

# 車載型前方監視システムのための画像認識アルゴリズム

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

車上からリアルタイムで線路内障害物を検知する車上監視型前方監視システムの開発を進めている。本発表では、天候や線形の変化に対しても高い抽出性能を示す、エッジなどの形状特徴に着目したレール検出アルゴリズム、さらに線路内障害物の形状やテクスチャー、動き、背景との違いなどをそれぞれ評価する複数のサブモジュールにより、総合的に障害物を判定する画像認識アルゴリズムについて、検証用映像を用いたシミュレーション実験の結果と併せて報告する。

## 2. 鉄道用前方監視のための光学画像認識技術

### 2.1 要求性能の整理

鉄道用前方監視システムにおける「光学画像認識技術」に求められる要求性能を、検知距離や検知精度など、項目ごとに整理した(表1)。これらの情報をもとに、カメラや画像処理装置など各個別機器の仕様を検討すると共に、画像処理プログラムの各パラメータをチューニングした。

### 2.2 システム設計

画像入力装置に対する要求性能は、鉄道用車載システムの場合特有であり、画像認識性能を大きく左右する重要な装置と位置づけられる。遠方でもある程度高い解像度を得るためには望遠系のレンズを使用する必要がある(例えば400m先で視野幅10mを確保するためには、焦点距離100mmの望遠レンズを使用する必要がある(図1))、カーブや勾配では注視点が画面内から外れてしまうという問題が発生する。遠方の注視点を画面内に維持するためには、注視点の自動追尾機能を有するパンチルト雲台を開発する必要がある。さらに望遠映像による、及び車両振動に伴う映像ブレを極力抑える防振対策も必要となる。現在、防振性能を発揮するジャイロスタビライザーを装備した、PC制御型パンチルト雲台の開発を進めている。

表1 光学画像認識技術に求められる要求性能

項目	要求値、内容
最大検知距離	300m以上
距離精度	1m程度
検知範囲	建築限界線±2m
角度精度	物体幅±0.5m
応答性	100ms以下
認識対象	人、車、バイク、50cm四方以上の物体
検知出力	アラームや音声等
装置の仕様等	運転台脇に搭載可能な大きさ

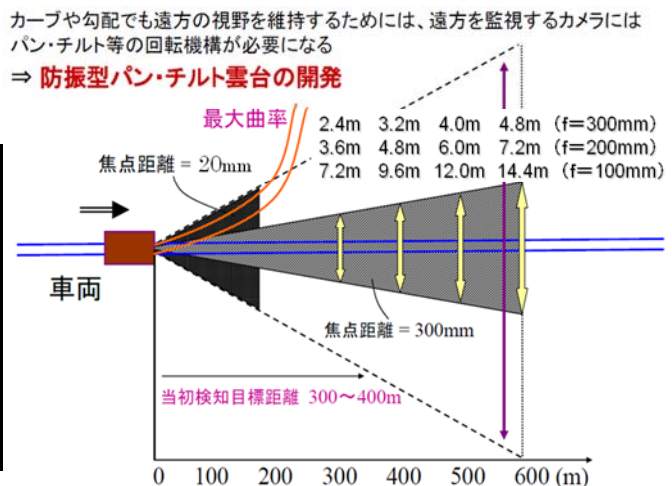


図1 画像入力装置に対する要求性能

### 3. レール検出アルゴリズムの開発

対象となる障害物は、2本のレール付近に存在するので、レール検出は重要な要素技術である。レール検出アルゴリズムのフローを図2に示す。一般的に遠方の方ほど画像が小さく不鮮明なので、十分なレール抽出が難しくなる。ところが手前の部分は画像も比較的鮮明なため、レールは抽出しやすく、なおかつ典型的な形状（登録パターン）で近似しても十分実用的な検出結果が得られる。まず前処理として画像の平滑化を行い、引き続きエッジ抽出処理を行う。画像下部の領域内で、エッジ特徴までの距離を類似度の尺度として、パターンを探索する。線路映像においては、左右のレール間隔は一定であり、直線だったレールが急に曲がるなどの急激な線形の変化は起こらないという特徴がある。そこで、隣接するフレームでは類似したパターンとなる可能性が高いことや、線路位置が極端に動くことはないので、次領域では前領域終点の周辺を探索すればよいといった知識を利用している。画像中ほどの領域は、下部領域で先に探索した登録パターンの左右レールの終点（中点）を開始点として、直線や曲線といった線形のトレンドと輝度勾配（gradient）、並びに線路幅を基にレール検出を継続する（図3）。最遠方の領域についても、前領域の終点位置を開始点として、輝度勾配と線路幅を基に探索を行う。マッチング処理においては、異なる解像度の画像を複数用意するピラミッド階層構造を利用した探索を行っている。最初に粗い解像度で探索し、その結果を順次次の階層の画像間での初期値とする。この処理を原画像のサイズまで繰り返し処理する。本手法により探索の信頼性と処理速度の向上を図っている。開発したレール検出アルゴリズムを実際の線路映像に適用した結果を図4に示す。夜間、雨天、雪天、逆光時に関しても、極端に視界が取れない状況を除いてほぼ良好な検出性能を確認している。



図2 レール検出アルゴリズムの処理フロー

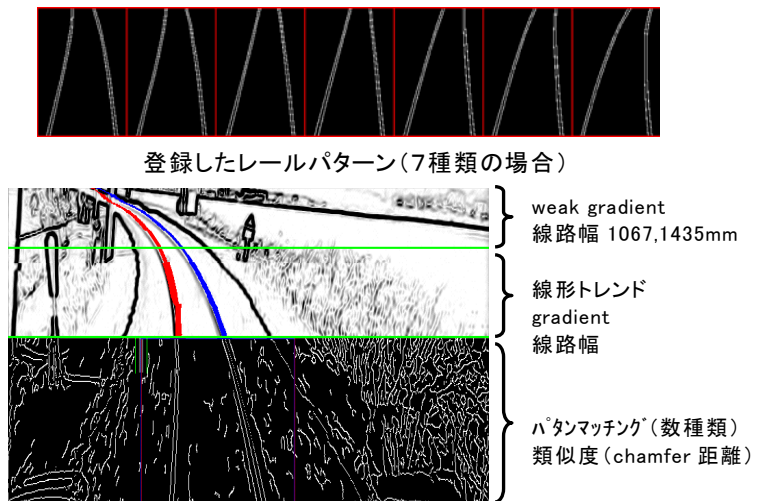


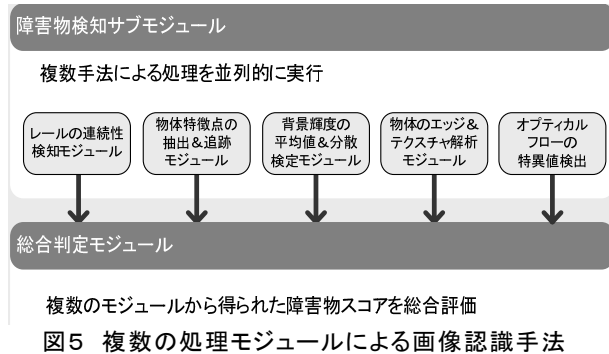
図3 遠/近傍領域毎に設定したレール探索方法



図4 実映像による全天候下でのレール検出結果

#### 4. 障害物検知用画像認識アルゴリズムの開発

特定のアルゴリズムだけで障害物を完全に検知することは困難である。そこでそれぞれ特徴的な処理を行う5つのサブモジュールを用意し、各モジュールを並列的に動作させる。各モジュールの出力結果をもとに、総合判定モジュールで最終的に障害物を判定する手法を提案した。



##### 4.1 レールの連続性検定モジュール

本モジュールでは2本のレールが遠方まで途切れずに抽出されているかどうかを検定する。前述したレール検出プログラムにより抽出された左右レールに局所領域を設定し、前後の領域で平均と標準偏差を指標とする画像差を評価することで障害物の可能性を判定する。また、時間的に連続してレールが不連続となった場合は、より高い評価値を出力するようにした。

##### 4.2 物体特徴点の抽出&追跡モジュール

2本のレール近傍で、スケール変化や回転に不変な、点の画素値や微分値から算出した特徴量を抽出し、隣接フレームにかけて当該特徴点を追跡する。特徴点が時間的に連続して検出される場合には高い評価値を出力する。最終的な抽出結果を図6に示す。障害物の画面上の見えの大きさに応じて、適切なガウシアンフィルタのスケールを調整すると、検出精度の向上が期待できる。

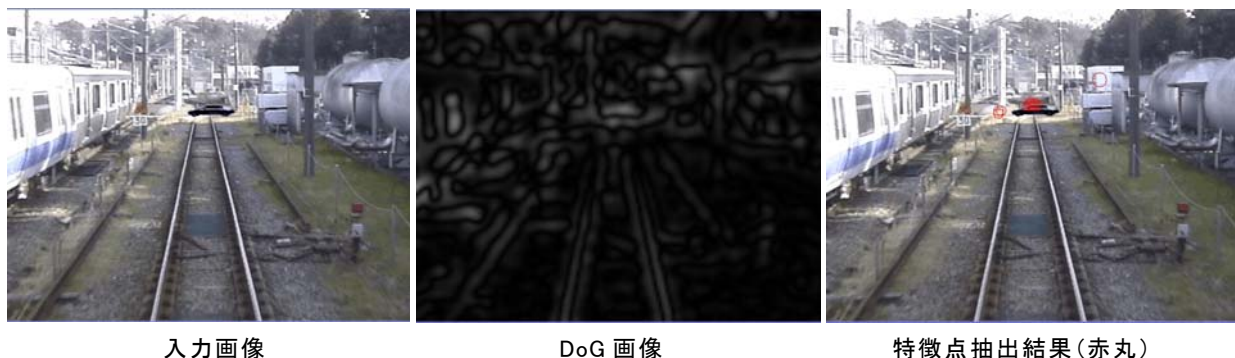


図6 SIFT 演算による特徴点抽出結果

##### 4.3 背景（軌道面）輝度の平均値&分散検定モジュール

軌道面の輝度に関する平均値と分散を計測し、通常の軌道面の輝度データを動的に更新しながら保持する。輝度が大きく異なる画素は障害物の可能性ありと判定する。ただし本モジュールは、日なたと日陰の境界部分で誤検出が発生しやすい。この対策として、その場合の輝度変化が水平方向の狭い幅の領域に対してほぼ全体的な変化として現れることから、微小幅の層の背景閾値条件（前景と判定する画素数や画素位置のモーメントの偏り）を見直し、前景判定を厳密化した。このように層全体の変化の有無を判定することで誤検出の発生を抑えた。

##### 4.4 物体のエッジ&テクスチャ解析モジュール

対象画像を適切なサイズのグリッドに分割し、グリッド内の複数画素に対してテクスチャ解析を行い、特徴量を抽出する。具体的には画素の明度ヒストグラムをとり、そのコントラスト、明

度の二次モーメント、ばらつき度合い等を特徴量として解析した。輝度の平均値&分散検定モジュールと同様に背景データを作成し、特徴量の差によって障害物と背景のエッジを検出し、障害物を判定した。誤検出を減らすため、本モジュールでも時系列で連続して障害物を検知したかどうかを判定するようにして、検出精度の向上を図った。検出結果の例を図7に示す。



図7 エッジ&テクスチャ解析モジュールによる画像認識結果 障害物の検出

#### 4.5 オプティカルフロー特異値検出モジュール

線路消失点近傍を中心にオプティカルフローを計測し、列車の移動に伴う放射状のフロー成分を動的に更新しながら保持する。このデータと比較して、フローの方向と値が大きく異なる画素を障害物と判定する。検出結果を図8に示す。本モジュールは移動障害物の検出に有効である。



通常のオプティカルフロー(青線)

自転車通過時のオプティカルフロー(赤線)

障害物候補

図8 オプティカルフローによる障害物検出結果

#### 4.6 総合判定モジュール

総合判定モジュールでは、グリッド毎に各モジュールの判定結果に対して重み付き和を計算し、閾値を超えた場合に最終的に障害物と判定する。検知と判断した際の各モジュールのスコアを色分けして可視化し、様々な状況において各モジュールがどのように寄与したかを調べた。その結果、2つ以上のモジュールが発火したグリッドは障害物の可能性が高いことや、表2に示すような重み設定は、比較的良好な検出結果が得られることがわかった。

表2 最適な重みの検討

モジュール名	重み w
●レール連続性による障害物検知モジュール	0.6
●特異点抽出&追跡モジュール	0.4
●背景輝度の平均値&分散検定モジュール	0.4
●物体のエッジ解析モジュール	0.6
●物体のテクスチャ解析モジュール	0.6
●オプティカルフロー特異値検出モジュール	1.0

#### 5. おわりに

全天候型のレール検出、及び複数の認識モジュールを相補的に組み合わせることで障害物認識性能の向上を図る画像処理手法について検討した。今後は実障害物を用いた実験により検出性能を評価すると共に、リアルタイム処理のための処理の並列化についても検討していく予定である。