

電子の目で安全運転を支援する

鵜飼 正人
信号通信技術研究部
(信号 主任研究員)

長峯 望
同
(同 研究員)



うかい まさと



ながみね のぞみ

はじめに

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。白線等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。

一般にセンシング手法には、ミリ波レーダやレーザーレーダなどを用いるアクティブ方式と、画像認識 (マシンビジョン) に代表されるパッシブ方式があります。アクティブ方式は一般に指向性が強く空間分解能が低いため、対象物体がある程度大きくないと正確に検知できません。それに対しマシンビジョンは、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などの特長があります。

監視形態としては図1に示すように、センサであるカメラを地上に設置する方法もあります。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、地上監視が望ましいケースもありますが、逆にカメラが監視して

いる箇所では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、車上型検知は、地上設備が不要なことから、コスト面や保守面で有利であるうえ、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。ここでは、鉄道における車載型マシンビジョンの応用例について紹介します。

徐行予告信号機の認識

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、徐行予告信号機や徐行信号機などの臨時信号機の確認は、点呼時における示達と、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。運転士の安全運転へのバックアップの仕組みとして、車載型画像処理装置による徐行予告信号機の認識手法の研究開発を進めています。

図2に示す徐行信号機は、工事等で一時的に列車の速度を制限する必要がある箇所に臨時に設置されるものです。特に (a) の徐行予告信号機は、当該区間の予告として、「徐

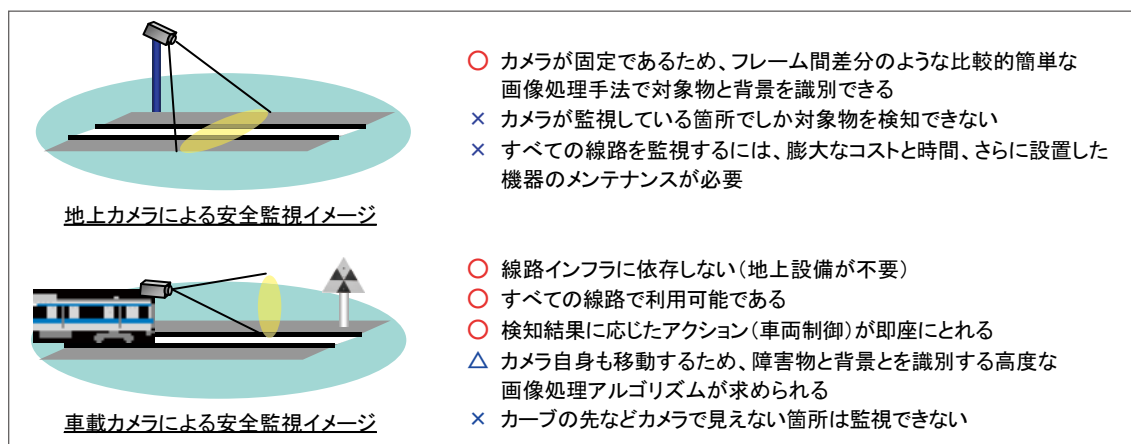


図1 監視形態(地上型と車上型)の違いによる特徴



図2 臨時信号機



図3 試験用に仮設した徐行予告信号機

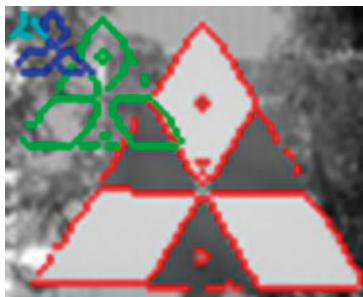


図4 形状ベースマッチング用テンプレート登録(4レベル)

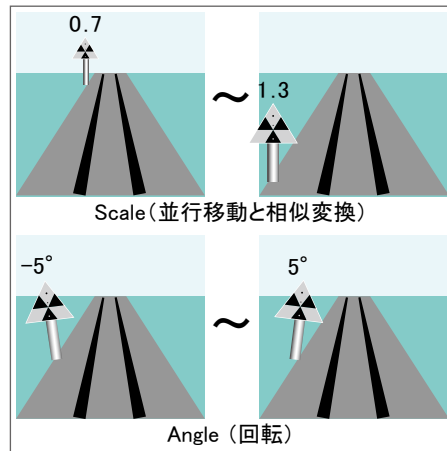


図5 車載映像特有のマッチングパラメータ

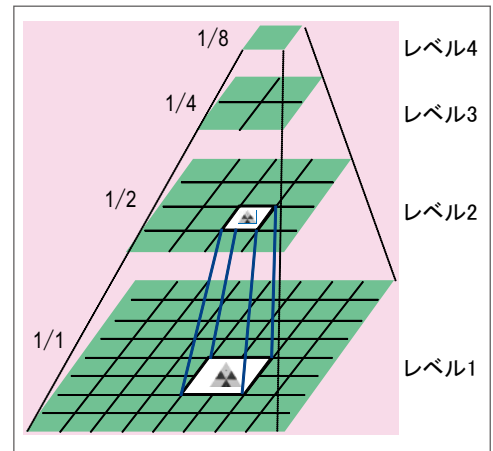


図6 4階層のピラミッドレベルとモデル

行信号機の外方500m以上を隔てた地点」に設置するとされています。標識を認識するまでに進む空走距離とブレーキ距離を見込んだうえで、徐行区間までに確実に減速することが必要なので、徐行予告信号機を認識対象としました(図3)。

認識システムに対する要求と処理の概要

システムが信号機を認識するまでの処理時間は、空走時間に大きく影響します。特に車両が高速で走行している場合には、進行方向の処理間隔が延びるので、処理時間が長くなると、信号機を最適な位置で捕捉できなくなる恐れがあります。列車の速度を仮に100km/hとした場合、毎秒約27.8m進みますので、進行方向の処理ピッチを最大3mとした場合、108ms以下の処理速度が必要となります。本研究では処理速度100ms以内を目標として、画像処理アルゴリズムの検討を行いました。

列車の進行と共にターゲットである信号機の見かけ上の大きさが変化するうえ、車両動揺に伴う映像ブレの発生も予想されるので、対象の存在位置や角度、スケール変化に頑強な形状ベースのテンプレートマッチング手法を適用しました。形状ベースというのは、物体の輝度値を見るので

はなく、物体の輪郭とその法線方向の輝度値の勾配データに基づいて探索する方法です。物体形状は輝度変化に依存しないため、照明の変化に対しても頑強です。

最初にマッチング用のモデルとして、三角形をした徐行予告信号機を登録します(図4)。画像処理パラメータとして、回転については垂直に対し±5度、スケール変化については、登録した元画像サイズに対して0.7~1.3を観測範囲としました(図5)。テンプレートとの合致度をスコアという尺度で表現し、0~1.0に正規化したスコア値を大きい値処理することで信号機として認識します。

認識性能向上のためのアルゴリズムの改良

処理の高速化に関しては、粗探索による処理の高速化アルゴリズムを実装しました。探索画像サイズに対して、4階層のピラミッドレベル、つまり1/1、1/2、1/4及び1/8のサイズの画像とモデルを内部的に生成します(図6)。モデルを探索する際には、最初に最も高い(粗な)レベル4の画像とモデルで探索を行い、おおよその位置を決定します。画像サイズが小さいため、探索は非常に短時間で済み

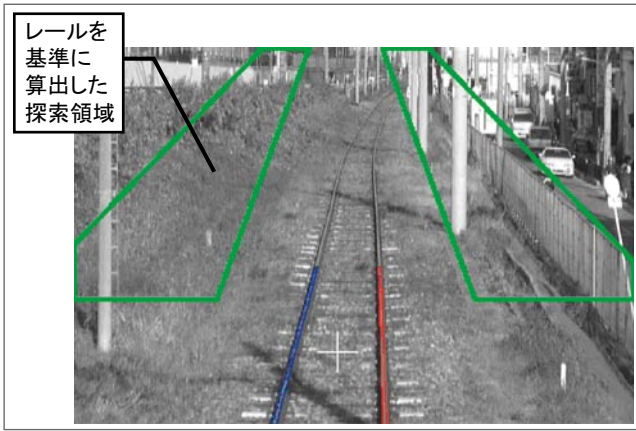


図7 探索範囲の絞り込みとスケールの動的推定のためのレール検出

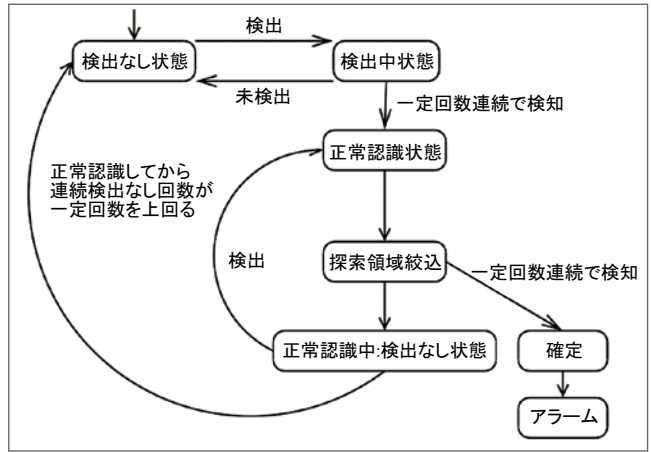


図8 状態遷移を適用した認識判定

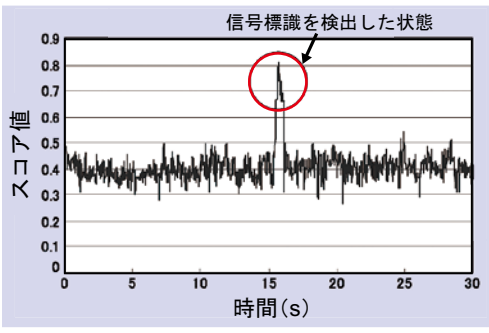


図9 マッチングスコアの時間推移



図10 徐行予告信号機の検知例

ます。続いて、位置姿勢の精度を上げるため、順に低い(密な)レベルでマッチングを行います。また本システムでは、精密な位置の精度よりも、信号機の有無を高い確度で認識することが求められています。従って、例えばピラミッドレベル2でマッチングチェックを終了するように設定すれば、さらに処理を高速化することが可能となります。

また、自車の走行するレールを検出したうえで、レール幅が1,067mmであるという知識を利用し、前方距離に応じて観察されるテンプレートの大きさを動的に推定することで、スケールに関して探索時間の短縮を図りました(図7)。

夜間のような黒背景時は信号機の黒い部分のエッジが、逆に雪で白背景の時などは信号機の白い部分のエッジがうまく抽出できないため、結果的にスコア値が低下してしまいます。このような環境の変化に対しても頑強に認識できるよう、内部エッジだけのテンプレートを適用しましたが、パターンがシンプルになった影響で幾分過剰検知となったので、最初に検出した位置の近傍に連続して認識された場合は信号機の可能性が高いという知識を利用して、認識精度の向上を図りました(図8)。

テスト映像による認識実験の結果、比較的條件の良い映像であれば、良好に徐行予告標識を認識できることを確認しました(図9, 10)。現在、画像処理パラメータを、昼

夜の別など、映像に応じて自動的に設定できるようにしたり、速度表示板の文字読みとりなど、認識性能向上のための改良をさらに進めています。

画像処理による特殊信号発光機の認識

踏切事故防止のために非常時に列車を停止させる手段として特殊信号発光機(以下、特発と呼ぶ。)が一般的に使用されており、安全のために重要な設備となっています。しかし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

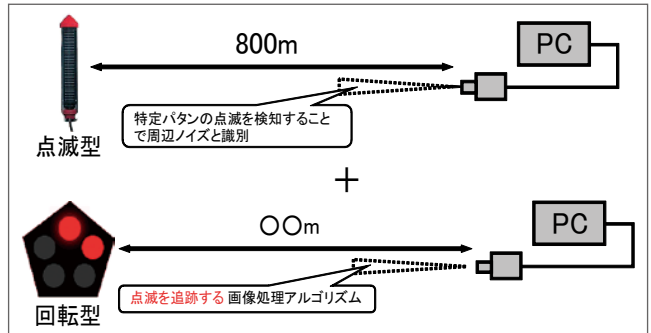


図11 点滅型及び回転型特殊信号発光機の画像認識イメージ

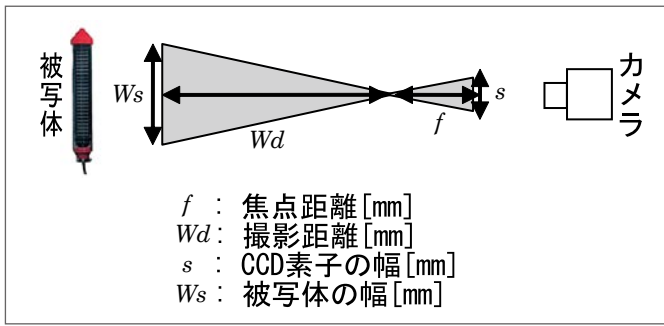


図12 焦点距離と被写体の関係

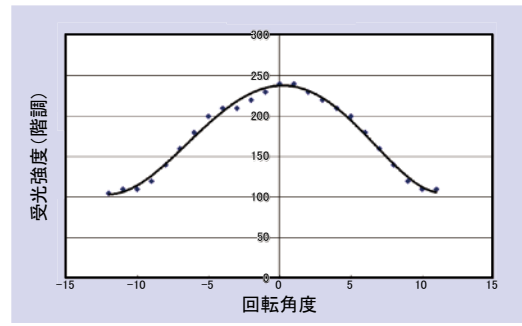


図14 特発の回転角度とカメラの受光強度の関係

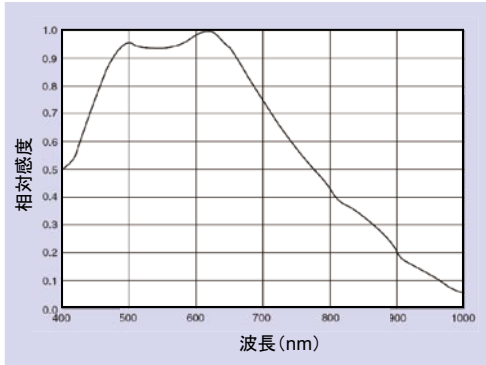


図13 近赤外線カメラの感度特性

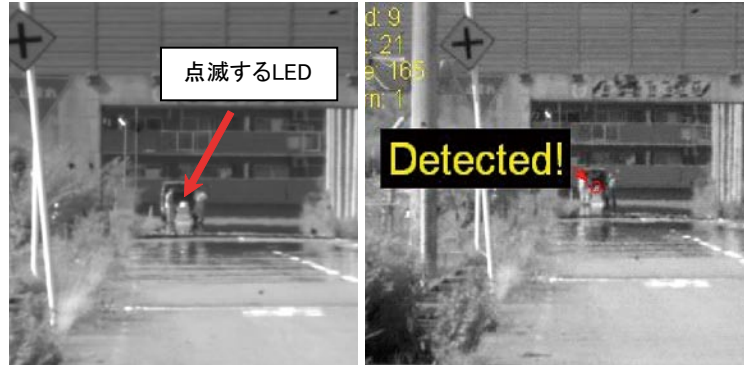


図15 800m先で点滅するLEDの画像認識結果

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11)。

800m先の被写体を画像認識するために必要なカメラ・レンズを選定するため、以下の検討を行いました。CCD素子のサイズが縦4.8mm×横6.4mmの1/2インチCCDカメラで、特発の幅15cmを5画素で撮影する場合の被写体の幅を計算すると、VGA画像幅が640画素なので19,200mmとなります。図12に示す焦点距離と画像中の被写体の大きさの関係より、1/2CCDカメラを用いたときの必要なレンズの焦点距離は約266mm ($800 \times 1,000 \times 6.4 \div 19,200$) となります。実験では、250mmのレンズ及びエクステンダ(焦点距離を引き伸ばすためのレンズ)付きの160mmCマウントレンズを使用しました。

特発の建植向きを併せて確認するため、現行の特発の半値角(光度が半分になる範囲) $\pm 15^\circ$ より指向性を高めた波長850nmの近赤外線LEDを光源とする装置を試作しました。センサ側は、図13に示すように850nmの帯域にも感度を持つ1/2インチCCDカメラを選定しました。

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(0.7~2.5 μ m)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を特殊なパタンで点滅させ、これを画像認識することで周辺ノイズと識別し、特発から発せられた信号であると認識します。基本的な認識アルゴリズムですが、ある特殊パタンでオンオフ(01101010など)する映像を数フレーム記録し、発光パタンがオフからオン、オンからオフに切り替わるフレーム間の輝度勾配を画像処理することで点滅を検知しています。図14に、光源を回転させた時のカメラの受光強度の減衰度合いを示しますが、 $\pm 10^\circ$ 程度の範囲であれば、正しく画像認識できることを確認しました(図15)。

点滅回路を用いて特定周期で点滅する発光装置と、当該LEDの点滅を検知する画像処理アルゴリズムのプロトタイプを作成し、所内での確認試験、並びに800mの視認試験を通じて、実用装置製作に必要な設計データを獲得しました。

おわりに

固定カメラを使う、車載カメラを使う、いずれのケースもPCの進歩に伴い、画像認識が安価に実現できるようになってきました。安全運転支援が目指すものは、認知・判断・操作といった運転機能の一部を何らかの形で支援することですが、“電子の目”には、今後も大きな期待が寄せられることになるでしょう。RRR