

Visual Noise を考慮した雨天時の信号機視認性推定

佐藤 竜平[†] 道満 恵介[†] 出口 大輔^{††} 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

^{††}名古屋大学 情報連携統括本部 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

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

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

E-mail: [†]{sator,kdoman}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ^{††}ddeguchi@nagoya-u.jp,

^{††††}y-mekada@sist.chukyo-u.ac.jp, ^{††††}{ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本発表では、雨天時の安全運転支援システムの実現を目的として、車載カメラ画像を用いた信号機の視認性推定手法を提案する。雨天時には、晴天時と比べてドライバの視界が悪くなり、周囲に存在する物体を視認することが難しくなる。特に信号機は道路交通において重要であり、視認性が低い場合にその情報をドライバに提供することは安全運転支援に有効である。従来の信号機の視認性推定手法では、信号機の視認性を推定するためにテクスチャ特徴が用いられている。しかし、従来手法は晴天時を対象としており、雨天時の信号機の視認性を低下させる要因を考慮していない。一方、認知科学の分野の研究により明らかとなった人間の視覚特性の1つに、visual noise による視認性の低下がある。Visual noise は、対象物を見るときに妨害となる物体のことである。フロントガラス上の雨滴は visual noise と見なすことができ、対象物体の視認性を低下させる要因となる。そこで提案手法では、従来手法で利用されているコントラスト特徴とアピアランス特徴に加えて、visual noise 特徴を統合利用する。車載カメラ画像を用いた実験の結果、新たに visual noise 特徴を導入した提案手法によって、雨天時に信号機の視認性を精度良く推定できることを確認した。

キーワード 視認性, 信号機, 雨天, 雨滴, visual noise, ITS

1. はじめに

近年、自動車の運転支援技術に対する需要が高まっている。特に、雨天など悪天候下での運転は、晴天時と比べて難しくなるため、雨天時の運転支援技術の開発に対する期待は大きい。雨天時における運転を困難にさせる主な要因として、フロントガラス上への雨滴の付着が挙げられる。フロントガラス上の雨滴はドライバの視界の妨げとなり、道路交通上重要な物体を見落とす可能性が高くなる。道路交通上重要な物体としては信号機、道路標識、歩行者等が挙げられるが、その中でも信号機は、その見落としが事故に直結するため、特に重要である。そのため、信号機の視認性に応じた情報提供ができれば、自動車事故を防止するための有効な支援となる。そこで本研究では、雨天時における信号機の視認性を推定する技術に注目する。

Kimura らは、信号機とその周りのテクスチャ特徴のコントラストを用いて視認性を推定する手法を提案している [1]。また、晴天時の昼間と夜間に撮影された車載カメラ画像を評価に用いている。この手法は晴天時の視認性推定を目的としているが、雨天時の信号機の視認性は、晴天時とは異なる要因で変化すると考えられる。そのため、Kimura らの手法はそのまま雨天時の信号機の視認

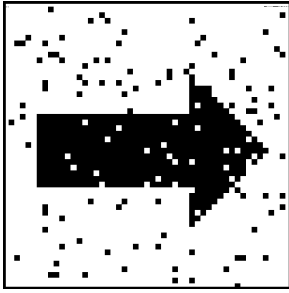


(a) 視認性が高い場合



(b) 視認性が低い場合

図 1 異なる雨天の状況で撮影された同じ信号機の例



(a) Visual noise が少ないとき



(b) Visual noise が多いとき

図 2 Visual noise の例

性推定に利用できない。

雨天時の視認性は、雨滴の量に強く影響を受けると考えられる。図 1 は、フロントガラス上の雨滴量が異なる車載カメラ画像（同じ位置から撮影）中の信号機の様子を示している。図 1(a) に比べて、図 1(b) は多くの雨滴が付着しており、信号機の視認性が低下している。このように、雨滴は雨天時の信号機の視認性を左右する大きな要因の 1 つとなる。そのため、信号機の視認性を推定するには、雨滴の考慮が必要である。

一方、認知科学の分野の研究により明らかとなった人間の視覚特性の 1 つに、visual noise による視認性の低下がある。Visual noise は、対象物を見るときに妨害となる物体のことである。図 2 に visual noise の例を示す。図 2(a) は visual noise が少ない例、図 2(b) は visual noise が多い例を表している。これらには右向きの矢印が書かれているが、図 2(b) の矢印は visual noise により、矢印の形が崩れていることが分かる。そのため、図 2(b) の矢印の視認性は図 2(a) の矢印より低い。Visual noise は視覚特性に基づいたものであり、Shidara と Richmond は動物を用いた実験により、visual noise により動物の動作に遅れが生じることを報告している [2]。

雨天時のドライバの視界を考えた場合、フロントガラス上の雨滴はとても小さく、ドライバの視界を遮る物体となる。そのため、自動車運転時の信号機の視認性を低下させる visual noise と見なすことができる。そこで本発表では、visual noise を考慮した雨天時の信号機の視認性推定手法を提案する。

以降、2. では本研究の関連研究について述べ、3. では提案手法の詳細について述べる。続いて、4. では雨天時に撮影された車載カメラ画像を用いた実験及び結果について述べ、5. では考察を述べる。最後に 6. で本発表をまとめ、今後の課題について述べる。

2. 関連研究

これまでに物体の視認性を推定する手法はいくつか提案されている。Itti らは、顕著度画像 (saliency map) を用いて入力画像中で誘目性の高い領域を計算するモデルを提案している [3]。この顕著度画像は様々な研究で応用され、その有用性が示されている [4], [5]。ただし、無

意識的な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。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、ドライバには常に高い負荷がかかる。Itti らのモデルはそのような状況を想定しておらず、運転中のドライバに対してそのまま当てはまるとは考えにくい [6]。

一方、信号機や標識、歩行者、といった特定の物体の視認性を推定する手法も提案されている。Kimura らは、人間の視覚探索に基づき、信号機とその周りの領域のコントラストから算出されるテクスチャ特徴を用いて、信号機の視認性を推定している [1]。道満らは、このアイデアを標識の視認性推定に応用している [7]。これらの手法では、テクスチャ特徴や物体の見えに基づく特徴などの様々な画像特徴を計算し、統合することで視認性を推定している。また、Engel らは、HOG などの様々な画像特徴に加えて、視線と歩行者の位置関係などの情報を用いた SVR (サポートベクトル回帰) により歩行者の見つけやすさを推定する手法を提案している [8]。これらの手法はすべて、対象物体とその周りのコントラスト、対象物体の見え、を視認性推定に利用している。また、晴天時に撮影された車載カメラ画像を用いた評価実験において、その有効性が確認されている。しかしながら、前述の通り、雨天時にはフロントガラス上の雨滴が visual noise となり、対象物体の視認性が低下する要因となる。そのため、次節では、従来手法で利用されていた特徴に加えて、visual noise の影響を表現する特徴を新たに導入した視認性推定手法を提案する。

3. 雨天時の信号機視認性推定手法

本節では雨天時の信号機の視認性推定手法を提案する。

3.1 アプローチ

提案手法では、コントラスト特徴とアピアランス特徴に加え、フロントガラス上の雨滴を visual noise 特徴として定量化することで信号機の視認性を推定する。具体的には各画像特徴と信号機の視認性推定値 \hat{V} の関係を次式のように定式化する。

$$\hat{V} = F_v(\mathbf{v}) + F_c(\mathbf{c}) + F_a(\mathbf{a}), \quad (1)$$

第 1 項は visual noise 特徴 \mathbf{v} 、第 2 項はコントラスト特徴 \mathbf{c} 、第 3 項はアピアランス特徴 \mathbf{a} による視認性への影響を表現している。なお、各項は利用する特徴の重み付き和で表され、式 (2)~(4) のようになる。

$$F_v(\mathbf{v}) = \mathbf{w}_v \mathbf{v} \quad (2)$$

$$F_c(\mathbf{c}) = \mathbf{w}_c \mathbf{c} \quad (3)$$

$$F_a(\mathbf{a}) = \mathbf{w}_a \mathbf{a} \quad (4)$$

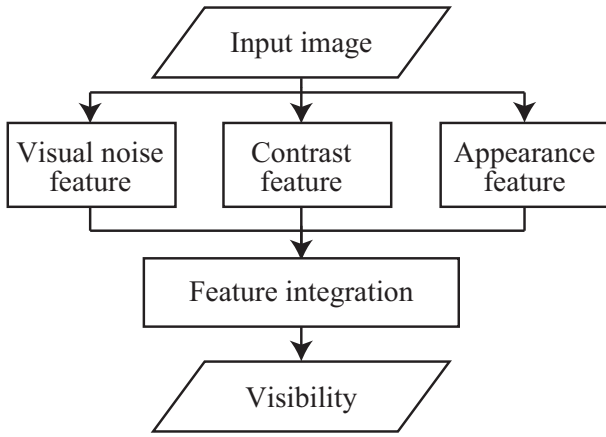


図3 提案手法における視認性推定処理の流れ

ここで、 w_v 、 w_c 、 w_a は、各特徴の重みベクトルを表している。式(1)の統合モデルを用いた視認性推定の流れを図3に示す。入力画像から visual noise 特徴、コントラスト特徴、アピアランス特徴を抽出し、それらを統合することで信号機の視認性評価値を計算する。

3.2 利用する特徴量

提案手法で利用する visual noise 特徴 v 、コントラスト特徴 c 、アピアランス特徴 a について述べる。

3.2.1 Visual noise 特徴 v

運転者の視界中の visual noise の量が増加すると、信号機の視認性が低下する。そこで提案手法では、車載カメラ画像から得られる2種類の visual noise 特徴を計算し、それらを並べたものを visual noise 特徴量 $v = (v_r, v_s)$ とする。ここで、1つ目はフロントガラス上の雨滴の数 v_r であり、もう1つはそれらの雨滴の大きさ v_s である。 v_r および v_s はそれぞれ以下の式で計算される。

$$v_r = N_{\text{rain}}, \quad (5)$$

$$v_s = \frac{1}{N_{\text{rain}}} \sum_{i=0}^{N_{\text{rain}}} S_i, \quad (6)$$

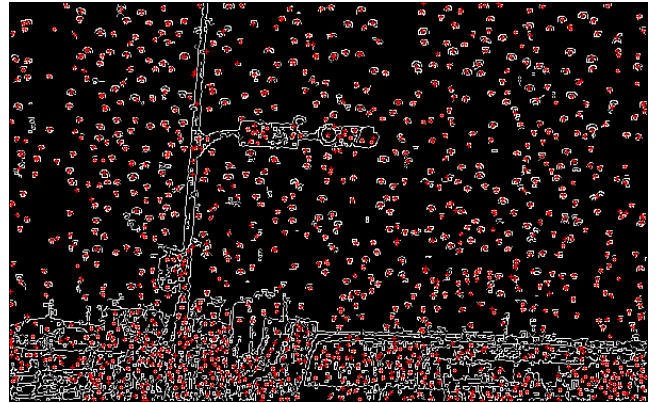
ここで、 N_{rain} は検出された雨滴の数、 S_i は i 番目の雨滴の面積である。これまでに、フロントガラス上の雨滴を検出する手法がいくつか提案されている [9], [10]。提案手法では、文献 [10] の手法を参考にし、単純かつ高速な手法で雨滴を検出する。具体的には、Canny のエッジ検出器により雨滴のエッジを検出し、エッジの円形度、面積に対するしきい値処理により、雨滴を自動検出する。図4に雨滴の検出例を示す。

3.2.2 コントラスト特徴 c

Kimura らは、昼間において信号機とその周りが異なるテクスチャ特徴を持つ場合は信号機を見つけやすくなると報告している [1]。そこで本研究では、空間周波数領域において、信号機とその周りのテクスチャを空間周波数特性の差により評価し、それを信号機の視認性推定に用いる。信号機の幅と高さを W と H とし、図5(a)に示



(a) 入力画像



(b) 検出結果 (白い部分は検出されたエッジを示し、赤い点は雨滴として検出された箇所を示す。)

図4 雨滴の検出例

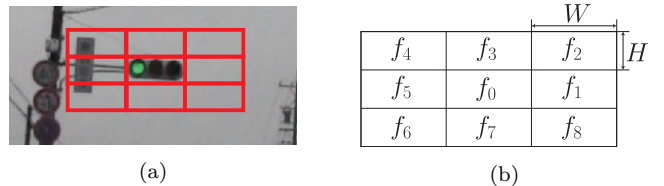


図5 テクスチャの違いを計算するための領域

すように信号機とその周りを 3×3 のブロックに分割する。 i 番目のブロックを f_i ($i = 0, 1, \dots, 8$) とする。そして、各ブロック f_i のピクセル値をFFTにより周波数空間へ変換し、パワースペクトラム $P_i(j, k)$ を得る。最後に、信号機とその周りのテクスチャの違いを以下で算出する。

$$c_{\text{tex}} = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=0}^J \sum_{k=0}^K |P_0(j, k) - P_i(j, k)| \quad (7)$$

また、夜間においてはテクスチャ以外のコントラストも視認性に影響すると考えられる。そこで、信号機とその周りの輝度差を特徴量とする。テクスチャ特徴と同様にして、信号機の明るさのコントラスト C_{lum} は、

$$c_{\text{lum}} = \sum_{i=1}^8 |I(i) - I(0)|, \quad (8)$$

の形で与えられる。なお、 $I(i)$ は領域 f_i の輝度値の平均

表 1 使用する特徴量

		Visual noise 特徴		コントラスト特徴		アピアランス特徴	グレア源の 等価光幕輝度 [1]
		雨滴の数 v_r	雨滴の大きさ v_s	テクスチャの差 C_{tex}	明るさの差 C_{lum}	信号機の明るさ a_{sig}	
昼間	比較手法 [1]	-	-	✓	-	-	-
	提案手法	✓	✓	✓	-	-	-
夜間	比較手法 [1]	-	-	-	-	-	✓
	提案手法	✓	✓	-	✓	✓	-

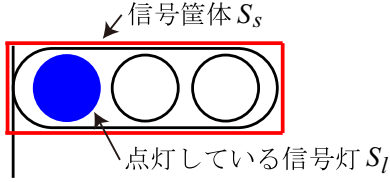


図 6 信号機の筐体領域

である。

3.2.3 アピアランス特徴 a

アピアランス特徴は信号機筐体の見えを表現する特徴である。信号機の視認性が高い場合は信号機の筐体部分が明るくなると考えられる。そこで、信号機のアピアランス特徴として、信号機の筐体の明るさを用いる。信号機筐体の明るさ a_{sig} は以下の式で与えられる。

$$a_{\text{sig}} = \frac{L_s - L_l}{S_s - S_l}, \quad (9)$$

ここで、 L_s , L_l はそれぞれ信号機筐体、点灯している信号機の輝度値の総和、 S_s , S_l はそれぞれ信号機筐体、点灯している信号機の面積を表している。図 6 にそれぞれの領域の位置を示す。

3.3 特徴量の統合

昼間は、信号機とその周りのテクスチャの差に加え、雨滴の影響を考慮するための visual noise 特徴を利用する。また、昼間の信号機の見えは大きく変化しないため、アピアランス特徴は利用しない。式 (2)~(4) は以下ようになる。

$$F_v(\mathbf{v}) = w_r^d v_r + w_s^d v_s \quad (10)$$

$$F_c(\mathbf{c}) = w_{\text{tex}}^d c_{\text{tex}} \quad (11)$$

$$F_a(\mathbf{a}) = 0 \quad (12)$$

夜間は、雨滴の影響を考慮するための visual noise 特徴、コントラスト特徴である信号機とその周りの明るさの差、アピアランス特徴である信号機筐体の明るさを利用した。式 (2)~(4) は以下ようになる。

$$F_v(\mathbf{v}) = w_r^n v_r + w_s^n v_s \quad (13)$$

$$F_c(\mathbf{c}) = w_{\text{lum}}^n c_{\text{lum}} \quad (14)$$

$$F_a(\mathbf{a}) = w_{\text{sig}}^n a_{\text{sig}} \quad (15)$$

なお、昼間および夜間における重み $w^d =$

$(w_r^d, w_s^d, w_{\text{tex}}^d)$, $w^n = (w_r^n, w_s^n, w_{\text{lum}}^n, w_{\text{sig}}^n)$ は、それぞれ学習データを用いた回帰により決定する。

4. 実験

雨天時に撮影した車載カメラ画像を用いた実験を通して、提案手法の有効性を評価した。以降、提案手法と比較手法、データセット、評価基準、実験結果について述べる。

4.1 提案手法と比較手法

提案手法と比較手法で利用した特徴量を表 1 に示す。提案手法の有効性を確認するため、昼間と夜間それぞれに対して手法の性能を評価した。具体的には、表 1 に示す手法を利用し、各手法による視認性推定精度を比較した。

4.2 データセット

本実験では、車載カメラで撮影した信号機を含む画像を複数用意し、昼間および夜間の 2 つのデータセットを作成した。昼間は 29 枚、夜間は 30 枚の画像からなる。図 7 は実験に用いた画像の例である。これらの画像は雨天時の昼間および夜間に撮影されたものである。それぞれの画像は信号機の位置と大きさが同じになるように調整した。

定量的な評価のために、20 代から 40 代の男性 11 名による被験者実験により、それぞれの信号機の視認性目標値を決定した。本稿では、視認性目標値を得るために Thurstone の一対比較法 [11] を用いた。この手法は、本実験で扱う車載カメラ画像のような 2 つの物体を比較することにより、視認性のような人間の感覚量を数値化するものである。この手法を用いて、画像の視認性目標値を算出した。昼間は ${}_{29}C_2 = 406$ 通りの比較、夜間は ${}_{30}C_2 = 435$ 通りの比較により算出し、Thurstone の一対比較法で得られた値を $[0, 1]$ に正規化したものを視認性目標値 V とした。図 8, 図 9 は実験に用いた画像と実験で得られた視認性目標値 V を示している。

4.3 評価基準

提案手法および従来手法をそれぞれ 3 分割交差検定を用いて評価した。まず、ランダムにデータセットを 3 分割し、3 つのサブセットを作成する。ここで、式 (10)~(15) の重み $w^d = (w_r^d, w_s^d, w_{\text{tex}}^d)$, $w^n = (w_r^n, w_s^n, w_{\text{lum}}^n, w_{\text{sig}}^n)$



(a) 昼間



(b) 夜間

図7 実験で用いた画像の例

をそれぞれ2つのサブセットを用いた回帰により決定し、残ったサブセットで推定誤差を評価した。最終的に、推定誤差の平均を評価に用いた。ここでは、推定誤差を表す指標として、平均絶対誤差 (MAE) と標準偏差 (SD) を用いた。なお、平均絶対誤差と標準偏差は値が小さいほど、推定性能が高いことを表している。

4.4 結果

提案手法の有効性を確認する実験を行なった。以降、昼間および夜間の実験結果について述べる。

4.4.1 昼間

昼間のデータセットに対する実験結果を表2に示す。実験結果より、提案手法は従来手法よりも低い MAE と SD が得られたことが確認できる。提案手法の有意性を確認するために、提案手法と従来手法における MAE の差に関して有意水準5%の t 検定を行なった。t 検定の結果、これらの差に対して有意差が認められた。よって、昼間の雨天時の視認性推定において、visual noise を考慮した提案手法は、従来手法よりも精度良く信号機の視認性を推定できることを確認した。

4.4.2 夜間

夜間のデータセットに対する実験結果を表3に示す。これを見ると、提案手法は従来手法よりも低い MAE と SD が得られたことが確認できる。昼間同様、提案手法の有効性を確認するために、提案手法と従来手法にお

表2 昼間の実験結果 (平均絶対誤差 (MAE) と標準偏差 (SD) の値が小さいほど推定性能が高い)

手法	利用する特徴量	MAE	SD
従来手法	テクスチャの差 c_{tex} [1]	0.192	0.135
提案手法	テクスチャの差 c_{tex} [1] 雨滴の数 v_r 雨滴の大きさ v_s	0.137	0.085

表3 夜間の実験結果 (平均絶対誤差 (MAE) と標準偏差 (SD) の値が小さいほど推定性能が高い)

手法	利用する特徴量	MAE	SD
従来手法	グレア源の等価光幕輝度 [1]	0.514	0.287
提案手法	信号機の輝度コントラスト c_{lum} 信号機の輝度 a_s 雨滴の数 v_r 雨滴の大きさ v_s	0.248	0.205

ける MAE の差に関して有意水準5%の t 検定を行なった。t 検定の結果、これらの差に対して有意差が認められた。よって、夜間の雨天時の視認性推定において、visual noise を考慮した提案手法は、従来手法よりも精度良く信号機の視認性を推定できることを確認した。

5. 考察

本節では提案手法の視認性推定精度を評価する実験の結果に対する考察を述べる。

5.1 昼間

図10に示すように、激しく雨が降る状況の視認性は大きく低下する。しかし、提案手法を適用したところ、図10の視認性評価値は0.456となった。ここで、0.456に近い視認性目標値を持つ画像を図11に示す。これらの画像を比較すると、図10の視認性が正確に推定できていないことが分かる。提案手法は雨滴の数や大きさにより visual noise の効果を算出したため、図10のように雨滴が円形の形をしていない雨の場合には、視認性が正確に推定できない。そのため、激しい降雨時の信号機の視認性推定を行なうためには、さらなる画像特徴の追加について検討する必要がある。

5.2 夜間

図9(a)と図9(h)を比べると、雨滴の有無により視認性が低下していることが確認できる。また、図9(b)と図9(h)を比べると、雨滴の有無に大差はないが、信号機筐体の見えや周囲のコントラストが大きく異なっていることがわかる。これらから、visual noise 特徴、コントラスト特徴、アピアランス特徴がそれぞれうまく作用し、精度良く視認性を推定できたと考えられる。しかし、図12のようにフロントガラスが曇った場合の画像に対しては推定誤差が大きかった。今後はフロントガラスの曇り度を考慮した特徴の追加に関する検討が必要であろう。



(a) $V = 0.000$



(b) $V = 0.066$



(c) $V = 0.165$



(d) $V = 0.351$



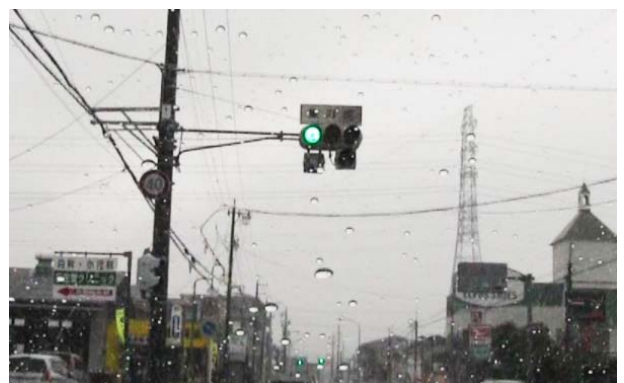
(e) $V = 0.527$



(f) $V = 0.615$

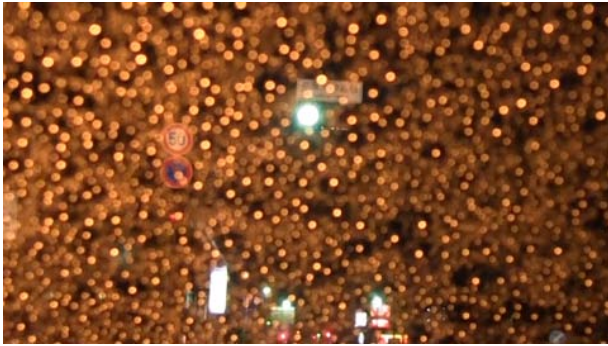


(g) $V = 0.811$



(h) $V = 1.000$

図 8 昼間の画像とその視認性目標値の例（視認性目標値は Thurstone の一対比較法を用いた被験者実験を通して設定したものであり、値は $[0, 1]$ の範囲に正規化されている。また、値が高いほど視認性が高いことを表している。）



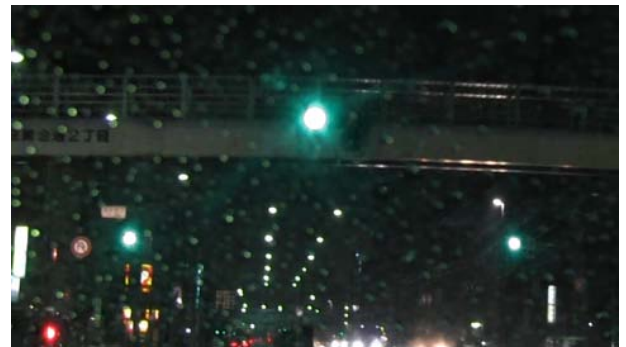
(a) $V = 0.000$



(b) $V = 0.089$



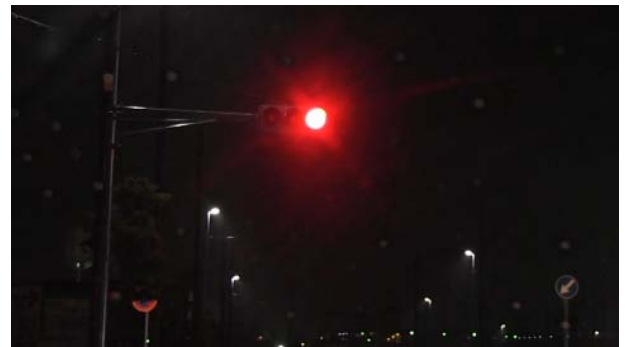
(c) $V = 0.193$



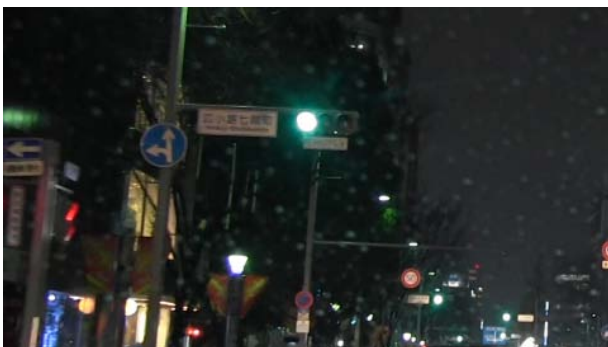
(d) $V = 0.349$



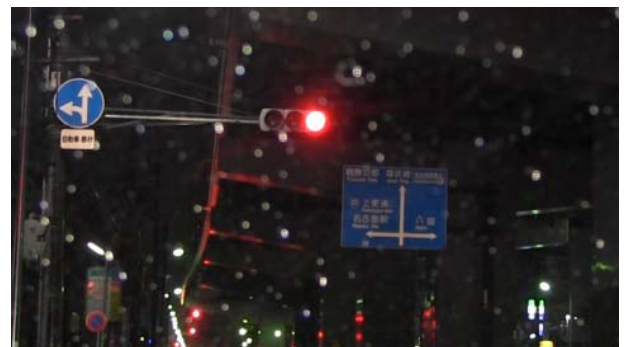
(e) $V = 0.526$



(f) $V = 0.656$



(g) $V = 0.892$



(h) $V = 1.000$

図9 夜間の画像とその視認性目標値の例（視認性目標値はThurstoneの一対比較法を用いた被験者実験を通して設定したものであり、値は $[0, 1]$ の範囲に正規化されている。また、値が高いほど視認性が高いことを表している。）



図 10 激しい雨天の状況で撮影された画像例



図 11 視認性目標値が 0.489 となる画像の例

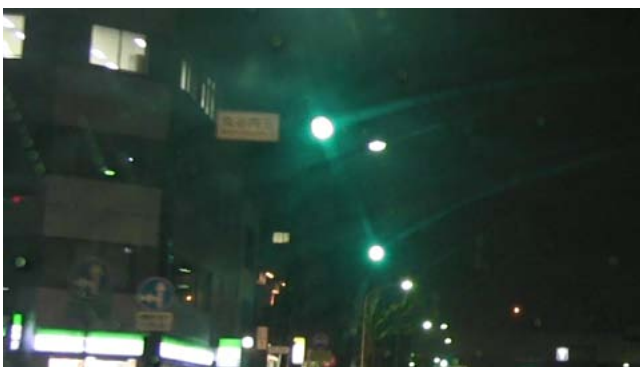


図 12 フロントガラスが曇った画像の例

6. む す び

本発表では、雨天時の信号機の視認性推定手法を提案した。提案手法では、人間の視覚特性に基づく visual noise 特徴、コントラスト特徴、アピアランス特徴の統合により、信号機の視認性を推定した。Visual noise 特徴はフロントガラス上の雨滴の数と大きさにより算出した。昼間は、visual noise 特徴と従来手法で利用されている信号機とその周りのテクスチャの差から得られるコントラスト特徴を統合し、視認性を推定した。夜間は、visual noise 特徴とコントラスト特徴、アピアランス特徴の3種類の特徴を統合することで、視認性を推定した。車載カメラ画像を用いた実験の結果、雨天時において、

提案手法が従来手法よりも精度良く信号機の視認性を推定できることを確認した。今後の課題として、

- 激しい降雨時への対応
- フロントガラスの曇り度合への対応

の検討が必要である。

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, 科学研究費補助金, 栢森情報科学振興財団助成金 (K23-XVI-373) および日本学術振興会特別研究員奨励費による。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] 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. 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.636-641, June 2007.
- [2] M. Shidara and B.J. Richmond, "Effect of Visual Noise on Pattern Recognition," J. of Experimental Brain Research, vol.163, no.2, pp.239-241, March 2005.
- [3] 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, Nov. 1998.
- [4] R. Achanta, S. Hemami, F. Estrada and S. Süsstrunk, "Frequency-tuned Salient Region Detection," Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1597-1604, Aug. 2009.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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, "コントラスト特徴とアピアランス特徴の統合による道路標識の視認性推定," 信学論 (D), vol.95-D, no.1, pp.122-130, Jan. 2012.
- [8] D. Engel and C. Curio, "Pedestrian Detectability: Predicting Human Perception Performance with Machine Vision," Proc. 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.429-435, June 2011.
- [9] H. Kurihata, T. Takahashi, I. Ide, Y. Mekada, H. Murase, T. Miyahara and Y. Tamatsu, "Rainy Weather Recognition from In-Vehicle Camera Images for Driver Assistance," Proc. 2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.205-210, June 2005.
- [10] S. Görner, A. Kummert, S.-B. Park and P. Egbert, "Vision-based Rain Sensing with an In-Vehicle Camera," Proc. 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.279-284, June 2009.
- [11] L.L. Thurstone, "Psychophysical Analysis," The American J. of Psychology, vol.38, no.3, pp.368-389, July 1927.