

車載カメラを用いた道路標識の視認性推定のための画像特徴の検討

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 岐阜県岐阜市中鷺 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 運転時に重要な情報を提示する道路標識に注目し、車載カメラ画像を用いて道路標識の視認性を推定する手法の検討を行った。近年、自動車に搭載される運転支援システムの種類の増加に伴い、それらから供給される情報を適切に取舍選択する技術が重要になりつつある。過度な情報提供は、運転行動への負荷となり、注意力低下や苛立ちの原因になるおそれがある。それを避けるためには、例えば、運転手からの視認性が低く、見落としやすい情報のみを積極的に提示することが考えられる。そこで本研究では、運転時に重要な情報を提示する道路標識に注目し、車載カメラ画像から道路標識の視認性を推定することを考える。本稿では、画像特徴に基づくいくつかの評価指標を取り上げ、道路標識の視認性推定に対する各指標の有効性を被験者実験により調査した結果を述べる。

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 study on image features for visibility estimation of traffic signs using in-vehicle camera

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 This paper reports a study on image features for visibility estimation of traffic signs using in-vehicle camera. Recently, the kinds of driving support systems in a car is increasing. As a result, it is becoming more important to select appropriate information from them for safe and comfortable drive because too much information may cause driver distraction and may increase the risk of a traffic accident. One of the approaches to avoid such a problem is to alert the driver only information which is easy to miss. Therefore, to realize such a system, we focus on estimating the visibility of traffic signs which show a driver important traffic information. In this paper, we pick several features and show the experimental results on their 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いる。例えば、詳細な地図データベースや GPS を

用いて自車位置をリアルタイムにドライバーに知らせる機能を持つカーナビゲーションシステムの登場により、運転時の利便性は飛躍的に向上した。また、遠赤外線カメラを用いて夜間でも良好に前方の歩行者を検出する機能を持つインテリジェント・

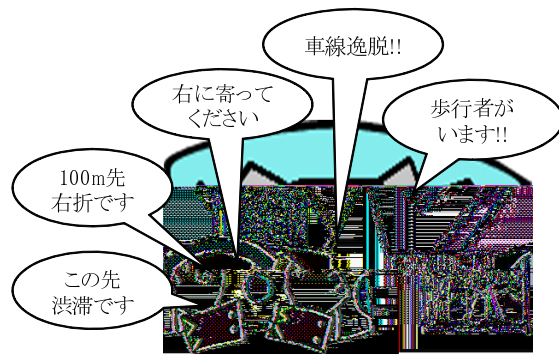


図 1 ドライバに供給される情報の例 [8]

ナイトビジョンシステム [1] は、運転時の安全性を向上させるものとして期待されている。これら以外にも、車線維持 [2] や車間維持 [3] 等、数多くの運転支援システムが実用化されており、今後もその種類は増加するものと考えられる。しかしそれに伴って、図 1 に壅滞持

る．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 [14, 15]．ただし人間の視覚的注意の中でも，特にこの無意識の視覚的注意は，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．これに関して，運転中のドライバ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を課されている状況にあり，常に高い負荷がかかった状態にある．Itti らの視覚的注意モデルではそのような状況を想定しておらず，運転中のドライバに対しても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，Itti らの計算モデルが十分な妥当性を得られなかったという報告例 [16] もある．

意識的な視覚的注意の計算モデルに関しては文献 [17] 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ほとんどは，実環境下での利用に際して十分な実用性に欠ける．Simon らは，対象を特定の道路標識（進入禁止）に限定した上で，車載カメラ画像から意識的な視覚的注意が向きやすい場所を推定する手法を提案している [7]．この手法では，SVM を用いて道路標識の見えの変動をあらかじめ学習し，SVM による識別関数の出力値を顕著度の計算に利用している．しかし，特徴空間における識別境界からの距離と，人間からみた顕著性は必ずしも一致せず，人間の視覚特性が十分に考慮されているとは言い難い．また，このモデルは 1 種類の道路標識に限定した顕著度計算モデルである．また Siegmann らは，道路標識の視認性（可視性）を評価するための手法を提案している [6] が，人間の視覚的特性は考慮されていない．道路標識以外を対象とした例では，車載カメラ画像を用いて交通信号機の視認性を定量化する木村らの手法が挙げられる [8]．木村らは人間の視覚的注意に影響を及ぼす要因を整理し，交通信号機の視認性推定に有効な画像特徴の検討を行っている．また，車載カメラ画像中の交通信号機の周辺（背景）を領域分割し，領域毎に画像特徴量を計算することで，背景の複雑さも考慮している．

本研究では木村らのアプローチを踏襲し，木村らの検討したものをはじめとするいくつかの画像特徴を取り上げる．そして，それら画像特徴の，道路標識の視認性推定に対する有効性を検討する．次節では，検討する画像特徴とその特徴量の計算方法について述べる．

3. 道路標識の視認性推定のための画像特徴

本研究では車載カメラ画像を用いた道路標識の視認性推定手法に注目する．本節では，道路標識の視認性を推定するために次の 3 つに基づく画像特徴（計 4 種類）について検討する．

- (1) 平均色
- (2) 複雑度
- (3) 色分布

なお，物体の視認性には，物体とその周辺の色や形状，テクスチャが大きく影響する．そのため，道路標識とその周辺を含んで切り出された部分画像（以降，「標識周辺画像」）を入力として各特徴量を計算することを考える．図 3 に，4. の実験で使用する標識周辺画像の例を示す．また，標識の背景領域には様々

な特徴が含まれており，背景領域全体を 1 つの領域として特徴を抽出すると，様々な特徴が平均化されることで特徴が失われる．そのため，標識周辺画像を色情報に基づいて分割し，分割された背景領域毎に特徴量を計算することを考える．以降，まず背景を領域分割しない場合における各特徴量の計算方法について述べ，それを基に背景を領域分割する場合の特徴量の計算方法を述べる．

3.1 背景を領域分割しない場合

背景を領域分割しない場合の画像特徴は，標識周辺画像における標識領域以外の領域を 1 つの背景領域とみなして計算する．平均色： 標識領域と背景領域における平均色の差（ユークリッド距離）を特徴量として利用する．まず，標識領域における平均 RGB 値 (R_s, G_s, B_s) ，および背景領域における平均 RGB 値 (R_b, G_b, B_b) を計算する．その後，次式により平均色に基づく特徴量 X_1 を計算する．

$$X_1 = \sqrt{(R_s - R_b)^2 + (G_s - G_b)^2 + (B_s - B_b)^2} \quad (1)$$

複雑度： 標識領域と背景領域の複雑度の差を特徴量として利用する [8]．単位面積当たりに含まれるエッジの量は画像の複雑さを表す特徴量の一つであり [18]，背景の複雑さは対象物の視認性と関係する [19]．そこでまず，ソーベルフィルタを利用して，標識領域における RGB 各成分の平均エッジ強度 E_s ，および背景領域における RGB 各成分の平均エッジ強度 E_b を計算する．その後，次式により複雑度に基づく特徴量 X_2 を計算する．

$$X_2 = |E_s - E_b| \quad (2)$$

色分布： 標識領域と背景領域の色分布の相違度を特徴量として利用する．まず，RGB 各成分において，次式により正規化ヒストグラム間のパタチャリヤ距離を計算する．

$$BD = \sqrt{1 - \sum_i \sqrt{H_s(i)H_b(i)}} \quad (3)$$

ここで， H_s, H_b は，標識領域および背景領域における正規化ヒストグラムである．パタチャリヤ距離は，二つの分布を独立事象と見なしたときのそれらの同時確率に対する自己情報量として定義され，共通のアフィン変換を施しても距離が不変である性質をもつ．RGB 各成分で計算されるパタチャリヤ距離を元に，次式により色分布に基づく特徴量 X_3 を計算する．

$$X_3 = \sqrt{BD_R^2 + BD_G^2 + BD_B^2} \quad (4)$$

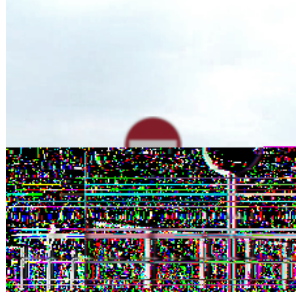
なお，標識領域，背景領域における各色分布がガウス分布 $\mathcal{N}(\mu_s, \Sigma_s), \mathcal{N}(\mu_b, \Sigma_b)$ に従うと仮定すれば，式 (3) は次式と等価となる．

$$BD_{gauss} = \frac{1}{8} \mu_{sb}^T \Sigma_{sb}^{-1} \mu_{sb} + \frac{1}{2} \ln \frac{|\Sigma_{sb}|}{\sqrt{|\Sigma_s| |\Sigma_b|}} \quad (5)$$

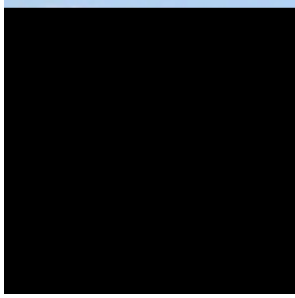
ここで， $\mu_{sb} = \mu_s - \mu_b, \Sigma_{sb} = (\Sigma_s + \Sigma_b)/2$ である．第 1 項は平均ベクトルの差異に基づく距離であり，分散共分散行列の平均行列で両分布状況を代表させた場合のマハラノビス距離である．第 2 項は平均ベクトルに無関係に定まる量であり，両分



(a) 警戒標識 (十字交差点)



(b) 規制標識 (進入禁止)

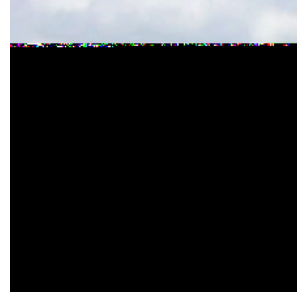


(c) 規制標識 (最高速度)

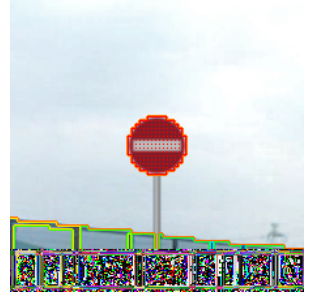


(d) 指示標識 (横断歩道)

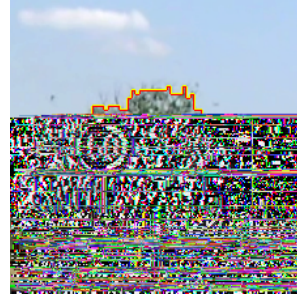
図 3 標識周辺画像の例



(a) 警戒標識 (十字交差点)



(b) 警戒標識 (進入禁止)



(c) 規制標識 (最高速度)



(d) 指示標識 (横断歩道)

図 4 図 3 に対する領域分割の結果

布の分布形状差異に起因する距離である．本稿では，次式により計算される特徴量 X_4 についても検討する．

$$X_4 = BD_{gauss} \quad (6)$$

3.2 背景を領域分割する場合

背景を領域分割する場合には，標識領域と分割された各部分背景領域 $n_b \in \mathbb{N}_b$ とで計算される各特徴量 $X_i^{n_b}$ ($i = 1, \dots, 4$) に対して，各領域の面積に応じた重みを乗算する．すなわち，領域分割を行う際の特徴量 Y_i ($i = 1, \dots, 4$) は，次式のように計算される．

$$Y_i = \sum_{n_b \in \mathbb{N}_b} w_{n_b} X_i^{(n_b)} \quad (7)$$

ここで， $w_{n_b} = A_{n_b} / A_{\mathbb{N}_b}$ であり， A_{n_b} は部分背景領域 n_b の面積， $A_{\mathbb{N}_b}$ は背景領域全体の面積である．

領域分割には，色空間上での距離が人間の知覚的な色の距離感覚と一致する CIE1976L*a*b*表色系を利用する．まず，入力された標識周辺画像を複数画素からなるブロックに分割し，それぞれを独立な領域クラスと考える．このとき，道路標識の位置と大きさ（視認性推定の段階では既知とする）から標識領域を一意的に決定し，標識領域に属する領域クラスをまとめて 1 つの標識クラスとして固定する．その後，標識クラス以外の各領域クラスを注目クラスとして，その隣接クラスとの平均 L*a*b*値の差が閾値以下であった場合に，両クラスを 1 つに逐次統合する．最終的に，上記処理により分割された部分背景領域の集合 $\mathbb{N}_b$ を得る．図 3 に示した標識周辺画像に対して，上記アルゴリズムにより領域分割を行った結果を図 4 に示す．こ

れらの図では，標識領域を網点状のドットで，また分割された各背景領域の境界を異なる色で表している．

4. 評価実験

前節で述べた画像特徴の有効性を確認するために行った被験者実験の結果とその考察について述べる．

4.1 実験準備

本稿で検討する画像特徴量は，標識の種類に関わらず計算可能である．しかし，色・形状の類似性を考慮して，図 5 に示す 6 種類の道路標識を対象として画像特徴の評価に使用した．

また，対象物体の視認性は，品質や配置，撮影条件等により大きく影響を受ける．これらの影響を排除するため，次のように作成された標識周辺画像を評価に利用した．まず，対象とする各道路標識につき，スケールや色合い，明るさ，ぼけやぶれの度合いを揃えたイラスト標識画像^(注1)を用意した．そして，車載カメラ映像中の様々なシーンから抽出された 20 種類の背景画像 (225×225 pixels) の中心に合成した．

4.2 実験方法

次に述べるような手順により被験者実験を行った．まず，標識の種類が同じで背景が異なる 2 枚の標識周辺画像をランダムに選択する．そして，選択された画像対を被験者に提示し，「標識を見つけやすいのはどちらか」を「左」「分からない」「右」のいずれかで回答を得る．対象とする各種類の標識につき同回数の回答を得られるようにしながら，全体で 100 回の回答を得

(注1): イラスト素材【Riguru】(<http://www.riguru.com/>) から購入



図 5 実験で使った道路標識 (形状 / 構成色)

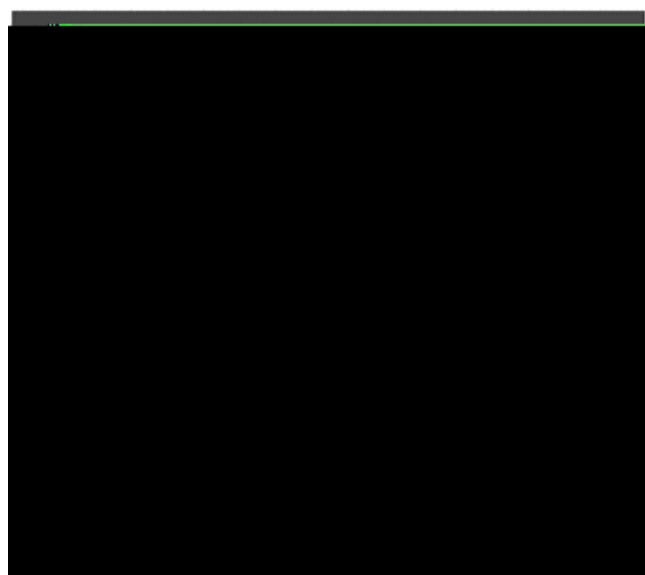


図 6 被験者実験で使った対比較のためのインタフェース

る。上記手順により、20 名の被験者から計 2,000 回の回答を得た。なお本実験では、図 6 に示すようなインタフェースを作成し、実験に利用した。

評価に際しては、各画像対に対して、分割なし/ありの場合に計算される特徴量 X_i/Y_i ($i = 1, \dots, 4$) の大小関係と、被験者からの回答との一致数を計数した。本実験では、この一致率により、各画像特徴の有効性を評価した。なお、被験者から回答が得られた画像対およびその回答のうち、「左」あるいは「右」のいずれかの回答が得られたもののみを一致率の計算に使用した。

4.3 実験結果

実験結果を表 1 に示す。なお、被験者間で矛盾した回答結果が 1 つでも存在する場合には一致率の上限が 100%にならないため、各特徴量による一致率の相対比較のみが意味をもつ。全体として、領域分割をして特徴量を計算する方が、被験者らの回答と最もよく一致する傾向が見られた。また、領域分割をする場合においては、平均色、色分布 (ヒストグラム)、複雑度、

表 1 実験結果：被験者らの回答との一致率による評価

特徴量	一致率
X_1/Y_1 (平均色)	0.66 / 0.74
X_2/Y_2 (複雑度)	0.67 / 0.68
X_3/Y_3 (色分布 (ヒストグラム))	0.67 / 0.69
X_4/Y_4 (色分布 (ガウス分布))	0.57 / 0.58



(a) 被験者らの回答：視認性 低 (b) 被験者らの回答：視認性 高

図 7 被験者らの回答が全員一致した標識周辺画像対 (回答：(a) < (b))



(a) 推定結果：視認性 高 ($Y_1 = 126$) (b) 推定結果：視認性 低 ($Y_1 = 105$)

図 8 図 7 に対する領域分割結果と平均色に基づき計算された特徴量 (Y_1 : (a) > (b))

色分布 (ガウス分布) の順に一致率が高かった。

4.4 考察

本実験において被験者らの回答との一致率が最も高い値を示したのは、平均色に基づく特徴量を用いて道路標識の視認性推定を行った場合であった。これに関して、本研究で対象とする道路標識は、RGB 表色系を構成する色成分でもある赤や青をはじめとする構成色を用いて設計されている。また、本実験では、赤や青の彩度、明度が十分に高い標識画像を使用した。これらの条件下では、赤、緑、青の 3 原色からなる RGB 色空間における平均色の差が、人間 (被験者) からの視認性を推定するのに効果的に作用したものと考えられる。ただし、実環境下に存在する道路標識には、劣化等によって色や形状が変化したものや、設置位置や固定方法、大きさが異なるもの等様々なものが存在する。例えば、退色した道路標識では、道路標識の最大の視覚的特徴である色が薄くなり視認性は低下する。このよ

うな道路標識に対しても、本実験で最良の一致率が得られた平均色に基づく特徴量が視認性推定に有効かどうかは、今後検討の余地がある。

平均色に基づく特徴量による視認性の推定結果と被験者らの回答とが最も一致しなかった標識周辺画像対を図7に示す。また、図7に対する領域分割の結果を、平均色に基づく特徴量 Y_1 の値と併せて図8に示す。この標識周辺画像対に対して回答を行った被験者らは、全員が (a) よりも (b) の方が視認性が高いと判定した (図7)。一方で、この画像対に対して領域分割を行い、平均色に基づく特徴量 Y_1 を計算した結果、(b) よりも (a) の方が特徴量の値が高い (視認性が高い) という結果になった (図8)。視認性に影響を及ぼす要素としては、平均的な色の違いだけでなく、色分布やテクスチャの複雑さも関係する。つまり、平均色に基づく特徴量では色情報しか評価していないことが、被験者らの回答と視認性の推定結果が一致しなかった原因の一つであると考えられる。これに関して、図7に示した画像対に対して、複雑度に基づく特徴量 Y_2 や色分布 (ヒストグラム) に基づく特徴量 Y_3 は、(a) よりも (b) の方が特徴量の値が高かった。つまり、被験者らの回答と一致する視認性の推定結果が得られていた。このように、道路標識の種類 (色、形状) やシーン (背景) によって、人間の視覚特性に一致しやすい特徴量は異なる。そこで、道路標識の種類やシーンに応じた重み付け等により各特徴量を組み合わせて利用することで、一致率を向上させることができると考えられる。

5. ま と め

本稿では、情報過多の防止による nuisance-free な安全運転支援システムの実現に向けた取り組みの一つとして道路標識の視認性に着目し、車載カメラを用いた道路標識の視認性推定のための画像特徴の検討を行った。平均色、複雑度、色分布に基づく計4種類の画像特徴を検討し、各々の有効性を被験者実験により確認した。被験者実験では、スケールや色合い、明るさ、ぼけやぶれの度合いを揃えたイラスト標識画像から作成した標識周辺画像を利用し、対比較によりそれらの視認性を評価した。その結果、検討した4種類の画像特徴のうち、平均色に基づく特徴量から道路標識の視認性を推定した場合が、被験者らの回答と最もよく一致した。

今後の課題としては、人間の視覚特性を考慮した、退色や照明変化等が生じる実環境下に設置された道路標識に対しても有効な特徴量の検討、および道路標識の配置や大きさも考慮した特徴量の検討が挙げられる。また、道路標識の種類やシーンに応じた重み付けによる各特徴量の組み合わせ方法等についても検討していく。

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深く感謝する。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。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] 辻孝之, 服部弘, 渡辺正人: “ナイトビジョンシステムの開発”, Honda R&D Technical Review, vol.13, no.1, pp.151–158, 2001.
- [2] 河上清治, 岩崎克彦, 西田誠: “レーンキーピングアシストの紹介”, Toyota Technical Review, vol.55, no.1, pp.54–59, 2006.
- [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”, 富士通テン技報, vol.19, no.1, pp.31–39, July 2001.
- [4] M. Pettitt, G. Burnett and A. Stevens: “Defining driver distraction”, Proc. 12th World Cong. on Intelligent Transport Systems, pp.1–12, November 2005.
- [5] K. Mori, T. Takahashi, I. Ide, H. Murase, T. Miyahara and Y. Tamatsu: “Recognition of foggy conditions by in-vehicle camera and millimeter wave radar”, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007, pp.87–92, June 2007.
- [6] P. Siegmann, S. Lafuente-Arroyo, S. Maldonado-Bascón, P. Gil-Jiménez and H. Gómez-Moreno: “Automatic evaluation 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.
- [7] L. Simon, J.-P. Tarel and R. Brémond: “Alerting the drivers about road signs with poor visual saliency”, Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2009, pp.48–53, June 2009.
- [8] 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: “車載カメラからの交通信号機の視認性計測”, 第14回画像センシングシンポジウム講演論文集, IN-2-06, June 2008.
- [9] 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, July 2005.
- [10] 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.
- [11] 齋木潤: “視覚認知における知覚と記憶” Technical Report on Attention and Cognition, No.14, March 2005.
- [12] 相良純平, 村上和人: “物体が目立つための視覚的条件について”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 2009 講演予稿集, pp.1456–1461, July 2009.
- [13] 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.
- [14] 渥美雅保: “視覚注意ピラミッド上での確率的な注意選択とシフト”, 第21回人工知能学会全大, 3C9-3, July 2007.
- [15] 福地賢, 宮里洸司, 木村昭悟, 高木茂, 大和淳司, 柏野邦夫: “グラフィコストの逐次更新を用いた映像顕著領域の自動抽出”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 2009 講演予稿集, pp.151–157, July 2009.
- [16] 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.
- [17] J.M. Wolfe: “Guided Search 4.0: Current progress with a model of visual search”, In W. Gray (Ed.), Integrated Models of Cognitive Systems, pp.99–119, New York: Oxford, 2007.
- [18] R.A. Peters II and R.N. Strickland: “Image complexity metrics for automatic target recognizers”, Proc. 1990 Automatic Target Recognizer System and Technology Conf., pp.1–17, October 1990.
- [19] 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.