

特集：信号通信分野における設計・メンテナンス技術

ハンディカメラによる列車前方映像を用いた 信号設備の管理支援システムの開発

向嶋 宏記* 長峯 望*

Development of Signal Facilities Management Support System
Using Camcorder Video on Train Cab

Hiroki MUKOJIMA Nozomi NAGAMINE

Signalling facilities in railways are continuously installed in scattered locations along lines between stations. As a result, a great deal of labor has continued to be required in maintenance work for performing individual inspections and facility management work for verifying the location and type of installation up to the day. Then, to reduce the workload in maintenance, there is a requirement for a system that can automatically recognize and inspect facility without going to the site. Therefore, we have developed a system that supports maintenance work on signalling facility with only one camcorder installed in a train cab. The proposed system recognizes signalling facilities from video obtained by camera and estimates the location of the facility to assist the maintenance work. This paper describes an outline of the proposed system and the fundamental elemental technologies used to build it.

キーワード：ハンディカメラ，列車前方映像，設備認識，キロ程推定，俯瞰画像，劣化推定

1. はじめに

鉄道において、信号設備はその役割の性質上、線区を構成する駅および駅間に分散して設置されている。そのため、設備の位置や状態を管理する業務や工事設計の際の現場確認に非常に労力がかかっているのが現状である。

例えば、台帳の情報と現場の設備に相違点がないか確認するために、現場に赴いて徒歩巡視などで調査している。その他にも、工事設計業務に必要な既設のケーブルトラフの蓋の枚数などの情報は、既存のデータベースに登録されていない場合が多く、担当者が現場に赴いて調べている。

メンテナンス業務における作業負担を軽減するために、現場に行かずとも設備の状態や設置位置を確認できるシステムが必要である。レーザービームを照射して物体の位置をセンシングする LiDAR センサや GNSS などを用いて設備の位置や状態を把握する方法も提案されている。しかし、専用車両を用意する必要があり、センサが高額である場合が多いため、閑散線区などではコストに対してメリットが見合わない可能性がある。

そこで、我々は市販のハンディカメラ 1 台だけを用いて信号設備のメンテナンス業務を支援するシステムを開発している^{1) 2)}。我々の提案するシステムは、台帳管理や図面のチェック等を補助するために、ハンディカメラから得られた列車の前方映像から、設備を認識し、設備

の位置を推定する。システムを使用するためのハードウェアとして数万円程度のビデオカメラと三脚などのカメラ雲台（マウント）を用意すれば良く、低コストで実現が可能である。

本稿では、システムの概要と、システムを構築する要素技術について述べ、精度検証の結果を報告する。要素技術については、前方映像を疑似的に線路の真上から見た俯瞰画像に変換する手法、俯瞰画像から各フレームに対する位置を推定する手法、前方映像から設備を認識する手法、設備の劣化度を推定する手法の順に述べる。

2. システムの概要

提案システムには、列車の運転台から撮影した列車前方の映像を入力する。撮影に必要な機材はハンディカメラ 1 台とカメラを固定するマウントのみである。列車前方映像の例を図 1 に、実際に撮影している様子を図 2 に示す。カメラは前面ガラスなどに固定して列車前方を撮影する。この際、列車近傍の設備が映像中でブレることを避けるために、シャッター速度を速く設定することが望ましい。本研究で使用する列車前方映像は、3,840×2,160 画素のハンディカメラを使用し、30fps で撮影している。

また、提案システムは以下の要素技術から成り立つ。各手法の詳細については 3 章で述べる。

① 軌道面の俯瞰画像の生成

各フレームの軌道面を射影変換し、疑似的に軌道を真

* 情報通信技術研究部 画像解析研究室



図1 列車前方映像



図2 撮影の様子

上から見た俯瞰画像に変換する。俯瞰画像上で、設備間の距離やケーブルの長さなどを計測することも可能である。

② キロ程の推定

俯瞰画像から、フレーム間のオプティカルフローと呼ばれる画素の移動量を求め、各フレームが撮影されたキロ程（走行位置）を推定する。オプティカルフローから求められるのは画素単位の走行距離であるが、フレームに対応した2地点以上のキロ程をユーザーから与えることで、画素に対する距離を割り当て、各フレームのキロ程を推定する。

③ 設備の抽出

深層学習によって各フレームから沿線設備を認識する。複数のフレームに渡って認識した設備は追跡処理により1つの設備として統合させる。

④ 劣化度の推定

深層学習によって、設備外観の劣化度を推定する。学習時には、分類問題として学習させた結果を推定確率の重み付き和として計算することで連続値として推定する。

3. 列車前方映像に対する画像解析手法

3.1 俯瞰画像の生成

列車前方の映像は、運転台から撮影されているため、画像内の軌道面は下端から消失点に向かって小さくなる。例えば、軌道面を画像中から切り出すと図3に示す

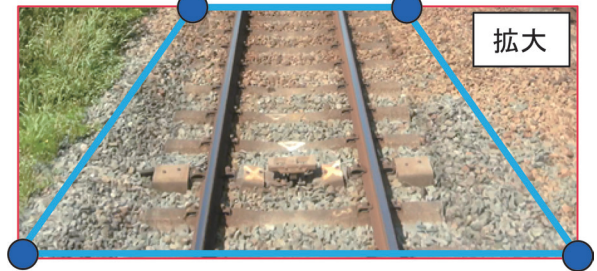
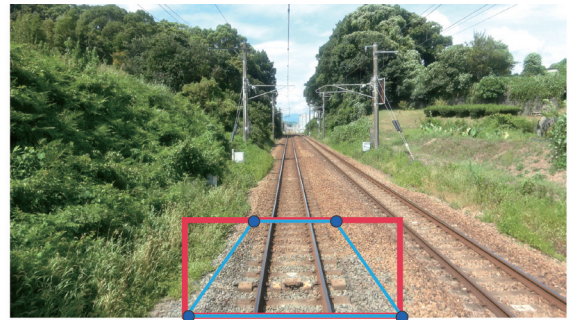


図3 列車前方映像の軌道面

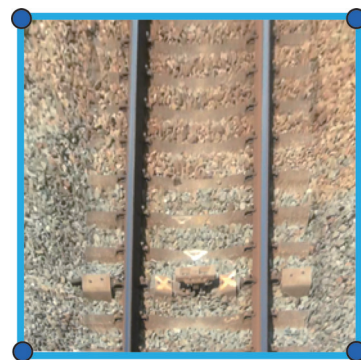


図4 軌道面の画像を俯瞰画像に変換した例

通り台形の形状となり、画像上部ほど、軌間の画素数が少なくなっていることが分かる。この台形状の軌道画像では、実距離と画素の対応が画像中の位置で変化するため、設備間の距離を画像から把握することが難しい。そこで、実距離と画素の対応を任意の位置で同一とさせるために、軌道面に対して射影変換を施し俯瞰画像に変換する。図3を俯瞰画像に変換した例を図4に示す。ここで、射影変換とは任意の四角形を別の任意の四角形に移す変換である。俯瞰画像中の縦横比を正しくするために、まくらぎなどの既知の大きさの設備を基準にして、1画素あたりの実寸法を与え、射影変換のパラメータを調整する。

3.2 長尺俯瞰画像の生成

前節で述べた俯瞰画像を、フレーム間で連結することで図5に示す長尺な俯瞰画像を生成する。まず、俯瞰画像からフレーム間のオプティカルフローを求める。オプティカルフローの平均値を求めることにより、画像の移



図5 長尺俯瞰画像の生成例

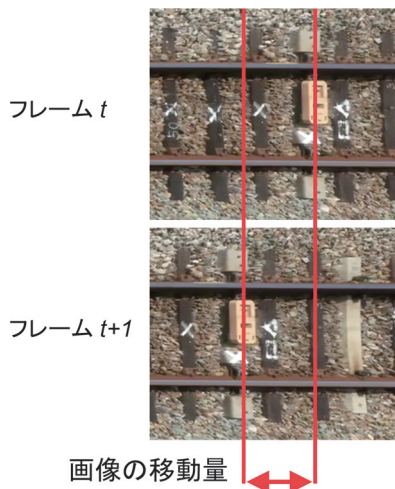


図6 移動量の計算処理のイメージ

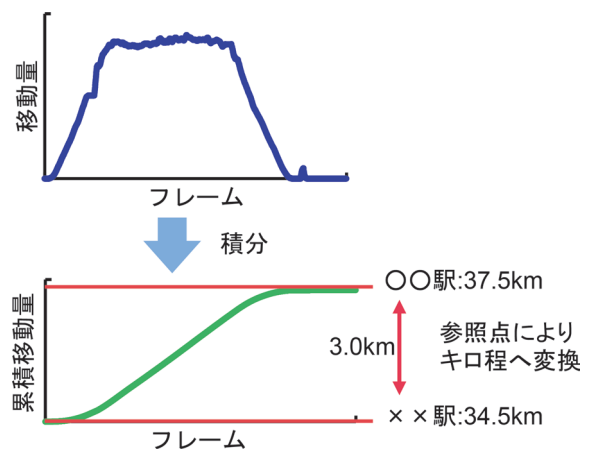


図7 キロ程への変換

動量が計算される。移動量の計算処理のイメージを図6に示す。この移動量は実際には画像の縦と横の2次元の移動ベクトルである。次に、移動ベクトルに従って俯瞰画像の位置を調整し、レールが直線に繋がるように連結する。ただし、カーブなどにおいて、俯瞰画像内のレールが傾くためレールが直線に繋がらない場合がある。そこで、移動ベクトルの角度をレールの傾きとみなし、俯瞰画像をスキューさせることで傾きを補正した後、俯瞰画像を連結する。スキューとは、長方形を傾けて平行四辺形に変換する処理である。また、俯瞰画像の接続箇所にはアルファブレンディングを施すことで滑らかに俯瞰画像を連結する。アルファブレンディングとは、2枚の画像を合成する際に画像を透過させて重ねる手法である。3.1節で述べた通り、大きさが既知の設備を基準とすることにより、長尺俯瞰画像上でも距離を計測することが可能となる。

3.3 キロ程の推定

俯瞰画像の移動量から速度を求め、映像を撮影している列車自身の走行速度と現在のキロ程を推定する。図6に示した移動量を、連続するフレーム間で求め、図7に

示す縦軸を移動量、横軸をフレーム（時刻）とする速度情報を得る。その後、移動量を累積することにより、映像全体の累積移動量が求められる。

ここで、求められる列車の速度は、単位が「画素／フレーム」となるため、累積移動量も単位は画素である。そこで、フレームに対する既知のキロ程（位置情報）を2箇所以上与えることで、画素と実距離の換算を行い、各フレームに対するキロ程とその時の走行速度を推定する。キロ程の与え方としては、データ取得の都度、ユーザーが駅停車のフレームや地上子などの設備を選択し、駅のキロ程や設備のキロ程を手動で割り当てる方法を想定している。なお、キロ程とフレームの対応付けを自動化する方法としては、駅停車フレームを検出し、停車位置目標の位置情報と紐づける方法が考えられる。

3.4 設備認識

入力された映像の各フレームから、深層学習により設備を認識する。認識対象とは図8に示す20種類の設備とした。図8と対応する設備の名称を表1に示す。ネットワーク構造としては Scaled-YOLOv4³⁾ を用いた。映像の各フレームで認識対象設備の位置、大きさ（検出枠）

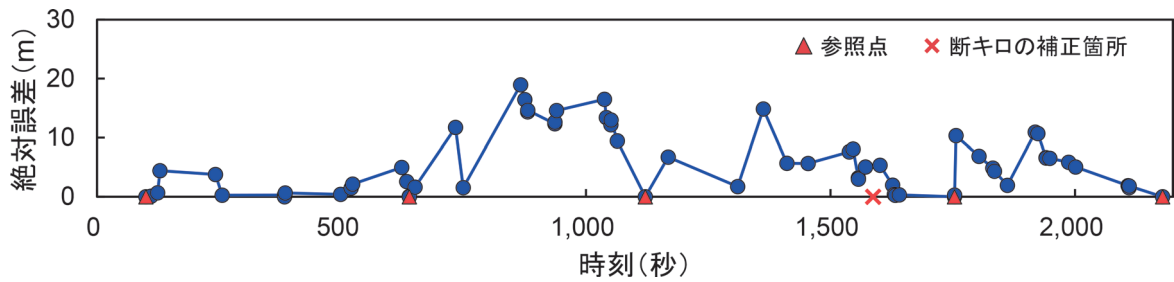


図9 キロ程の推定誤差

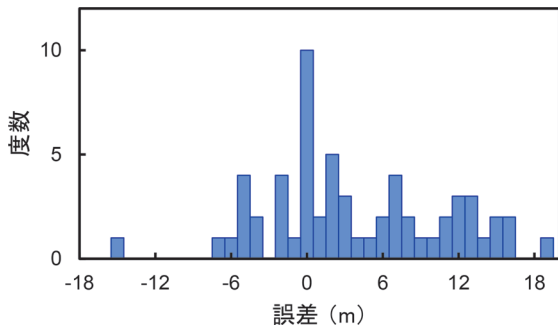


図10 キロ程推定誤差の分布

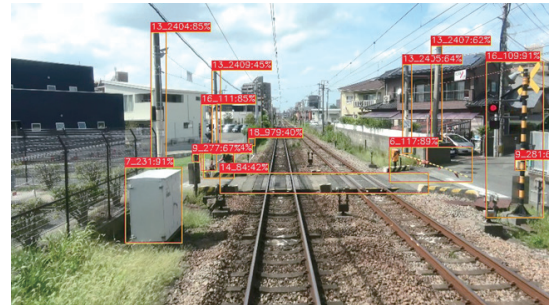


図11 設備の認識結果の例

を使用した。約2km長の区間の映像に対して設備の認識結果を確認したところ、走行線の真横を通過する設備については、見逃しは発生しなかった。認識結果の例を図11に示す。

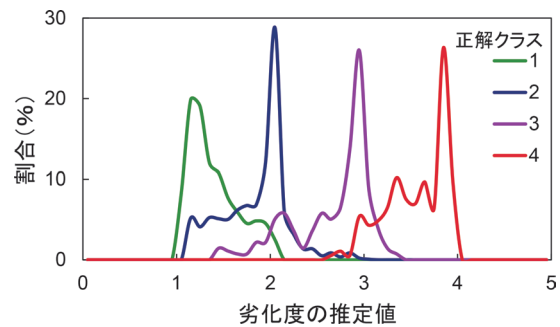


図12 クラス毎の劣化度推定結果

4.3 劣化度推定精度の検証

営業線で撮影した器具箱と踏切制御子箱の画像を用いて、劣化度推定手法の精度を検証した。学習データには、8,803枚の画像を使用し、評価データには、2,494枚の画像を使用した。評価データにおける劣化度の内訳は、劣化度1が630枚、劣化度2が1,391枚、劣化度3が277枚、劣化度4が184枚となっている。評価データに対する推定結果を、分類の正解率と推定値の平均絶対誤差で評価した。なお、器具箱と踏切制御子箱は学習において区別していない。

劣化度の推定結果について、各クラスでの推定結果の割合を図12に示す。グラフ中の各線はそれぞれ劣化度

の正解クラスに対応している。それぞれの正解クラス周辺で割合が最大となっており、大きく推定結果が外れていないことが確認できた。分類問題としての正解率は73%であり、劣化度の実数値としての平均絶対誤差は0.33であった。推定結果の例を図13に示す。画像中の右下の数字はアノテーションとして与えた劣化度である。例えば、劣化度3の結果について、天板のみが大き

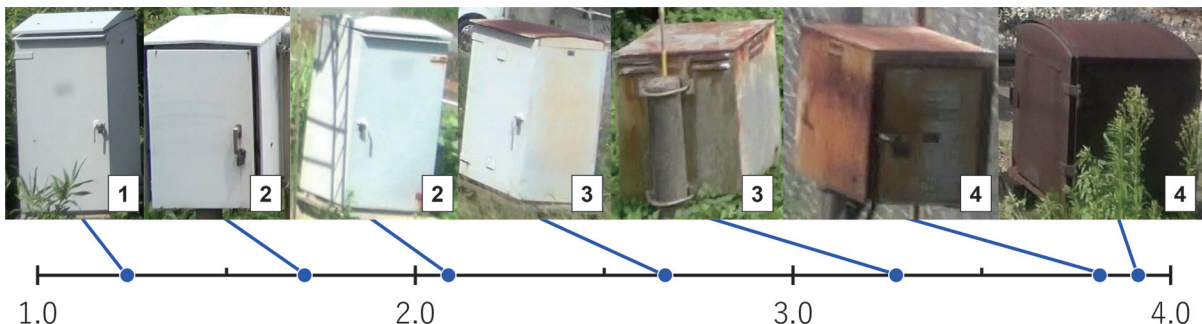


図13 劣化度の推定結果の例

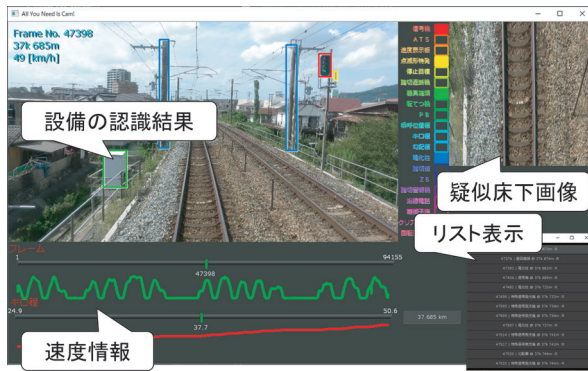


図 14 アプリケーションの動作画面

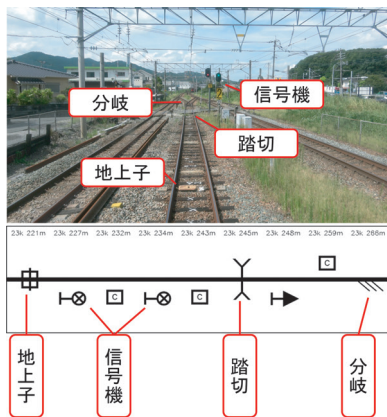


図 15 簡易図面の生成例

く錆びている踏切器具箱は劣化度 2.7、天板に加えて側面にも錆びが濃く出ている踏切制御子箱は劣化度 3.3 とアノテーションが同じクラスであっても劣化の度合によって推定値が変化していることが確認できる。

実用上は、例えば劣化度 2.5 未満は健全、劣化度 2.5 以上、3.5 未満は要注意、劣化度 3.5 以上は要検査などのように、管理区分と劣化度を紐づけて活用する。

5. 設備管理支援アプリケーション

提案システムのうち、俯瞰画像生成手法、キロ程の推定手法、設備の認識手法の 3 つを組み込んだアプリケーションを製作した。アプリケーションのスクリーンショットを図 14 に示す。入力した列車の前方映像に対して、認識した設備を矩形で表示している。前方映像の下には映像の各フレームに移動するためのスライダーがあり、その下にフレームに対する速度をグラフとして表示している。グラフの縦軸が速度で、横軸がスライダーに対応したフレームとなっており、駅停車などが視覚的にわかるため、閲覧したい場所をスライダーで探

し易くしている。真上から俯瞰した画像を画面の右側に示している。設備リストも表示しており、表示したい設備をクリックすればその設備が映っているフレームへ移動することもできる。また、各手法で推定した情報の提供方法は様々な方法が考えられるが、例えば、図 15 のように、設備の種類とキロ程情報から、簡易的な図面を作成することで、ユーザーが設備を探し易くすることも考えられる。

6. おわりに

設備のメンテナンスを軽減させるための安価なシステムとして、ハンディカメラと画像処理を用いたシステムを提案した。提案システムでは、俯瞰画像の生成、キロ程の推定、設備の認識、劣化度の推定を、ハンディカメラで撮影した列車前方の映像のみによって行う。キロ程の推定精度を検証したところ、35km の区間に対して参照点を 5 点与えることで、平均絶対誤差が 6m 程度であることを確認した。作業者の補助という用途であれば、設備の認識精度も実用上問題のない精度であると考えられる。また、設備の劣化度についても学習データには含まれない中間的な状態も推定できることを確認した。

今後は、実用化に向けて、線区によらずシステムが正しく動作することを確認するとともに、上下線を走行した映像や撮影時期が異なる映像において同一設備を認識して紐づけることで、時系列で設備の情報や劣化度を確認する手法について検討を進めていく。

文 献

- 1) 向嶋宏記, 長峯望, 山中浩司, 坂元大介: ハンディカメラを用いた沿線設備認識システムの開発, 鉄道と電気技術, Vol.32, No.3, pp.3-7, 2021
- 2) 向嶋宏記, 長峯望, 合田航: ハンディカメラを用いた列車前方映像からの設備の劣化度推定, 第 27 回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2020), No.S-2-6-4, 2020
- 3) WANG, Chien-Yao, BOCHKOVSKIY, Alexey, LIAO, Hong-Yuan Mark, "Scaled-yolov 4: Scaling cross stage partial network," In Proceedings of the IEEE/CVF conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.13029-13038, 2021.
- 4) LIU, Ze, et al, "Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows," In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, pp.10012-10022, 2021.