

論文 列車巡視における画像処理技術を活用した 環境変化抽出手法の基礎的検討

永尾 健祐¹・桶谷 栄一²

¹正会員 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2丁目4-24)
E-mail:kensuke-nagao@westjr.co.jp

²正会員 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部 施設部 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田2丁目4-24)
E-mail:eiichi-oketani@westjr.co.jp

生産性向上の取組みの一環として、列車による線路巡視の省人・省力化を目的に、車両前頭部に搭載したカメラと床下の加速度センサーにより建築限界の支障判定および車両の振動加速度を取得することができる列車巡視システムの開発に取り組んでいる。

本稿では、時刻歴の異なる同一位置の画像データを比較・分析することで、環境変化の抽出可否について検討を行い、2時期の画像の位置合せ・差分抽出の手順を画像処理技術を活用して実施する手法を構築した。

Key Words : productivity improvement, onboard track patrol, image processing, frame matching, difference extraction

1. はじめに

少子高齢化に伴う労働人口減少によって労働力の確保が困難になる中で将来にわたって持続可能な鉄道システムを構築し、生産性の向上を図ることは喫緊の課題である。

近年、画像処理技術やセンシング技術等が急速に汎用化され、様々な分野で活用した業務の効率化が実現している。本稿では、列車による線路巡視（以下、「列車巡視」という）の装置化に向けて画像処理技術を活用する手法を検討している取組みについて報告する。

2. 列車巡視の装置化

(1) 列車巡視

線路巡視は、列車の支持や走行区間の確保といった線路の機能が適切に保持されている事を確認するために、「①線路の総合的な保守の状態」「②建築限界の支障の有無」及び「③線路沿線環境の変化」を列車や徒歩により定期的に実施するものである。また、定期検査の補完として位置付けられ走行安全性を確保する上で重要な役割を担っている。

(2) 装置化の全体構想

列車巡視を装置化するためには、上述した①～③の

表-1 現状の実施方法と装置化の全体構想

機能	現状の実施方法	装置化の全体構想	
①線路の総合的な保守の状態	体感	列車動揺計を活用	
	目視	深層学習	
画像処理		ステレオ視	
		差分抽出	
②建築限界の支障の有無	目視		
③線路沿線環境の変化			

3つの機能構築が必要である。これらについて、現状の実施方法と装置化の全体構想を表-1に示す。なお、目視で実施しているものについては、比較的広範囲の状態を短時間で把握し、解析処理をすることが必要になることから画像処理技術を活用することとしている。

①については、現状では体感等による列車動揺確認と目視確認によって実施しているが、装置化において前者は列車動揺計の活用、後者は深層学習にて要注意箇所を抽出する方向で検討している¹⁾。

②および③については、現状では、目視確認によって実施しているが、装置化においては、列車前頭にカメラを設置し、取得した画像データを画像処理することで、建築限界支障の有無の検知や線路沿線環境の変化の抽出を行うこととしている。なお、画像処理の手法については、いくつかの汎用技術があり、②については、ステレ

才視により、物体の3次元位置を把握し、建築限界の支障の有無を判定することとしている²⁾。

本稿では、時刻歴の異なる2時期の画像データに画像処理を行い、その差分を抽出して、線路沿線の環境変化を捉える手法について可能性を検討した。

3. 環境変化抽出手法の検討

画像処理を活用した環境変化の抽出は、図-1の処理フローで行う。①取得した2時期の画像から同一箇所を探索する作業（以下、「フレームマッチング」という）を行い、②画像中の異なる部分を画像処理による差分計算から抽出（以下、「差分抽出」という）し、環境の変化を捉える。

これらの作業を行い、環境変化を抽出するためには以下の機能を満たす必要がある。なお、フレームマッチングと差分抽出について次章以降で詳述する。

(1) フレームマッチング

画像取得が可能な状況において、天候や日照条件等の撮影条件が異なる場合も、2時期の画像データを同期することが必要である。なお、フレームマッチングにおける位置ずれについては、後処理である差分抽出への影響を最小化する観点で評価することとした。

(2) 差分抽出

時間変化に伴い抽出する環境変化においては、列車の走行安全性に直接影響を及ぼす可能性があるものを対象とする。具体的には、建築限界外にある工事用材料の仮置きや作業機械等を想定している。なお、倒竹木等については、建築限界支障検知機能によって把握することができることや風による揺れ等の影響が無視できないことから対象外とした。

(3) 解析時間

環境変化抽出においては、建築限界の外側にあるものが対象となるため、リアルタイムでの処理は必要なく、データ取得後、事務所内での処理を前提としている。

したがって、実運用を考慮すると1回の測定データを処理するのに要する時間は半日程度までとしている。

(4) 画像データの運用

ネットワーク技術やデータ伝送技術の進歩に期待する側面もあるが、取得した画像データは、サーバーまで伝送し、ストックする体系構築が必要である。

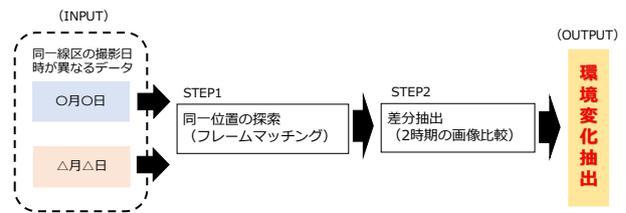


図-1 環境変化抽出の処理フロー



図-2 特徴点の抽出例

4. フレームマッチング

(1) 課題

同一線区の撮影日時が異なる2時期の画像データを同期させるためには、天候や日照条件等の撮影条件が異なる環境下において、その影響を受けることなく同一箇所を抽出する必要がある。

(2) フレームマッチングの手法

列車巡視システムでは、速度発電機からのパルス信号により、等間隔（約0.67m）でシャッターパルスを生成し、画像を取得している。なお、位置情報はGPSで取得した緯度・経度情報をもとに床下に搭載した処理装置が保有するデータベースと照合を行うことで、車両の位置をキロ程に換算の上、画像データに付与している。

本手法では、画像に付与された位置情報と画像処理を組み合わせることにより、2時期の画像の位置合せを行う手法を検討した。処理手順は、以下に示すとおりである。

【処理手順】

- ①基準となる画像に付与された位置情報をもとに比較対象の画像において基準画像の前後約100m区間のフレームを抽出する。
- ②基準画像と比較対象の前後100mの画像において、画像処理SURF³⁾によって「輝度の変動量」や「輝度の変動する方向」を数値化したものである特徴点を算出（図-2）し、その特徴点の類似度判定により同一箇所の抽出を行う。
- ③2枚目以降については、フレーム番号において、マッチングを行う。

④画像の取得は、速度発電機からのパルス信号をもとに概ね等間隔に制御されているが、速度発電機の持つ多少の誤差を含んでいる。そのため画像の取得タイミングの誤差を補正するために、10枚毎に前後3mの画像を抽出し、1枚目同様に特徴点によるマッチングを行うことで補正処理を行う。

なお、まくらぎのような規則的な繰り返しや、画像内で変動が小さい遠景は、特徴点の一致率による相関が小さくなり、誤差要因となることから特徴点の抽出の対象外とする工夫をしている。

(3) 検証方法

検討した手法の精度を確認するために、営業線で取得した同一線区の撮影日時が異なる2時期の画像データを使用し、フレームマッチング機能の確認を行った。

検証は、同一線区において、天候や日照条件等の撮影条件が異なる状況で取得した画像に上述したフレームマッチングを行い、約100m毎に2時期の画像データを目視で比較し、まくらぎ本数で画像の位置ずれを確認した。

表-2に検証に使用した画像データの条件と組合せを示す。比較にあたっては、天候や時間帯の異なる条件で画像を取得した場合にフレームマッチングが出来ているかを確認することを目的に画像データの組合せを設定した。

(4) 検証結果

組合せA～Dで位置ずれを確認すると、区間平均では、まくらぎ0.1～0.8本であり、最大でもまくらぎ1本のずれという結果が得られた。

(5) 考察

天候や日照条件等の撮影条件が異なる箇所においても、画像に付与された位置情報と特徴点の類似度を判定することによって位置ずれが最大1本であることを考慮すると、画像データを取得できる天候や時間帯の条件であれば差分抽出への影響を及ぼさないレベルであると評価することができる。

5. 差分抽出

(1) 課題

上述したフレームマッチングを行った2時期の画像に、特徴量計算を適用し、その差分を抽出する。

通常、2時期の画像に環境変化が見られれば、それらが差分として抽出されるが、実際には、抽出する必要のないものまで検出（以下、「過検出」という）してしまふことがある。これは、画像の白飛びや黒つぶれが原因により発生する。

白飛びにより、過検出した一例を図-3に示す。

表-2 画像データの条件と組合せ

NO	線区	日時	天候／時間帯	組合せ	延長
1	大阪環状線	2018.9.27	曇り	A	21km
2		2018.9.28	晴れ		
3	阪和線	2017.7.23	曇り	B	15km
4		2017.7.24	曇り		
5		2017.7.8	晴れ	C	
6		2017.9.21	曇り		
7		2018.4.21	午前	D	15km
8		2017.7.26	午後		



(a) 基準画像



(b) 比較画像

図-3 差分抽出（白飛びによる過検出例）

図-3(b)中の白丸印が図-3(a)と(b)の特徴量計算の差分を抽出し、可視化したものである。

図-3(b)では、カメラ正面からの逆光状態において、軌道面に反射成分の強い面が現れ、白飛びが発生している。

このように、環境変化が発生していない箇所でも差分が抽出される過検出という現象が発生することがあり、実用化に向けて、解決する必要がある。

(2) 過検出の抑制および差分抽出の手法

(a) 過検出の抑制

過検出の抑制では、画像処理で一般に用いられる二値化処理を適用した。列車巡視システムで使用しているカメラ画像においては、輝度を 0-255 の値で表現しているが、入力画像の輝度がカメラのダイナミックレンジを外れると、0 あるいは 255 として表現され、白飛び等の過検出の原因となる現象が発生する。ただし、255 を以って白飛び領域と判定することはできず、数値にある程度の幅を持たせることが必要である。これは、実際には 255 以下付近の輝度値でも白飛びの現象が発生するためである。今回、取得したデータから白飛び発生領域の輝度値を確認すると、輝度値 240 付近でも白飛びが確認されたことから輝度値 240 以上を白飛び領域と判定し、二値化を行うこととした。

以上より、白飛び領域には、マスク (図-4 白領域) をし、それ以外の黒領域を差分抽出の判定箇所とすることで、過検出の抑制を図った。

(b) 差分抽出

差分抽出では、特徴量の計算に HoG⁴⁾を用いている。ここで、画像処理の使分けについて以下に述べる。画像上の特徴点や特徴量の算出にあたり、フレームマッチングでは SURF を、一方、差分抽出では、HoG を適用している。

フレームマッチングは、画像中において、特徴が局所的な部分 (特徴点) のみの検出を行い、それらの類似度により、同一箇所の抽出を行っている。一方で、差分抽出では、線路周辺の環境変化を漏れなく検出する観点からマスク箇所を除く画像全体において、差分計算を実施する必要があるため、画像を一定の領域毎に区分し、それぞれの領域毎に特徴量を算出することが可能な HoG を適用している。なお、HoG をフレームマッチングに、適用することは可能であるが、計算コストの観点から局所的な特徴のみを抽出する SURF を適用している。

以上より、作業内容の特性に応じて、2 種類の画像処理を使分けている。

図-5 に差分抽出における特徴量の計算例を示す。特徴量の計算は、上述したように HoG を用いており、取得した線路の画像を遠景と近景に分離処理し、近景のみを計算対象としている。図-5 の点状の印が計算結果の一例であり、図-6 にレールおよびバラスト付近の点状の印の拡大図を示す。図に示した領域において、輝度の変動する方向 (特徴量) を計算する範囲としている。レール付近ではレール方向 (右下から左上) に輝度の変動が強く表現され、バラスト付近では様々な方向に輝度の変動がばらついていることが分かる。これらの特徴量を



図-4 図-3 画像を二値化処理した結果

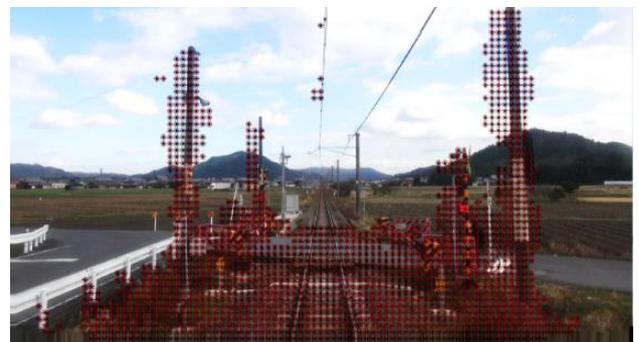
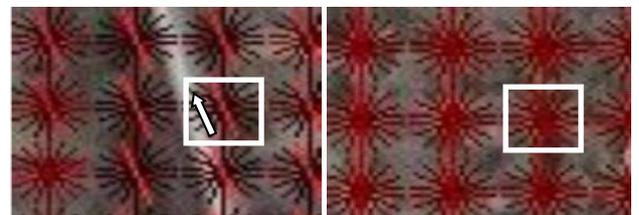


図-5 HoGによる特徴量の計算例



(a) レール付近

(b) バラスト付近

図-6 特徴量計算結果の拡大図

2 時期の画像で計算し、差分抽出を行っている。

(3) 検証方法

フレームマッチングの検証で使用した画像データと組合せ (表-2) において、目視で線路周辺の環境変化 (仮置き材料等) を抽出し、正解データ (N=26 箇所) を準備した。次に、目視で抽出した 26 箇所に上述した特徴量計算による差分抽出を行い、検知できているか (再現率) を確認した。併せて、環境変化が発生していない箇所において、白飛びや黒つぶれ、その他原因による過検出がどの程度発生しているかについても確認した。

(4) 検証結果

特徴量計算による解析結果の一例を図-7に示す。図-7(b)中で出現した上下線間の仮置き材料が抽出できていることが分かる。このような目視で抽出した仮置き材料等の26箇所のうち22箇所(再現率:約85%)で検出が出来た。

次に、環境変化が発生していない箇所において、過検出が発生している頻度を確認した結果を表-3に示す。なお、ここで過検出とは、差分マーク(画像上の白丸)数が10個を超える箇所である。画像中で、同一シーンは数フレームに渡って写っているため、フレーム数ではなく箇所数とした。

発生頻度は、0.4~3.0箇所/kmの結果であった。条件毎に発生頻度をみると(表-3)、天候が同条件である組合せ“B”が最も低く、時間帯の差による日照条件が異なる組合せ“D”が最も高い結果となった。

(5) 考察

差分抽出については、目視により抽出した環境変化を正解とした場合、再現率は85%であることが確認できた。他のケースでは数値として違うものとなる可能性はあるが、本手法における環境変化の抽出方法について実用性があることを確認した。

一方で、過検出の発生頻度は、0.4~3.0箇所/kmであった。A~Dの組合せ毎にみると、画像の取得条件が異なる組合せで高くなる傾向にある。ここで過検出が抑制できている箇所とできていない箇所の一例を図-8および図-9に示す。図-8は、図-3(b)の画像に5章で示した白飛び領域のマスク機能により、解析した結果である。若干の差分抽出はみられるものの、概ね抑制できていることが分かる。

一方で、図-9をみると、影の輪郭の影響により、差分が抽出され過検出が発生している。これは、カメラのダイナミックレンジの範囲内で十分捉えることが出来る影の輪郭等により、マスク機能が働かず差分計算の対象領域に含まれたためと考えられる。

今後は、これら過検出の抑制に向けた画像処理精度の向上を図りつつ、差分抽出を行う場合は、可能な限り、同様の天候および時間帯の画像データで比較を行う等、人の能力の活用も視野に入れた上で検討を進めていく必要がある。

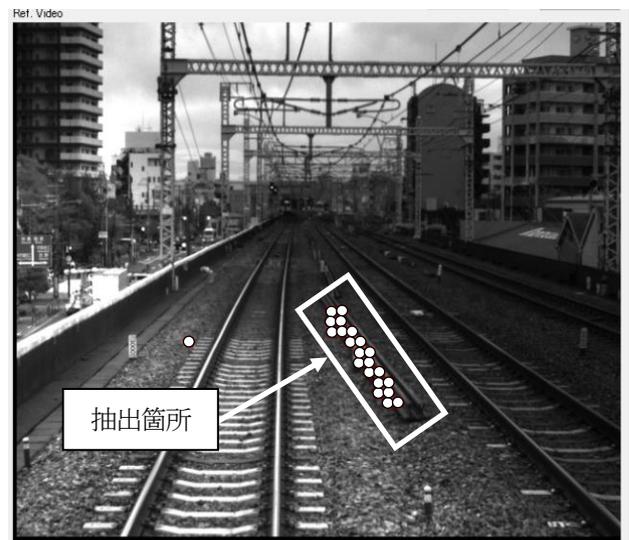
6. おわりに

列車の前頭に設置したカメラで取得したデータに画像処理を行うことで環境変化を抽出し、列車巡視システムの機能構築における可能性を確認した。

今回は建築限界外にある工事用材料の仮置きや作業機



(a) 基準画像



(b) 比較画像

図-7 差分抽出例

表-3 差分抽出 過検出結果

線区	組合せ	天候/ 時間帯	処理 延長	発生頻度
大阪 環状線	A	曇り-晴れ	21km	1.7箇所/km
阪和線	B	曇り-曇り	15km	0.4箇所/km
	C	晴れ-曇り	18km	0.8箇所/km
	D	午前-午後	15km	3.0箇所/km

械等を想定し、差分抽出について検証を実施したが、今後は対象の適用範囲を拡大して検証を進めたいと考えている。

また、フレームマッチングおよび差分抽出に要した解析時間は、約0.5h/kmであった。

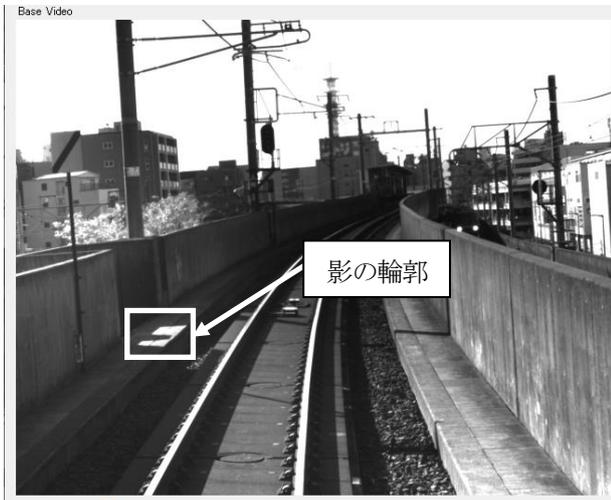


図-8 過検出の抑制例

を考えると解析時間の更なる短縮を実現する必要がある。

参考文献

- 1) 渡邊達郎, 藤原武実, 近藤英記, 森直幸: 画像によるレール継目部の異常抽出技術の基礎的検討, 第73回土木学会年次学術講演会, 2018.
- 2) 桶谷栄一, 今西進也, 新名恭仁, 福井義弘: 単眼ステレオ視を活用した列車巡視システムの開発, 第70回土木学会年次学術講演会, 2015.
- 3) Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T. and Van Gool, L. : SURF: Speeded Up Robust Features. Computer Vision and Image Understanding (CVIU). 110(3). pp.346-359, 2008.
- 4) McConnell, R. K. : Method of and apparatus for pattern recognition, U.S. Patent No. 4567610, 1986.



(a) 基準画像



(b) 比較画像

図-9 差分抽出 (影の輪郭による過検出例)

半日程度で解析を完了するという運用上の目安を考えると1回のデータ取得が約25kmとなる。運用の効率性

BASIC STUDY OF ENVIRONMENTAL CHANGE EXTRACTION METHOD USING IMAGE PROCESSING TECHNOLOGY IN ONBOARD TRACK PATROL

Kensuke NAGAO, Eiichi OKETANI

We are working to improve productivity in onboard track patrol. Specifically, we are working on the development of a onboard track patrol system that can detect obstacles in building limits and acquire vibration acceleration of a vehicle by using a camera mounted on the front of the vehicle and sensor under the floor.

In this study, we compare the image data of the same position with different acquisition time and analyze whether it can extract the environmental change or not. In detail, we constructed a method to implement frame matching and difference extraction steps for images with different acquisition times by image processing.