

複数の画像特徴の統合による道路標識の視認性推定手法

～ 車載カメラ画像への適用と評価 ～

道満 恵介[†] 出口 大輔[†] 高橋 友和^{††} 目加田慶人^{†††} 井手 一郎[†]
村瀬 洋[†] 玉津 幸政^{†††}

[†] 名古屋大学 大学院情報科学研究科 〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部 〒 500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38

^{†††} 中京大学 情報理工学部 〒 470-0393 愛知県豊田市海津町床立 101

^{††††} 株式会社デンソー 〒 448-8661 愛知県刈谷市昭和町 1-1

E-mail: †{kdoman,ddeguchi,ttakahashi,mekada,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 近年、様々な運転支援システムが自動車に搭載されるようになってきており、今後もその数は増加するものと考えられる。しかし、それらのシステムから過度の量の情報がドライバに供給されると、ドライバディストラクションの原因になるおそれがある。それを避けるためのアプローチの一つとして本研究では、見落としやすい、つまり視認性が低くかつ重要な物体の情報のみをドライバに提示することによる情報の取捨選択を考える。これまでに我々は、道路標識と背景の画像特徴のコントラストに基づく複数の画像特徴の統合により道路標識の視認性を推定する手法を提案してきた。しかし、実標識画像ではなくイラストで作成された標識画像を用いた有効性評価しか行われておらず、実環境下における有効性評価が不十分であった。そこで、提案手法の推定精度を車載カメラ画像を用いた被験者実験により評価し、その有効性を確認した。

キーワード 視認性推定, 道路標識, 車載カメラ, 画像特徴, ドライバディストラクション, ITS

A method for the estimation of traffic sign visibility based on the integration of multiple image features

- Application to in-vehicle camera images and its evaluation -

Keisuke DOMAN[†], Daisuke DEGUCHI[†], Tomokazu TAKAHASHI^{††,†},

Yoshito MEKADA^{†††}, Ichiro IDE[†], Hiroshi MURASE[†], and Yukimasa TAMATSU^{††††}

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan

^{††} Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University, Gifu, Gifu, Japan

^{†††} School of Information Science & Technology, Chukyo University, Toyota, Aichi, Japan

^{††††} DENSO CORPORATION, Kariya, Aichi, Japan

E-mail: †{kdoman,ddeguchi,ttakahashi,mekada,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract In recent years, the number of driving safety support systems in a car has been increasing. However, too much information provided from the systems may cause driver distraction. One of the approaches to avoid such a problem is to alert the driver only with the information on objects that are easily-missed, or in low-visibility and important. In order to detect the low-visibility of a traffic sign, we have proposed a method that estimates traffic sign visibility focusing on the contrasts of image features between a traffic sign and its surrounding region. However, only the simulation evaluations with artificial traffic sign images has done. In this paper, we investigate the performance of the proposed method in realistic environments and show its effectiveness.

Key words Visibility estimation, Traffic sign, In-vehicle camera, Image feature, Driver distraction, ITS

1. はじめに

近年、様々な運転支援システムが自動車に搭載されるようになってきており、今後もその数は増加するものと考えられる。しかし、それに伴って運転操作中にドライバーに与えられる情報も増加することが予想される(図1)。処理しきれないほどの情報はドライバーに対して過負荷となり、ドライバーディストラクション(ドライバーの注意散漫)の原因になるおそれがある[1]。そのため、運転支援システムから供給される情報をドライバーの状況や周囲環境に応じて適切に取捨選択する技術が必要不可欠であると考えられる。

例えば道路標識の視認性に関して、照明条件の異なるシーンにおいて撮影された2枚の車載カメラ画像を図2に示す。各画像には2つずつ道路標識(規制標識)が撮影されているが、それら道路標識の視認性は異なる。特に、図2(b)のようなシーンにおいては道路標識の視認性が低く、ドライバーが見落とす可能性が高いと考えられる。視認性が低くかつ重要な物体の情報のみをドライバーに提示することができれば、nuisance-freeな(不快感のない)安全運転支援システムを実現することができる。

ドライバーの見落としに関して、視線計測器を用いてドライバーの視線が向いていない物体の情報を提示するための研究[2]がある。しかしながら、視線が物体に向いているということとその物体を認知しているということは必ずしも一致しない。この現象は“意識の脇見”と呼ばれ、運転時における各種車載システムからの過度な情報提供等により発生しやすくなることが報告されている[3]。そのため、ドライバーの視線方向のみから運転者に与える情報を選択するだけでは不十分である。一方で、情報を取捨選択するための一つの基準として視認性に着目し、車載カメラを用いて物体の視認性を推定する研究[4-6]がある。車載カメラを利用することでドライバーからの見た目に近い画像が得られるため、ドライバーからの視認性を推定するのに適していると考えられる。また、ドライバーの視線が明らかに物体から外れている場合には視線情報のみを利用し、物体の周囲に向いている際には視認性を利用するというように、視線情報に基づくアプローチと視認性に基づくアプローチは併用が可能である。

そこで本研究では、ドライバーの視線が対象物体の周囲に向いている状況において、それに関する情報の提示の有無をいかに制御するかを考える。そのために、車載カメラを用いて物体の視認性を推定するアプローチに注目する。これまでに我々は、交通安全において重要な役割を担う道路標識を対象とし、車載カメラを用いた道路標識の視認性推定手法を提案した[7]。しかしながら、実標識画像ではなくイラストで作成された標識画像を用いた評価しか行っておらず、実環境下における有効性評価が不十分であった。

そこで本稿では、これまで提案してきた道路標識の視認性推定手法[7]を実際の車載カメラ画像に適用し、有効性を評価した結果について報告する。以降、2節では関連研究について述べ、3節では、車載カメラを用いた道路標識の視認性推定手法について述べる。続く4節では、提案手法の有効性を評価するための被験者実験について述べる。最後に5節でまとめる。



図1 運転支援システムからドライバーに供給される情報の例



(a) 道路標識の視認性が高いシーン



(b) 道路標識の視認性が低いシーン

図2 異なるシーンにおける道路標識の視認性比較

2. 関連研究

人間の視覚的注意は、ポップアウト(無意識的注意)と視覚探索(意識的注意)という異なる過程の相互作用からなると考えられている[8]。本稿では、ポップアウトによる視覚的注意

の引きやすさを誘目性、視覚探索による視覚的注意の引きやすさを視認性と区別して呼ぶ。以降、誘目性推定および視認性推定に関する研究についてそれぞれ述べる。

誘目性推定に関する研究：Ittiらは、顕著度画像（saliency map）を用いて人間の視覚的注意を引きやすい領域を計算するモデルを提案している [9]。この顕著度画像は様々な研究で応用されており、その有効性が示されている [10]。ただし、ポップアウトは被験者の心理状態や知識・興味、事物の予期の有無等に大きく影響を受ける。一方、自動車の運転操作は、外界の状況をすばやく認知し、そこから適切に判断し行動しなければならないという特殊なタスクであるため、ドライバーには常に高い負荷が掛かる。Ittiらの視覚的注意モデルはそのような状況を想定しておらず、運転中のドライバーに対してもそのまま当てはまるとは考えにくい。実際に、運転時の状況を想定した被験者実験において、この計算モデルでは妥当な結果が得られなかったという報告例 [11] もある。

視認性推定に関する研究：視覚探索の計算モデルに関しては、文献 [12] にまとめられている。しかしながら、現在までに提案されているモデルの多くは実用性に欠ける。車載カメラを用いた道路標識の視認性推定手法としては、Siegmannらの手法 [4] や Simonらの手法 [5] 等がある。しかし、Siegmannらの手法では輝度情報のみに着目しており、人間の視覚特性が十分に考慮されていない。また、Simonらの手法では対象物体の見えのみに着目しており、対象物体とその周辺背景とのコントラストが及ぼす視認性への影響が十分に考慮されていない。これに対して、木村らは、交通信号機と背景とのエッジ強度のコントラストを考慮したモデルベースの視認性推定手法 [6] を提案している。しかし、交通信号機と道路標識の間には、特に色や形状の多様性に大きな違いがあり、道路標識の視認性には色特徴やテクスチャ特徴などエッジ特徴以外のコントラストも大きく影響することが考えられる。

以上のことから、本研究では、複数の画像特徴のコントラストを考慮した道路標識の視認性推定手法に注目する。

3. 車載カメラ画像を用いた道路標識の視認性推定手法

本研究では、図3に示すように、検出、領域分割、視認性評価の3つの処理により道路標識の視認性を推定することを考える [7]。以降、処理の流れについて順に述べる。

Step 1: 道路標識の検出

入力画像に対して道路標識の検出処理を行い、入力画像上での道路標識の位置とサイズ、種類の情報を取得する。なお、道路標識の種類情報は、後述する特徴量の計算方法を道路標識の色や形状等に応じて変えるために利用する。

Step 2: 標識周辺画像の領域分割

実際の交通シーンでは道路標識の周辺領域内に画像特徴の異なる複数の領域が存在しうするため、背景の全領域からまとめて特徴抽出を行うべきではない。そこでまず、検出された各道路標識に対して、標識領域 s とその周辺の背景領域 \mathbb{B} を切り出した画像（以降、「標識周辺画像」）を得る。その後、背景領域 \mathbb{B}

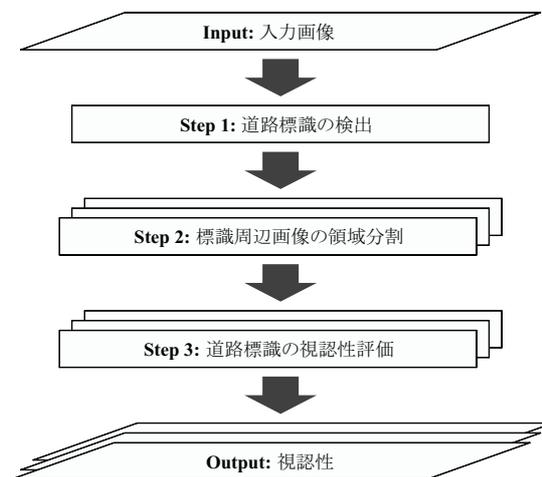


図3 提案手法における処理の流れ



(a) 標識周辺画像

(b) 領域分割結果

図4 標識周辺領域に対する領域分割の例

を複数の部分背景領域 b_n に分割する。4節の実験で使用する標識周辺画像およびそれらに対して上記の領域分割処理を適用した結果を図4に示す。

Step 3: 道路標識の視認性評価

一般に、前景と背景との間の色やエッジ、テクスチャ特徴のコントラストが大きいほど対象の視認性が高くなる（表1）。そこで本研究では、それら3種類の画像特徴を統合し、視認性評価に利用することを考える。以降、視認性推定のための画像特徴量の計算処理、重み付け処理、統合処理について順に述べる。

Step 3-1: 画像特徴量の計算

(a) 色特徴：標識領域と背景領域それぞれにおける平均色を計算し、それらの間のユークリッド距離を色特徴 X_1 として利用する（表1(a)）。

(b) エッジ特徴：標識領域と背景領域それぞれにおけるエッジ強度を Sobel フィルタを用いて計算し、その差をエッジ特徴 X_2 として利用する（表1(b)）。

(c) テクスチャ特徴：標識領域と背景領域それぞれにおける正規化色ヒストグラムを計算し、それらの間の Bhattacharyya 距離をテクスチャ特徴 X_3 として利用する（表1(c)）。

Step 3-2: 画像特徴量の重み付け

各部分背景領域 $b_n \in \mathbb{B}$ について、面積が大きくかつ標識領域 s までの距離に近いほど、道路標識の視認性への寄与は大きくなると考えられる。そこで、標識領域 s と各部分背景領域 b_n

表 1 前景 - 背景間のコントラストと視認性の関係

画像特徴	特徴量 (前景 - 背景間のコントラスト)	
	高	低
(a) 色特徴 X_1 (平均色)		
(b) エッジ特徴 X_2 (エッジ強度)		
(c) テクスチャ特徴 X_3 (色ヒストグラム)		

とで計算される特徴量 $X_i^{(b_n)}$ を用いて、次式のように特徴量 Y_i を計算する。

$$Y_i = \sum_{b_n \in \mathbb{B}} w_{b_n} X_i^{(b_n)} \quad (1)$$

ここで、 $w_{b_n} = A_{b_n}/A_{\mathbb{B}}$ である。 A_{b_n} は標識領域 s の重心画素から部分背景領域 b_n における各画素までの距離の逆数に応じた重み付き面積、 $A_{\mathbb{B}}$ は全ての部分背景領域 \mathbb{B} における A_{b_n} の総和である。

Step 3-3: 画像特徴量の統合

特徴量 $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, Y_3)$ を元に、次式で示す M 次元特徴空間上での線形結合により統合特徴量 Z を計算する。

$$Z = \mathbf{w}^T \boldsymbol{\phi} = \sum_{j=1}^M w_j \phi_j(\mathbf{Y}) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^M w_j = 1 \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_M)$ は基底関数 $\boldsymbol{\phi} = (\phi_1(\mathbf{Y}), \phi_2(\mathbf{Y}), \dots, \phi_M(\mathbf{Y}))$ の重みである。基底関数 $\phi_j(\mathbf{Y})$ に非線形な関数を利用することで、高次元特徴空間を表現できる。

本手法の最終的な出力としては、1次元の統合特徴量 Z を視認性の評価値として利用する。すなわち、検出された各道路標識の視認性の高低を統合特徴量 Z の大小により判定する。

4. 評価実験

本節では、提案手法の有効性を確認するために行った被験者実験の結果について述べる。本実験では、単一の画像特徴のコントラストのみに基づく木村らの手法 [6] を道路標識の視認性推定に適用したものを比較手法として取り上げた。以降、実験方法、実験結果およびその考察について順に述べる。

4.1 実験方法

本実験では、異なる 2 枚の標識周辺画像を用いて複数の標識周辺画像対を作成し、被験者からみた視認性の高低と各手法に

表 2 本実験で対象とする標識カテゴリ

標識カテゴリ	構成する道路標識の種類	種類数
A		27
B		1
C		6
D		20
E		1
F		4

よる視認性評価値の高低がどの程度一致するかどうか(一致率)により各手法の有効性を評価した。以降、評価に使用した標識周辺画像対とそれに対する正解ラベルの付与、視認性推定精度の評価について順に述べる。

4.1.1 標識周辺画像対の作成

まず、警戒標識、規制標識、指示標識に含まれる計 59 種類の道路標識を、見落としの危険性、色や形状の類似性を考慮して 6 つの標識カテゴリに大別した(表 2)。そして、日中の様々な天候の下で撮影された車載カメラ映像から標識周辺画像(225 × 225 pixels)を抽出し、各標識カテゴリにつき 120 対の標識周辺画像対(計 720 対)を作成した。なお、各標識周辺画像対の作成は、それを構成する 2 枚の標識周辺画像の視認性に十分な差が認められるように目視で調整しながら行った。また、各標識周辺画像における標識領域の位置とサイズおよび標識カテゴリは人手により与えた。

4.1.2 標識周辺画像対に対する正解ラベルの付与

標識周辺画像対をランダムに 1 つ被験者に提示し、「道路標識を見つけやすいのはどちらか」という問に対して「左」、「分からない」、「右」のいずれかで回答を得た。このとき、一定時間以内に回答が得られなかった場合は、「分からない」とした。これを、20 名の被験者(20 代 ~ 30 代の男女)それぞれに 108 回ずつ繰り返し、各標識周辺画像対に対して 3 名の被験者から回答を得た。その後、被験者の回答を標識周辺画像対毎に多数決し、これらの結果を各標識周辺画像対に対する正解ラベルとした。なお、各被験者の回答が全て異なった、もしくは最多数の回答が「分からない」となった標識周辺画像対を除外し、残りの 677 対を評価用画像対として利用した。なお本実験では、図 5 に示すようなインタフェースを作成し、対比較に利用した。

4.1.3 視認性推定精度の評価

提案手法、比較手法それぞれによる視認性の推定精度に関しては、次式に示す一致率により評価した。

$$\text{一致率} = \frac{N_a}{N_t} \quad (4)$$

ここで、 N_t は評価用画像対の数、 N_a は評価用画像対のうち推定結果(視認性評価値の高低)と被験者の回答が一致する画像対の数である。

比較手法で利用する画像特徴としては、色特徴(RGB 平均色)、エッジ特徴(エッジ強度)、テクスチャ特徴(L*a*b*色



図 5 実験で利用した対比較インターフェース

表 3 提案手法と比較手法による一致率の比較

	一致率 (N_a/N_t)
提案手法	0.90 (609/677)
比較手法 (エッジ特徴)	0.84 (565/677)

表 4 提案手法における標識カテゴリ毎の一致率

	標識カテゴリ						全体
N_a	100	98	107	105	101	98	609
N_t	114	113	114	111	113	112	677
一致率 (N_a/N_t)	0.88	0.87	0.94	0.95	0.89	0.88	0.90

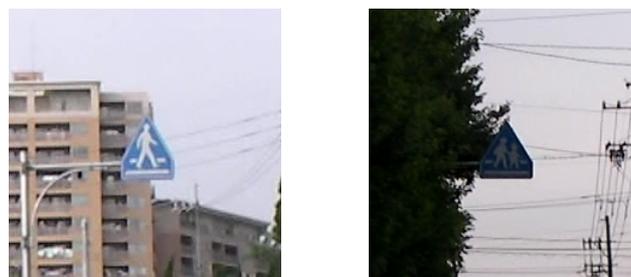
ヒストグラム)の中から最も高い一致率が得られるものをそれぞれ利用した。また、提案手法における基底関数には3次多項式を利用した。各基底関数の重み w_j については、様々な組み合わせを探索し、各標識カテゴリ毎に一致率が最も高くなる w_j を評価に利用した。このとき、重みの学習用セットと評価用セットを分けるため、5-fold cross validation により学習・評価を行った。

4.2 実験結果

実験結果を表3に、提案手法による対象標識カテゴリ毎の一致率を表4にそれぞれ示す。提案手法により被験者の回答と90%一致する推定精度が得られたことから、道路標識の視認性推定に対する提案手法の有効性を確認できた。また、比較手法による一致率は0.84であったが、これはエッジ特徴を用いた場合であった。なお、比較手法において、色特徴を用いた場合の一致率は0.74、テクスチャ特徴を用いた場合の一致率は0.65であった。

4.3 考察

評価に使用した各標識カテゴリの標識周辺画像に対して、提案手法による視認性評価値で並べた例を図6に示す。これを見ると、いずれの標識カテゴリにおいても、道路標識の視認性が高いと思われるものほど提案手法による視認性評価値が高くな



(a) 被験者からみた視認性:高

(b) 被験者からみた視認性:低

図 7 視認性推定に失敗した標識周辺画像対の例 (図 6 から抜粋)

る傾向が確認できる。ただし、カテゴリ F における枠で囲まれた2枚の標識周辺画像に注目すると、この標識周辺画像対に対する被験者の回答と提案手法による視認性評価値の高低が一致していなかった(図7)。図7(b)では、標識領域と背景領域の画像特徴のコントラストは高いものの、標識領域内部の輝度値が低くなっている。そのため、画像中央の物体が対象カテゴリの道路標識であるかどうかを認識することは困難であり、その結果、視認性が低下している。提案手法では、標識領域と背景領域との間の画像特徴のコントラストのみに基づいて視認性を評価しており、このような状況下では正しく視認性を推定できなかったものと考えられる。よって今後は、道路標識の視認性に影響を及ぼす画像特徴に関して、コントラスト以外の要因を分析し、様々な状況下でも有効にはたらく道路標識の視認性推定手法を検討する必要がある。

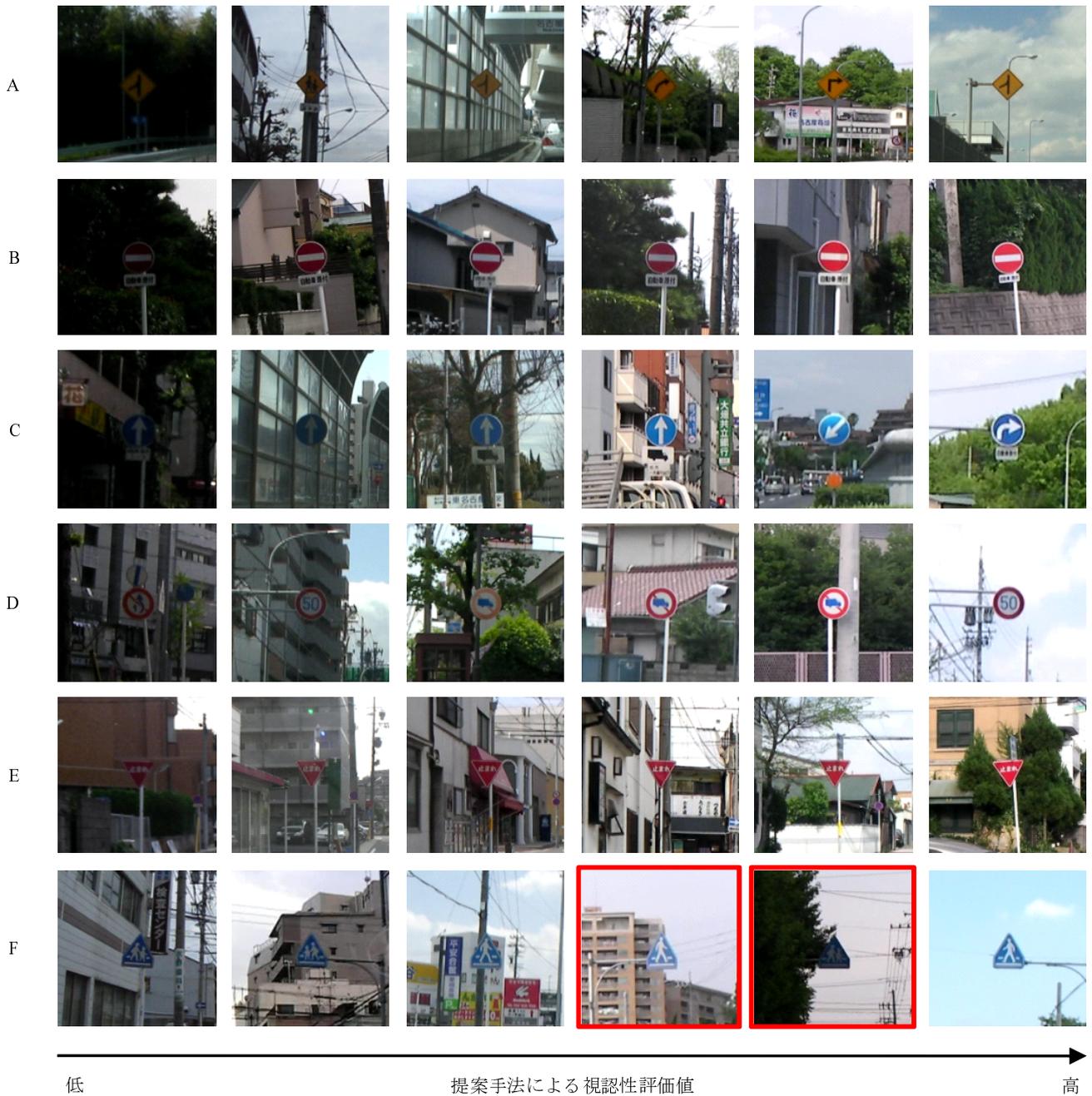
5. まとめ

本稿では、これまで提案してきた道路標識の視認性推定手法 [7] を車載カメラ画像に適用し評価した結果について報告した。車載カメラ映像から抽出した計677対の標識周辺画像対を用いた評価実験の結果、被験者の回答と90%一致する推定結果が得られ、本手法の有効性を確認した。今後の課題として、道路標識の視認性に影響を与える要因の更なる分析、大量の車載カメラ画像を用いた評価実験等が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、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。また、本研究では画像処理に MIST ライブラリ (<http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/>) を使用した。

文献

- [1] M. Pettitt, G. Burnett, and A. Stevens, "Defining driver distraction," Proc. 12th World Cong. on Intelligent Transport Systems, pp.1-12, November 2005.
- [2] L. Fletcher, G. Loy, N. Barnes, and A. Zelinsky, "Correlating driver gaze with the road scene for driver assistance systems," Robotics and Autonomous System, vol.52, no.1, pp.71-84, July 2005.
- [3] 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.
- [4] P. Siegmann, S. Lafuente-Arroyo, S. Maldonado-Bascón, P. Gil-Jiménez, and H. Gómez-Moreno, "Automatic eval-



低 高

提案手法による視認性評価値

図 6 各標識カテゴリにおける評価用標識周辺画像を提案手法による評価値で並べた例

uation of traffic sign visibility using SVM recognition methods,” Proc. 5th WSEAS Int. Conf. on Signal Processing, Computational Geometry & Artificial Vision, pp.170–175, September 2005.

[5] L. Simon, J.P. Tarel, and R. Brémond, “Alerting the drivers about road signs with poor visual saliency,” Proc. 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.48–53, June 2009.

[6] 木村文香, 目加田慶人, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋, 玉津幸政, “運転者支援のための交通信号機視認性数値化手法” 電気学会論文誌, vol.130-C, no.6, pp.1034–1041, June 2010.

[7] K. Doman, D. Deguchi, T. Takahashi, Y. Mekada, I. Ide, H. Murase, and Y. Tamatsu, “Estimation of traffic sign visibility toward smart driver assistance,” Proc. 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.45–50, 2010.

[8] J. Saiki, “Representation of objects and scenes in visual working memory in human brain,” in Representation and Brain, ed. S. Funahashi, pp.103–119, Springer-Verlag, 2007.

[9] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur, “A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.20, no.11, pp.1254–1259, November 1998.

[10] K. Miyazato, A. Kimura, S. Takagi, and J. Yamato, “Real-time estimation of human visual attention with dynamic Bayesian network and MCMC-based particle filter,” Proc. 2009 IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo, pp.250–257, June 2009.

[11] L. Simon, J.P. Tarel, and R. Brémond, “A new paradigm for the computation of conspicuity of traffic signs in road images,” Proc. Int. Conf. of the 26th Session of the CIE, vol.2, pp.161–164, July 2007.

[12] J.M. Wolfe, “Guided Search 4.0: Current progress with a model of visual search,” in Integrated Models of Cognitive Systems, ed. W.D. Gray, pp.99–119, Oxford University Press, 2007.