

## 遠赤外線カメラを用いた踏切内異常検知アルゴリズムの開発

○ [電] 長峯 望      [電] 向嶋 宏記

市川 武 (公益財団法人鉄道総合技術研究所)

## Development of Anomaly Detection Algorithm for Level Crossing using Infrared Camera

○Nozomi Nagamine,      Hiroki Mukojima,

Takeshi Ichikawa, (Railway Technical Research Institute)

Non-motorized vehicles accounted for more than about sixty percent of all level crossing accidents in 2018. Therefore, it is desirable to improve the safety of level crossings further. In a real environment, obstructions may stagnate in the crossing roadway, and the crossing's temperature may change with weather conditions. Therefore, we have developed an anomaly detection algorithm for level crossing using an infrared camera that is robust to stagnant conditions and temperature changes. In this paper, we report on our algorithm and the experimental results of the real environment.

**キーワード** : 踏切, 遠赤外線カメラ, 画像処理, 異常検知

**Key Words** : Level crossing, Infrared camera, Image processing, Anomaly detection

## 1. はじめに

平成 30 年度に発生した踏切事故について内訳をみると、衝突物別では自動車以外の対象物が全体の 6 割以上を占めていることが分かる<sup>1)</sup> (図 1)。これらの事情を踏まえて、我々は、踏切道のさらなる安全性向上として、遠赤外線カメラを用いた踏切内異常検知装置の開発を行っている。本システムは、遠赤外線カメラの温度画像から画像処理により踏切道の支障物の有無を判定するものである。実環境においては、支障物が踏切道に停滞する場合や、踏切道の温度が環境によって変化する場合がある。それらの環境変化に対応するために、停滞状態や温度変化に頑健な画像処理アルゴリズムを開発したので報告する。

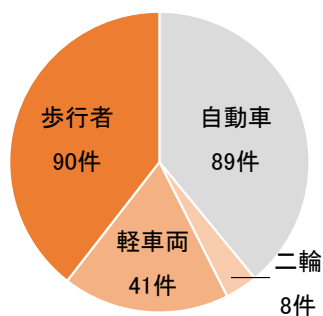


図 1 平成 30 年度踏切事故 (衝突物別)

## 2. 装置構成

本装置は遠赤外線カメラと処理装置から構成される。概要を図 2 に示す。本装置では可視光カメラではなく、遠赤外線線に感度のあるカメラから取得された映像を用いることで、外部照明を省略すると共に影による影響を受けにくくする。また、カメラ画像を用いることで、処理領域内であれば対象の高さ情報に関わらず検知処理を行うため、事故に繋がりがやすい転倒した状態の人物であっても検出することが可能である。処理部を器具箱内に設置し、外部への敷設機器はカメラ、支持柱 (電化柱等に取り付ける事で省略可) およびケーブルのみとなるため、線間工事等の大規模工事を必要としない事も利点である。

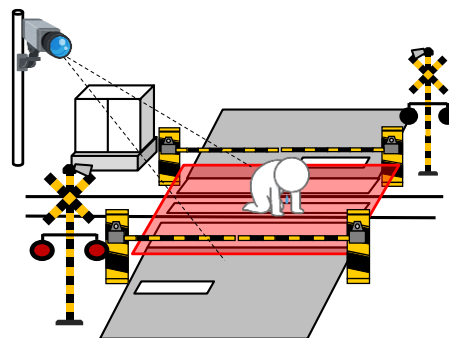


図 2 装置構成図

## 2.1 遠赤外線カメラ

遠赤外線カメラは温度を画像として撮影する仕組みであるため、カメラ筐体の温度変化に応じて校正が必要であり、一定時間の間隔でキャリブレーションをするモデルとシャッターレスで校正が行えるモデルがある。ここでは撮影時に映像の固着が起らないシャッターレスタイプを用いることとした。また、低コントラスト等の状況への頑健性を高めるため 14bit の絶対温度を出力できるモデルを用いることとした。14bit 出力によって 0.01℃単位での出力が可能となる。選定した遠赤外線カメラの外観を図 3 に、遠赤外線カメラの仕様を表 1 に示す。遠赤外線カメラは可視光カメラと違い、温度を輝度値に変換して出力するため、顔や服装等から個人の特定が困難であり、プライバシー等の個人情報保護の観点からも有用である。

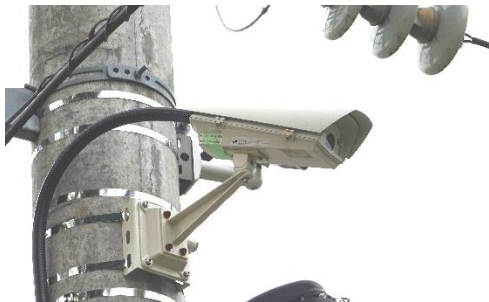


図 3 遠赤外線カメラ

表 1 遠赤外線カメラの仕様

|           |                 |
|-----------|-----------------|
| 解像度       | 640 × 480 pixel |
| フレームレート   | 30 fps          |
| 通信 I/F    | GigE Vision     |
| 映像フォーマット  | 14 bit (絶対温度)   |
| キャリブレーション | シャッターレス         |

## 2.2 処理装置

処理装置は線路沿線の器具箱に設置されるため、処理装置に用いる CPU には、温度や振動等、耐候性が求められる。そこでファンレスでの実装が可能である Intel 製 Atom プロセッサ E3845 を選定した。E3845 はベース動作周波数が 1.91GHz、コア数 4、スレッド数 4 であり、ある程度複雑な画像処理の計算をリアルタイムに行うことが可能である。この CPU に合わせた並列画像処理プログラミングを行い、リアルタイム処理を実現する。

## 3. 踏切内異常検知アルゴリズム

踏切内異常検知アルゴリズムとしては、遠赤外線カメラのデータを画像処理しやすい 8bit の階調へ変換する処理と、変換された 8bit 画像を画像処理する 2 つの処理によって構成される。

### 3.1 カメラ画像の変換処理アルゴリズム

遠赤外線カメラは温度データを 14bit で処理装置へ出力する。多くの画像処理は 1 画素あたり 8bit で計算されるように設計されているため、14bit から 8bit への変換を行う必要がある。14bit の温度データ(img14)に対して統計処理として平均  $\mu$  と分散  $\sigma$  を求め、以下の式により 8bit の画像

(img8) への変換を行う。

$$cropmin = \mu - 3\sigma \dots\dots\dots(1)$$

$$cropmax = \mu + 3\sigma \dots\dots\dots(2)$$

$$img8 = \frac{img14 - cropmin}{cropmax - cropmin} \times 255 \dots\dots\dots(3)$$

また、フレーム毎に求めた平均  $\mu$  と分散  $\sigma$  を用いて 8bit 画像に変換を行うと、雲による影や、急な天候の変化等によって、平均と分散が急激に変化することで画像の明るさやダイナミックレンジが急激に変化する場合がある。そのような問題を回避するために、指数平滑法を適用した。以下の式により、平均と分散が時間軸方向に滑らかに変化するようにした。

$$\bar{\mu}_t = \alpha\mu + (1 - \alpha) \bar{\mu}_{t-1} \dots\dots\dots(4)$$

$$\bar{\sigma}_t = \alpha\sigma + (1 - \alpha) \bar{\sigma}_{t-1} \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 $\alpha$  は [0, 1] の定数である。これによって安定した遠赤外線画像を得ることができる。

### 3.2 画像処理アルゴリズム

画像処理アルゴリズムは、「初期化」、「フレーム毎の処理」、「後処理」の 3 つの処理から成る。画像処理アルゴリズム全体のフローを図 4 に示す。

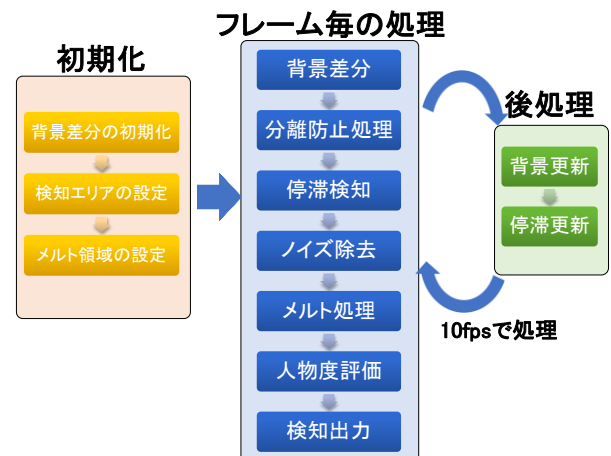


図 4 画像処理アルゴリズムのフロー

#### (1) 初期化

初期化においては、まず、背景差分の初期化として、メモリの確保、現在画像で背景の生成を行う。次に、検知エリアの設定として、近傍、遠方の領域を保持したマスク画像を生成する。最後に、メルト領域の設定として、マスク領域の水平 90% の領域を生成する。

#### (2) フレーム毎の処理

フレーム毎の処理は 100msec 以下の処理速度で行い、10fps のレートで画像処理を行うように設計する。フレーム毎の処理は以下の 6 つの処理ステップから成る。

- ① 背景差分：踏切道に物体が存在しない状態の画像を背景画像として保持し、現在のフレーム画像との差分をとることで物体を検知する。背景画像の更新を行わず気温の変化等に伴い、踏切道全体の温度が初期状態と変わってしまうため、適応的に背景を更新するタイ

プの背景差分手法を適用した。

- ② 分離防止処理：検出した物体（前景画像）は背景とのコントラストによっては胴体部等の身体の一部が欠損する場合がある。そこで検出した前景画像に対して、縦方向にクロージング処理を施すことで、分離した物体を接合（あるいは融合）する。ここでクロージングに適用するカーネルは $N \times 1$ の縦長のカーネルを用いる。クロージングによる接合処理のイメージを図5に示す。

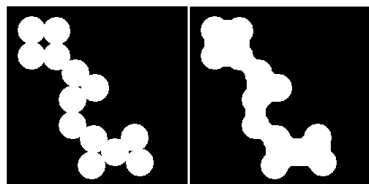


図5 クロージングの例

- ③ 停滞検知：人物等が踏切に長い時間停滞すると背景更新処理によって、停滞している人物等が徐々に背景画像として取り込まれてくため、結果として人物を検知できなくなる場合がある。そこで、停滞しているか否かを検知することで、背景更新の抑制を行う。停滞を検知するためには、停滞検知用前景画像群を用意し、その論理積を求める。二値画像の論理積の例を図6に示す。二値画像A、B、Cがあったときに、論理積である $A \cap B \cap C$ はそれぞれの二値画像においていずれの画像にも値があった領域のみが残る。この論理積が検知エリア内に存在するか否かを調べることで停滞検知の状態が発生したことを知る。すなわち、物体が設定フレーム数以上の停滞している場合に停滞検知となる。踏切画像での停滞検知における論理積画像を図7に示す。

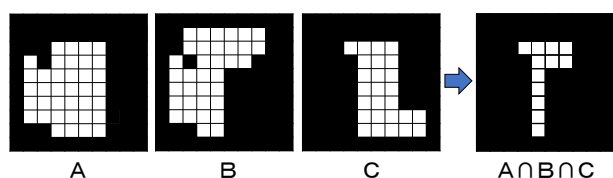


図6 二値画像の論理積の例

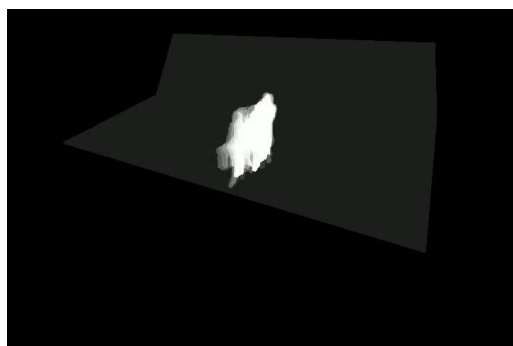


図7 停滞検知画像の例

- ④ ノイズ除去：前景として検出されたもののうち、草木の揺れ等で発生した小さなサイズの前景を取り除く。前景における物体のサイズを8近傍でラベリングし、設

定した最小検知サイズを下回る場合は除去する。

- ⑤ メルト処理：人物が背景に溶け込むことによる未検知を防止するための検知保持機能であり、検知エリアの中心にいる人物が突然消えるということはないという前提に基づいたものである。1つ前のフレームにてメルト領域にて検知し、現在のフレームで未検知の場合は、前回の検知を保持する。保持時間はフレーム単位で設定可能である。
- ⑥ 人物度評価：本開発は人物をターゲットとした検知装置であるため、検出した物体に対して人物度（人間らしさ）を算出し、人物か否かの判定を行う。人物度についてはラベリングされた矩形における前景データと人体の大きさに関する統計情報をもとに判定を行う。
- ⑦ 検知結果出力：①から⑥までの処理を行い、最終的に検知エリア内に前景として物体が残った場合に、「踏切道内に異常あり」として画面上に「detect」の文字を出力する。踏切道内に異常がない場合は「clear」の文字を画面に出力する。外部装置と接続する場合においては、「異常あり」を“0”，「異常なし」を“1”などと定義し、シリアル通信にて情報を外部装置へ伝送する。

### （3） 後処理

「1フレーム毎の処理」が終了したのちに「後処理」として、背景更新と停滞更新を行う。

背景更新では、停滞検知結果に応じて、停滞がある場合は背景更新をせずに1フレーム前に用いた背景を継続して使用する。停滞がない場合は、現在のフレームを用いて背景更新を行う。これにより踏切道に留まった人物等が背景として取り込まれることが軽減される。

停滞更新では、停滞検知用前景画像群の一番古いフレームを削除し、現在のフレームから算出された前景画像を停滞検知用前景画像群に追加する。これは画像フレームをデータとして扱った場合のデータ構造におけるFIFO (First-In-First-Out)であるキューと同等である。

### 4. 検証試験

装置全体および踏切内異常検知アルゴリズムの検知性能の評価として、鉄道総研内の実踏切にて評価試験を実施した。

設定パラメータとしては、分離防止処理のカーネルを $20 \times 1$ 画素に、停滞検知用前景画像群の数を30フレームに、メルト処理における保持時間を9秒に、ノイズ除去における最小検知サイズを400画素に設定した。天候条件については、晴天時・雨天時のそれぞれについて、連続3時間程度（約10万フレーム）について動作確認を行った。

晴天時において、検知エリア外にいる人物の画像処理結果を図8に、人物が検知エリア内に入った場合の画像処理結果を図9に示す。同様に、雨天時における検知エリア外の人物の画像処理結果を図10に、人物が検知エリア内に入った場合の画像処理結果を図11に示す。また、それぞれの実際の様子を図12、図13に示す。





図 8 晴天時の処理結果（人物が検知エリア外）



図 9 晴天時の処理結果（人物が検知エリア内）



図 10 雨天時の処理結果（人物が検知エリア外）



図 11 雨天時の処理結果（人物が検知エリア内）



図 12 晴天時に人物が検知エリアに入っている様子



図 13 雨天時に人物が検知エリアに入っている様子

動作試験におけるシーンとしては、一人の人物が踏切道を通る、踏切道の真ん中で引き返す、踏切道内で数秒たたずむ、4 人程度の複数の人物が同じ方向から踏切道を通る、同じ複数の人物が別々の方向から踏切道に入り真ん中ですれ違う、の合計 5 シーンを晴天時・雨天時ともに実施した。実施した試験中での未検知（踏切道に人物が存在するが画像処理が検知できない）および誤検知（踏切道に人物は存在しないのに画像処理が物体を検知した）の発生はゼロであった。

#### 5. おわりに

踏切道のさらなる安全性向上として、遠赤外線カメラを用いた踏切内異常検知装置の開発を行い、実踏切にて動作確認を行い、晴天時・雨天時にて評価を行い、未検知および誤検知の無いことを確認した。

今後の予定として、様々なシーンに対するアルゴリズムの検知性能の定量的な評価、複数の踏切において通年の温度変化におけるアルゴリズムの検知性能評価、装置全体に対する安全性技術の組み込み、組み込んだ安全性技術の性能評価を行うことで装置の実用化を目指す。

#### 参 考 文 献

- 1) 国土交通省鉄道局：鉄軌道輸送の安全に関わる情報（平成 30 年度），2019.