

CCTVカメラ映像における夜間の吹雪による 視界不良検知のための分析領域の決定手法

八木 雅大¹・高橋 翔²・萩原 亨³

¹学生会員 北海道大学 大学院工学院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:masahiro@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:stakahashi@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 北海道大学教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail:hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

夜間に吹雪による視界不良が発生した場合には、交通事故のリスクが高くなる。ゆえに、夜間における視界不良を検知可能なシステムの構築が必要である。本研究では、CCTVカメラを用いて夜間の視界不良を検知可能とすることを目指す。CCTVカメラ映像から視界状況を評価する指標としてWIPSの有効性が確認されている。しかしながら、WIPSは夜間を対象としておらず、夜間に撮影された映像では、晴天時と吹雪時のWIPSの差が小さくなる。そこで本稿では、CCTVカメラ映像の画像内で、晴天時と吹雪時のWIPSの差が大きな領域を動的に算出する手法を提案する。提案手法により算出された領域から求めるWIPSの値を用いることで、夜間の視界不良検知の実現が期待できる。本稿の最後では、実際のCCTVカメラ映像を用いて実験を行い提案手法の有効性を確認する。

Key Words : CCTV, Night videos analysis, Poor visibility, WIPS, Road management

1. はじめに

北海道などの積雪寒冷地の冬期道路では、吹雪による視界不良が発生する。また、夜間は昼間に比べ視認性が低下する。したがって、夜間に、吹雪による視界不良が発生した場合には、交通事故のリスクが非常に高くなると考えられる。実際に北海道の一般国道にて発生した冬型事故のうち、視界不良事故はスリップ事故に次いで多い¹。特に、吹雪時における視界不良が原因となる事故発生件数は晴天時の2倍となっており、道路交通に多大な影響を及ぼしている²。ゆえに、夜間における視界不良を検知し、情報提供や速度規制等を行うことで、事故のリスクを低減させる必要がある。また、Closed-circuit Televisionカメラ(以降、CCTVカメラ)は既に道路に設置されているため、CCTVカメラ映像を用いて視界不良を検知することにより、既存のインフラを有効に活用した、安全性向上に向けた手法の構築が可能となる。そこで、本研究では、CCTVカメラ映像を用いた夜間における視界不良の検知手法の構築を目指す。

現在、道路を撮像した映像から視界状況を把握する

ことを目的とした研究が広く行われている³⁾⁴⁾。文献³⁾では、CCTVカメラ画像からWeighted Intensity of Power Spectra(以降、WIPS)を求め視界状況を評価し、道路管理者に視界情報を提供するシステムが提案されている。また、文献⁴⁾では、車載カメラの画像から算出されたWIPSが、道路管理の支援に有効であることを実験により確認している。

WIPSは人間のコントラスト感度に着目した評価指標であり、視界良好時には、画像のコントラストとともにWIPSが大きくなり、視界不良時には、コントラストとともに、WIPSが小さくなる⁵⁾。したがって、WIPSの値を参照することで、視界状況の把握が可能となる。現在、道路管理にWIPSを利用する際には、CCTVカメラ映像から遠方の道路空間が撮像された領域を切り出し、その領域に対してWIPSを算出している。

しかしながら、夜間に撮影されたCCTVカメラ映像は、カメラ毎に光源環境が大きく異なることや、撮像範囲の積雪状況などから、同程度の視界状況であっても、カメラ毎にWIPSの値に大きな差が生じる。したがって、夜間の視界不良を検知可能とするためには、WIPSの値そのものではなく、カメラ毎に、晴天時の

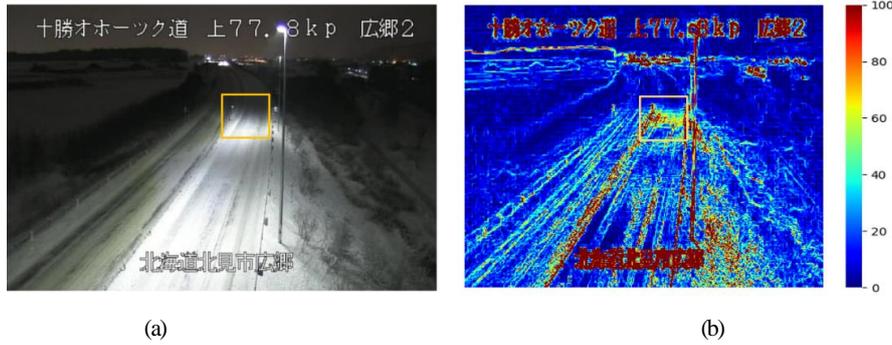


図-1 光源と被写体の位置関係によって輝度値に勾配が生じる例：(a) CCTV カメラ画像，(b) (a)のグレースケール画像にソーベルフィルタを適用した結果。

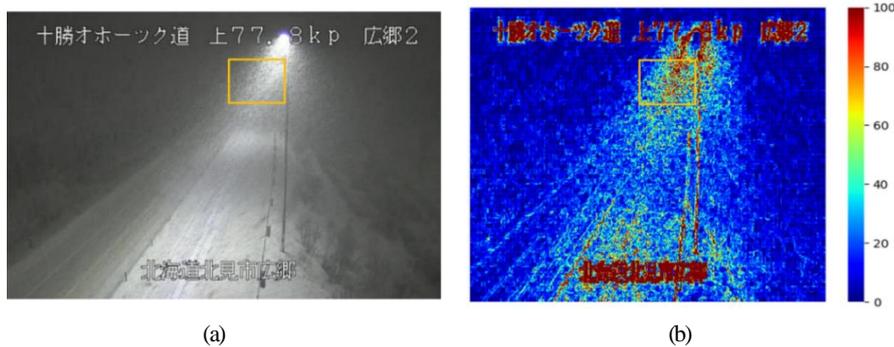


図-2 雪粒子による光の反射が輝度勾配を大きくする例：(a) CCTV カメラ画像，(b) (a)のグレースケール画像にソーベルフィルタを適用した結果。

WIPSの値との差を捉える必要がある。

夜間に撮影された CCTV カメラ映像は、被写体に当たる光の量が、光源との位置関係によって大きく異なるため、図-1のオレンジ色の矩形で示す領域のように、明暗の差が大きな領域が存在し、輝度値に勾配が生じる。また、吹雪が発生した場合には、図-2のオレンジ色の矩形で示す領域のように、雪粒子を含む領域において、光が雪粒子に反射することにより、輝度勾配が大きくなる可能性がある。また、電柱、照明などのオブジェクトが撮像された領域では、図-3のオレンジ色の矩形で示す領域のように、吹雪時に関わらず、輝度勾配が大きくなる。したがって、夜間では、吹雪時においても、輝度勾配が大きくなる領域が存在する。このような領域はコントラストが大きくなるため、算出されるWIPSの値も同様に大きくなる。ゆえに、晴天時と吹雪時のWIPSの差が小さくなり、晴天時のWIPSの値との差から、視界不良を検知することは難しい。さらには、図-4及び図-5に示すように、積雪による路面の見え方の変化や車の有無により、視界状況に関係なく、CCTV カメラ映像の輝度勾配は動的に変化する。

したがって、より精度高く視界不良を検知可能とするためには、視界状況の変化以外の要因により生じる輝度勾配の変化が少なく、晴天時と吹雪時のWIPSの差

が大きな領域を動的に算出し、それらの領域から求めるWIPSの値を用いる必要がある。

そこで本稿では、CCTV カメラ映像から、晴天時と吹雪時のWIPSの差が大きな領域を動的に算出する手法を提案する。具体的には、まず、各フレームにおいてパッチ分割を行い、パッチ毎にWIPSを算出する。次に、異なるフレーム間の同一位置のパッチにおいて、算出されたWIPSの最大値との差分をそれぞれのフレームに求め、それらの合計値を用いることで、晴天時と吹雪時のWIPSの差が大きな領域を算出する。これにより、CCTV カメラ映像から、晴天時と吹雪時のWIPSの差が大きな領域が動的に算出され、算出された領域から求めるWIPSを用いることで、高精度な夜間の視界不良検知への進展が期待される。

以降、本稿では、2.において、提案手法について詳しく説明する。次に、3.では、実験を行い提案手法の有効性を確認する。最後に、4.で本稿のまとめを行う。

2. 視界不良検知のための動的な領域算出手法

本章では、CCTV カメラ映像から、晴天時と吹雪時のWIPSの差が大きな領域を動的に算出する手法について

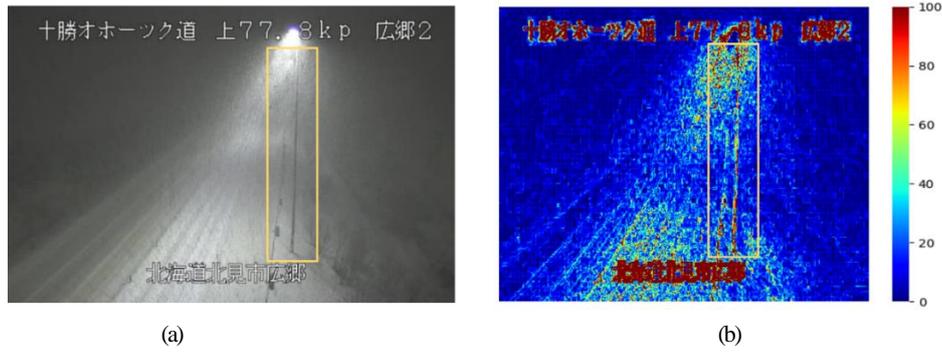


図-3 視界不良の発生に関わらず輝度勾配が大きくなる例. : (a) CCTV カメラ画像, (b) (a) のグレースケール画像にソーベルフィルタを適用した結果.

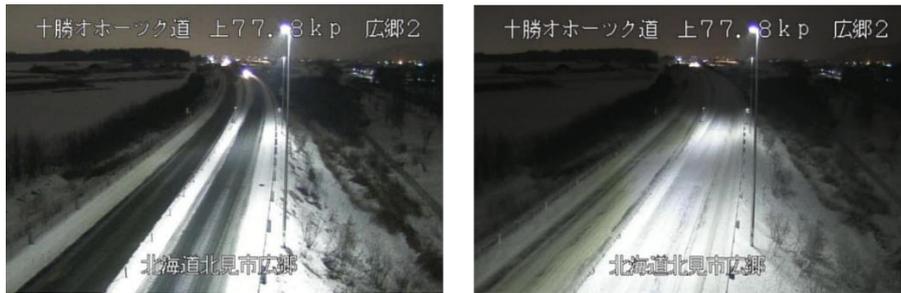


図-4 路面の積雪状況が異なる同一地点で撮影された CCTV カメラ画像.

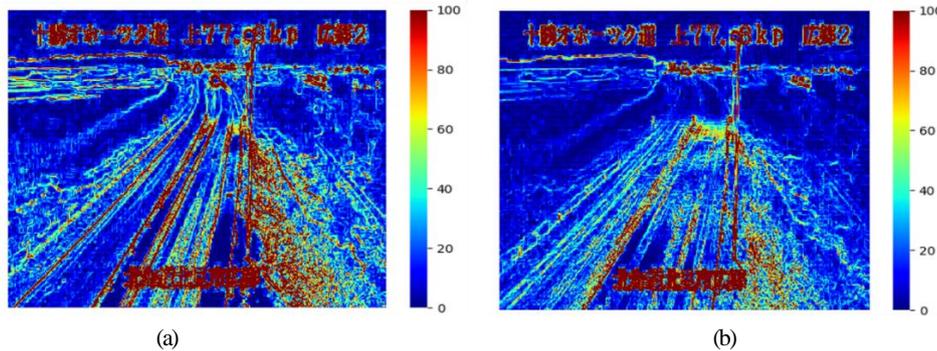


図-5 図-4 のグレースケール画像にソーベルフィルタを適用した結果. : (a) 図-4 の左の画像に対する結果, (b) 図-4 の右の画像に対する結果.

説明する. 提案手法では, CCTV カメラにより撮影された T 時間分の映像を用いる. 具体的には, まず, CCTV カメラ映像の各フレームにおいて, パッチ分割を行い, パッチごとに WIPS を算出する. 最後に, 異なるフレーム間の同一位置のパッチにおいて, 算出された WIPS の最大値との差分をそれぞれに求め, それらの合計値が大きくなる領域を, 晴天時と吹雪時の WIPS の差が大きな領域とする.

以降, (1) において, 文献³⁾ で提案された WIPS の算出方法について説明する. 次に, (2) において, 提案手法について詳しくを説明する.

(1) WIPS の算出方法

文献³⁾ で提案された WIPS の算出方法は以下に示すとおりである.

- CCTV カメラ画像を輝度値のグレースケール画像に変換する.
- WIPS を算出する領域に対して, 二次元フーリエ変換を適用し, 空間周波数領域へ展開する. ここで, WIPS を算出する領域のピクセル数は, $2^n \times 2^n (n \in N)$ とする.
- 最後に, パワースペクトルを算出し, 低周波成分の近傍の対数値の合計を WIPS とする.

- (2) CCTV カメラ映像から晴天時と吹雪時の WIPS の差が大きな領域を動的に算出する手法

まず初めに、CCTV カメラ映像の各フレームにおいて、 $H \times W$ の切り出し窓、スライド幅 d でパッチ分割を行い、パッチごとに WIPS を算出する。ここで、 f 番目のフレームにおける、 n 番目のパッチから算出される WIPS を $W_{f,n}$ ($f = 1, 2, \dots, F$: F は総フレーム数、 $n = 1, 2, \dots, N$: N は総パッチ数) とする。この時、 n が等しい場合は、パッチの切り出し位置が同一であることを意味する。次に、同一の位置から切り出したパッチにおいて、下式に基づき、算出された WIPS の最大値 M_n を求める。

$$M_n = \max_{f \in \{1, 2, \dots, F\}} W_{f,n}. \quad (1)$$

次に、晴天時と吹雪時の WIPS の差の大きさを評価する指標 C_n を、下式に基づき算出する。

$$C_n = \sum_{f=1}^F (M_n - W_{f,n}). \quad (2)$$

C_n が大きな領域ほど、晴天時と吹雪時の WIPS の差が大きくなる。最後に、 C_n を降順にソートし、上位 p 個の領域を、晴天時と吹雪時の WIPS の差が大きな領域として算出する。以上により、CCTV カメラ映像から、晴天時と吹雪時の WIPS の差が大きな領域の動的な算出が可能となる。

3. 実験

本章では、提案手法の有効性を確認するための実験を行う。以降、(1) において、実験条件について説明を行う。次に、(2) において、実験結果を述べ、その結果について考察を行う。

(1) 実験条件

本実験では、実際に CCTV カメラで撮影された映像を用いて評価を行う。具体的には、2019 年 1 月 23 日 22 時 45 分～1 月 24 日 03 時 45 分において、15 分間隔で記録された映像を用いた。ゆえに、提案手法のパラメータ T 及び F の値はそれぞれ 5 と 21 である。また、映像のピクセル数は 720×480 である。本実験では、まず初めに、提案手法により、晴天時と吹雪時の WIPS の差が大きな領域を算出する。この時、切り出し窓のサイズを決定するパラメータ H と W はともに 256 とした。これは、道路管理において WIPS を実用する際の、WIPS を算出する領域のサイズと同じである。また、スライド幅

d は実験的に 30 とし、総パッチ数 N は 60 とした。また、本実験では、 p の値を実験的に 4 と設定した。本実験では、提案手法により算出された領域に関して、定性的な評価を行い、手法の有効性を確認する。

次に、提案手法により算出された 4 つの領域と現状の道路管理で利用されている、遠方の道路空間が撮像された領域それぞれから WIPS を算出し、それらの値から下式に基づいて視界不良の新たな評価指標 Y を算出する。

$$Y = \text{median}\{W^1, W^2, W^3, W^4, W^{base}\}, \quad (3)$$

ここで、median は中央値を計算する関数である。また、 $W^1 \sim W^4$ は、 C_n を降順にソートした場合に、上位 1～4 位の領域から算出された WIPS の値を示す。また、 W^{base} は、現状の道路管理で利用されている、遠方の道路空間が撮像された領域から算出された WIPS の値を示す。最後に、求めた新たな評価指標 Y と、 W^{base} の値を比較することで、提案手法の有効性を確認する。

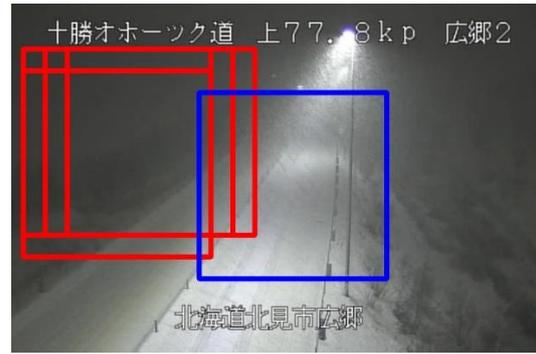
(2) 実験結果

図-7 に提案手法による領域の算出結果を示す。具体的に、図-7 (b) は、図-7 (a) に示す CCTV カメラ画像に対して、領域の算出結果を重畳表示した図である。具体的に、赤色の矩形で示す領域が、提案手法により算出された 4 つの領域であり、青色の矩形は、現状の道路管理で利用されている、遠方の道路空間が撮像された領域を示す。図-7 (b) より、提案手法により算出される領域は、路面を含む画素の割合が比較的少なく、照明は含んでいないことがわかる。また、図-7 (c) は、図-7 (a) に示す画像のグレースケール画像にソーベルフィルタを適用した結果に対して、領域の算出結果を重畳表示した図である。図-7 (c) より、提案手法により算出された領域は、光の雪粒子による反射や被写体に当たる光量の違いにより生じる明暗などが原因で大きくなる輝度勾配の影響が少ない領域であることがわかる。また、図-7 (d) は、図-7 (a) に示す CCTV カメラ画像に対して、提案手法により算出された C_n の値を降順にソートした場合の、下位 4 つの領域を示す図であり、緑色の矩形がそれらの領域に対応する。図-7 (d) より、提案手法では、路面や照明を含み、被写体に当たる光量の違いにより生じる明暗や光の雪粒子による反射の影響が多い領域を、晴天時と吹雪時の WIPS の差が小さな領域として算出していることがわかる。以上より、提案手法では、視界状況の変化以外の要因により生じる輝度勾配の変化が少ない領域の算出を実現しており、提案手法の有効性が確認できる。

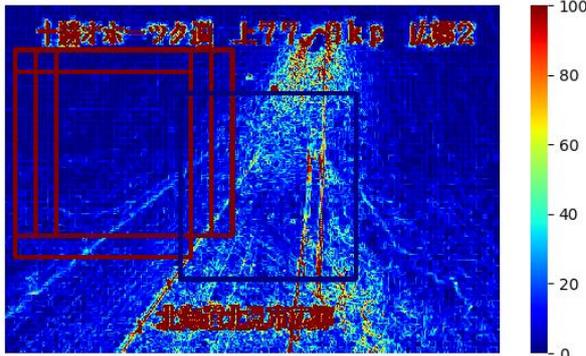
次に、図-8 に W^{base} 及び新たな評価指標 Y の推移



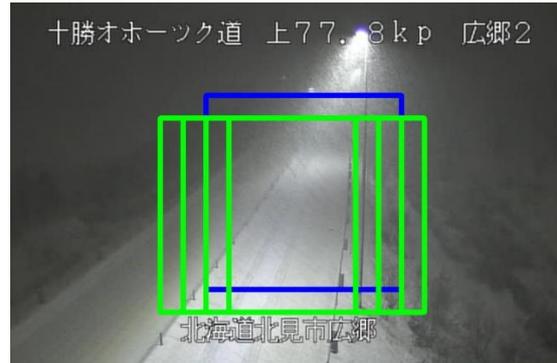
(a) CCTV カメラ画像



(b) (a)に提案手法による領域の算出結果を重畳表示した図.



(c) (a) のグレースケール画像にソーベルフィルタを適用した結果に領域の算出結果を重畳表示した図.



(d) (a) に対して提案手法により算出された C_n の値を降順にソートした場合の下位 4 つの領域を示す図.

図-7 提案手法による領域の算出結果.

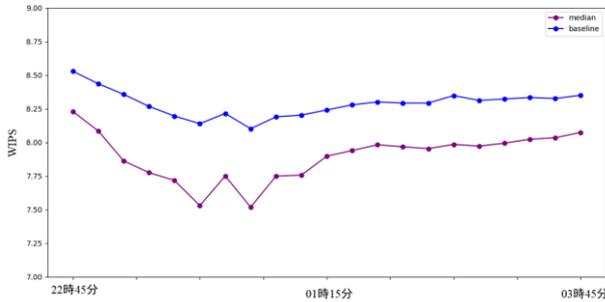


図-8 W^{base} および Y の推移.

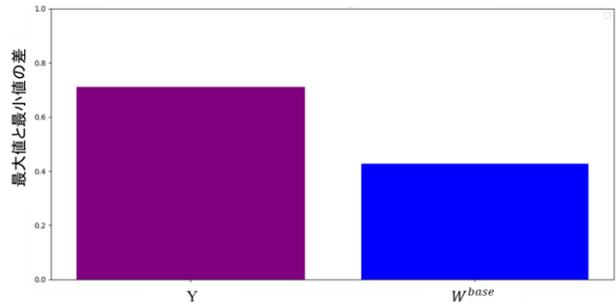


図-9 W^{base} および Y における最大値と最小値の差.

を示す. 具体的に, 青色の折れ線グラフは W^{base} の推移を表し, 紫色の折れ線グラフは Y の推移を表す. また, 図-9 に, W^{base} 及び Y それぞれの, 最大値と最小値の差を示す. 具体的に, 青色の棒グラフは W^{base} における最大値と最小値の差を表し, 紫色の棒グラフは Y における最大値と最小値の差を表す. 図-9 より, 提案手法により算出された領域と, 現状の道路管理で利用されている, 遠方の道路空間が撮像された領域それぞれから算出される WIPS の値に基づき求める新たな評価指標 Y は, WIPS に比して約 1.66 倍, 晴天時と吹雪時の差が大きいことがわかる. これより, Y のような, 提案手法により算出された領域から求める WIPS の値を用いることで, 夜間における視界不良を検知可能な新たな評価

指標の算出が実現できる可能性が示された.

4. まとめ

本稿では, CCTV カメラ映像から, 晴天時と吹雪時の WIPS の差が大きな領域の動的な算出を可能とする手法を提案した. 提案手法では, 各フレームにおいて, パッチ分割を行い, パッチ毎に WIPS を算出する. 次に, 異なるフレーム間の同一位置のパッチにおいて, 算出された WIPS の最大値との差分をそれぞれのフレームに求め, それらの合計値が大きくなる領域を, 晴天時と吹雪時の WIPS の差が大きな領域とする. この結果, 被

写体と光源の位置関係により生じる明暗や雪粒子による光の反射、積雪による路面の見え方の変化、車や照明等のオブジェクトの有無など、視界状況以外の要因により生じる輝度勾配の変化が少なく、晴天時と吹雪時のWIPSの差が大きな領域を動的に算出することを可能とした。最後に、実際の CCTV カメラ映像を用いて実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

謝辞：本研究の一部は、JSPS 科研費 JP19H02254 の助成を受けて行われた。また本研究で用いた画像データは、国土交通省北海道開発局釧路開発建設部よりご提供いただいた。心より謝意を表す。

参考文献

1) 竹内政夫:冬の視界不良事故について、北海道の雪氷、

- No.33, 2014.
- 2) 松澤勝：吹雪時の視程推定手法とその活用に関する研究，寒地土木研究所報告，第 126 号，寒地土木研究所，2006.
 - 3) T. Hagiwara, Y. Ota, Y. Kaneda, Y. Nagata, K. Araki : A Method of Processing Closed-Circuit Television Digital Images for Poor Visibility Identification, Transportation Research Records: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1973, no. 1, pp. 95-104, 2006.
 - 4) 中村 裕貴, 萩原 亨, 永田 泰浩：固定カメラと車載カメラによる冬期道路管理向け視界情報評価に関する研究，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 75, no. 6, pp. I_599-I_607, 2020.
 - 5) 永田泰浩, 萩原亨, 金田安弘, 川村文芳, 田宮敬士：吹雪多発路線における CCTV カメラの画像を利用した視界情報提供システムの検証，土木計画学研究・論文集，Vol. 26, no. 5, pp. 969-978, 2009.

(?)

DECISION OF ANALYSIS REGION FOR POOR VISIBILITY DETECTION CAUSED BY SNOWSTORM AT NIGHT IN CCTV CAMERA IMAGES

Masahiro YAGI, Sho TAKAHASHI and Toru HAGIWARA

The risk of traffic accidents increases under poor visibility conditions caused by snowstorms at night. Therefore, it is necessary to construct a system that can detect poor visibility caused by snowstorm at night. The effectiveness of WIPS has been confirmed as an index for evaluating visibility conditions from CCTV images. However, visibility at night is not set to be target of WIPS. The difference of WIPS calculated from images taken at night becomes small between clear and poor visibility conditions. Therefore, in this paper, we propose a method to dynamically calculate the regions in CCTV images where the difference in WIPS between clear and poor visibility conditions is large. By using WIPS obtained from the regions calculated by the proposed method, poor visibility detection at night is expected to be realized. At the end of this paper, we confirm the effectiveness of the proposed method by conducting experiments using CCTV camera images.