

# Method to Quantify the Visibility of Traffic Signals for Driver Assistance

Fumika Kimura Non-member (Nagoya University)

Yoshito Mekada Non-member (Chukyo University, y-mekada@sist.chukyo-u.ac.jp)

Tomokazu Takahashi Non-member (Gifu Shotoku Gakuen University)

Ichiro Ide Non-member (Nagoya University)

Hiroshi Murase Non-member (Nagoya University)

Yukimasa Tamatsu Non-member (DENSO CORPORATION)

**Keywords** : Traffic Signal, Visibility, ITS

This paper proposes a method to quantify the visibility of traffic signals from images based on human visual properties. Information given to drivers in vehicles is increasing as practical use of active safety technologies for preventing traffic accidents. Current driving support systems make use of visual or audio interface to inform the drivers.

However, with the realization of various systems, a problem called "Driver distraction" distracts the drivers' attention from the driving operation. Because of information overload, it is worried that a system intended for preventing accidents may lead to actually increase the number of accidents. Therefore, each driving support system has to appropriately reduce the information to provide the drivers with.

Considering these problems, the work in this paper focuses on the visibility of a target as a criterion for reducing such

information and proposes a system that provides information only where its visibility is low. To realize the system, a method to quantify the visibility of a target using image features is needed. In this paper, traffic signals are selected as targets. Methods that detect and recognize traffic signals and provide information have already been proposed, but drivers do not actually need all the information. Therefore, information given to drivers need to be provided selectively. There are two situations when it is difficult for drivers to see traffic signals:

- when a driver cannot find a traffic signal
- when a driver cannot recognize the color.

Hence, the visibility of traffic signals is defined by the following two criterions (Fig. 1).

- Detectability of traffic signals
- Discriminability of signal lamps

It is well known that the visibility of an object is mainly influenced by the luminance difference against its background. But in the case of a complex visual field like actual road environment, many other factors influence the visibility. Therefore, based on the knowledge on the visibility of a general object, this paper first selects the factors that influence the visibility of traffic signals and then, influence of each factor is calculated using image features.

To evaluate the performance of the proposed method, the experiment with subjects using actual images was conducted. The visibility of traffic signals quantified by the proposed method was compared with the result to evaluate if it reflects human perceptions. The result showed that the proposed method can basically quantify the visibility of the traffic signals well.

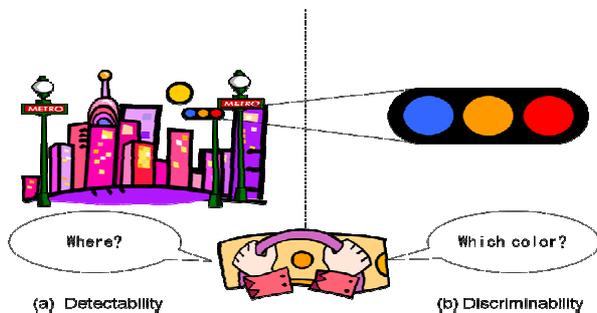


Fig. 1. Two kinds of traffic signal's visibility.

# 運転者支援のための交通信号機視認性数値化手法

非会員 木村 文香\*      非会員 目加田慶人\*\*  
 非会員 高橋 友和\*\*\*      非会員 井手 一郎\*  
 非会員 村瀬 洋\*      非会員 玉津 幸政\*\*\*\*

## Method to Quantify the Visibility of Traffic Signals for Driver Assistance

Fumika Kimura\*, Non-member, Yoshito Mekada\*\*, Non-member, Tomokazu Takahashi\*\*\*, Non-member, Ichiro Ide\*, Non-member, Hiroshi Murase\*, Non-member, Yukimasa Tamatsu\*\*\*\*, Non-member

We propose a method to recognize the visibility of traffic signals from a driver's perspective. The more that driver assistance systems are equipped for practical use, the more information that is being provided for drivers. So each information provision system should select appropriate information based on the situation. Our goal is to realize a system that quantifies the visibility of traffic signals from images taken by in-vehicle cameras and appropriately provides information to drivers.

In this paper, we propose a method to measure visibility by two criteria, detectability and discriminability. Each index is computed using image processing techniques. Experiments using actual images showed that the proposed indices correspond well to human perception.

キーワード：交通信号機, 視認性, ITS

**Keywords:** Traffic Signal, Visibility, ITS

### 1. まえがき

交通事故が起き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）の進歩などにより、交通事故による死亡者数は減少傾向にある<sup>(1)</sup>。しかし、交通事故の発生件数や軽症者数は未だ多く、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。交通事故の半数以上は交差点で発

生しており、交差点における事故防止のためには信号無視、脇見運転、漫然運転などを減少させることが課題となる。交通信号機や道路標識は交通の安全性を高めるために設置してあり、その視認性は一般的に高いにも関わらず、運転者の不注意により見落とされることがある。運転者に道路状況を知らせてこの見落としを低減させるために、車載カメラ映像から信号灯や道路標識の検出と認識に関する様々な研究がなされている<sup>(2)</sup>。また、車車間通信、路車間通信を利用したインフラ協調型の安全支援システムの開発も盛んにおこなわれている<sup>(3)</sup>。

これら運転支援情報は、視覚的もしくは聴覚的に運転者に提示されることとなる。たとえば歩行者検出システムでは、結果を映像としてヘッドアップディスプレイに表示し、警告音とともに運転者に注意を促す<sup>(4)</sup>。視覚情報提示機器を運転中に見ることは脇見につながり危険であるため、主として音声による情報提示が使われている。しかし、音声による情報提示もやはり余分な負荷を運転者に与えることが報告されている<sup>(5)</sup>。運転以外の行動により運転者の注意力が低下する問題（ドライバディストラクション）を解決するための一手法として、多量の情報の中から運転者から見にくい情報のみを選択して提示することが考えられる。そのための基準として視認性の数値化があげられる。

本論文では、人間の視覚特性を考慮した信号機の視認性

\* 名古屋大学大学院情報科学研究科

〒464-8601 愛知県名古屋市中種区不老町

Graduate School of Information Science, Nagoya University  
Furo-cho, Chikusa, Nagoya, 464-8601

\*\* 中京大学情報理工学部

〒470-0393 愛知県豊田市海津町床立 101

School of Information Science & Technology, Chukyo University

101, Tokodachi, Kaizu, Toyota, 470-0393

\*\*\* 岐阜聖徳学園大学

〒500-8288 岐阜県岐阜市中鶯 1-38

Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University

1-38, Nakauzura, Gifu, 500-8288

\*\*\*\* (株)デンソー

〒448-8661 愛知県刈谷市昭和町 1-1

DENSO CORPORATION

1-1, Showa-cho, Kariya-shi, Aichi, 448-8661

の数値化法を提案する。交通事故削減の観点から最も重要な交通信号機を対象とする。

以下、2章で情報の運転者への提示に関連する研究を概観し、3章で提案する手法全体の構成と交通信号機の視認性に関する各種要因とをまとめ、4章でそれぞれの要因を定量化する手法について述べ、実験、考察と続ける。

## 2. 情報提示に関する従来研究

カーナビゲーションシステムの地図に、あらかじめ事故多発交差点や踏切など危険な場所を登録しておくことで、該地点に接近した際に音声と画面表示で注意喚起を行うシステムが実用化されている。しかし、運転者の視界状況は天候や時間、周囲環境によって大きく変化することから、前もって登録された場所のみでの情報提供では不十分である。

Fletcherらは、運転者の顔を撮影するカメラ画像から、顔の向きや眼球の動きを計算し、その向きから運転者が見えていない物体を推測することで、運転者の視線が向いていない物体について情報提供を行うシステムを提案している<sup>(6)</sup>。しかしこのシステムは、“意識の脇見”を考慮していない。意識の脇見とは、視線はある物体に向いているものの、意識が疎かになっている状態のことを指し、特に車載情報システムからの過度な情報提供やテレコミュニケーションシステムの発達により、運転中に“意識の脇見”が発生しやすいことが指摘されている<sup>(7)</sup>。そのため、このシステムだけでは、運転者に与える情報を選択するのには不十分である。

運転者の視界や運転者から見た物体の視認性を認識する研究も行われている。Hautièreらは、眼のコントラスト感度関数を考慮して、画像から人間の眼に見えるエッジを検出する手法を提案している<sup>(8)</sup>。しかし、物体の視認性に影響を与えるのはコントラストだけではないため、この手法で物体の視認性を推定するのは困難である。

既に実用化されている歩行者検出システム<sup>(4)</sup>も、夜間、運転者から見えにくい歩行者についての情報を提供するという点で、物体の視認性を考慮したシステムであるといえる。Kidonoらは更に、運転者から見た歩行者の視認性を認識し、運転者に提供する情報を削減する手法を提案している<sup>(9)</sup>。近赤外線カメラで撮影された画像と、可視光カメラ画像との差分を計算することで、運転者の目では知覚できない距離に存在する歩行者を検出する。運転者が知覚できる歩行者についての情報提供を控えるシステムを提案している。

いずれの場合も、時々刻々と変化する道路環境中の交通信号機に特有の視認性を考慮した情報提示には利用が困難なものである。

## 3. 交通信号機の視認性

一般物体の視認性は、JIS Z8113で規定されている照明用語で、「対象物の存在、または形状の見やすさの程度」と定義されている<sup>(10)</sup>。従来画像処理により交通信号機の視認性を数値化する研究はない。一方で、心理学の分野では点

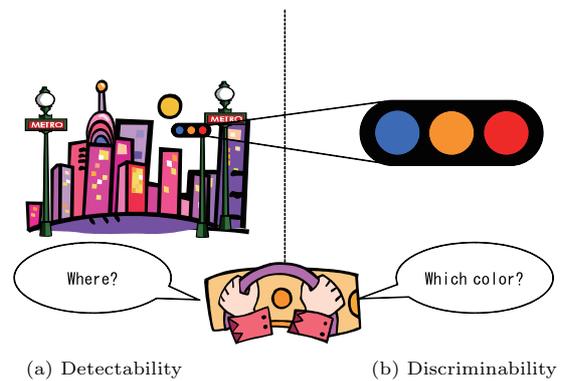


Fig. 1. Visibility of traffic signal

光源などを対象に見つけやすさの要因に関する知見は得られている。そこで我々は、これら心理の知見を利用して信号機の視認性を数値化する事を考える。

運転者の交通信号機に対する視認性は、大きく次の2通りに分けて考えることができる。

- 信号機の見つけやすさ (detectability)
- 信号灯の見分けやすさ (discriminability)

前者は、視野の中でどれだけ信号機自体を見つけやすいかどうかを意味し、一般物体でいうところの“対象物の存在の見やすさ”に対応する。一方後者は、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どうかを意味し、交通信号機特有の視認性であると考えられる(図1)。本稿では、上記2つの観点から、交通信号機の視認性を数値化する。

この視認性は信号機単独だけでなく、その周辺環境が強く影響を与える。特に、昼と夜といった外界の明るさの違いは影響が強いため、図2のような構成で信号機の視認性の定量化を試みる。ここで、夜間の信号灯の見分けやすさが含まれていないのは、夜間は信号機が見つけられれば何色が点灯しているかが明らかであるからである。

**〈3・1〉 信号機の見つけやすさ** 交通信号機の周辺環境は昼と夜で大きく異なり、その視認性に影響を与える要因も異なるため、見つけやすさの数値化は昼と夜で処理を分ける。

**〈3・1・1〉 昼間の見つけやすさ** 昼間の見つけやすさの数値化には複雑度を用いる。視野の輝度分布が一様な実験室的環境の場合、対象物の存在の見やすさは、対象物とその背景との輝度差や複雑度の差などにより決定される。対象物の視認性について得られている知見の多くは、対象物を点光源とし、視野の輝度分布が一様な実験室的環境で検証が行われている。Paulmierらはこのような従来研究の制限を問題点とし、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証している<sup>(11)</sup>。背景を様々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ことを報告している。信号機の筐体の視認性の数値化を目的と

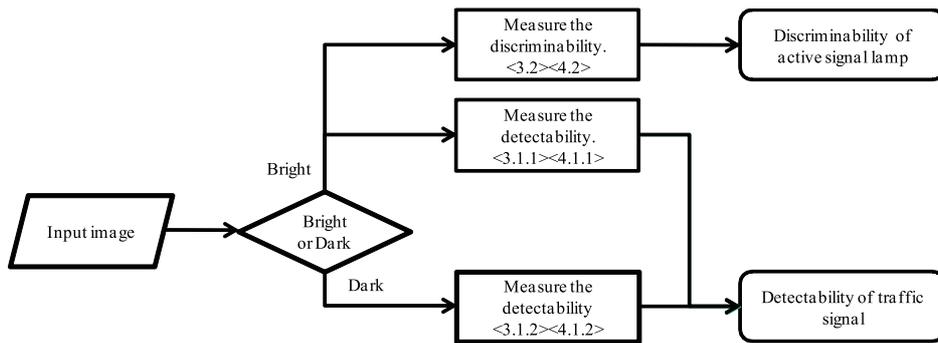


Fig. 2. System over view and corresponding subsections.

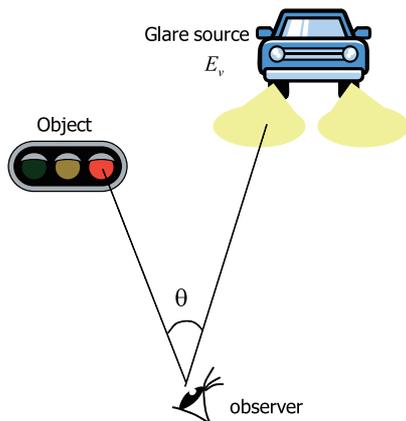


Fig. 3. Relation between glare source and target object.

する本研究の場合、2.6で後述する問題もあり、複雑度を利用することとした。

**〈3・1・2〉 夜間の見つけやすさ** 夜間の見つけやすさの数値化には、周辺視野に存在するグレア源の形状とその色特徴に着目する。

視野全体に他の車のヘッドランプやネオンサインのような交通信号機と同程度の輝度を有する物体が多い場合には、交通信号機の視認性が低下する。このように対象物の視認性を低下させる視野内の高輝度物体のことをグレア源と呼ぶ<sup>(12)</sup>。視野内にグレア源が存在すると、目の不快感や視覚機能の低下が生じ、結果的に本来視認したい対象物の視認性が低下する。グレア源が対象物の視認性に与える影響の度合いは、等価光幕輝度として次式で定義されている(図3)。

$$L = \frac{kE_v}{\theta^n} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $k, n$  は定数であり、 $E_v$  はグレア源の照度 [lx]、 $\theta$  は対象物とグレア源のなす角である。また、視野内に複数のグレア源が存在する場合、各グレア源の等価光幕輝度の加算が成立する。(1)式はグレア源の位置と照度のみを考慮しているが、実際にはグレア源の形や色も対象物の視認性に影響を与える。例えば、グレア源の有する形状特徴が信号機の形状特徴に似ているほど、信号機を見つけにく

くなる<sup>(13)</sup>。

色特徴に関しては、グレア源の誘目度とグレア感レベルに着目する。誘目度とは、光の色相の違いによる“注意の引きやすさ”や“目立ちやすさ”の違いである。視野内に対象物以外に誘目度が高い物体が存在すると、そちらに注意を引かれ、対象物の視認性が低下する。神作は赤、黄、緑、青、白の5つの色光について、被験者実験を通してその誘目性を相対的に評価している<sup>(14)</sup>。誘目度は色相のほかにも、彩度、明度によっても変化し、彩度または明度が上昇するほど、誘目性は高くなる。

また、グレア源はその色相によって、グレア感が異なる<sup>(15)</sup>。グレア感とは、視野内にグレア源が存在することで観察者が感じる不快さを表し、グレア感が増すと対象物の視認性が低下する。文献<sup>(15)</sup>で謝らは、9つの光色(赤、黄、緑、青、および色温度 2500K、3300K、4200K、6500K、14000K)のグレア感レベルを調査し、被験者実験の結果から、光色のグレア感レベルは大きく4つのグループ(低・中・高・最高)に分けられている。

**〈3・2〉 信号機の見分けやすさ** 見分けやすさの数値化には、輝度比と彩度比を用いる。日中太陽光が直接信号機を照らしている時、全ての信号機が点灯中のように見え、何色が点灯中か見分けにくい場合がある。これは擬似点灯と呼ばれ、特に電球式信号機で発生しやすい。擬似点灯が発生すると、本来点灯していない信号機の輝度も上昇し、点灯中の信号機と、非点灯中の信号機との間の輝度の差が減少する。

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  $\frac{\Delta B'}{B}$  を明度識別閾値と呼ぶ<sup>(13)</sup>。以下では  $\frac{\Delta B'}{B}$  を輝度比と呼び、見分けやすさの数値化に用いる。輝度比と同様の考え方で、点灯中の信号機と、非点灯中の信号機との間の彩度比を計算し、見分けやすさ指標に用いる。

**4. 画像特徴を用いた交通信号機の視認性数値化手法**

第3章で述べた交通信号機の視認性を画像特徴を用いて計算する。以降では、実際の視認性と、画像の中での視認

性とが比例関係にあると仮定し、物体の輝度は各画素の画素値で近似している。

〈4・1〉 見つけやすさの数値化

〈4・1・1〉 昼間の見つけやすさ 対象物と背景の複雑度（エッジ強度）の差を、昼間の見つけやすさの指標とする。複雑度の評価にはエッジ強度を用いることが多く、単位面積あたりに含まれるエッジが多いほど、画像が複雑であるとみなすことができる。エッジ強度の差が大きいほど、信号機を見つけやすいと考える。文献<sup>(11)</sup>は、背景領域の複雑さが視認性に与える影響を調べたものであり、計算機により生成した輝度が一様で大きさが異なる矩形領域により構成された画像を用い、対象周りに存在する矩形領域境界の数を複雑度としていたが、実画像にそのまま適用はできない。そこで、本論文では矩形領域の数をエッジ強度の総和と近似した。また、同文献では対象物内の輝度は均一と仮定しているが、交通信号機自体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<sup>(16)</sup>。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4に示す。

隣接背景領域数を  $N$  とした場合の、昼間の見つけやすさの指標  $X_{day}$  を次式で計算する。

$$X_{day} = \sum_n^N w_n |CE - CE_n| \dots \dots \dots (2)$$

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、 $CE_n$  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うち信号機領域境界にもなっている画素数  $b_n$  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。図4(b)では、領域分割境界を赤線で示している。この例では、信号機領域に接する領域数  $N$  は5であり、 $CE$  は信号機領域内の平均エッジ強度、 $CE_n$  は5つの領域内の平均エッジ強

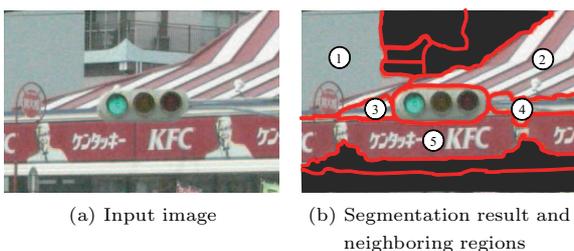


Fig. 4. An example of a segmentation result by JSEG. There found five neighboring regions.

度である。

〈4・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。

入力画像から大津の方法<sup>(17)</sup>を用いて閾値を決定し、閾値以上の領域をグレア源として検出する。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機領域の重心の間のユークリッド距離  $\theta'$  で近似する。(1) 式の各グレア源の等価光幕輝度を次式で求める。

$$L' = \frac{10E'_v}{\theta'^2} \dots \dots \dots (3)$$

(1) 式における  $k$  と  $n$  の値には諸説あるが、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<sup>(18)</sup>。

夜間の見つけやすさ指標は、(3) 式を基本として、他の特徴量を重みとして乗算する。

領域形状特徴  $R$  を次式を用いて計算する。

$$R = \frac{S}{\pi L_{max}^2} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、領域の面積を  $S$  とし、領域の重心から領域境界までの最大長を  $L_{max}$  とする。この特徴は、連続空間では最大値が1となり、領域が円形であるほど大きな値をとる。点灯中の信号機の特徴を  $R_o$ 、グレア源の特徴を  $R_g$  とし、信号機とグレア源の特徴の差を用いて、等価光幕輝度への重み  $\beta_1$  を(5) 式で定義する。

$$\beta_1 = 1 - |R_o - R_g| \dots \dots \dots (5)$$

次に誘目度を重みとして乗算する。文献<sup>(14)</sup>では、表1に示す5つの色光についての誘目性尺度値しか示されていないため、HSV 色空間で補間することとする。

等価光幕輝度は、白色光を仮定しているため、まず白色光の誘目性尺度値が1.00となるように、各色光の誘目度の値に定数1.29を加算する。色相が赤 ( $H = 0^\circ$ ) から緑 ( $H = 120^\circ$ ) にかけて変化するとともに、誘目性尺度値が低下する。あるグレア源  $g$  の平均色相、平均彩度、平均明度をそれぞれ  $h_g, s_g, v_g$  とすると、HSV 色空間内での線形補間によりグレア源  $g$  の誘目度関数  $C(h_g, s_g, v_g)$  を定める。具体的には、色相  $h_g$  に対して (6) 式を用いて誘目度尺度値、 $C_h(h_g)$  を得る。

Table 1. The attention value of color light<sup>(14)</sup>.

color light	attention value
White	-0.29
Green	-0.16
Yellow	0.26
Blue	0.43
Red	1.00

Table 2. Glare level<sup>(15)</sup> and defined glare level function.

Group	color light	Glare level	xy chromaticity		Glare level function <i>GL</i> ( <i>x</i> , <i>y</i> )
			<i>x</i>	<i>y</i>	
1	Green	low	-	$y \geq 0.56$	0.50
2	3300K, Yellow, 2500K, Red, 4200K	medium	-	$0.36 \leq y < 0.565$	0.75
3	6500K, 14000K	high	$x \geq 0.255$	$y < 0.36$	1.00
4	Blue	very high	$x < 0.255$		1.25

$$C_h(h_g) = \begin{cases} -\frac{0.74}{60}h_g + 2.29 & (0^\circ \leq h_g < 60^\circ) \\ -\frac{0.42}{60}h_g + 1.97 & (60^\circ \leq h_g < 120^\circ) \\ \frac{0.59}{120}h_g + 0.54 & (120^\circ \leq h_g < 240^\circ) \\ \frac{0.57}{120}h_g + 0.58 & (240^\circ \leq h_g < 360^\circ) \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

彩度, 明度についてそれぞれ (7) 式, (8) 式を順に適用して最終的な誘目度関数を得る。

$$C_{hs}(h_g, s_g) = (C_h(h_g) - 1) s_g + 1 \dots\dots\dots (7)$$

$$C(h_g, s_g, v_g) = C_{hs}(h_g, s_g) \times v_g \dots\dots\dots (8)$$

この誘目度関数を, 等価光幕輝度への重み  $\beta_2$  として用いる。

最後に各グレア源のグレア感レベルを計算し, 重み  $\beta_3$  とする。文献<sup>(15)</sup>では, グレア感レベルは4段階の順序尺度で表されている。そのため, 以下の実験ではグレア感レベルを数値化し, グレア感レベル関数として用いる(表2)。ここでは, 表2グループ3の白色光のグレア感レベル関数値を1.00とした。

入力画像を xyY 表色系に変換し, 各グレア源の平均 *x* 値  $x_g$  と平均 *y* 値  $y_g$  をグレア感レベル関数に代入し, 重み  $\beta_3$  とする。

$$\beta_3 = GL(x_g, y_g) \dots\dots\dots (9)$$

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。

$$X_{night} = \sum_g \beta_1 \beta_2 \beta_3 L'_g \dots\dots\dots (10)$$

**(4.2) 見分けやすさの数値化** 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  $s_i (i = 1, 2)$ ,  $\alpha, \beta$  を定数とし, 昼間の見分けやすさの指標を次式で求める。

$$Y_{day} = \alpha \min \frac{b - b_i}{b} + \beta \min \frac{s - s_i}{s} \dots\dots\dots (11)$$

## 5. 実験

提案手法により計算された視認性指標が, 交通信号機の視認性と一致しているかどうかを検証するために, 被験者による評価実験をおこなった。実験では, 個人差の影響を少なくするために, 視認性の大小のみを答える対比較による評価をおこなった。

**(5.1) 評価実験** 被験者実験の結果と視認性指標との一致率を求めた。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として撮影した。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。なお, オートモードで撮影した際に白飛びすることがあるが, そのような画像を避けるために, 実験では信号灯の画素の R,G,B 各成分が最大値である255に集中していない画像のみを利用した。被験者は自動車運転免許証を有する20代男女計30名(女性は3名)で, 色覚異常の者は含まれていなかった。被験者は, 当該研究の目的を全く知らされていない大学生ボランティアであり, 免許証の運転の条件欄に眼鏡等とある場合には, その条件で実験をおこなった。

**(5.1.1) 被験者実験による正解の作成** 指標毎に画像20枚を用意し, 20枚の画像の全組合せ  ${}_{20}C_2 = 190$  対を左右に並べて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, より点灯中の信号機を見つけやすい画像を選択させ, 画像対が被験者には同定できないように作られたアンケート用紙に記入させた。被験者はランダムに6名ずつ5グループに分けられ, 各指標に対応する実験毎に38組の画像対に対する回答をおこなった。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。

## 6. 結果と考察

**(6.1) 視認性指標の計算** 提案手法を実画像に適用して, 視認性指標を計算した。前方向向き車載カメラで撮影された静止画像を用いて, 4章で述べた視認性指標の値を計算した。実験で使用した画像は, 絞りを7.1に固定し, 昼はシャッター速度を1/800秒, 夜は1/400秒とした。提案手法で考慮した要因以外の影響を取り除くため, 実験に使用する画像に以下の条件を設けた。

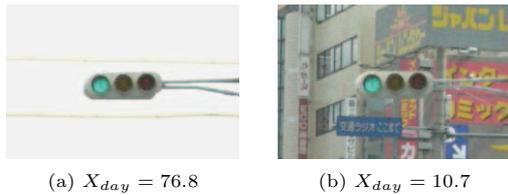


Fig. 5. Example images for detectability in the daytime and their index.

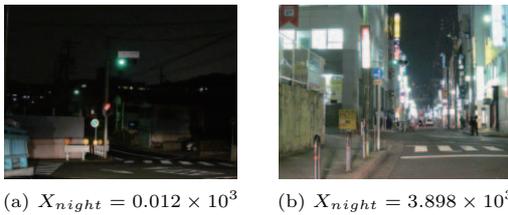


Fig. 6. Example images for detectability in the nighttime and their index.

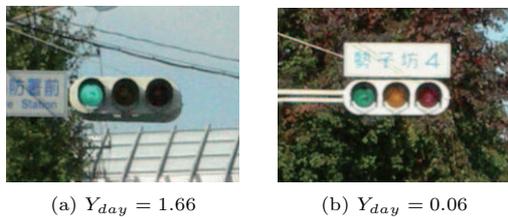


Fig. 7. Example images for discriminability in the daytime and their index.

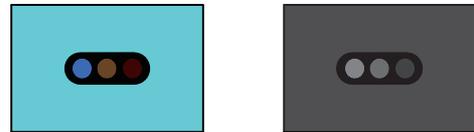
- 昼の見つけやすさ  
同一の信号機画像（信号機領域のみを切り出した画像）を様々な背景画像に合成
- 夜の見つけやすさ  
画像内で点灯中の信号機的位置・大きさは等しい
- 昼の見分けやすさ  
灰色の筐体領域を持つ信号

また、点灯中の信号機の色の違いによる影響を取り除くため、青信号が点灯中の画像のみを用いて実験を行った。指標の計算に必要な信号機や信号機の切り出しは人手で行った。実験に使用した画像例と求められた指標値を図5から図7に示す。

〈6・1・1〉 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の一致率を表3に示す。例えば、この表の  $X_{day}$  行、(a) 6 - 0 列は、ある特定の画像 A と画像 B の対について6名の被験者の意見がすべて一致して画像 A (または画像 B) と答えたような画像対が42対あり、そのうち指標  $X_{day}$  の値が大きかった画像が被験者の指摘した画像と一致していた数が33であり、これらの一一致率が79%であったことを示したものである。つまり、この一致率が高いということは提案指標値の大小と人間の特性とが一致していることを示している。1つの画像対について

Table 3. Accuracy rate of each index.

Index	Accuracy rate (correct pairs/total pairs)		
	(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)



(a) Dominant part is body (b) Dominant part is lamp of traffic signal

Fig. 8. The dominant part of the traffic signal which affects visibility.

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通りがあるが、(d) については正解を判定できないため除外した。なお、個人間や5つの被験者グループ間に特徴的な結果の差は見られなかった。

〈6・2〉 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%の一致率であり、良好に信号機の視認性を数値化できた。(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。

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。提案指標は信号機領域と背景領域の間の特徴量の差であるが、画像によっては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。例えば、図8 (a) の場合、背景領域と筐体領域の色の違いが顕著なため、筐体領域を見つけやすいと感じる。しかし、逆に筐体領域と背景領域の色が類似している場合、被験者は信号機領域と背景領域ではなく、信号灯領域と背景領域の色の対比に注目しやすいと考えられる (図8 (b))。予備実験で利用した輝度差に基づく昼間の見つけやすさ指標は、本論文で提案した指標に比べて人間の知覚との一致が低かった。人は状況に応じて視認性判断の手掛かりを変えており、このことが昼間の見つけやすさ指標の一致率が他に比べて低かった一因であると考えられる。

## 7. むすび

画像特徴を用いて交通信号機の視認性を数値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が人間の知覚と一致しているかどうかを調べた。

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た。今回の実験は静止画像に対するものであるため、直前の状況が判断に加わる運転時とは異なるものの、人間の視覚特性に対応した数値化は実現された。

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  $X_{day}$  の改良や、より実際の運転時の状況に近い状態下での実験、赤や黄信号への適用、視認性指標に運転者の個人特性を組み込みむこと、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などが課題である。

### 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、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST および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/>)

(平成 21 年 4 月 22 日受付, 平成 22 年 1 月 2 日再受付)

### 文 献

- (1) 警察庁: 「交通事故統計」, <http://www.npa.go.jp/toukei/koutuu44/home.htm>.
- (2) F. Lindner, U. Kressel, and S. Kaelberer: "Robust Recognition of Traffic Signals", Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2004, pp.49-53 (2004-6)
- (3) 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 (2005-6)
- (4) 本田技研工業 (株): 「HONDA インテリジェント・ナイトビジョンシステム」, <http://www.honda.co.jp/news/2004/4040824a.html>
- (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 (2005)
- (6) L. Fletcher, G. Loy, N. Barnes, and A. Zelinsky: "Correlating Driver Gaze with the Road Scene for Driver Assistance", Robotics and Autonomous System, Vol.52, Issue 1, pp.71-84 (2005-7)
- (7) 塩谷 真・小田島崇・畑岡信夫・西本卓也・小林哲則: 「テレマティクスにおける Mind Distraction 低減のための分散型状況依存対話制御システムの検討」, FIT2003 イベント企画, 車載情報システムにおけるインターフェース, September (2003)
- (8) N. Hautière and D. Aubert: "Visible Edges Thresholding: a HVS based Approach", Proc. 18th International Conference on Pattern Recognition, Vol.2, pp.151-160, (2005-6)
- (9) K. Kidono and Y. Ninomiya: "Visibility Estimation under Night-time Conditions using a Multiband Camera", Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007, pp.1013-1018 (2007-7)
- (10) 日本工業標準調査会: 「JIS Z 8113 照明用語」, 財団法人日本規格協会 (1998)
- (11) 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 (2001-5)
- (12) 日本色彩学会: 「色彩科学ハンドブック第 2 版」, 東京大学出版会 (1998)
- (13) 照明学会: 「照明ハンドブック第 2 版」, オーム社 (2003)
- (14) 神作 博: 「色光の誘目性について」, 照明学会誌, Vol.51, pp.684-690 (1967)
- (15) 謝 明輝, 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 (2005-7)

- (16) 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 (1999-1)
- (17) N. Otsu: "A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Vol.SMC-9, No.1, pp.62-66 (1979-1)
- (18) 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 (1937-4)

木村文香 (非会員) 2006 年名大・工・情報工学科卒業, 2008 年名大・情報科学・メディア科学専攻修了。現在、トヨタ自動車 (株)。在学中、ITS に関する研究に従事。



目加田 慶人 (非会員) 1991 年名大・工・情報卒業。1996 年同大学大学院博士修了。同年宇都宮大工学部情報工学科助手, 2001 年名大大学院工学研究科情報工学専攻助教授, 2004 年中京大学生命システム工学部教授, 2008 年より情報理工学部教授。2006 年から 2010 年名大大学院工学研究科特任教授を兼任。画像処理・パターン認識とその医用応用に関する研究に従事。博士 (工学)。1998 年日本医用画像工学会論文賞, 2002 年 FPGA/PLD Design Conference 審査委員特別賞, MIRU2004 優秀論文賞, 2005 年 CADM 館野賞。電子情報通信学会, IEEE, 日本医用画像工学会各会員。



高橋 友和 (非会員) 1997 年茨城大・工・情報卒業。2000 年同大学院理工学研究科博士前期課程修了。2003 年同研究科博士後期課程了。博士 (工学)。同年より 2 年間名古屋大学大学院情報科学研究科 COE 研究員。2005 年より日本学術振興会特別研究員, 2008 年より岐阜聖徳学園大学准教授。3 次元画像処理ならびに 3 次元モデリングの基礎研究に興味を持つ。電子情報通信学会, 画像電子学会会員。



井手 一郎 (非会員) 1994 年東大・工・電子卒業。1996 年同大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了。2000 年同研究科電気工学専攻博士課程修了。博士 (工学)。同年国立情報学研究所助手。2004 年より名古屋大学大学院情報科学研究科助教授, 情報・システム研究機構国立情報学研究所客員助教授 (連携) 兼任。この間、2002 年~2004 年総合研究大学院大学数物科学研究科助手併任, 2005, 2006 年フランス情報学・統計システム研究所 (IRISA) 招聘教授。映像メディア処理全般に興味を持っている。1995 年第 51 回情報処理学会全国大会奨励賞受賞。電子情報通信学会, 人工知能学会, 情報処理学会, IEEE Computer Society, ACM 各会員。



村 瀬 洋 (非会員) 1978 年名大・工・電気卒業。1980 年



同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社(現 NTT) 入社。1992 年から 1 年間米国コロンビア大客員研究員。2003 年から名古屋大学大学院情報科学研究科教授。現在に至る。文字・図形認識, コンピュータビジョン, マルチメディア認識の研究に従事。工博。1985 年電子情報通信学会学術奨励賞, 1994 年 IEEE-CVPR 最優秀論文賞, 1995 年情報処理学会山下記念研究賞, 1996 年 IEEE-ICRA 最優秀ビデオ賞, 2001 年高柳記念奨励賞, 2001 年電子情報通信学会ソサエティ論文賞, 2002 年電子情報通信学会業績賞, 2003 年文部科学大臣賞, 2004 年 IEEE Trans. MM 論文賞, 他受賞。電子情報通信学会, 情報処理学会会員, IEEE フェロー。

玉 津 幸 政 (非会員) 1987 年, 九州工業大学制御工学科卒



業。同年, (株) デンソーに入社。車両制御システムの開発に従事後, 走行環境センシングシステムの開発に従事し, 現在に至る。