

画像処理技術で前方を監視する

鵜飼 正人

信号通信技術研究部(信号 主任研究員)



うかい まさと

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ります。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ます。

鉄道安全監視システムは大きく、車上監視型と地上監視型に分けられます。機能で分類すれば、車上監視型には①ホーム転落検知装置、②障害物検知装置、③信号認識装置などが、地上監視型には④踏切障害物検知装置、⑤ホーム転落検知装置などが挙げられます。ここでは、信号認識装置を中心に、車上監視型の鉄道安全監視システムについて紹介します。

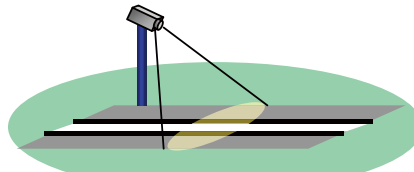
なぜ車両にカメラを載せるのか

道路交通の分野では「高度道路交通システム (ITS)」の実用化が進み、様々な新しいサービスが提供されています。特にITSの要素技術の一つである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ります。

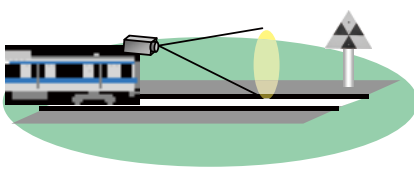
白線などの道路環境を認識して、車線逸脱や前方車両との衝突を防止するシステム、さらには前方の歩行者や道路標識を実時間で認識するシステムなどが報告されています。鉄道においても、高度な視覚機能の実現が期待できる画像認識(マシンビジョン)を応用する研究を進めています。

ところでもう一方のシステム形態である地上監視型は、センサを静的な状態で使用できるので、車上監視型に比べ一般的に信頼性の高い監視が期待でき、監視すべき箇所が特定される場合や、見通しの利かない曲線区間などでは、地上監視方式の方が望ましいといったことが言えますが、逆にカメラが監視している箇所ではしか異常を検知できない、地上車上間通信を必要とするなどの問題があります。一方車上監視型は、地上設備が不要なことから、コスト面や保守面で有利なうえ、監視結果を車両制御系に即座に反映できるという大きな特徴があります。

固定センサによる地上側からの情報によって、障害物との衝突回避や信号認識はより確実なものになりますが、そういう中でも周囲環境認識技術、特に画像認識は重要な技術であると考えています。



地上カメラによる安全監視イメージ



車載カメラによる安全監視イメージ

- カメラが固定であるため、フレーム間差分のような比較的簡単な画像処理手法で対象物と背景を識別できる
- × カメラが監視している箇所ではしか対象物を検知できない
- × すべての線路を監視するには、膨大なコストと時間、さらに設置した機器のメンテナンスが必要

- 線路インフラに依存しない(地上設備が不要)
- すべての線路で利用可能である
- 検知結果に応じたアクション(車両制御)が即座にとれる
- △ カメラ自身も移動するため、障害物と背景とを識別する高度な画像処理アルゴリズムが求められる
- × カーブの先などカメラで見えない箇所は監視できない

図1 監視形態(地上型と車上型)の違いによる特徴



図2 臨時信号機

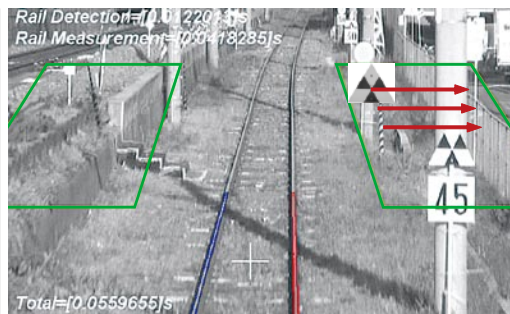


図3 抽出したレールを基準とした探索範囲の設定

画像センサに要求される性能

マシンビジョンは空間分解能が高いうえ、検出手法が基本的にソフトウェア処理であるため、状況に応じてチューニングしやすいといった特長があります。ところが実際に“前方を的確に確認する”処理、例えば、我々は当たり前のようにレールや、標識、障害物を識別していますが、この処理は計算機にとって簡単ではありません。しかし、認識装置として使用に耐えるためには、レールを障害物と認識してはいけなく、標識と障害物は別物である、といった判断を正しくできる必要があります。

列車前方の信号機や障害物を認識するセンサの性能として検討すべき項目の一つに、どのくらい遠方まで検出できるかという検出距離の問題があります。障害物検知を例にとると、一般的なブレーキ距離600mに空走距離を見込んだ距離が最大検出距離となります。

対象によってはオフライン処理でもよい場合がありますが、リアルタイムで認識処理を行うことも重要な要件となります。一般的な映像の1フレームは33msですので、少なくともそれ以下の時間で画像取り込みから認識までを実行する必要があります。

臨時信号機認識の特徴と認識処理

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ますが、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ます。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ります。

図2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」と呼びます。徐行信号機の



図4 徐行予告信号機の検知例

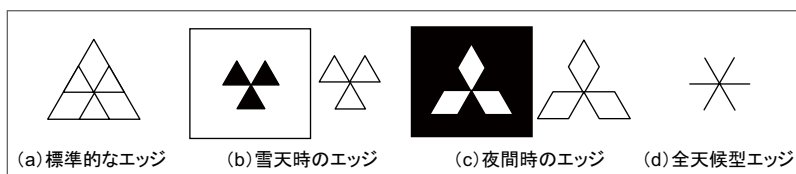


図5 全天候に対応した改良型テンプレート

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ます。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ますので、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ります。図3に示すように、抽出したレールを基準に、建築限界の知識を利用して探索範囲を絞り込み（緑色の矩形枠）、標識各辺のエッジに着目したテンプレートマッチング手法により、速度表示と併せて数10msのリアルタイムで認識します（図4）。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、テンプレートマッチングの性能が低下する問題があります。そこで図5のように登録する参照画像を工夫し、環境の変化に対しても頑強な検知方法を実現しました。

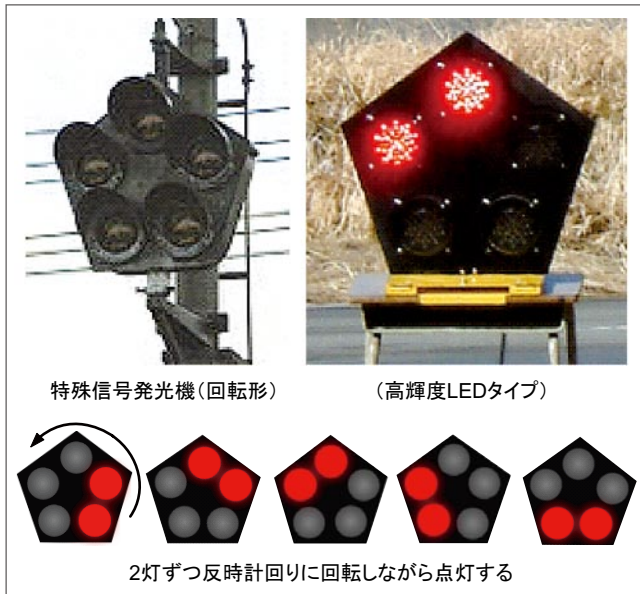


図6 回転型特殊信号発光機

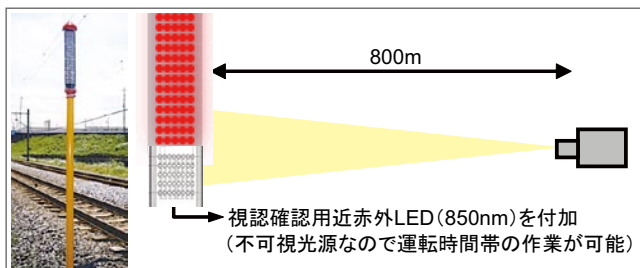


図7 点滅型特発に実装した視認距離確認用近赤外線LED

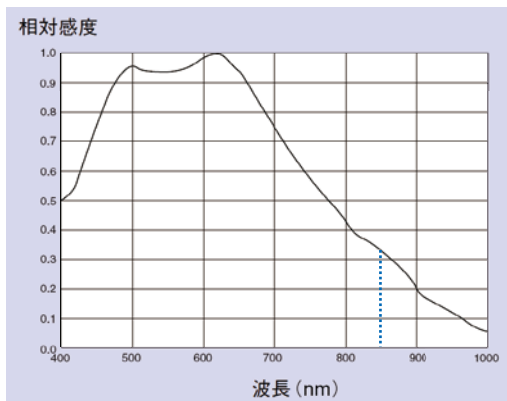


図8 使用する近赤外線カメラの感度特性

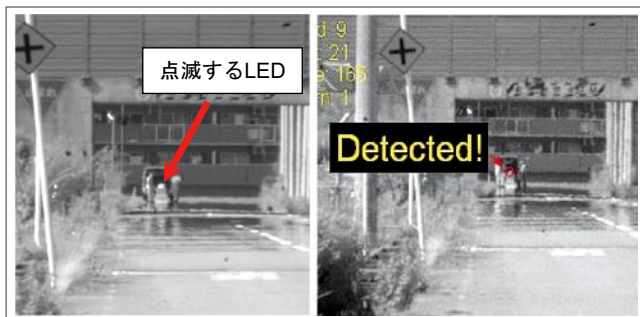


図9 特発の点滅を画像認識した例

特殊信号発光機の特徴

特殊信号発光機(特発)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ます。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ます。ただし特発の確認は、臨時信号機と同様、運転士の目視確認に依存しているので、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等が可能になると考えています。

回転型の特発は、五角形に配置された5灯の赤色灯を備え、列車運転に支障を与えるような事態が発生したときに2灯ずつ反時計方向に循環点灯させて、あたかも赤い焔を回転させたような現示を行う信号機です。(図6)

特発は800m先から運転士に緊急性を伝えるため、非常に明るい光を放つのが特徴で、最近は発光素子として、電球に代わって高輝度LEDが用いられることが多くなりました。仕様上の視認距離は800mですので、当該装置の動作状態を車上で確認することを目的とした認識システムの最大検出距離は800m以上となります。

特殊信号発光機の視認距離確認

常時点灯している色灯信号機と違って、特発は異常時のみ発光する方式であるため、必要な視認距離が確保できているかを、列車の運転時間帯に確認することが難しい点が課題となっています。そこで、運転時間帯でも列車運行に支障を与えず、かつ、定量的に確認するための仕組みを研究しています。(図7)

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ります。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します。そこでLEDを特殊なパターンで点滅させ、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カメラで観察します。周辺ノイズに対しては、特定のパターンの点滅を認識するアルゴリズムにより、特発から発せられた信号であると認識します。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回転させ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

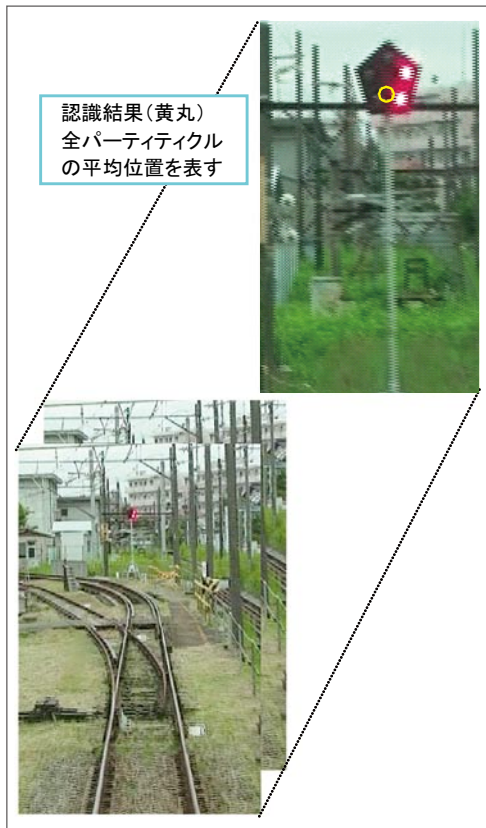


図10 認識タスクのモデル化
(赤灯が回転しながら近づく)

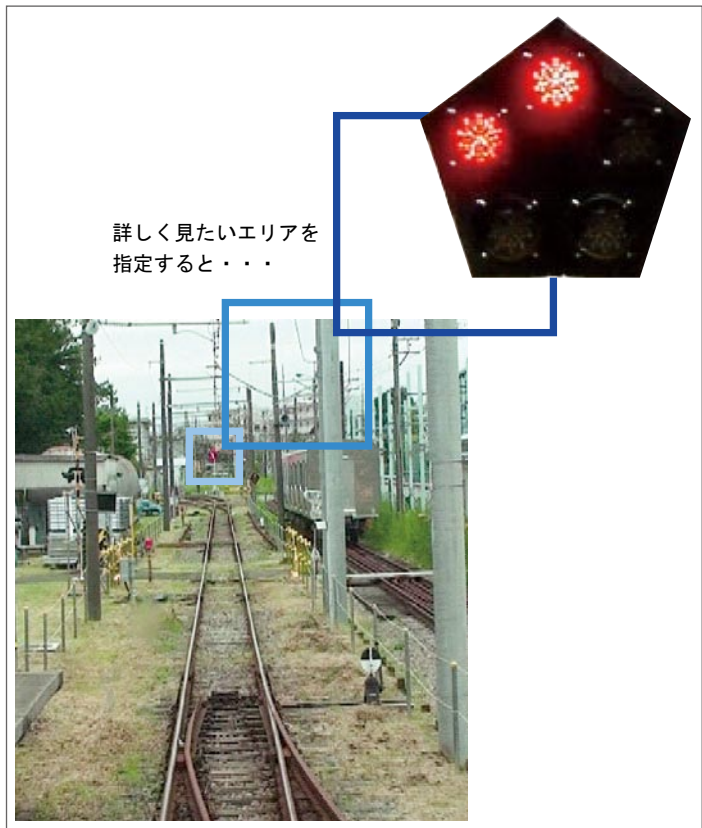


図11 検出距離を伸ばすための超解像度処理技術

認識できることを確認しました(図9)。

特発動作状況の認識アルゴリズム

ここでは回転型の特発を例に説明します。特発の動作状況を認識する問題は、画像中から周期60回±5回/分で回転する赤点のペアを追跡するタスクとして一般化できます(図10)。ただし、光る点の追跡といった一見簡単なタスクでさえ、天候条件・障害物・良く似た光源・回転する動きの複雑さなど、計算機にとっては難問が立ちはだかります。

人間が比較的容易に点灯するLEDを追いかけることができるのは、予測をうまく用いているからだと考えられています。我々は、最近様々な分野で注目されているパーティクルフィルタという手法を適用しました。これによれば、統計的にもっともらしい方法により、実時間で「うまい予測」を行うことができます。

パーティクルフィルタは、追跡対象をそれぞれが状態と重みを持つ多数の粒子(パーティクル)によって離散的な確率密度として表現し、状態空間全体の確率分布を近似する手法です。

- 1) 初期化：運動モデルから時刻 t での状態を予測
- 2) パーティクル生成：予測位置を中心に複数個生成

- 3) 尤度算出：各位置での尤度を求めた後、尤度の正規化
- 4) 状態の推定：時刻 t での赤灯位置と分散を計算
- 5) 終了条件：尤度が閾値以上ならばパーティクルの生成を終了。閾値以下ならば2)に戻る

我々は画面内の赤色らしさを評価することで、点灯するLEDを追跡することにしました。RGB表色系ではなくHSV表色系で行なう方が、明るさの変化に対して安定した結果が得られましたので、HSV空間の赤色成分を検出しました。処理速度に関しては、パーティクルの数により計算量が決まるので、パーティクル数を減らすことができれば計算が高速になります。但し、それは点灯LEDの表現の豊かさや推定分散とのトレードオフになります。

認識性能向上のための今後の課題

一般に遠方では解像度が低下するため、特発の判別が難しくなりますが、複数の低解像度画像から、高解像度画像を生成する超解像度処理技術(図11)の適用を検討します。この手法は、画像処理的に光学ズームと同等の効果が得られるので、判別しにくいモノが判別しやすくなります。さらに屋外のさまざまな照明条件においても対象物のエッジを確実に抽出できるよう、カメラのダイナミックレンジ拡大技術についても検討してゆく予定です。RRR