

運転台のカメラから設備を認識して 乗務員を支援する



向嶋 宏記
Hiroki Mukojima
情報通信技術研究部
画像解析研究室
研究員



長峯 望
Nozomi Nagamine
情報通信技術研究部
画像解析研究室長

はじめに

近年、車載カメラを使った画像認識システムが搭載された自動車が販売されるようになってきており、道路標識などを認識してドライバーに通知することで、運転を支援してくれます。鉄道においても、運転状況記録装置として、列車前方を撮影する車載カメラの導入が進んでいます。このような背景から、車載カメラによって得られる画像を活用し、運転士を支援することで、鉄道のさらなる安全性の向上が期待され

ています。

列車は自動車と比べると制動距離が長いことが特徴です。車載カメラで設備を認識して運転士を支援するためには、対象設備を十分遠方から認識する必要があります。ここでは、鉄道総研が取り組んできた研究から、列車前方に設置した車載カメラを用いて、徐行予告信号機や特殊信号発光機といった運転士が目視で確認している設備を車載カメラで認識する手法について紹介します。

図1 徐行予告信号機の役割

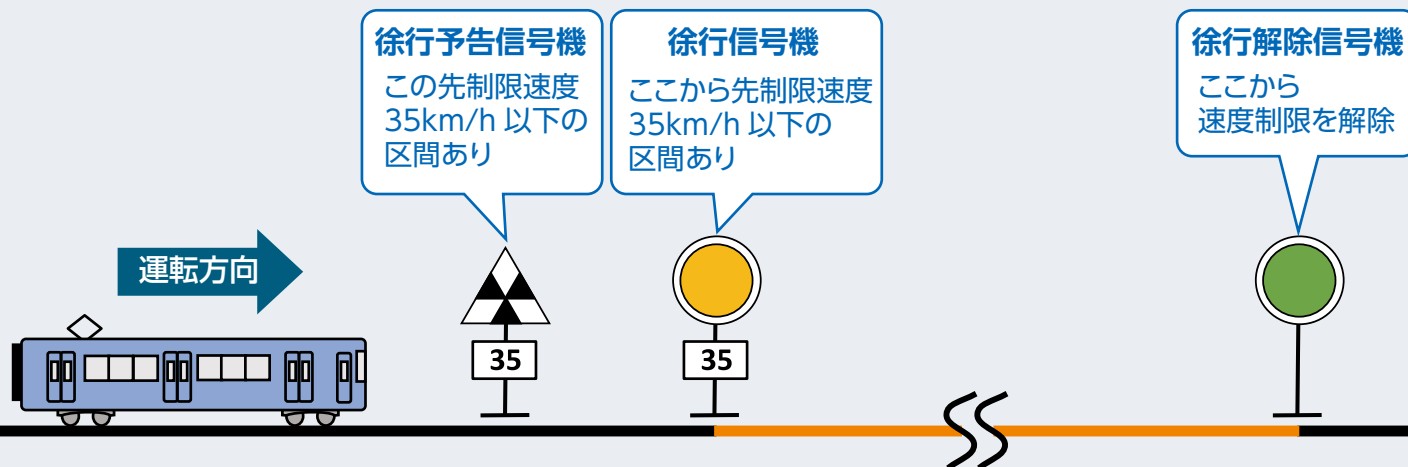




図2 特殊信号発光機

運転士が目視確認している 徐行予告信号機と特殊信号発光機

徐行予告信号機

徐行予告信号機，徐行信号機，徐行解除信号機は，臨時信号機とよばれる設備で，工事などの理由により列車の速度を落とす必要がある区間を示すものです。各信号機の役割は図1のようになっています。徐行予告信号機がこの先に徐行区間があることを示し，徐行信号機から徐行解除信号機までが徐行区間となっています。こ

ATS

自動列車停止装置 (Automatic Train Stop) の略です。運転士が停止信号を無視して進行したときに，自動的にブレーキを動作させる設備です。地上から車上へ情報を送ることで，ブレーキを動作させる仕組みになっており，各鉄道事業者でさまざまな通信の方式が開発・導入されているため，非常に種類が多い設備です。

これらの信号機は列車に向けて徐行を示す重要な信号設備ですが，一時的な設備であるため「ATS」などのような体系的な防護はありません。徐行区間については，点呼時に運転士に通達されており，基本的には運転士の目視確認に依存して安全が保たれています。

特殊信号発光機

特殊信号発光機は踏切における支障や落石などの線路上の支障が発生した場合に，進行してくる列車に光で危険を伝える設備です。特殊信号発光機は，通常時には滅灯しており，踏切支障報知装置 (非常ボタン)，障害物検知装置などと連動して発光します。特殊信号発光機は一部の線区を除き，ATSなどとは連動しておらず，運転士が目視で確認することで安全が保たれています。JRで広く使用されている特殊信号発光機は図2に示す点滅形と回転形の2種類があります。点滅形の特殊信号発光機は，ある一

定の周波数で点滅発光するものです。回転形特殊信号発光機は、正五角形の形状で、赤色灯が5灯ついており、そのうち2灯ずつが点灯した状態で反時計回りに点灯し、1秒で1回転します。

徐行予告信号機の認識技術

徐行信号機が設置された地点で確実に規制速度まで減速させるために、徐行信号機の代わりに徐行予告信号機を認識する技術を開発しました¹⁾。徐行予告信号機を直近で検知したとしても徐行信号機がある区間までには確実に減速できます。

開発技術では、徐行予告信号機の外周および白黒模様の境界の輪郭を参照画像として登録し、入力画像のなかから参照画像をパターンマッ

ングにより探索します。物体の輝度ではなく、輪郭情報に着目して探索するので、周囲の光に変化があるなかでも安定した検出が行えます。パターンマッチングにおける類似度計算は処理時間が非常にかかるので、「[画像ピラミッド](#)²⁾」により処理を高速化しました。また、信号機の建植位置に関する知識から、抽出したレールを

画像ピラミッド

画像ピラミッドは、高解像度の画像の解像度を段階的に小さくした画像の集まりです。例えば、元の画像に対して1/2の解像度、1/4の解像度、1/8の解像度の画像を生成します。画像処理の計算量は画像の面積に比例するため、解像度の小さい画像から計算し、段階的に大きい画像に計算結果を渡していくことで計算領域を限定することができ、計算の高速化が可能です。

図3 徐行予告信号機を検知している様子



基準に左右に設定した領域に探索範囲を限定し、リアルタイムに動作できるまでに高速化しました。標識の下に付けられている制限速度板についても、OCRによる数字の読み取りが可能です。検知の様子を図3に示します。さまざまなシーンで認識試験を行った結果、308シーン中、強い西日や吹雪など9シーンについては未検知となりましたが、過剰に検知する誤検知は0でした。認識率は97.1%で、極端な環境条件でなければ、ほぼ正常に認識できることを示しました。最後にプロトタイプ装置を用いた本線走行試験も実施し、もっとも厳しい環境となった、雨天の夜間で速度100km/hという条件でも、正しく認識できることを確認しました。

特殊信号発光機の発光検知技術

点滅形の発光検知手法

特殊信号発光機には、徐行予告信号機のような事前に運転士に予告する設備はないため、特殊信号発光機そのものを遠方から認識する必要があります。しかし、特殊信号発光機を遠方から撮影した場合、ほとんど1つの点のように映ります。数画素程度の大きさでは、徐行予告信号機のとときに利用したパターンマッチングでは検知することが難しいです。そこで、一定の周期で点滅していることを活用して、特殊信号発光機の点滅を検知する手法を開発しました²⁾。

具体的には図4に示すように点灯を「1」、滅灯を「0」と定義し、画像中で点灯している領域と滅灯している領域を抽出した二値画像を生成

図4 点滅形の発光検知手法

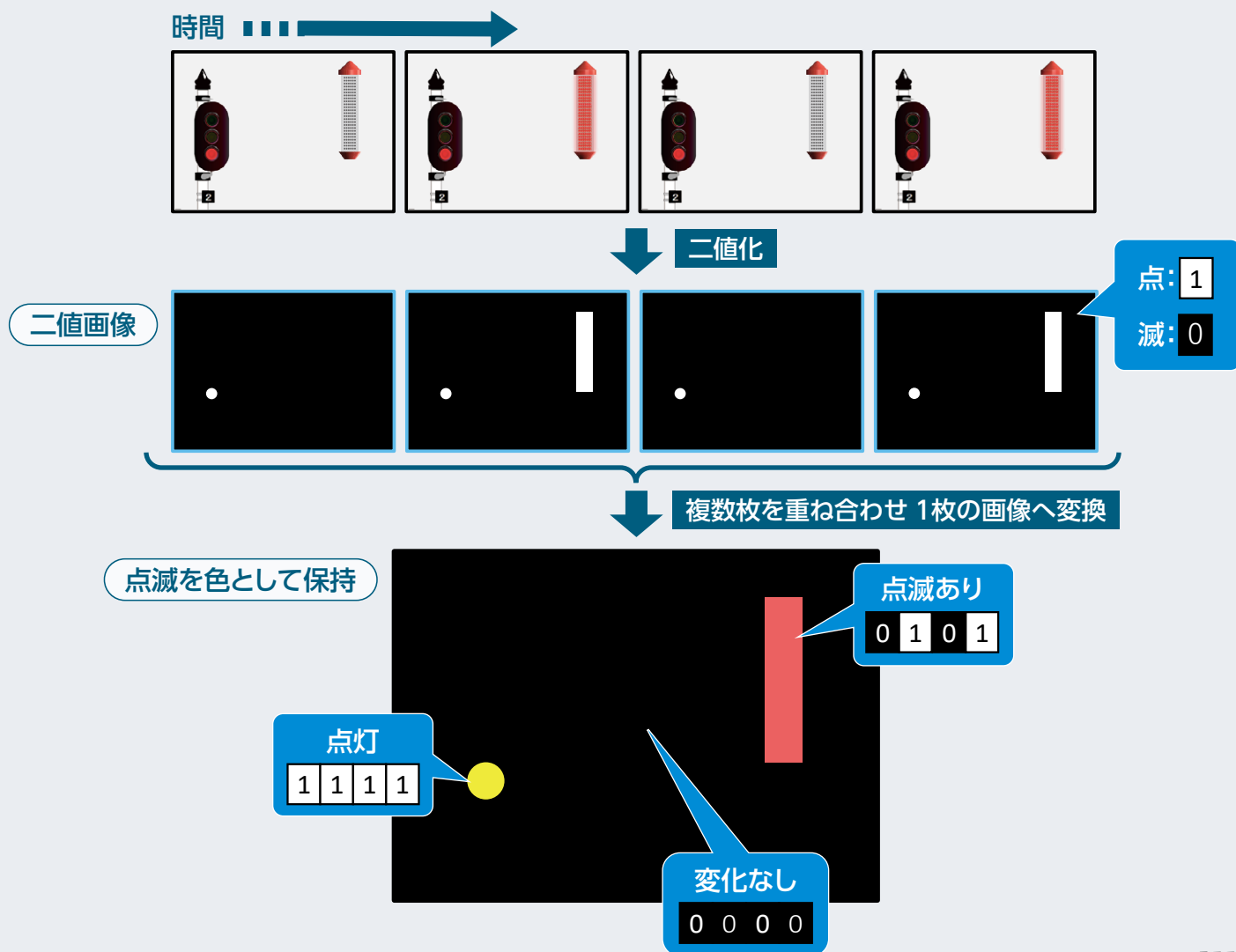




図5 試作した発光検知装置

します。この二値画像を複数のフレームで重ね合わせると、画像内の各画素（ドット）で「滅灯、点灯、滅灯、点灯」のような時系列の情報をもつことがわかります。この各画素での時系列の情報を画像の色として変換します。つまり、変換後の画像は、時系列情報である点滅を色としてもつ画像です。その後、変換後の画像に特殊信号発光機の点滅パターンと一致する領域があるか探すことで点滅を検知します。このような工夫により高速な点滅検知を実現しました。点滅形の発光検知手法については、発光を検知して運転士にその結果を通知する装置（図5）を試作し、実際の営業列車に取り付けてモニタリング試験を実施しています。

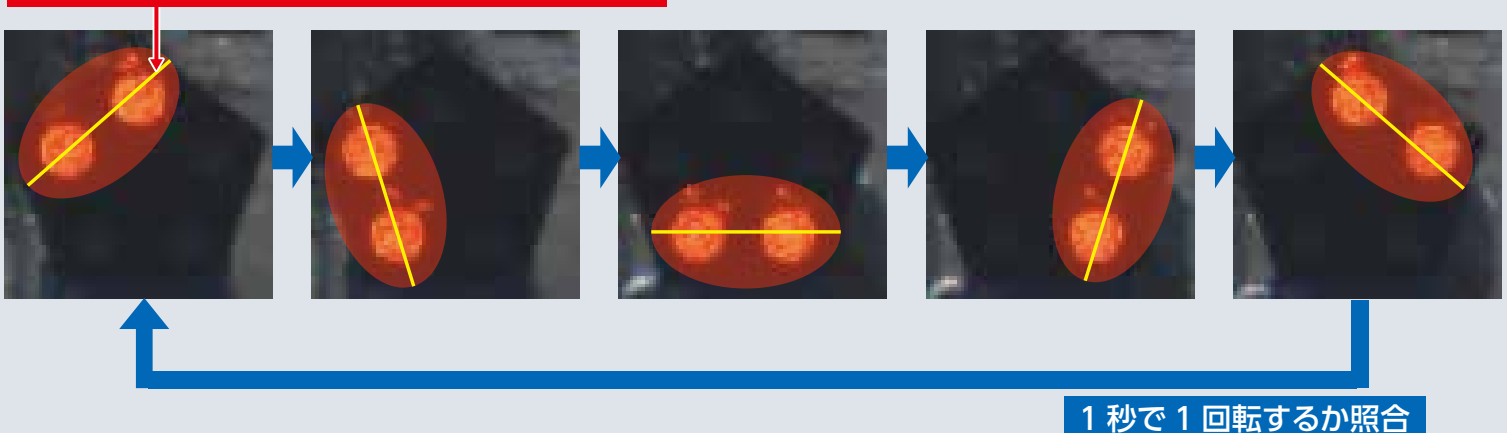
回転形の発光検知手法

回転形の特殊信号発光機についても遠方から直接認識する必要がありますが、遠方では点のように撮像されるため、パターンマッチングでは検知することが難しく、踏切警報灯などのほかの設備と近い発光の周波数をもつため点滅形の検知手法でも認識ができません。そこで、回転形の2灯の赤色灯が反時計回りに回転することをとらえることで、回転発光を検知する手法を開発しました。

回転発光の検知手法の概念図を図6に示します。まず、点滅形の発光検知手法と同様に、動画像の各フレームを点灯か滅灯に二値化し、点灯している領域の画像中での傾きを求めます。

図6 回転形の発光検知手法

2灯で1つの楕円と考え点灯領域の傾きを計算



1秒で1回転するか照合



図7 回転形の発光を検知している様子

次に、点灯領域の傾きの時系列情報を、1秒間で反時計回りに1回転する動きかどうか照合します。1秒間で反時計回りに1回転する動きであった場合は、回転形特殊信号発光機の回転発光として検知します。実際に赤色灯の傾きを計算し、回転発光を検知している様子を図7に示します。回転形の特殊信号発光機の発光検知手法については、静止条件の試験環境においては800m以上遠方でも検知が可能であることを確認しています。

おわりに

運転士が目視で確認している設備を車載カメラで認識し、運転士へ通知する手法を紹介しました。より安全な列車運行のために、画像を用

いて運転士を支援する技術は、重要な要素となると考えています。今回紹介したような技術を発展させていくことで運転士が担う負担を軽減し、より安全な鉄道になることをめざしています。また、今回は設備の認識を対象としましたが、車載カメラの応用分野は幅広く、対象を線路内の支障物とした研究や、設備のメンテナンスを目的とした研究など車載カメラを応用したほかの技術についても研究を進めていきます。

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, 市川武: 列車前方カメラを用いた特殊信号発光機の明滅検知手法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.7, pp.17-22, 2020