

GPS と画像センサを用いた信号機の現示判別および精度向上に関する検討

○ [電] 鈴木 貴明 [電] 本山 信介 [電] 中村 英夫 (日本大学)

[電] 工藤 希 [電] 竹内 俊裕 [電] 水間 毅 (交通安全環境研究所)

A study on the detection of wayside signal for the preventive maintenance system
using GPS and image sensor

○Takaaki Suzuki, Shinsuke Motoyama, Hideo Nakamura, (Nihon University)

Nozomi Kudo, Toshihiro Takeuchi, Takeshi Mizuma,
(National Traffic Safety and Environment Laboratory)

A local railway has become very severe management by the problem with the falling birthrate and the aging population, diffusion of car and the maintenance of the equipment etc. Then, to pay attention to the point with a high cost by the maintenance of equipment, and to observe the ground equipment. We developed a new system, which distinguished the color of the signal from image sensor and GPS. It shows that use image processing and labeling to determine signal phasing. Besides, we will report outline of test result of analyzing software by an actual train.

キーワード：鉄道，画像センサ，GPS，画像処理

Key Words：Railway, imaging sensor, GPS, image processing

1. はじめに

近年，地方中小鉄道の状況は経営環境が厳しい状況にある。その原因として少子高齢化や，人口減少，モータリゼーションの進展等による利用者の減少とメンテナンスコストの負担など利用者の増減に関係なくかかるものの2つに分類できる。我々は，後者に着目し，技術によって省力化と安全の確実化を実現することを目指して研究を進めている。

多くの分野で，センサを用い自動化したシステムによる省コスト化を図っている。そこで，地方鉄道におけるメンテナンスの省コスト化においても，利用できる可能性があると見て，今回，画像センサを用いることにした。

これまでに，我々は，地方中小鉄道における設備の省コスト化を目標とした GPS と汎用無線を用いた安価な列車検知や運行管理システムを開発してきており¹⁾，これらの装置が搭載されていることを前提に，予防保全システムの構築に向けて研究を実施している。本稿では，営業列車を用いて簡便にデータを取得し，機器の劣化を早期発見することで，効率的なメンテナンスを行うことを目的とし，その第一歩として画像センサと GPS を用いた信号機の色灯の自動判別および判別精度について検討を行ったので報告する。

2. 画像センサと GPS を利用した鉄道用予防保全システム

2.1 システム概要

保守を支援するシステムとして GPS と画像センサを用いて，地上設備の経年変化の確認を行い，不具合の事前検知を行うシステムの開発を進めている。本システムでは，GPS と路線データベースを用いて列車位置及び，認識対象の設備の位置が分かっていることを前提として，より精度向上が期待される範囲の画像解析を行うことで，計算時間を短くし，画像解析のリアルタイム性を確保する。現段階では，画像センサを用いて前方の信号の位置および現示確認を行うシステムを開発し，実験を行った。図1は本システムの概要図であり，矩形で信号機が前方のどの位置にあるのかを示している。

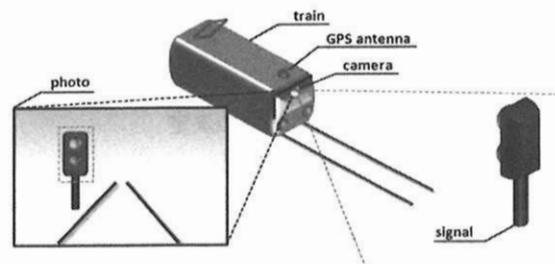


図1 システム概要

2.2 GPS による測位精度について

本システムは GPS の精度が重要だが衛星の条件により 10m 前後の誤差が生じる可能性がある。その対策として、GPS のマップマッチングによる測位データの線路上への補正を行っているが、列車の振動や車両の傾き(カント)の影響などにより精度の向上には限界がある。そこで、画像処理を用いて信号機位置の補正を行うことによりこれらの影響を抑えるようにしている。

3. 解析手順について

本システムでは、GPS を用いて列車位置及び、認識対象の設備の位置が既知であるため、より小さな範囲の画像解析を行うことで、計算時間を短くし、システムのリアルタイム性を確保する。本システムでは、GPS の受信周期(1秒)の範囲で、位置検知、撮影、画像解析、出力を終わらせることが望ましい。そのため、システム一連の処理時間は GPS 受信周期以下を目標とした。

信号の現示判別には、画像の解析範囲の決定、画像処理による解析範囲の修正、輝度(Y)を用いたフィルタリング、ノイズの除去、画像のラベリング、グループの絞り込み、現示部分の決定、Hパラメータによる現示の判定の処理を行って解析を行う。以下にそれぞれの処理について説明する。

3.1 解析範囲の決定

原理図を図 2 に示す。信号追跡をするには、列車から見た信号機までの角度を算出することが必要であり、異なる 2 点 (X, Y, Z) 、 (X', Y', Z') の経度・緯度・高度の座標から角度 ϕ 及び θ を計算する。列車は走行中に経度・緯度平面において傾きを変化させるので、直前の位置と現在の位置を用いて車両の傾きを算出し、さらに現在の位置と信号機的位置までの角度との差を計算することで、列車から見た信号機までの角度を求めることができる。また、撮影に用いるカメラの画角により写り方が変わってくるため、算出した角度と画角の計算も行う。

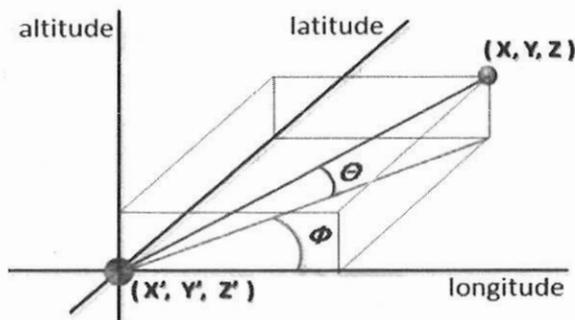


図 2 解析範囲の決定

3.2 画像処理による解析範囲の補正

信号機の認識方法として GPS より得られた信号機的位置、つまり図 1 の信号機を捉えた青い矩形で示された部分から画素毎の赤、緑、青の成分値を比較し、隣接画素を 8 近傍として信号機の黒い先端部分を認識する。図 3 が解析範囲を画像処理によって修正した結果である。破線で示さ

れる矩形が GPS から得られた信号機的位置であり実線で描かれた矩形が画像処理によって修正された信号機的位置である。この処理を行うことで GPS により少しでも信号機的位置を捉える事ができれば画像上から信号機全体を捉える事ができる。



図 3 画像処理による解析範囲の補正

3.3 輝度(Y)を用いたフィルタリング

特定した範囲において以下の式を用いて画像のフィルタリングを行う

$$Y(x, y) = 0.299 * R(x, y) + 0.587 * G(x, y) + 0.114 * B(x, y) \quad \dots (1)$$

(1)式において x, y は画像中の画素の座標、 Y は画像の輝度を示しており、画像の特定の画素の明るさを示している。 R, G, B は特定の画素中に含まれる赤、青、緑の成分値である。 R, G, B の定義域は 0~255 であり、それぞれの値が 255 に近いほど画素中の赤、青、緑の成分が多いことを示している。 Y の定義域は R, G, B が 0~255 であるので同様に 0~255 であることが分かる。また、 Y が 0 に近いほど黒に、255 に近いほど白に近い。今回、信号機の黒い枠の部分を検出するため、 Y の値を 0~60 の範囲のみを抽出するようにフィルタリングを行った。解析の対象例を図 4(a)に、フィルタリングを行って 2 値化した画像を図 4(b)に示す。

3.4 ノイズの除去

解析していく上でノイズとなる部分の除去を行う。画素に隣接する上下左右 4 方向の画素全ての Y の値が 0 のものを削除することで今後の処理を軽減させる。図 4(c)に除去後の画像を示す。



(a)元画像 (b)フィルタリング後 (c)ノイズ除去

図 4 フィルタリングの手順

3.5 画像のラベリング

特定した範囲において画像のラベリング処理を行う。ラベリングとは図 4 に示したような 2 値化された画像において、連続した画素に同じ番号を割り振る処理である。今回、ラベリングには 8 連結法を用いた。8 連結法とは

縦、横、斜め方向に連続している部分を同じラベルにする方法である。本手法を用いて図 4(c)のラベリングを行い各グループの画素数まとめたものを表 1 に示す。

表 1 ラベリングの結果

グループ	画素数	グループ	画素数
1	753	7	2
2	3	8	3
3	745	9	13
4	5	10	6
5	2	11	7
6	2	12	3

3.6 グループの絞り込み

ラベリングによって振り分けられたグループから解析すべきグループの決定を行う。グループ内の画素数が最も多いグループ 1 が解析対象となる。この時、グループ 3 のように対象となるグループの画素数とほぼ変わらない画素数のものも解析範囲とする。解析の際はグループ 1 とグループ 3 は別々に処理を行う。図 5 に解析対象となった図 4 中のグループ 1 とグループ 3 の拡大図を示す。

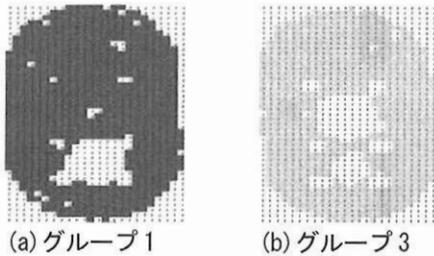


図 5 解析範囲の決定

3.7 現示部分の決定

3.6 で決定したグループ内において信号機の現示の位置を判定する。決定の方法には 3.5 で行ったラベリングを黒と白の条件を反転させかつ、右上端、左上端、右下端、左下端についてはラベリング対象外として処理を行った。ラベリングの結果を図 6 に示す。図 6 におけるグループ 1 とグループ 3 のラベリングの詳細を表 2 と表 3 に示す。表 2,3 よりグループ 1 の中で最大画素数となるのは小グループ 8、グループ 3 は小グループ 4 となる。元の画像からグループ 1 の小グループ 8 部分のみを切り出した結果とグループ 3 の小グループ 4 部分のみを切り出した結果を図 7 に示す。

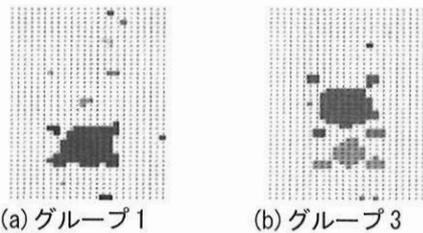


図 6 グループ 1 とグループ 3 のラベリング結果

表 2 グループ 1 のラベリング結果

小グループ	画素数	小グループ	画素数
1	1	7	3
2	1	8	75
3	3	9	3
4	1	10	1
5	1	11	1
6	2	12	2

表 3 グループ 3 のラベリング結果

小グループ	画素数	小グループ	画素数
1	2	7	6
2	1	8	37
3	4	9	1
4	68	10	1
5	1		
6	4		

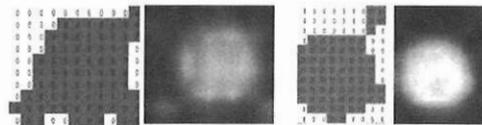


図 7 ラベリングによる現示部分の特定

3.8H パラメータによる現示の判定

以上の手順を行い、絞り込みを行ったグループ内の画素において画像からの位置による計算と色相 H(Hue angle)を用いて現示状態の判定を行う。

現示の判定方法として矩形内部の信号機の縦方向の中心を G_s 、信号機内部の色灯部分の縦方向の中心を G_l 、高さを F_l として以下の式から現示判定を行う(図 8 参照)。
 $((G_s > G_l) \cap (G_l + (F_l/2) > G_s))$
 $\cup ((G_s < G_l) \cap (G_l - (F_l/2) < G_s)) \Rightarrow$ 黄色 …… (2)

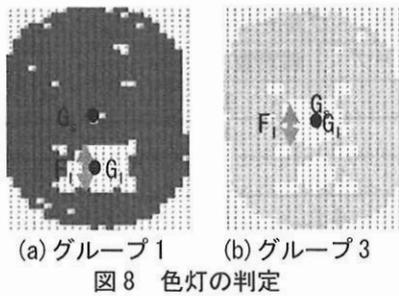
また、(2)式を満たしていない状態において以下の式から赤、青の判定を行う。

$$G_s < G_l \Rightarrow \text{赤} \dots\dots\dots (3)$$

$$G_l < G_s \Rightarrow \text{青} \dots\dots\dots (3)$$

以上の(2)(3)式の論理式を用いて色灯の判定を行う。

また、画素中の色相 H を用いて色からも同時に判定することで式(2)(3)での誤認識を防いでいる。色相 H は 0 ~ 360 までの範囲で定義されていて、0 が赤で、60 で黄、120 で緑、240 で青、360 で紫を示している。画素内の R,G,B の値を直接判定に用いないのは、判定の際に色相 H を用いることで 1 つのパラメータで判定を行うことができるためである。今回、現示の判定の閾値を事前に取得した画像から判断して赤現示では H の値の平均値を 0 と設定し、青現示は 240 に、黄現示は 60 と設定した。



4. 画像解析を用いた信号機の現示状態判別検証試験

山形鉄道フラワー長井線の信号機を対象として試験を行い、判別精度の検証を行った。対象となる信号機は長井駅場内信号機を対象として解析を行った。本試験では、3.2 で説明した画像解析による補正を入れた場合と入れなかった場合の信号機の認識率の比較と信号機の現示状態の判別精度について行った。

4.1 信号機の認識率の比較

3.1 で示した補正を入れた場合と入れない場合における信号機の認識率についての結果を図 9 に示す。ここで、認識率とは、図 3 で示した矩形内に存在する信号機の黒部分のピクセル数の理論値との割合を示している。

図 9 より、午前中の走行試験では画像処理による補正を入れない場合は、認識率が 20%~80%と安定した認識ができなかったのに対して補正を入れた場合では、安定して 80%以上の認識率をとることができた。

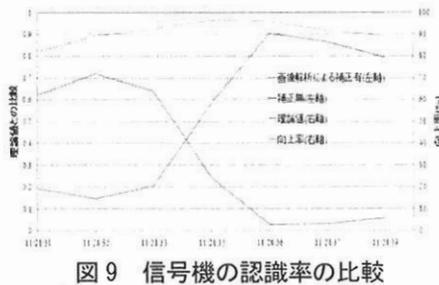


図 9 信号機の認識率の比較

4.2 信号機の現示状態の判別精度について

3.3~3.8 までの処理を行った結果を示す。図 10 に長井駅場内信号機における信号機のラベリングにより信号機を特定した結果である。外側の矩形が信号機を特定し、内側の矩形が、現示部分を特定した結果を示している。

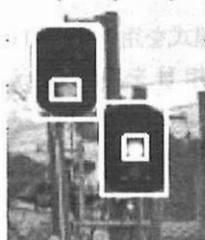


図 10 ラベリングによる解析範囲の決定結果

表 4 に図 10 に示した範囲において、3.8 で示した計算式に対応したそれぞれのパラメータの値および計算結果を示す。図 11 に長井駅場内信号機の解析により特定した赤現示および黄現示部分の H パラメータのヒストグラムを示す。この結果から、赤現示では H 値が 0 から 30 と 330 か

ら 360 の間で高い分布を示して平均を取ると 0 になることからこの結果からも赤現示であることがわかる。また、黄現示においても同様の結果が得られた。表 5 に最終的な走行試験における解析結果を示す。表 5 から補正が無い場合よりも補正が有る場合のほうが信号機の現示の認識率が上昇した結果が得られた。今回使用した補正アルゴリズムは、信号機が GPS から得られた画像上の矩形の中に信号機が少しでも捉えられれば良いので認識率を向上させることができた。表 5 において一つだけ捉える事が出来なかった結果があったが、これは矩形が信号機から著しくずれていた場合であるためであり、今後検討していきたい。

4 解析結果の一例

	G _s	G _l	F _l	結果	H	判定	実際の現示
左側	34.5	42.5	9	赤	0~30 330~360	赤	赤
右側	69	68.5	11	黄	0~60	黄	黄



(a) 赤現示



(b) 黄現示

図 11 色相 H の頻度分布

表 5 解析結果

	サンプル数	正しく解析したもの	
		補正無	補正有
左側	20	18	19
右側	20	17	19

5. まとめ

今回、画像センサと GPS を利用して鉄道用予防保全システムに向けた開発の一環として画像処理技術を用いた信号現示判定システムの開発を行った。試験結果から今回の試験条件のもとでは十分な解析精度を出すことができた。今後は、今回提案したアルゴリズムにより取得したデータから予防保全に繋げるシステムの構築を目指していく。

参考文献

1) 工藤 希, : 地方交通に適用可能な画像処理技術・画像センサによる予防保全検討例, 交通安全環境研究所フォーラム講演資料, pp.129-138, November.2010.