

車上画像認識技術を用いた特殊信号発光機の視認確認手法

信号・情報技術研究部 信号システム研究室

副主任研究員 長峯 望

1. はじめに

特殊信号発光機は、昼間、晴天時において、800m以上の距離から信号現示を確認できる性能を有することと定められている。800m以上の距離からの視認確認は、新設や交換、または定期検査等の際に作業員の目視によって行われている。しかしながら、異常時のみ信号を現示する方式であるため、列車の運転時間帯に必要な視認距離を確認することが難しいという課題がある。そこで、運転時間帯でも列車運行に支障を与えず、かつ、作業員の主観に依らず定量的に確認するための手法について研究を行ってきた^{1,2)}。これらの手法を車上に適用するために、不可視光線である近赤外線LEDを特定周期で点滅させる機能を有する特殊信号発光機、当該LEDを撮影する視野制御雲台付赤外線カメラ、及び当該LEDの点滅を認識する画像処理アルゴリズムの開発を行ったので、現車による評価試験の結果と共に報告する。

なお、特殊信号発光機は、回転点灯する「回転形」と、棒状に点滅する「点滅形」があるが、本稿では、「点滅形」を対象としている。

2. 検査の現状と視認確認のための基本構成

特殊信号発光機は、必要により視認確認の検査を行っており、視認性が確保できない場合には、特殊信号発光機の中継を設けたり、特殊信号発光機の角度調整や、草木の伐採などを行っている。

踏切に設置された特殊信号発光機の視認確認の検査では、踏切側、特殊信号発光機側と視認確認地点側に作業員がそれぞれ分かれ、踏切側の作業員が支障報知装置を扱い、特殊信号発光機を実際に発光させ、それを視認確認地点側の作業員が目視にて視認性を確認する。このような従来の手法は定量的な評価とは言えず、作業員の主観に依存しているという問題がある。また踏切から800m以上ある任意の地点だけでの確認であり、800mの地点から特殊信号発光機を通過するまで、連続した視認性の可否を確認することはできていない。さらに、視認確認の検査のために実際に特殊信号発光機を発光させることは、昼間の運転時間帯では現実的に難しいため夜間に実施されることが多く、作業効率が悪いことも問題として挙げられる。また、特殊信号発光機の設置総数も相当数にのぼるため、高精度で高効率な視認確認手法の開発が強く望まれている。

日中の時間帯でも列車運行に支障をきたさずに視認確認する方法としては、電波や不可視光線を特殊信号発光機から送信／発光し、その到達状態を確認する方法が考えられる。電波に比べ、不可視光線は特殊カメラを用いることで結果が映像として得られるため、誤検知や未検知といった事象が発生した場合に人間が映像を見ることで容易に確認ができることから、不可視光線であるピーク波長940nmの近赤外線LEDを用いることとした。受光側についてはLEDのピーク波長に感度を有する近赤外対応のカメラ及びレンズを用いることとした。

普通に点灯した近赤外線LEDを800m離れた地点から、近赤外線の帯域に感度のあるカメラ

で撮影した場合、集積させたLEDの形状を多少変化させても、映像中ではほとんど点としてしか映らない。また、太陽光には可視光以外にも赤外波長光も大量に含まれているので、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の周辺光と区別して認識することは難しい。そこで、近赤外線LEDを特定のパターンで点滅させ、その点滅パターンを画像処理にて認識することで外乱を取り除き、当該LEDを特定することで視認確認を行うこととした。

3. 点滅パターンと画像認識アルゴリズム

点滅パターンとしては、受光の平均レベルが変動しても復調の閾値に影響せず環境の変化に対して耐性のあるマンチェスタ符号化方式を用いることとした。この符号化はデータに0と1の出現する回数が同等という特徴があるため、復号化のための閾値としてデータの平均値が利用できる。したがって、環境変化の著しい場面やノイズが混在する状況においても復号化における閾値の調整が不要であり、受信データからの復号化が容易である。復号化の処理としては、平均を求め、平均との差分を取ることで（もしくは平均値を閾値とした閾値処理により）、デジタルデータとすることができる。デジタル化されたデータは送信時と同じクロックと排他的論理和をとることで、符号化前のデータとして復号化できる。これを画像処理に適用した場合、あるkフレーム目の画像を F_k と表し、その各画素値を $f_k(i,j)$ とし、kフレーム目からLフレーム分の平均画像を $\bar{f}_k(i,j)$ 、 $\bar{f}_k(i,j)$ と $f_{k+n-1}(i,j)$ の差分画像を $g_{kn}(i,j)$ 、 $g_{kn}(i,j)$ を符号パターン σ に合わせて二値化したものを $G_{kn}(i,j)$ とすると、次式で表すことができ、符号パターンのみを取り出した画素が $H_k(i,j)$ となる。最終的に $\rho_k = 1$ ならば視認確認を良とし、 $\rho_k = 0$ ならば、視認確認を否とすることによって、kフレーム目による視認確認の有無を行うものである。

$$\begin{aligned}\bar{f}_k(i,j) &= \sum_{n=1}^L f_{k+n-1}(i,j)/L \\ g_{kn}(i,j) &= f_{k+n-1}(i,j) - \bar{f}_k(i,j) \\ \sigma &= [\sigma_1 \sigma_2 \cdots \sigma_L] \text{ for } \sigma_i = \{-1, 1\} \\ G_{kn}(i,j) &= \begin{cases} 1 & \text{if } g_{kn}(i,j) \times \sigma_n \geq 0 \\ 0 & \text{if } g_{kn}(i,j) \times \sigma_n < 0 \end{cases} \\ H_k(i,j) &= \prod_{n=1}^L G_{kn}(i,j) \\ \rho_k &= \sum_{j=1}^{\text{image_height}} \sum_{i=1}^{\text{image_width}} H_k(i,j)\end{aligned}$$

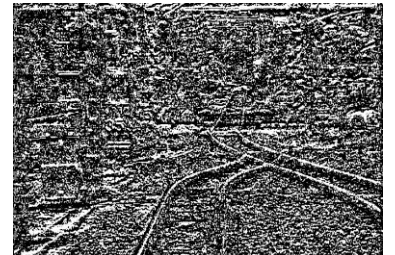
画像処理による復号の様子について、受信データの一部を図 1 (a)に、受信データから求めた平均値を図 1 (b)に、受信データと平均値の差分により求めたデジタルデータを図 1 (c)に示す。



(a) 受信データ



(b) 平均画像



(c) 差分二値画像

図 1 画像処理による復号の様子

4. 近赤外線カメラの視野制御

望遠をしない広角カメラで800m先を見ると、1画素あたりの横幅が数10cm～1mとなり、特殊信号発光機が1画素以下に埋もれてしまうため、点滅させたとしても認識することは困難である。また、望遠カメラを使用した場合、画角 θ は、数度程度の狭角となる。そのため、曲線区間の先に特殊信号発光機がある場合は、望遠系のカメラにおいては特殊信号発光機を捕捉できない。そこで広角カメラの映像からレールを抽出し、レール消失点を求めることで視線方向を定めて、望遠カメラの視野制御を行う手法を開発した。

レール抽出には、短い直線と曲線セグメントを連結した線成分として表現するアルゴリズムを用いた³⁾。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2に示す。図2(a)は雨天の雨粒によるノイズ、図2(b)は逆光によるハレーションであるが、良好にレールを検出し、消失点を求めることができた。

望遠カメラを常に注視点に向けるためには、広角カメラ映像からレールを検出して、目標となる注視点を取得する。望遠カメラを搭載した視野制御雲台に対して、注視点が画面ほぼ中央に映るように信号をフィードバックして送ることで、望遠カメラで注視点を追尾することが可能となる。

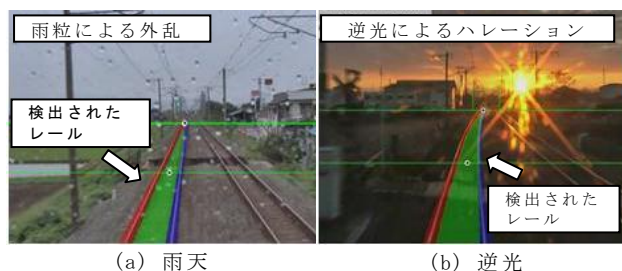


図2 レール抽出結果

5. 現車試験

作成した試験用特殊信号発光機、制御器、視野制御雲台、点滅検知アルゴリズムの性能を評価するために、現行の特殊信号発光機と同一の支持柱に試験用特殊信号発光機を仮設し、営業車にて日中帯に測定することで、本手法の有効性を確認した。試験場所は、五日市線秋川～武蔵引田間である。各々の試験機の仮設状況を図3に示す。

車上測定については、拝島～武蔵五日市間を折返し運転する編成に添乗し、武蔵五日市方運転台の助手席側に設置し、12時から18時まで6試番測定を行った。点滅パターンについては、0から7までを3ビットで表現し、それぞれのビットについてマンチェスタ符号化し、符号化された6ビットに対して電文の最初を認識するためのスタートビット4ビット「1100」を付加した10ビットからなるパターンを用いた。5つある試験用特殊信号発光機については、それぞれの特殊信号発光機が異なるパターンとなるようにして試験を行った。車上測定機の外観を図4(a)に、システムが動作している様子を図4(b)に示す。

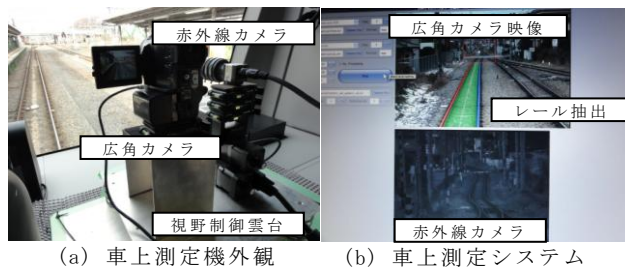


図4 車上測定の様子



図3 試験用特殊信号発光機の仮設の様子

6. 結果

試験機A～Eを検知している様子をそれぞれ図 5 に示す。また、それぞれの試験機の検知結果についてまとめたものを図 6 に示す。図 6 は横軸がキロ程、縦軸が試験機の番号を表しており、▲がそれぞれの試験機を設置しているキロ程、△が視認されるべきキロ程を示している。◇で表している部分が、システムが試験機を検知し、視認確認ができたとされる箇所である。キロ程の算出については、踏切のキロ程や各信号設備の設置キロ程を参考に、映像を見ながらフレーム単位で目視により対応づけたものである。

試験機A, B, C, Dについては、おおよそ視認されるべき地点から正確に視認確認がされ、特に、試験機Bについては視認されるべき地点より手前の地点から視認確認が良であった。一方、各試験機の視認確認の結果に歯抜けや未検知があるのは、車両の振動が影響して、点滅検知アルゴリズムがうまく動作しなかったことが挙げられる。

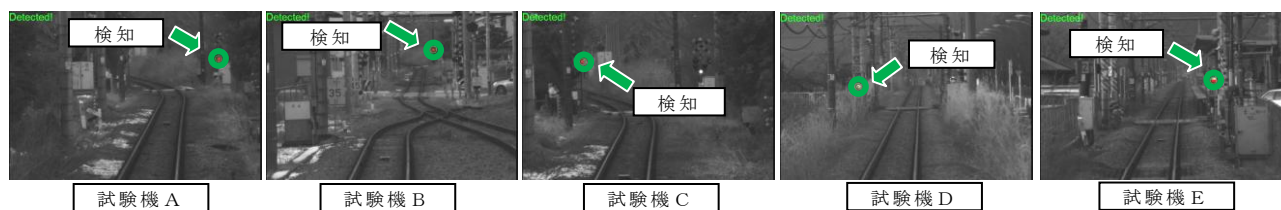


図 5 システムが視認性を確認している様子

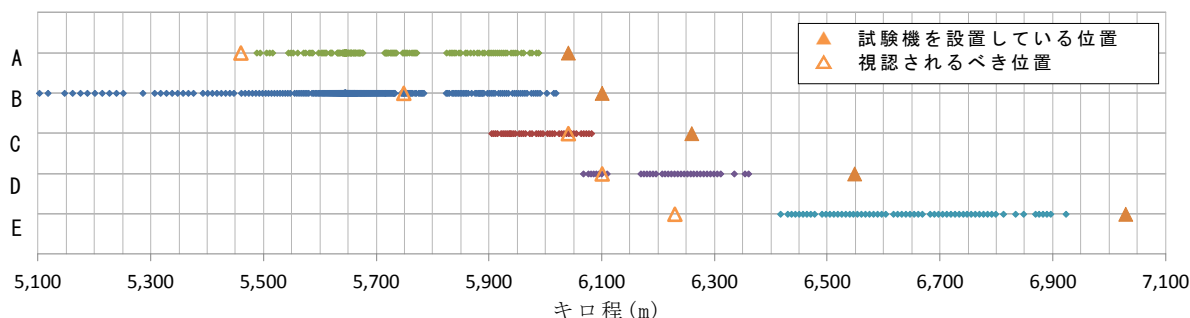


図 6 視認確認結果

7. まとめ

特殊信号発光機の視認確認を車上から効率的に高精度で行う手法として、不可視光線である近赤外線LEDを特定周期で点滅させる機能を有する新しい特殊信号発光機、曲線運行時においても当該LEDを適切に撮影する視野制御雲台付赤外線カメラ、及び当該LEDの点滅を検知する画像処理アルゴリズムの開発を行った。また、現車試験によって、性能評価試験を行い、基本機能としての有効性を確認した。

今後は、分岐情報を加味した進行方向追従方法による視野制御雲台の開発、視認確認の検査データと特殊信号発光機の設置キロ程のリンク手法について研究を進めていく計画である。

文 献

- 1) 鵜飼正人, 長峯望: 画像認識による特殊信号発光機の視認確認手法, 鉄道総研報告, Vol. 25, No. 5, pp. 41-46, 2011
- 2) 長峯望, 鵜飼正人: 特殊信号発光機の視認性確認手法, 電気学会研究会資料. TER, 交通・電気鉄道研究会 2009(1), 31-35, 2009-02-04
- 3) ボグダン・友幸那須, 鵜飼正人: Rail Extraction for Driver Support in Railways, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2010