

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 列車前方の画像を用いて 運転士を支援する

自動車業界においては、ドライブレコーダーの普及が進んできており、一般ユーザーでも気軽に前方画像の記録ができるようになってきました。鉄道においても運転状況の記録として、列車前方の画像の記録が普及しつつあります。列車前方の画像の活用に関する研究は、将来的に重要な要素となってくることが予想されます。とくに、システムによって防護することが難しい設備などに対して運転士を支援するためには、カメラと画像処理による組み合わせが適していると考えられます。そこで、これまで鉄道総研が取り組んできた列車前方の画像を用いて運転士を支援する技術について、臨時信号機、特殊信号発光機、前方障害物（人物）の三つの事例を紹介します。



## はじめに

地上信号方式の線区における列車の運転は、運転士が信号機などの現示や標識類を目視で確認（指差喚呼）しながら行っています。これらの信号機のうち出発信号機や場内信号機、閉塞信号機などに代表される主信号機は、自動列車停止装置（ATS：Automatic Train Stop）によって防護されています。一方で、信号保安装置によって防護されていないものとしては、工事区間などに対する臨時信号機、踏切などにおける特殊信号発光機（一部の線区ではATCなどと連動して防護している）があります。また、運転士の前方注視の役割としては障害物の検知・認知があり、これについても体系的な防護は現在ではなされていません。

ここでは、このようなシステムで防護されていない設備などを対象にして、運転士が運転席から見ている列車前方の視界と同様のカメラ映像である「列

車前方の画像」を用いて、画像処理により運転士を支援する研究について三つの例を紹介します。

## 臨時信号機への画像認識

工事や災害などで路線の一部の区間に対して制限速度を設けなければならない場合に、臨時信号機を設けることで、列車に対して速度制限の指示をしています。臨時信号機には、徐行予告信号機（参照）、徐行信号機、徐行解除信号機があり、徐行予告信号機は先行の徐行区間を予告するもので徐行区間の手前に設置されています。徐行信号機と徐行解除信号機は徐行区間の始端と終端に設置されます（1）。

徐行信号機は徐行区間の直前に設置されており、信号機といっても形が標識類と同様のため、これを画像処理で十分遠方から認識することは困難です。そこで、徐行区間の600m以上手前に設置されている徐行予告信号機を列車



**長峯 望**  
Nozomi Nagamine  
信号・情報技術研究部  
画像・IT研究室  
主任研究員  
【専門分野】 コンピュータビジョン、画像処理、信号保安




**向嶋 宏記**  
Hiroki Mukojima  
信号・情報技術研究部  
画像・IT研究室  
研究員  
【専門分野】 コンピュータビジョン、画像処理



**中曽根 隆太**  
Ryuta Nakasone  
信号・情報技術研究部  
画像・IT研究室  
研究員  
【専門分野】 画像処理、GNSS

### 徐行予告信号機

白い三角形に対して黒い三角形が三つで構成されています。白い部分に着目すると三菱模様のように見えます。事業者ごとに視認性を高める工夫をしており、背板を付けたり、白い部分をオレンジ色に変更したりしている例もあります（1左側）。

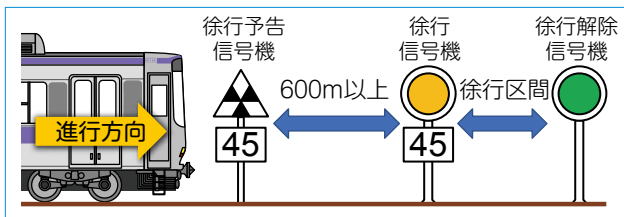


図1 臨時信号機の設置位置

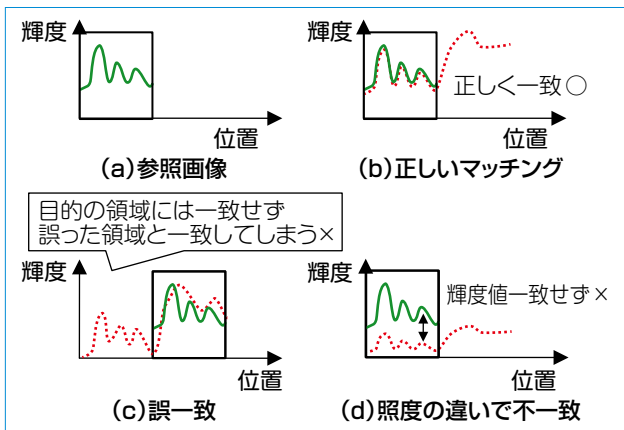


図2 濃淡ベースパターンマッチングの動作の例

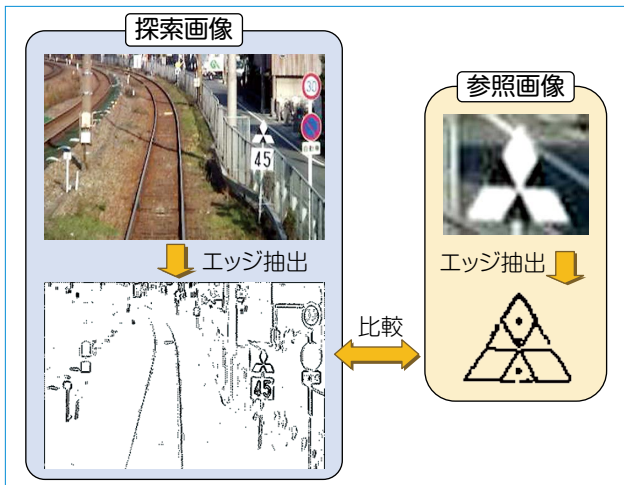


図3 形状ベースパターンマッチングの概念

前方の映像から画像認識することで十分な制動距離を保つことができます。物体を画像認識する場合、濃淡ベースのテンプレートマッチング(参照)という手法が一般的ですが、鉄道環境のように明るさが一定ではない環境においてはうまくマッチングが取れません。1次元のデータを例に説明する

くマッチングが取れます。しかし、時間帯に応じて明るさが変わったり、影の影響を受けたりした場合には(c)のように誤った場所と一致してしまったり、(d)のように対象物であるにも関わらず、マッチングがとれないといったことが起こります。このような問題点を解決するために、

☞ テンプレートマッチング

入力画像中からテンプレートとして登録した参照画像(部分画像)ともっとも類似する箇所を探索する処理で、入力画像の一部と参照画像の類似度を求め、類似度がもっとも大きい場所を探索する方法です。類似度の計算の仕方にさまざまな種類があり、対象画像や精度、計算速度などによって類似度の計算方式を選びます。

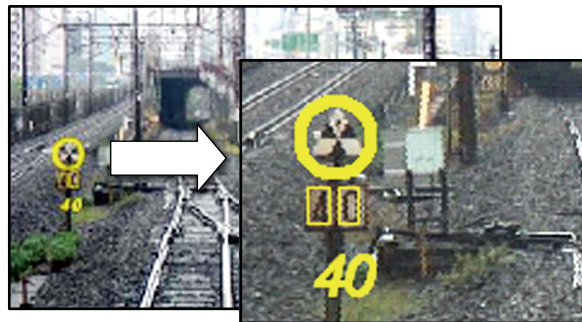


図4 文字認識の結果の一例



図5 走行試験の結果(鉄道総研所内試験線)

と、図2の(a)が参照画像(テンプレート)だとします。その際に赤点線の入力画像に対してマッチングをとることを考えますと、照明環境が同一で輝度が一致している場合は、(b)のように正しくマッチングが取れます。しかし、時間帯に応じて明るさが変わったり、影の影響を受けたりした場合には(c)のように誤った場所と一致してしまったり、(d)のように対象物であるにも関わらず、マッチングがとれないといったことが起こります。このような問題点を解決するために、

形状ベースパターンマッチングという手法を用いて、徐行予告信号機を認識するアルゴリズムを開発しました。形状ベースパターンマッチングとは、環境の変化に強い輪郭情報を用いたパターンマッチングです。輪郭を得るために入力画像と参照画像(テンプレート)のそれぞれに対してエッジ抽出を施して、エッジ画像に対してマッチングをとります。形状ベースパターンマッチングを徐行予告信号機に当てはめた処理の例を図3に示します。これにより時間帯や天候などの環境の変化があっても安定して検知できるようになりました<sup>1)</sup>。

さらに、徐行予告信号機や徐行信号機にはその徐行区間の制限速度が表示されています。そこで、パターンマッチングで徐行予告信号機を認識したあとに制限速度の数字を光学文字認識(OCR: Optical Character Recognition)を用いて認識することで、「前方に制限速度〇〇km/hの徐行区間がある」という情報を運転士に伝えることもできます。

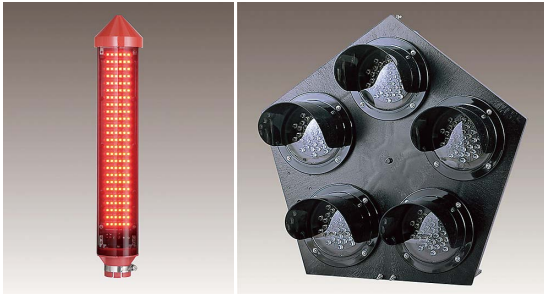


図6 特殊信号発光機(点滅形と回転型)  
株式会社三三社 HP より

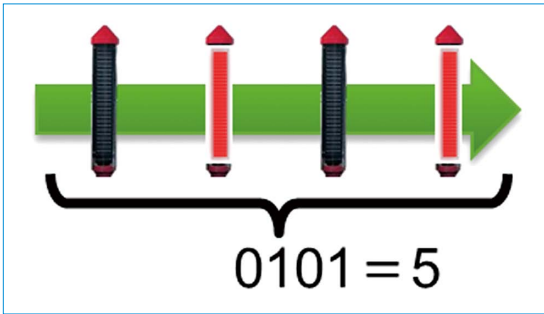


図7 点滅の数値化の例

文字認識の結果の例を図4に、鉄道総研所内試験線にて行った走行試験での検知結果の例を図5に示します。鉄道総研が試験を行った約300試番のうち、未検知は西日による逆光や吹雪などの人間の目においても認識できない状況の数シーンのみでした。

### 特殊信号発光機への画像認識

踏切支障などの列車運転に支障する事態が発生した場合に、その異常を運転士に伝え緊急停止させる手段として特殊信号発光機があります。特殊信号発光機は、踏切支障報知装置(押しボタン)、障害物検知装置、限界支障報知装置、落石警報装置などと連動して発光信号を現示するもので、安全確保のための重要な設備となっています。

特殊信号発光機は、赤色の光が棒状に1分間に500回程度点滅する「点滅形」と、赤色灯が2個ずつ反時計周りに回転点灯する「回転形」があります。ここでは、JRに多く普及している点滅形の特殊信号発光機を列車前方の画像から認識する画像処理について紹介します。

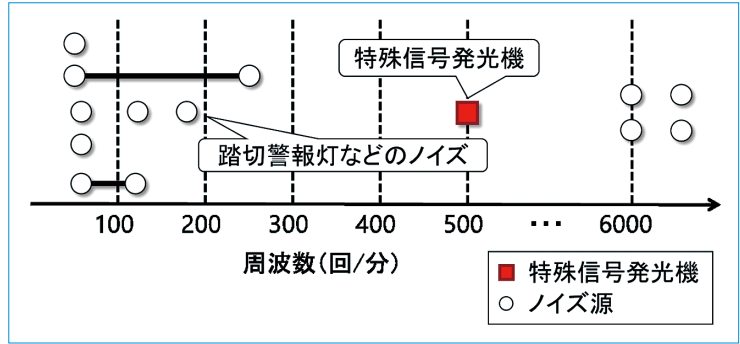


図8 特殊信号発光機とノイズ源の明滅周波数

特殊信号発光機は点滅をするため、画像処理する際のフレーム(☞参照)単位でみたときに「点灯しているフレーム」と「滅灯しているフレーム」が出てきてしまうため、濃淡ベースや形状ベースのパターンマッチングで検知することができません。そこで、1分間に500回点滅している(8.33Hz)ことを活用して検知する方法を開発しました<sup>2)</sup>。

具体的には点灯を「1」、滅灯を「0」と定義すると点滅の時系列変化を二進数で表現できます。この二進数を10進数に変換して考え、時系列の変化を数値化します。考え方の概念を図7に示します。この場合、滅灯、点灯、滅灯、点灯の順に点滅していますので二進数で表現すると「0101」となります。これを10進数で表すと「5」となります。このように考えると、複数のフレーム

から成る動画像を点滅のパターンを表す1枚のフレーム画像に変換することができます。そうすると、フレーム画像に対してルックアップテーブル(☞参照)を参照するだけで目的の点滅を見つけ出すことができます。

また、線路沿線には赤色の点滅は特殊信号発光機以外にも多数ありますが、調査した結果、周波数が違うことがわかりましたので(図8)、周波数を8.33Hzに限定することでほかの点滅ノイズを誤検知せずに特殊信号発光機だけを検知することができるようになりました。これらの結果を踏まえて、特殊信号発光機の視認距離である800m遠方からの点滅検知試験を行い、安定して検知できることを確認しました。結果を図9に示します。800m先の特殊信号発光機は映像としては「点(ドット)」のようですが、開発したアルゴリズムによって時系列変化をみているため検知できることを確認しました。

#### ☞ フレーム

カメラによって撮影された動画像の1コマ1コマをさし、1秒間に撮影されたフレーム数をfps (frame per second) として表します。一般的なハンディカムでは、30fpsか60fpsでスペック上記載されていることが多いですが、実際にはテレビの信号規格NTSCから来ており、正確には30fpsは29.97fpsで、60fpsは59.94fpsとなっています。この値は音声搬送波4.5MHzと走査線525本の関係から来ています。

#### ☞ ルックアップテーブル

複雑な計算処理を単純な配列の参照で置き換えて処理を高速化するものです。この場合、点滅パターンが数値化された0~255(8フレームの場合)に対して検知すべきパターンであるか否かが記載された表を表します。また、見つけたい点滅パターンを増やしても(減らしても)計算速度が変わらないというメリットがあります。

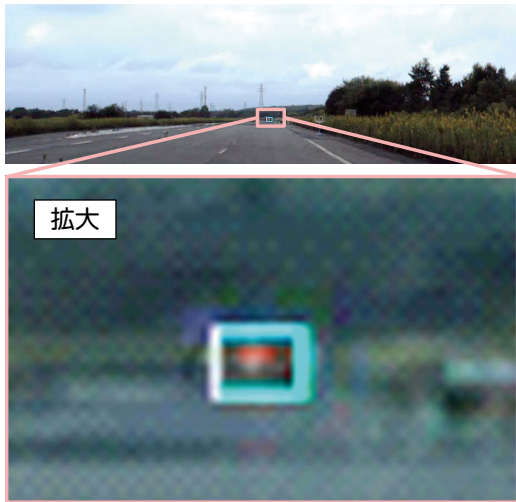


図9 800m遠方での特殊信号発光機の検知の例

### 前方障害物(人物)への画像処理

鉄道人身傷害事故や踏切障害事故の件数を考慮すると、列車と人物が衝突する事例があるのが現状です。そこで、運転士が行っている前方監視のうち、人物にターゲットを絞って画像認識するアルゴリズムの開発を行っています<sup>3)</sup>。

カメラ映像である列車前方の画像から人物を検知するためにディープラーニング(☞参照)による一般物体認識アルゴリズムを用いました。具体的には一般物体認識アルゴリズムのうちSingle Shot Detector系といわれているモデルのうち一つを用いて、20万枚以上の画像を用いたデータセットにより事前学習されたモデルを用いました。このディープラーニングをベースに開発した人物検知アルゴリズムを

用いてフィールド試験を行った結果を図10に示します。ここでは4K解像度のカメラを用いて撮影しており、ディープラーニングとして検知がしやすい日中の立位の人物を試番として用いました。その結果、もっとも良い条件下においては最遠端の475mから連続して検知できることを確認しました。475m離れていると画面を占める人物のサイズが小さく肉眼では潰れて知覚できませんが、右上の拡大図を見るとかすかに人物を認知することができます。開発した手法の問題点として、学習されていない姿勢の人物の検知が困難であることがわかりました。たとえば、うずくまり、寝そべりなどは極端に性能が下がることがわかったため、ディープラーニングのネットワークに対する追加の学習をする必要があるこ

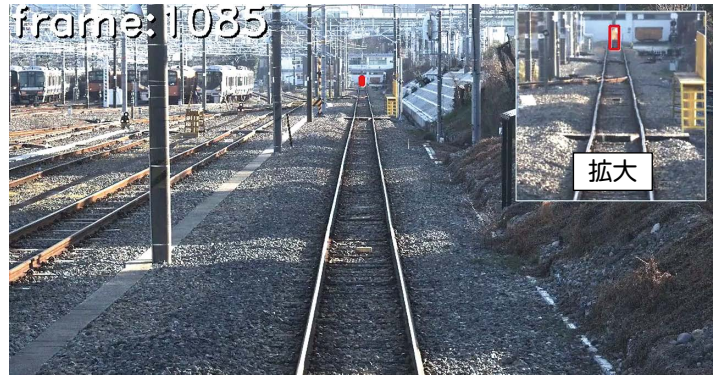


図10 ディープラーニングを用いた人物検知の例

とがわかりました。

今後は、検知が困難であった姿勢への対応や、鉄道において人物以外の重要な対象物である自動車、鹿などに対する検知性能の評価を行っていくこと、さらに夜間への対応を予定しています。

### おわりに

列車前方の画像を用いて運転士を支援する画像処理手法について、臨時信号機、特殊信号発光機、前方障害物(人物)を例にあげて紹介しました。これらの技術を拡張・延長させることで将来的には、運転士が担っている負担を軽減したり、さらには役割を代替することを目指して研究を進めていきます。また、列車前方の画像は安全用途以外にもメンテナンスなどへの活用が期待できますので、その応用にも取り組んでいく予定です。[RRR]

### 文献

- 1) 長峯望, 鶴飼正人: 列車前方映像を用いた徐行予告信号機の認識手法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.1, pp.33-38, 2009
- 2) 向嶋宏記, 長峯望, 野村拓也, 中曽根隆太, 石月正明, 田中雄也: ビットシフトによる特殊信号発光機のリアルタイム明滅検知手法, 電気学会研究会資料, TER-18-034, 2018
- 3) 長峯望, 向嶋宏記, 中曽根隆太, 酒井信弘, 東家崇明, 福井省三, 吉村英晃: 深層学習を用いた単眼カメラによる列車前方の人物検知手法, 電気学会研究会資料, TER-19-025, 2019

### ☞ ディープラーニング

人間の脳神経回路を模したニューラルネットワークを多層構造化した機械学習手法です。とくに、コンピューター自らがデータに含まれる特徴を自動的に獲得し、この特徴を各層で学習することで高い認識精度を実現する技術です。

また、ディープラーニングの実行には多くのコンピューター処理能力が必要であり、高性能なGPU(Graphics Processing Unit)による並列構成がほぼ必須となっています。

ネットワークを学習させるための訓練データの数が膨大に必要であり、その訓練データを現時点では手作業で作成する必要があるということが問題点としていわれています。