

家庭用ビデオカメラ動画像からの道路交通信号認識

Traffic Light Recognition from the Video Image of Home Video Camera

森 裕奨†, 江口 一彦††

Yusuke MORI, Kazuhiko EGUCHI

Abstract According to the progress of aged society, aged drivers are increasing in Japan. An aged driver has higher risks of accidents because of declining driving skill. Therefore, it is highly desired to develop systems assisting aged drivers.

In the case of study to support drivers, various fields of recognition are in progress such as traffic lane, traffic sign, traffic signal and so on. However not many studies have been made to recognize traffic signals from real-time video images. In this paper authors developed and verified a method to extract traffic signals from real-time video images both in daytime and nighttime.

1. はじめに

近年の日本における高齢化は深刻で、内閣府の「平成 21 年度高齢社会白書」[1]によると、平成 20 年 10 月 1 日現在、日本の総人口の 22.1%が高齢者となっている。高齢化は今後も進行し続けるものと推測され、平成 27 年には高齢者は 3,000 万人を超えるものと推計されている。また、過疎地の人口減少と高齢化も深刻で、総務省の「平成 20 年度版「過疎対策の現況」について」[2]によると、高齢者比率は平成 17 年で全国平均が 20.1%であるのに対して、過疎地では 30.2%となっている。また、過疎地の人口は平成 17 年の時点で 1,056 万人（平成 12 年では 1,125 万人）となっており、年々減少している。しかし、過疎地域は平成 17 年の時点で全国面積の 54.0%を占めており、人口に対する面積が大きく、公共交通機関による移動手段の確保が難しくなっていると考えられる。そのため、過疎地では高齢者であっても自動車を自ら運転せざるを得ない状況になると予想される。

高齢者ドライバーは、反応速度や判断能力が低下し、交通事故のリスクが高くなる。そのため、運転支援技術の構築は今後不可欠な要素と考えられる。運転支援技術の研究として、歩行者[3]、障害物[4]、車線[5]、標識[6]、信号[7]~[9]などが行われている。しかし、交通信号の認

識の研究は他に比べてあまり行われておらず、動画像からの認識をしているものは少ない。本研究では、日中および夜間における交通信号を動画像からリアルタイムに認識する手法を構築し、その検証を行った。

2. 認識手法の手順

本研究では、OpenCV[10][11]を用いて Fig.2.1 の手順で交通信号機の認識を行った。まず、画像を取得し、その画像を RGB 色空間から HSV 色空間へ変換を行う。その後、明度による時間帯の判別を行い日中、夜間のそれぞれの処理を行い、結果を出力する。

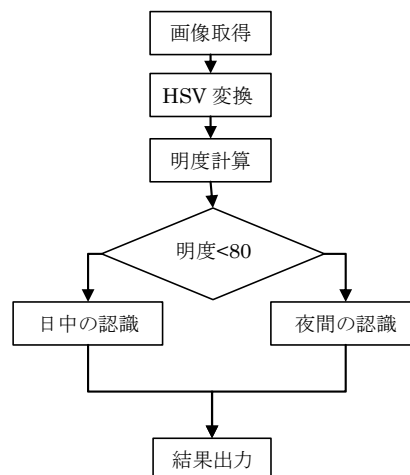


Fig.2.1 認識の手順

† 愛知工業大学 工学研究科電気電子工学専攻(豊田市)

†† 愛知工業大学 工学部電気学科 (豊田市)

2・1 HSV 表色系

HSV 表色系とは、H(色相)、S(彩度)、V(明度)からなる色空間のことである。H は色の種類、S は色の鮮やかさ、V は色の明るさを表す。

RGB 色空間では、色の種類、明るさ等が複数のパラメータによって決定されるが、HSV では、色の種類、鮮やかさ、明るさの指定が単一のパラメータで決定され、各値は他の値の変動に対しロバストである。そのため、RGB 色空間より色の抽出が容易にできるため HSV 色空間に変換を行う

2・2 時間帯の判断

時間帯により画像全体の明るさ、発光物の映り方などが大きく違う。そのため昼間と夜間で処理方法を変える必要がある。本研究ではその判断基準として画像中の明度の平均値をしきい値として用いる。

3. 日中における処理

日中における処理を Fig.3.1 の手順で行う。まず、前処理としてノイズの除去を行う。その後、信号機と合致する色情報を抽出し、二値化を行う。その結果から輪郭線の探索を行い、抽出領域の円形度を算出、形状判定を行う。

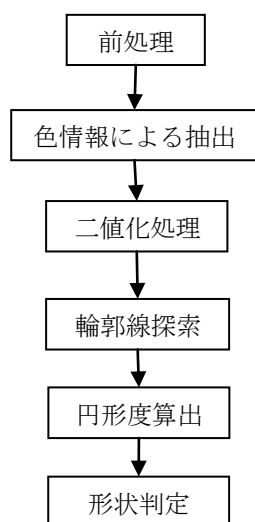


Fig.3.1 日中の認識

3・1 ノイズ除去

取得した画像ではノイズが多いため、ガウシアンフィルタによりノイズ除去を行う。

ガウシアンフィルタとは画像のノイズ除去を目的とし

た平滑化フィルタである。一般的な画像では注目画素に近い画素の輝度値は注目画素の輝度値との差が小さく、注目画素から遠くなるほどその差が大きくなる場合が多い。このことを考慮し、注目画素に近いほど大きな重みを、遠い画素には小さな重みをつけた加重平均をとる。その重み付けにガウス関数(式(3.1))を採用していることからガウシアンフィルタと呼ばれる。

$$f(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.1)$$

3.2 色情報の抽出

信号機と合致する画素を色相、彩度、明度により抽出する。この処理を行った後、二値化を行う。本研究で用いたそれぞれの値を Table.3.1 に示す。

Table.3.1 日中における色相情報による抽出範囲

	赤	黄	青
H	340<=H<=360	0<H<60	140<=H<=180
S	S>0.27		
V	V>110		

3・3 輪郭線探索・円形度算出・形状判定

輪郭線探索の探索は OpenCV に実装されている cvFindContour によって行う。輪郭線の探索により得られる面積・周囲長の情報から円形度を求める。

円形度とは、「あるものの形が、どれだけ円に近いか」を表す特徴量で、真円で最大値 1 をとり、複雑な図形になるほど値が小さくなる。式(3.2)に円形度の算出式を示す。

$$\text{円形度} R = \frac{4\pi \times S}{L^2} \quad (S: \text{面積} \quad L: \text{円周長}) \quad (3.2)$$

信号であるかどうかの形状判定として、この円形度を用いる。円形度による判定で、円形度が 0.65 より小さければ候補から除外する。また、領域の面積が一定値より小さい場合除外する。

4. 夜間における処理

夜間の場合、色情報からの抽出のみでは街灯の誤認識や隣接する交通信号を分離できないといった問題があるため、日中とは別の処理が必要となる。そこで、以前「高齢者運転支援を目的とした道路交通信号認識」[12]で報告された手法を用いる。夜間における処理を Fig.4.1 の手順で行う。

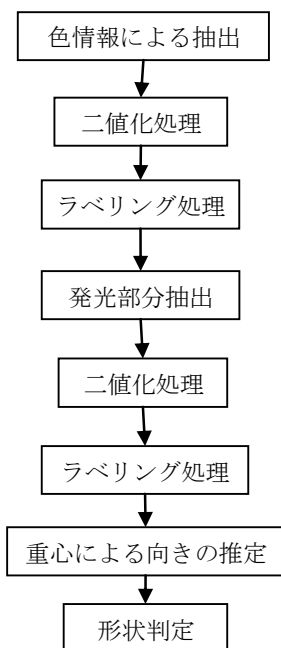


Fig.4.1 夜間における認識

4・1 色情報による抽出

夜間の交通信号は日中と違い発光部分が白色になり、交通信号が持つ色はその周辺に分布するように撮影される。この色相による抽出によって得られた情報のみ場合だと、複数の発光物が集中して存在している状況ではそれぞれの領域が分離できないことや、交通信号と類似した街灯が存在した状況では誤認識をしてしまう問題がある。そのため、色相によって交通信号と合致する色情報を抽出した後に、さらにその領域に対して発光部分の抽出を行う。

本研究で交通信号の色相情報を抽出する際に用いたパラメータを Table.4.1、Table.4.2 に示す。

Table.4.1 色相情報による抽出範囲

	赤	黄	青
H	0<=H<=10	10<H<25	170<=H<=195
S	S>0.3		
V	V>120		

Table.4.2 彩度, 明度による発光部分抽出範囲 (各色共通)

S	S<0.3
V	V>180

4・2 ラベリング処理

ラベリング処理とは、その画素がどの領域に属するかという属性を持たせる処理のことである。ラベリング処理の手順は次のようになる。

- ① 画像左から右に向かって、黒ではない画素を探索
- ② 黒ではない画素が見つかった場合、その色情報を保存
- ③ 保存した色情報と同一情報が連続して存在しているならば、その画素を同一領域として保存
- ④ すべての行に対して 1~3 の処理を行う
- ⑤ 見つかった領域を垂直方向に結合する

このとき、動画像から発光物の光を抽出した場合、必ずしも隣接して抽出できるとは限らないため、最大 3 ピクセル分離した画素も同じ領域に含めるように処理した。

4・3 重心による向きの判定

カメラから得られる夜間の映像では発光物が多く撮影される。その発光物の中で多いものが街灯である。街灯の中には黄色のものが存在し、この街灯と黄色の信号の色が似ているため、ご認識を避けることが困難である。先に述べたように、夜間の発光物をカメラで撮影した場合、発光部分が白くなり、その周辺に発光物の光の色が分布する。その光の分布は、発光物が向いている方向に多く分布する。通常、交通信号は運転者から見て正面を向いており、街灯は下を向いている。このことから、発光部分の重心と色をもった光の分布の重心を比較することで、発光物の向きを推定し、発光物の中から街灯を除外する手法を用いた。重心 $G=(x_g, y_g)$ の算出式を式(4.1)に示す。

$$x_g = \sum_{i=0}^n \frac{x_i}{n} \quad \cdot \quad y_g = \sum_{i=0}^n \frac{y_i}{n} \quad (4.1)$$

式(4.1)中の n は領域中の画素数、 x_i 、 y_i は領域内の任意の画素の座標である。

交通信号と街灯を判別する条件として、色相による抽出領域の重心と、発光部分の領域の重心の垂直方向の差をとり、その差が色相による抽出領域の垂直方向のサイズの 10% をしきい値とし、10% 以上である場合を交通信号以外の発光物とし除外する。

4・4 形状判定

通常、交通信号は真円形をしているため、ラベリング処理によって得られた領域に対して形状判定を行う。色相によって抽出した発光物は中が空洞になったドーナツ状の形状をしているため、内側と外側の 2 つの輪郭線を持つことになる。そのため、本研究では次のような処理を行った。

まず、領域の中心と領域の端の各画素を直線でつなぎ、その直線上を内側から外側へ画素を探索していく。そして、始点と異なる色情報を持つ画素の位置情報を保存する。次に、見つかった画素の位置情報から、式(4.2)・(4.3)を用いて中心座標と半径を求める。中心座標と半径を式(4.4)

の真円の方程式に当てはめ, これを仮の円とする。こうして求めた円と実際に見つかった画素の座標を比較することで, 円かどうかを判定した。このとき, まず見つかった画素の x 座標を(4.4)式に代入し, その画素の y 座標と得られた仮の円の y 座標を比較している。

$$x_c = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \quad \cdot \quad y_c = \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2} \quad (4.2)$$

$$r = \frac{(x_{\max} - x_{\min}) + (y_{\max} - y_{\min})}{4} \quad (4.3)$$

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2 \quad (4.4)$$

式(4.2)、(4.3)中の x_{\max} 、 x_{\min} 、 y_{\max} 、 y_{\min} はそれぞれ画素中の x 座標、y 座標の最大値、最小値を表す。

5. 実験方法

実験に用いる動画像の撮影には市販のカメラ Sony Handycam HDR-SR1 を用いた。カメラを自動車の助手席に載せ、車内から前方を撮影した。撮影した動画像を PC に取り込み、画像ライブラリ OpenCV を用いて画像処理を行った。なお、開発環境は Microsoft Visual Studio 2005 で、使用する言語は C++ である。また、使用した PC は、CPU : PentiumD 2.8GHz メモリ : 1GByte の環境で実験している。

実験に用いた動画像は、フレームレート 30fps、解像度 320*240pixel で、その中から不要と思われる画像の下方半分と左右 2 割を除いた 160*144pixel を処理対象とした。動画像は日中のものを 6 種類、夜間のものを 5 種類用意した。便宜上、日中のものを動画 1,2,3,4,5,6、夜間のものを動画 A,B,C,D,E と呼ぶこととする。

6. 実験結果

後述する正答率は以下の通りに定義する。

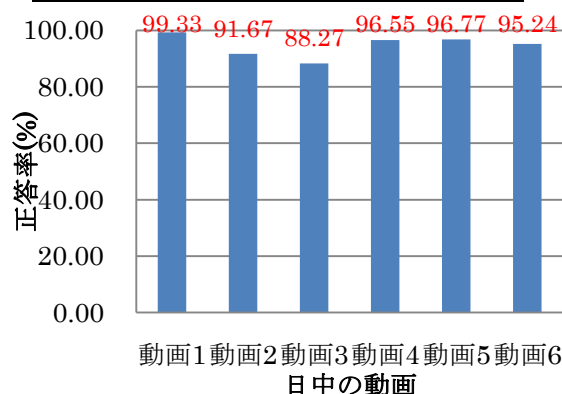
正答率：処理範囲内にある信号機を正しく認識した割合。数値は式(6.1)で算出する。

$$\text{正答率} = \frac{\text{正答数}}{\text{正答数} + \text{誤認識数} + \text{未検出数}} \times 100 \quad (6.1)$$

Table.6.1 日中における交通信号の認識結果
(上:正答率 下:処理時間)

	正答数 (個)	誤認識数 (個)	未検出数 (個)	正答率 (%)
動画 1	297	0	2	99.33
動画 2	330	0	30	91.67
動画 3	158	0	21	88.27
動画 4	280	0	10	96.55
動画 5	180	6	0	96.77
動画 6	100	0	5	95.24

	フレーム数	平均実行時間(ms)
動画 1	299	13.09
動画 2	389	14.60
動画 3	389	13.42
動画 4	299	13.42
動画 5	239	13.18



動画 6	119	12.75
------	-----	-------

Fig.6.1 日中における認識率

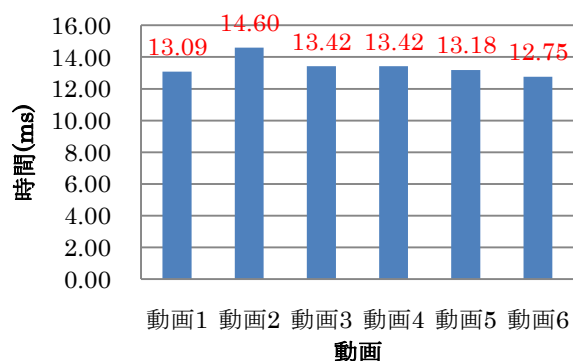


Fig.6.2 日中における 1 フレームあたりの処理時間

Table.6.2 夜間における交通信号の認識結果
(上:正答率 下:処理時間)

	正答数 (個)	誤認識数 (個)	未検出数 (個)	正答率 (%)
動画 A	59	0	0	100
動画 B	92	10	25	72.44
動画 C	84	10	36	64.62
動画 D	80	0	25	76.19
動画 E	160	9	8	90.40

	フレーム数	実行平均時間(ms)
動画 A	59	24.85
動画 B	69	31.94
動画 C	79	57.62
動画 D	108	23.81
動画 E	155	26.83

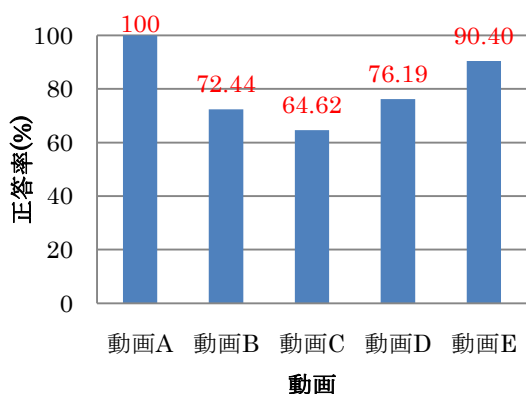


Fig.6.3 夜間における認識率

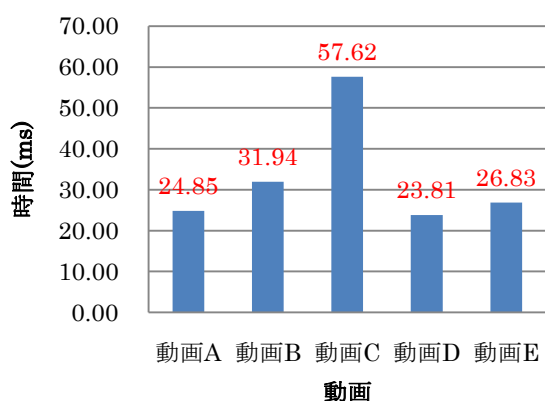


Fig.6.4 夜間における1フレームあたりの処理時間

7. 結論

家庭用ビデオカメラ動画画像での日中および夜間における道路交通信号機の認識手法を行った。日中においては9割前後の検出率が得られた。夜間においては発光物の互いの干渉により発光部分の情報などを用いても完全には検出ミスが抑えられなかった。そのため、検出率において日中に比べ2割前後の低下がみられた。

また、LED方式の信号機では明滅を周期的に繰り返し、検出不可の状態が見られた。今回は、この状況が日中の場合にのみ見られた。

8. 今後の課題

LED方式の信号機が消灯状態で撮影された場合に対して、信号機そのものの形状でマッチングして検出する手法が必要であると考えられる。また、夜間の信号機の認識においては、交通信号の色の光に埋もれてしまった場合、発光物周辺の色情報によって除外することは難しい。そのため、発光物の色相情報による抽出を行う際に、範囲内に当てはまるかどうかだけでなく、明るさによる濃度分布をつくり、その分布がどの発光物に対応するかを判定するというような処理が必要になると考えられる。

参考文献

- [1]内閣府「平成21年版 高齢社会白書」
URL : <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/index-w.html>
- [2]総務省「平成20年度版「過疎対策の現況」について」
URL : http://www.soumu.go.jp/main_content/000045085.pdf
- [3] 松島 宏典, 千場 浩平, 内村 圭一, 江崎 昇二
「AdaBoostを用いたカメラ画像からの歩行者認識」
映像情報メディア学会技術報告, Vol.33 No.6, pp.97 - 102 (2004)
- [4] 関 晃仁, 奥富 正敏
「平面検出・姿勢推定を利用した一般道路環境下におけるロボストな障害物検出」
情報処理学会研究報告, Vol.2005 No.89, pp. 13 - 18 (2005)
- [5] 安達 栄輔, 鍋島 彰崇, 栗田 多喜夫
「車の姿勢を考慮したハフ変換による車線検出」
電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105 No.615, pp. 103 - 107 (2006)
- [6] 小橋 雄一郎, 石川 直人, 中島 真人
「道路標識の自動認識-夜間における道路標識認識-」
電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103 No.644, pp.57

- 62 (2004)

[7] 菊江 寿, 廣瀬 健一, 長江 貞彦
「色弱者のための信号認識システム—信号機特定判別手法の考察—」

2004 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. 188 (2004)

[8] 飯田 泰臣, 朝倉 俊行, 武山 剛己, 広瀬 謙治
「運転支援システムにおける視覚認識システムの構築～情景動画からの交通信号認識～」

インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, 12 巻, pp. 187 - 192 (2002)

[9] 石森 良隆, 朝倉 俊行

「天候変化を考慮した情景画像からの信号機認識」
日本機械学会北陸信越支部 第 42 期総会・講演論文集, pp. 223 - 224 (2005)

[10] OpenCV-1.1pre リファレンスマニュアル(日本語訳)
URL : <http://opencv.jp/opencv-1.1.0/document/>

[11] 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCV プログラミングブック制作チーム

「OpenCV プログラミングブック」, 毎日コミュニケーションズ (2007)

[12] 梅澤 登志矢, 江口 一彦

「夜間動画からの道路交通信号認識技術の研究」
愛知工業大学研究報告, Vol.43 B, pp.41 - 47 (2008)

[13] 井村 誠考ホームページ ラベリング

URL :

<http://oshiro.bpe.es.osaka-u.ac.jp/people/staff/imura/products/labeling>

(受理 平成 22 年 3 月 19 日)