能性がある。

今回分析に使用したデータは、地方鉄道 B において 2022 年の 6 月と同年 10 月に G 装置で計測されたデータである。

図 9 は 2022 年 6 月の計測データ、図 10 は同年 10 月の計測データを時間周波数解析である連続ウェーブレット変換 (CWT :Continuous Wavelet Transform) 及びヒルベルト・ファン変換 (HHT :Hilbert-Huang Transform) を行なったものである。

2022 年 6 月に 600m-700m 区間で 1-2Hz において高低不整による振動が検出されていたが、軌道整備によって同年 10 月には検出されなくなっている。図 11 は 10 月に選定区間 600m から 700m で撮影されたものであり、新たにバラストが補充され、保線作業が行われ、高低不正が解消された事がわかる。このように、スマートフォンで計測されたデータを用いて、時間周波数解析を行うことにより、軌道異常の種類、位置を特定でき、軌道整備の効果の確認も行えることが確認された。

5. 結言

実車において、スマートフォンを用いた車体動揺測定を行い、実際に軌道状態を診断できるか検証を行った。その結果、業務用 IoT デバイス、市販のスマートフォンの両方で軌道状態を監視、診断できることを明らかにした。

また列車位置の同定が必要である GNSS 速度の精度はスマートフォンの衛星受信数、すなわち対応する衛星測位システムにより精度が低くなる。そのためスマートフォンを選定する際、対応している衛星測位システムを考慮しなければならない。またマルチパスの影響を受けやすいデバイスには、GNSS 速度に対してメディアンフィルター処理を行う事により改善することが明らかとなった。

今後はさらに継続してデータを取得し、軌道状態診断を行う予定である。

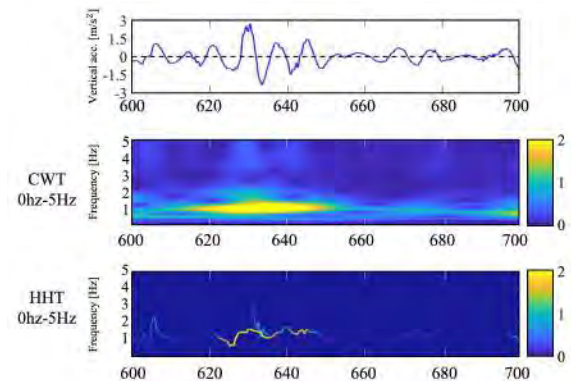


Fig.9. Time-frequency analysis of date measured in June 2022.

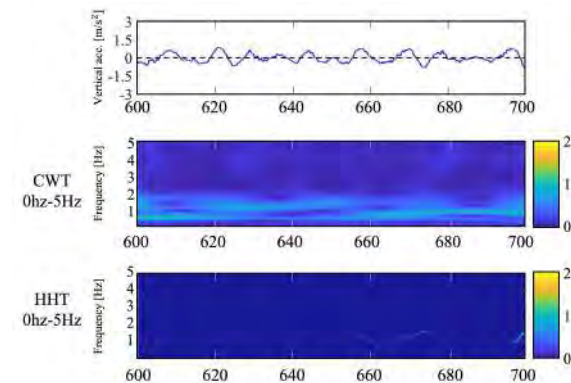


Fig.10. Time-frequency analysis of date measured in October 2022.



Fig.11. Section where line maintenance work

文 献

- (1) 森裕貴, 緒方正剛, 佐藤安弘, 綱島均, 営業列車を活用した軌道評価に関する研究, 交通・物流部門大会講演論文集 27 卷 (2018 年)
- (2) 目黒淳一, 小島祥子, 鈴木徳祥, 寺本英二, GPS ドップラと慣性センサの統合による車両軌跡推定方法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1 (2012), pp.212-214.
- (3) 荒川拓哉, 高野瀬 碧輝, 水谷俊介, 滝川叶夢, 目黒淳一, GNSS ドップラを活用した都市部におけるレーンレベル位置推定の実現, 計測自動制御学会論文集 Vol.55, No.11 (2019) pp754-761.