

# 車上型画像処理による信号機認識手法

信号通信技術研究部 信号  
主任研究員 鵜飼正人

## 1. はじめに

高速・大量の交通機関である鉄道は、ひとたび大事故が発生すると大きな被害が生じ、大きな社会問題となる。しばしば報道される踏切事故やホーム転落事故などに見られるように、鉄道交通における安全・安心の確保は急務となっている。

現在、常置信号機における閉そく区間の防護は、ATSなどの保安装置によっているが、徐行などの臨時信号機の確認は、点呼時における伝達と運転士の目視確認に依存している。夜間、濃霧、降雪といった視界不良時は十分な確認ができないうえ、ヒューマンエラーによってこれらの信号機が見落とされれば、大きな事故につながる可能性もある。また、長距離運行をする列車は、それぞれの地域で発生した輸送障害により、突発的な災害や臨時の工事、さらには事前の伝達と異なるルートを走行することがあり、当該徐行区間を見落として走行することが懸念される。そこで、車上搭載型の画像処理装置により、徐行予告信号機を自動認識する手法の開発を進め、運転士のバックアップを目指している。

また、特殊信号発光機は常時は消灯し、異常時のみ発光する方式であるため、運転時間帯での視認距離確認が難しいことが課題となっている。そこで、運転時間帯でも、列車運行に支障を与えず視認距離を確認するための仕組みについて研究を進めている。最終的な目標は、車上型画像認識による確認であるが、最初のステップとして静的な画像から視認確認を行う手法を検討した。

本発表では、徐行予告信号機を車上から画像認識する手法について、その内容と検証結果を報告すると共に、特殊信号発光機について、基本的な認識アルゴリズムについて報告する。

## 2. 臨時信号機認識手法

### 2.1 システムに対する要求性能

図1に示す徐行予告信号機・徐行信号機・徐行解除信号機を3つまとめて「臨時信号機」と呼ぶ。徐行信号機の設置箇所に列車が進入してから徐行解除信号機の設置箇所を列車の最後尾が通過するまでの間、徐行信号機に取り付けられている数字の速度で走行するよう決められている。徐行予告信号機は、最高速度からでも徐行信号機の地点で所定速度に減速できるように、十分な距離を隔てて設置されるので、徐行予告信号機の検出距離としては数10m～直近までということになる。最高速度で進入した場合でも確実に検出するため、処理速度は100ms以内としている。



図1 臨時信号機

## 2.2 形状ベースパターンマッチング

標識各辺のエッジに着目したパターンマッチング手法により、速度表示と併せて認識する。車載映像特有の見えの大きさの変化や、建植ずれの影響を考慮して、**scale** 及び **angle** のパラメータを調整し、それぞれ 0.7~1.3 及び  $-5^{\circ}$  ~  $+5^{\circ}$  の範囲内の信号機を認識するようにした (図 2)。

さらに処理時間の高速化を図るため、建築限界の知識を利用して、抽出したレールを基準に探索範囲の絞り込み (緑色の矩形枠) を行った (図 3)。最終的に、登録したテンプレートとの類似度 (スコア) を計算し、それが閾値 (0.7) を超えた場合に“検知”したとみなした (図 4)。

昼夜問わず走行する鉄道環境においては、認識システムには全天候性が求められる。特にパターンマッチング手法においては、登録するテンプレートは、認識性能を左右する重要な要素となる。車載カメラによる徐行予告信号機の映像は、夜間時は全体が黒く、逆に降雪時は白くなるため、徐行予告信号機の白及び黒部分と背景が同化して境界線のエッジが検出しづらくなり、高いスコア値が得られず、パターンマッチングの性能が低下する問題がある。そこで図 5 のように登録するテンプレート画像を工夫し、環境の変化に対しても頑強な検知方法を実現した。

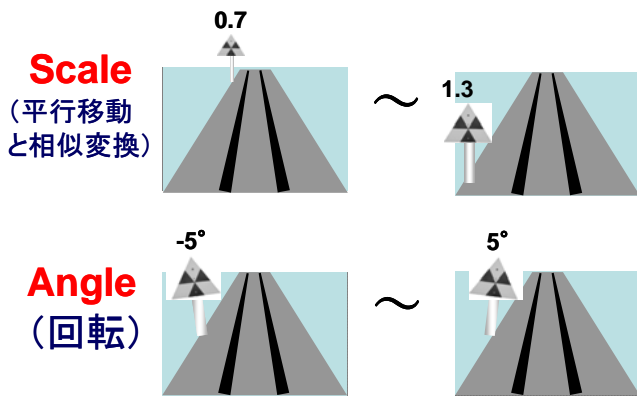


図 2 見えの変化にロバストなパターンマッチング

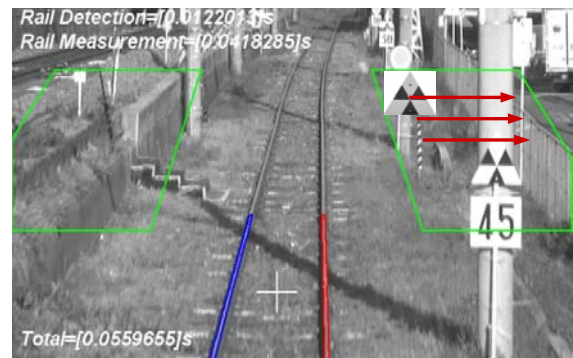


図 3 抽出したレールを基準とした探索範囲の設定

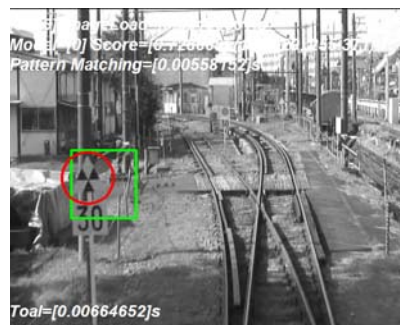
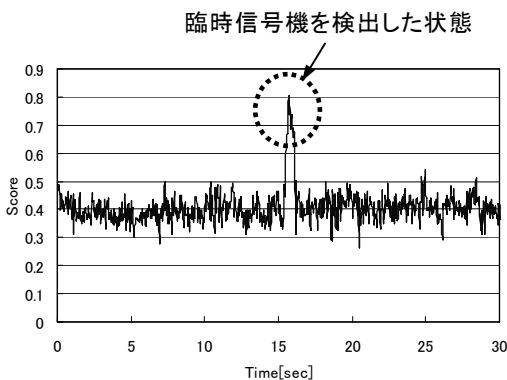


図 4 パタンマッチングスコアの推移と徐行予告信号機の検知例

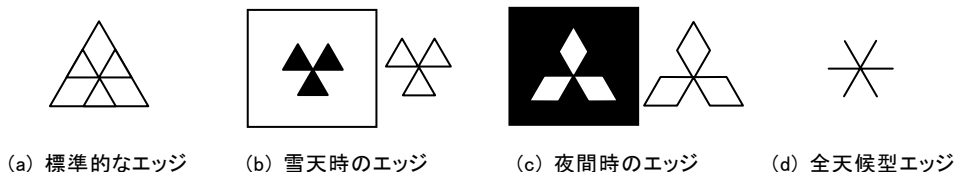


図 5 天候に対応した改良型テンプレート

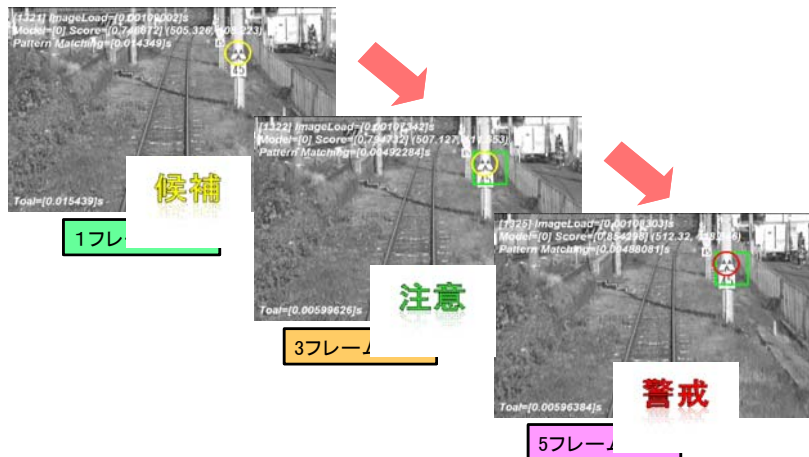


図 6 検出確度向上のための検知の連続性検定

但しその反面、登録テンプレートがシンプルになったため、幾分過剰検知になるといった問題が発生した。これに対する対策として、時間軸上の連続性を見ることで対応することとした。具体的には、図 6 に示すように、5 フレーム連続して検知した場合は確度が高いと判断するアルゴリズムを適用した。以上の結果、数 10ms のリアルタイムで信号機を精度よく認識できることを確認した。

### 3. 特殊信号発光機認識手法

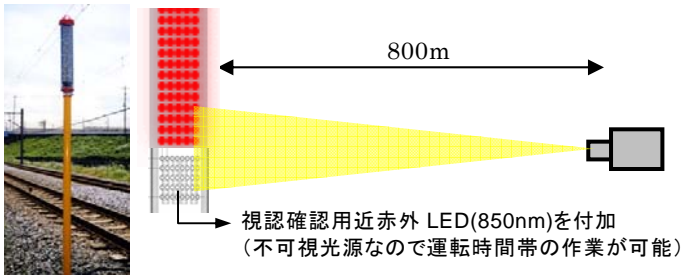
#### 3.1 特殊信号発光機の特徴

特殊信号発光機（以下、特発と呼ぶ。）は、踏切など沿線で発生した異常を運転士に伝えて列車に停止信号を現示するための装置で、安全のために重要な設備となっている。回転点灯する「回転形」のほか、棒状に点滅する「点滅形」も数多く設置されている。ただし特発の設置状態、及び動作状態は目視確認に依存している。そこで画像処理技術の利用により、特発が正しく設置され、必要な視認距離が確保できていることの確認を支援する手法を開発している。さらにこの技術を応用することで、特発に対するバックアップの仕組みとして、車上に搭載した画像処理装置により、信号機の動作状態を認識することで、運転士に対する注意喚起が可能になると考えている。

#### 3.2 地上装置による点滅型特発の視認確認

列車の運転時間帯に点滅型特発の視認確認を行うために、当該特発から発せられる不可視光源を画像認識することで、視認距離を定量的に確認する手法を検討した。仕様上の視認距離は800mなので、システムに要求される最大検出距離は800mとなる。

800mもの距離で普通に点灯した近赤外線LEDを撮影した場合、集積させたLEDの形状を多少変化させても、形状を識別できるほどの大きさには映らず、画像中はほとんど点として映る。さらに太陽光には、可視光以外に近赤外波長帯の光も大量に含まれているので、近赤外LED光源を単純に点灯させただけでは、太陽光に含まれるこれら周辺光がノイズとなり画像認識を困難にする。そこでLEDを点滅させ（図7）、受光側として図8に示すような850nmの帯域にも感度を持つCCDカメラで観察する。周辺ノイズと識別するため、あらかじめ用意した点滅パターンで発光させ、これを認識するアルゴリズムを開発した。具体的には、フレーム間差分と2値化により、“点”と“滅”を、それぞれ領域“1”として抽出し、論理積演算で当該点滅を認識した（図9）。実際のレール環境で800m隔てて検証実験を行った結果、当該特発から発せられた信号であると確認することができた。現行の特発の半値角 $\pm 15^\circ$ から、 $\pm 10^\circ$ に指向性を高めた光源を発光させ、左右に振りながらカメラの受光強度を調べた結果、 $\pm 10^\circ$ の範囲であれば、正しく画像認識できることも確認した（図10）。



ピーク発光波長	850 nm
反射強度	200 mW/Sr
指向半値角	6 deg.
映像素子	1/2 型 IT 方式 CCD
セルサイズ(μm)	8.4(H) × 9.8(V)
有効画素数	768(H) × 494(V)
映像出力画素数	752(H) × 485(V)
水平周波数	15.734Hz
垂直周波数	59.94Hz

図 7 点滅型特発に実装した視認距離確認用近赤外線 LED とカメラ

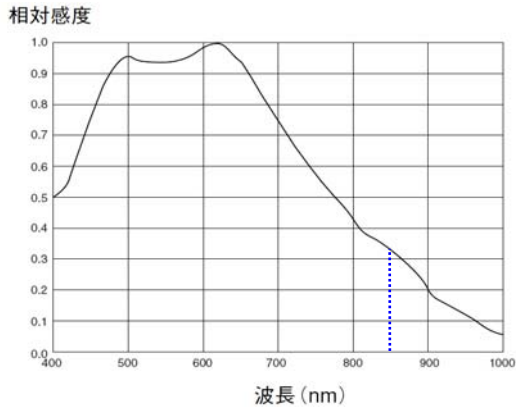


図 8 使用した近赤外線カメラの感度特性

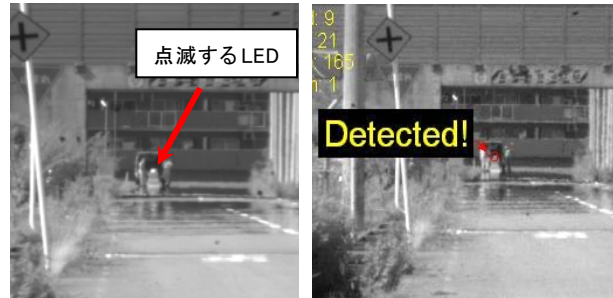


図 10 特発の点滅を画像認識した例

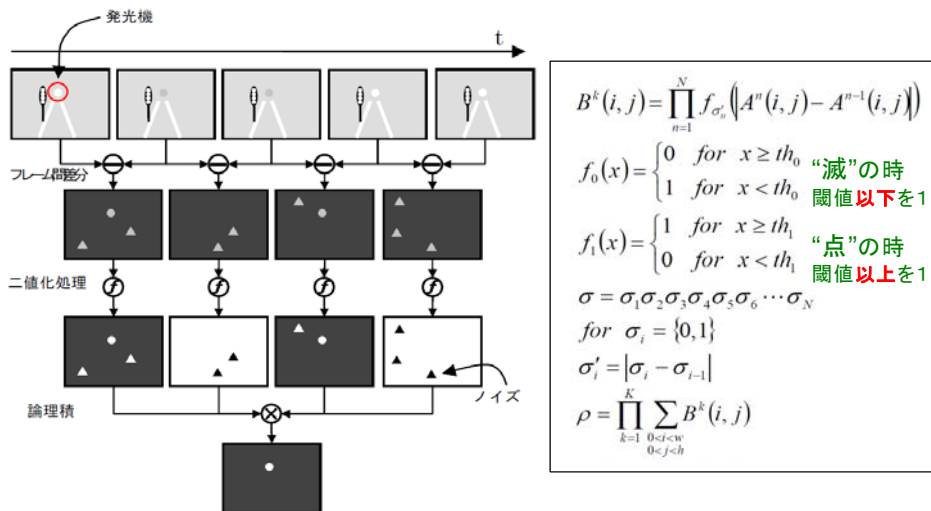


図 9 点滅検知アルゴリズム

### 3.3 車上装置による点滅型特発の視認確認

最終的には検測車による車上確認型のシステムを目標としており、課題として、車両動揺による映像ブレへの対応、映像中に映る複数の特発の識別などがある。これらの対策として、例えば、高フレームレートカメラの適用や、LEDの点滅パターンに応じて固体識別を行うなどの基礎的な研究開発を進める予定である。

## 4. おわりに

ITS の実用化が進み、車載画像処理技術は、技術開発の段階から実用化の段階に入ってきた感がある。鉄道においても、高度な視覚機能の実現が期待できる画像認識技術を応用し、安全性の向上、効率化、低コスト化を実現する実用システムの構築をめざしていきたいと考えている。