

## 車載カメラからの交通信号機の視認性計測

### Measurement of Visibility Conditions for Traffic Signals by In-vehicle Camera

木村文香† 目加田慶人‡ 高橋友和†† 井手一郎† 村瀬洋† 宮原孝行‡‡ 玉津幸政‡‡

Fumika Kimura†, Yoshito Mekada‡, Tomokazu Takahashi†, Ichiro Ide†, Hiroshi Murase†, Takayuki Miyahara††, and Yukimasa Tamatsu††

†名古屋大学大学院情報科学研究科 ‡中京大学情報理工学部

††岐阜聖徳学園大学 ‡‡株式会社デンソー

†Nagoya University, ‡Chukyo University, ††Gifu Shotoku Gakuen, ‡‡DENSO CORPORATION

E-mail: y-mekada@sist.chukyo-u.ac.jp

### Abstract

交通事故の発生を未然に防ぐ予防安全技術の実用化に伴い、車内で運転者に与えられる情報が増加傾向にある。情報過多により、本来ならば交通事故を防ぐためのシステムが、交通事故の増加につながることで懸念されているため、各システムで運転者に提供する情報を削減する必要がある。たとえば、対象物の視認性が低い場合のみ情報提供を行うシステムが望まれる。

そこで本研究では、交通信号機を対象とし、その視認性を画像特徴を用いて定量化する手法を提案する。提案手法の性能を評価するために、実画像を用いて被験者実験を行い、良好に交通信号機の視認性を定量化できることを確認した。

### 1 はじめに

シートベルト装着の義務化やエアバッグの改良、衝突安全ボディの開発など、交通事故が起こったときに乗員の被害を最小限に抑える衝突安全技術 (passive safety) の進歩により、交通事故による死者数はここ数年減少傾向にある [1]。しかし、交通事故の発生件数は未だ増加傾向にあり、交通事故の発生を未然に防ぐ予防安全技術 (active safety) の更なる開発・実用化に期待が集まっている。白線認識による車線逸脱警告システム [2] や先行車両までの距離計測による車間距離維持システム [3] などが実用例として挙げられる。

運転者が走行支援システムの作動内容を確認するためには、視覚的もしくは聴覚的情報提示が必要となる。走行支援に限らず、快適な運転を支援するカーナビゲーションシステムでも、システムの出力として画像や音声を利用されている (図1)。しかし、各種走行支援システムの実用化に伴い、運転以外の行動により運転者

の注意が散漫になり、安全な運転が妨げられてしまう問題 (ドライバディストラクション) も生じている [4]。視覚による情報提示よりは運転者に負担は無いものの、音声による情報提示には余分な負荷を運転者に与えることが報告されている [5]。

そこで本研究では、運転者に提供する情報を選択する際に、運転者から見た物体の視認性を利用することを提案する。特に交通信号機に着目し、さりげない情報提供システムを実現するために、画像特徴を用いて交通信号機の視認性を定量化する手法を提案する。

交通信号機の検出および認識手法として、車載センサや情報通信技術を利用した運転支援システムが既に提案されている [6, 7]。しかしながらいずれの手法も、システムの実用化の際にどのように情報提供を行うかは検討されていない。

以下では、交通信号機の視認性について整理した後に、視認性定量化手法の提案、実験、考察の順で述べる。

### 2 交通信号機の視認性

運転者が交通信号機を“見えにくい”と感じる場面は様々であるが、主に以下の2通りあると考えられる。

- 信号機がどこにあるのが発見できない
- 何色が点灯しているかがわからない

そこで本研究では、運転者から見た交通信号機の視認性は、次の2通りに大別できると考える。

- 信号機の見つけやすさ
- 信号灯の見分けやすさ

前者は、視野の中でどれだけ信号機自体が見つけやすいかを意味している。後者は、信号機は発見できた上で、さらに何色の信号灯が点灯中かがわかりやすいかを意味し、これらは交通信号機特有の視認性である

表 1 見つけやすさに影響を及ぼす視認性決定要因 .

見つけやすさの視認性決定要因	
人間の眼の性質	視力
	網膜の感度状態
対象物の性質	輝度
	色度
	大きさ
	輝度分布
	提示時間
	存在についての予期
	存在場所についての予期
	背景の性質
	色度
	周辺視野の輝度分布
	周辺視野のグレア源

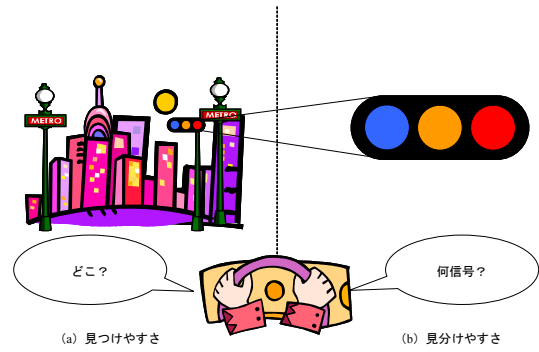


図 2 交通信号機の視認性 .

輝度  $B$  の領域に隣接する領域の輝度を  $B + \Delta B$  で表し,  $\Delta B$  がある値  $\Delta B'$  より大きい場合に輝度の相違を識別できるとする. このときの  $\Delta B'/B$  を明度識別閾値と呼ぶ [8]. 本研究では  $\Delta B/B$  を輝度比と呼び, 見分けやすさの視認性決定要因として用いる.

信号灯の見分けやすさが低下する主な原因は, 太陽光を原因とする擬似点灯である. そのため, 夜間は信号機を見つけることさえできれば, 何色が点灯中かは容易に判断ができると考える. そこで, 見分けやすさに関しては, 昼間についてのみ定量化する.

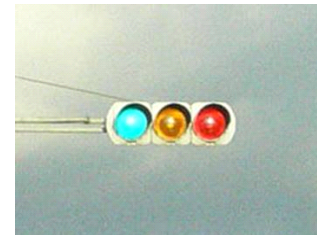


図 3 太陽光による擬似点灯. 太陽光が入射することで, 非点灯中の信号灯の輝度が上昇することで, 何色が点灯中か見分けにくくなる.

(図 2). 本研究では, 交通信号機の視認性を上記 2 つの尺度で別々に定量化する. また, 交通信号機の視認性に影響を与える要因を視認性決定要因と呼び, 以下の定量化では視認性決定要因をもとに“見つけやすさ”と“見分けやすさ”を定量化する.

見つけやすさの視認性決定要因をその性質により 3 つのグループにわけ, 表 1 に示す. 対象物と背景の特徴量の差が大きいほど, 信号機を見つけやすいとする.

日中太陽光が直接信号機を照らしている時, 全ての信号灯が点灯中のように見えることがある. これは擬似点灯と呼ばれ, 特に従来の電球式信号灯で発生しやすい(図 3).

擬似点灯が発生すると, 本来点灯していないはずの信号灯の輝度も上昇し, 点灯中の信号灯と, 非点灯中の信号灯との間の輝度の差が低下する. そのため, 何色が点灯中か見分けにくくなる.

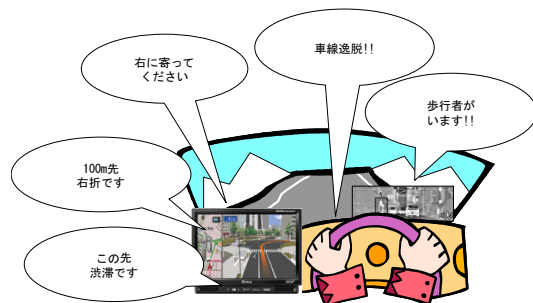


図 1 車内で運転者に与えられる情報の例. カーナビやヘッドアップディスプレイからの視覚的情報や走行支援システムからの音声情報が提供される.

### 3 画像特徴を用いた交通信号機の視認性定量化手法

ここでは, 上述した交通信号機の視認性に与える様々な要因の影響度合いを, 画像処理を用いて特徴量として抽出し, 交通信号機の視認性を定量化する方法について述べる. 視認性は見つけやすさと見分けやすさの 2 つの観点で定量化する. 交通信号機を含む画像を入力とし, 視認性指標 (見つけやすさ指標, 見分けやすさ指標) を出力とする. 本文で用いる交通信号機に関する用語の定義を図 4 に示す.

#### 3.1 見つけやすさ

交通信号機をとりまく環境は, 昼と夜で大きく異なる(図 5). そこで, 見つけやすさの定量化は, 昼と夜で

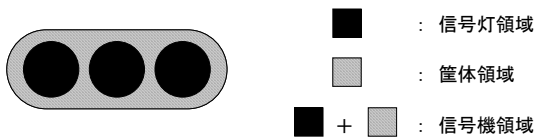


図4 交通信号機に関する語句の定義.

わけて考える.

### 3.1.1 昼間の見つけやすさ

昼間の見つけやすさの定量化には複雑度を用いる. Paulmierらは視野の輝度分布が一様ではない条件下で, 対象物の視認性と背景の複雑度の関係について検討している [9]. 背景を様々な均一な濃度の矩形領域の集合とし, 対象物の近傍領域内に含まれる領域境界の数を背景の複雑度と定義し, 複雑度が増すほど対象物の視認性が低下すると結論付けている. 交通信号機は対象物内に輝度変化があるため, 背景の複雑度のみではなく対象物の複雑度も考慮し, その差を指標とする.

まず対象物の周辺領域を大まかに領域分割し, 対象物に隣接する領域のみを近傍領域(隣接背景領域)とする. 領域分割には, Dengらによって提案されているJSEGを用いる [10]. JSEGは, 量子化された同一色の画像上の空間的な分布をもとに, 画像を一様なカラーテクスチャを持つ部分領域に分割する. JSEGをカラー画像に適用した結果と, 視認性指標の計算に用いる隣接背景領域を図6に示す. 隣接背景領域数を  $N$  とした場合, 昼間の見つけやすさの指標  $X_{day}$  を次式で計算する.

$$X_{day} = \sum_n^N w_n |CE - CE_n| \quad (1)$$

ここで,  $w_n$  は信号機領域と隣接背景領域の周囲長比に基づく重み係数,  $CE$  は信号機領域の平均エッジ強度,

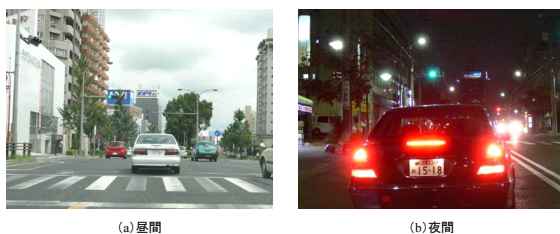


図5 交通信号機をとりまく環境の変化. 昼間は交通信号機と背景領域の輝度差が小さく, 視認性が低下しやすい. 夜間は背景の輝度が低いため基本的に視認性は高いが, 視野内に信号機以外の光源が多く存在する場合は視認性が低下しやすい.

$CE_n$  は各隣接背景領域の平均エッジ強度である. 重み係数  $w_n$  は信号機領域の境界画素数  $b$  と各隣接背景領域の境界画素数  $b_n$  の比  $b_n/b$  であり, 各領域のエッジ強度は, RGB各成分ごとに Sobel フィルタを適用し, それら3成分のエッジ強度の平均とした.

### 3.1.2 夜間の見つけやすさ

入力画像からグレア源を検出し, 各グレア源の等価光幕輝度に, 形状特徴の差・誘目度・グレア感レベルを重みとして乗算し, 画像内の全グレア源の総和を計算する.

グレア源は, 大津の方法 [11] で2値化して得る. グレア源の照度  $E_v$  を, グレア源を構成する領域の平均輝度  $E'_v$  で近似し, グレア源と対象物のなす角  $\theta$  を, 画像中でのグレア源領域の重心と点灯中の信号灯領域の重心の間のユークリッド距離  $\theta'$  で近似する. 各グレア源の等価光幕輝度を次式で計算する.

$$L' = \frac{k E'_v}{\theta'^n} \quad (2)$$

式(2)における  $k$  と  $n$  の値は, 対象とする視野範囲の広い Stiles & Crawford によって提案された定数  $k = 10, n = 2$  を用いる [12]. 視野内のグレア源の数を  $G$  とすると, 視野全体のグレア源が対象物の視認性に与える影響の度合いは各グレア源の等価光幕輝度の総和で表される. 夜間の見つけやすさ指標は, 式2を基本として, これに円形度 ( $\beta_1$ ) と色誘目度 ( $\beta_2$ ) およびグレア感レベル ( $\beta_3$ ) に対応する重みを乗算する. 誘目度とは, 色相毎の“注意の引きやすさ”であり, 文献 [13] では, 5つの色光についての誘目性尺度値が示されている. ここでは色相の線形補間により任意の色光の誘目性尺度値を得た. グレア感とは, グレア源の存在によって人間が感じる不快さの程度であり, 9つの光色(赤, 黄, 緑, 青, および色温度 2500K, 3300K, 4200K, 6500K, 14000K) について定義している [14].

以上3つの重みを各グレア源の等価光幕輝度へ乗算し, 画像全体の総和を夜間の見つけやすさの指標とする.

$$X_{night} = \sum_g^G \beta_1 \beta_2 \beta_3 L'_g \quad (3)$$

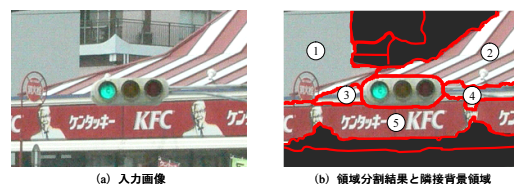


図6 JSEGによる領域分割の例. (b) 赤色の画素が領域境界. 隣接背景領域数は5.



図7 各指標の典型的な例

### 3.2 昼間の見分けやすさ

入力画像から、各信号灯領域の画素の平均輝度を計算し、点灯中の信号灯とそれ以外の信号灯の間の輝度比を計算する。輝度比が小さいほど見分けにくいことから、輝度比の最小値を計算する。また、入力画像をHSV表色系に変換し、同様に彩度比を計算する。点灯中の信号灯の平均輝度を  $b$ 、平均彩度を  $s$ 、それ以外の信号灯の平均輝度を  $b_i (i = 1, 2)$ 、平均彩度を  $s_i (i = 1, 2)$  とし、昼間の見分けやすさの指標を次式で求めた。

$$Y_{day} = \alpha \min \frac{b - b_i}{b} + \beta \min \frac{s - s_i}{s} \quad (4)$$

## 4 実験および結果

### 4.1 評価実験

各指標の典型的な例を図7に示す。これらの画像に対する被験者実験の結果を用いて、視認性指標と人間の知覚の一致率を計算した。

視認性指標の計算に用いた画像は、顕著な色飽和を避けるために、絞りの値を7.1と大きな値で撮影した。そのため、特に夜間に撮影された画像は画像全体が暗く、運転者から見た視界状況とは大きく異なる。そこで、被験者実験のために、データ収集の際に同時にオートモードで撮影した画像を、肉眼で見たときと同程度の画像として被験者提示用に用意した。指標毎に画像20枚を用意し、20枚の画像の全組合せ  ${}_{20}C_2 = 190$  対をランダムに被験者に提示した。そして、より信号機を見つけやすい、もしくは、より点灯中の信号灯を見

表2 各指標の一致率。

指標	一致率% (正解画像対数/画像対数)		
	(a) 6 - 0	(b) 5 - 1	(c) 4 - 2
$X_{day}$	79(33/42)	83(40/48)	70(50/71)
$X_{night}$	100(49/49)	80(49/62)	49(28/57)
$Y_{day}$	95(90/95)	80(33/41)	56(20/56)

表3 提案指標と従来法の一致率

((a) 6名 - 0名)の比較。

指標	一致率% (正解画像対数/画像対数)	
	提案指標	従来手法
$X_{day}$	79 (33/42)	64 (27/42)
$X_{night}$	100 (49/49)	90 (44/49)
$Y_{day}$	95 (90/95)	95 (90/95)

分けやすい画像を選択させた。各画像対を6名の被験者が評価し、被験者の回答の多数決をとった。その結果と提案手法により計算された視認性指標による結果が等しければ正解とした。

### 4.2 視認性指標と人間の知覚の一致率

被験者実験により作成された正解をもとに、提案手法により計算された各指標と、人間の知覚との一致率を計算した。6名の被験者の回答の分かれ方毎に一致率を計算した結果を表2に示す。1つの画像対について、6名の被験者の回答の分かれ方は(a)6名-0名(b)5名-1名(c)4名-2名(d)3名-3名の4通りあるが(d)については正解を判定できないため、一致率は計算しなかった。また、回答の分かれ方が(a)の場合の、提案指標と輝度情報のみで定義された従来手法[15]による一致率の比較を表3に示す。

## 5 考察

夜間の見つけやすさ指標  $X_{night}$  と昼間の見分けやすさ指標  $Y_{day}$  については、被験者6名全員が同一の画像を回答した画像対において、それぞれ100%、95%の一致率で、良好に信号機の視認性を定量化できた(b)5名-1名(c)4名-2名に回答が分かれた画像対については、被験者によって回答が異なることから、個人の視覚特性が影響していることを考慮しなければならない。そのため、画像特徴のみを用いた提案手法では、正確な認識は困難であると考えられ、実験結果からもこのことが確認された。昼間の見つけやすさ指標  $X_{day}$  の一致率が他の指標に比べて低かった。提案手法では、信号機領域と背景領域間の特徴量の差を計算し、被験者実験においても信号機領域を見つけやすい画像を選択させた。しかし、画像によっては、被験者が無意識

のうちに, 信号機領域ではなく, 信号灯領域に注目した可能性が考えられる. そのため, 筐体領域と背景領域の色の類似度によって, 注目領域を変化させる必要がある.

## 6 まとめ

画像特徴を用いて交通信号機の視認性を定量化する手法を提案した. 交通信号機の視認性を見つけやすさと見分けやすさの2つの尺度に分け, それぞれ人間の視覚特性に基づいて, 画像から視認性に影響を及ぼす特徴を抽出し, 抽出された特徴量をもとに視認性指標を計算した. 提案手法の有効性を確かめるために被験者実験を行い, 提案した視認性指標と人間の知覚との関係を調べた. その結果, 夜間の見つけやすさ指標  $X_{night}$  は一致率100%, 昼間の見分けやすさ指標  $Y_{day}$  は一致率95%という結果が得られ, 良好に運転者から見た交通信号機の視認性を定量化できていることを確認した.

今後は, 筐体領域と背景領域の色の類似度によって, 注目領域を変化させるなどの昼間の見つけやすさに関する指標の改良や, 視認性指標に運転者の個人特性を組み込みことが課題である. また, 実際のシステムにむけて, 交通信号機の位置検出手法と組み合わせた処理の実装や, 視線検出装置との組み合わせることによる更なる情報提供機会の限定方法の検討が課題である.

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏, 被験者実験に御協力頂いた中京大学鳥脇・目加田ゼミ諸氏に感謝する. 被験者実験に関してご助言を頂いた名古屋大学教授三輪和久先生に深謝する. 本研究の一部は, 科学研究費補助金による. 本研究では, 画像処理に MIST ライブラリを使用した.

(<http://mist.suenaga.m.is.nagoya-u.ac.jp/>)

## 参考文献

- [1] 警察庁, “交通事故統計,” <http://www.npa.go.jp/toukei/koutuu44/home.htm>.
- [2] トヨタ自動車株式会社, “TOYOTA クラウン マジェスタ, レーンキーピングアシスト,” <http://toyota.jp/crownmajesta/dynamism/body/>.
- [3] 島 伸和, 馬場崎 正博, 秋月 義樹, 本田 加奈子, 樋口 崇, 東田 博文, 中村 隆一, “運転支援システム用フュージョンセンサの開発,” 富士通テクノ報, Vol.19, No.1, pp.31-39, July 2001.
- [4] M. Pettitt, G. Burnett and A. Stevens, “Defining Driver Distraction,” Proc. World Congress on Intelligent Transport Systems, pp.1-12, November 2005.
- [5] 北村 康宏, 畑山 俊輝, “自動車運転時の聴覚情報への対応課題がドライバーに与える影響—生理的・行動的变化から—,” 国際交通安全学会誌, Vol.30, No.3, pp.327-332, Fall 2005.
- [6] F. Lindner, U. Kressel and S. Kaelberer, “Robust Recognition of Traffic Signals,” Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2004, pp.49-53, June 2004.
- [7] M. Wada, T. Yendo, T. Fujii and M. Tanimoto, “Road-to-vehicle Communication using LED Traffic Light,” Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2005, pp.601-606, June 2005.
- [8] 照明学会, “照明ハンドブック第2版,” オーム社, 2003.
- [9] G. Paulmier, C. Brusque, V. Carta and V. Nguyen, “The Influence of Visual Complexity on the Detection of Targets Investigated by Computer Generated Images,” Lighting Research and Technology, Vol.33, No.3, pp.197-205, May 2001.
- [10] Y. Deng, B. S. Manjunath and H. Shin, “Color Image Segmentation,” Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 1999, Vol.2, pp.446-451, June 1999.
- [11] N. Otsu, “A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, January 1979.
- [12] W. S. Stiles and B. H. Crawford, “The Effect of a Glaring Light Source on Extragoveal Vision,” Proc. Royal Society of London. Series B, Vol.122, No.827, pp.255-280, April 1937.
- [13] 神作博, “色光の誘目性について,” 照明学会誌, Vol.51, pp.684-690, 1967.
- [14] 謝明燁, 宗方淳, 平手小太郎, “光色の違いがグレア感の評価と許容度に与える影響に関する研究,” 照明学会誌, vol.89, No.11, pp.788-793, July 2005.
- [15] F. Kimura, T. Takahashi, Y. Mekada, I. Ide, H. Murase, T. Miyahara and Y. Tamatsu, “Measurement of Visibility Conditions toward Smart Driver Assistance for Traffic Signals,” Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007, pp.636-641, June, 2007.