

悪環境下におけるビデオカメラ向け リアルタイム視認性向上技術

廣岡慎一郎[†] 吉田大輔[†] 野中雄一[†]

監視カメラや車載カメラなどのビデオカメラでは霧や暗闇、逆光といった多様な悪環境下で撮影しても常に鮮明な映像を得られることが要求される。本研究では、特に霧環境における映像中の鮮明度の低下をカメラ内でリアルタイムに解析し、解析結果を元に視認性を改善する映像処理技術を提案する。本技術を監視カメラに組み込み、多様な霧環境でロバストかつ鮮明な映像撮影が実現できることを確認した。

Real-time Image Visibility Enhancement Technology under Bad Weather Condition for Video Cameras

SHINICHIRO HIROOKA[†] DAISUKE YOSHIDA[†] YUICHI NONAKA[†]

In video cameras such as surveillance cameras or vehicle cameras, it is required that clarity of image is always high under wide variety of adverse environments like foggy, darkness or backlight scenes. In this paper, a new image signal processing method for foggy scenes is proposed, which analyzes attenuation of contrast caused by fog in real-time and improves image visibility by enhancing contrast according to the result. We have implemented the proposed method in surveillance cameras and confirmed that it required clear video photographing with robustness against any kind of foggy scene.

1. はじめに

近年、民生を始め監視や車載、医療など様々な分野でビデオカメラの高解像度化、高感度化が広がっている。それに伴い撮影環境も多様となり、いかなる状況で撮影しても鮮明な映像が得られることが一層重視されている。その中で、夜間や低照度、あるいは雨天や霧などの天候不順といった悪環境下では映像のコントラストが低下することで良好な視認性が得られないという問題がある。

例えば図 1 のように霧の濃い条件下で被写体を撮影すると、大気による光の散乱で信号が減衰し、ほぼ一様な明るさに集中した低コントラストの映像となる。一方で、多くのビデオカメラでは、イメージセンサが出力する信号の bit 長がカメラの最終出力の bit 長より大きく、映像の精細感に関してより多くの情報を有している。そこで、カメラ内の画像処理で最適に信号配分や信号伸張を行うことでコントラストを改善し、鮮明な映像取得が可能となる。

本論文は、視認性向上のニーズが特に高い監視カメラに適用することを目指し、霧環境において鮮明さが低下するシーンで、カメラ組み込みを想定した画像処理によりコントラストを改善する技術を提案する。監視カメラでは、防犯という観点から、霧の状態や被写体の状況を問わず、いかなる撮影シーンに対しても誤った補正による視認性の低下が発生しないというロバスト性の確保が重要となる。提案手法は、映像中の局所的なヒストグラムを元にモデルペー

スで霧の状態を動的に解析し、領域ごとに適応的な信号伸張処理を行うことで霧画像を補正することを特徴とする。本手法を監視カメラに実装した場合に、時間経過で被写体に変化する霧環境下においてリアルタイムに補正を行い、ロバストかつ鮮明な映像を取得できることを確認した。

以下、2 章では霧画像補正における解決課題をまとめ、3 章では関連研究の動向を整理する。4 章で提案手法の詳細について説明し、5 章でその実験結果を示す。最後に 6 章でまとめる。

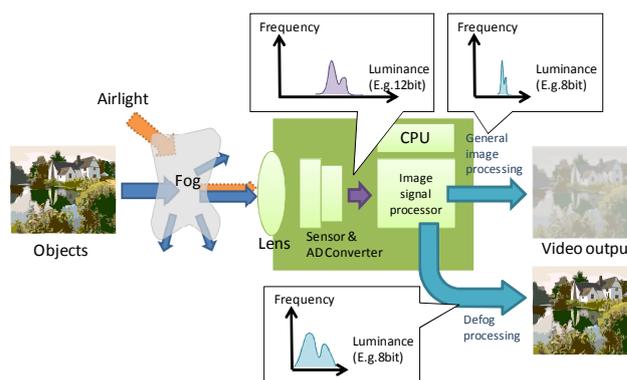


図 1 霧画像補正カメラシステムの概要
Figure 1 Outline of the defog camera system.

2. 解決課題

2.1 霧によるコントラスト低下の原理

霧によるコントラスト低下は大気中の水蒸気の粒により光が散乱することで発生する。このような粒子による光の散乱に起因する映像中の輝度の減衰を表現したものとして、

[†](株)日立製作所 横浜研究所
Yokohama Research Laboratory, Hitachi Ltd.

Koschmieder の提案する輝度劣化モデルが知られている[1].

$$L = L_0 e^{-kd} + L_f (1 - e^{-kd}) \quad (1)$$

L は被写体輝度, L_0 は霧による散乱がない場合の被写体輝度, L_f は環境光の明るさ, k は散乱係数すなわち霧の濃さ, d は被写体までの距離である. 輝度劣化モデルに基づくコントラストの減衰特性を図 2 に示す. 同一の画像領域において被写体の取りうる明部の最大輝度を L_{lt} , 暗部の最小輝度を L_{dk} とすると, その領域のコントラストの最大値は簡単に $L_{lt} - L_{dk}$ と表せる. 霧の影響が無い場合のそれぞれの輝度を L_{0lt} , L_{0dk} とすると, 式(1)より,

$$L_{lt} - L_{dk} = (L_{0lt} - L_{0dk}) e^{-kd} \quad (2)$$

を導くことができ, 2 つの式から被写体のコントラストは霧の濃さまたは被写体までの距離に対して指数的に減衰し, 無限遠では環境光の明るさ L_f に収束することが分かる.

よって, 霧画像の補正は, 霧の影響を受けることで減衰した被写体のコントラストから, 霧の影響がない場合のコントラストを復元することで可能となる.

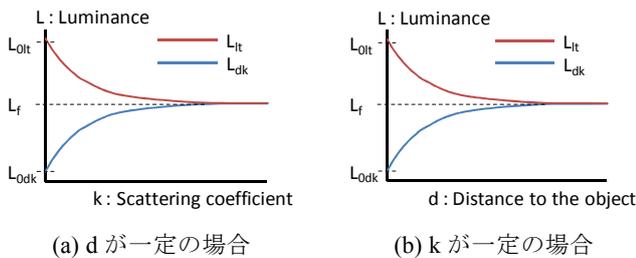


図 2 輝度劣化モデルに基づく霧環境下のコントラストの減衰特性

Figure 2 Contrast attenuation specification by fog based on the luminance degradation model.

2.2 霧画像補正の課題

霧画像を補正するために以下が課題となる.

映像中には図 3 に示すように距離の異なる複数の被写体や霧の濃淡の差異が存在し得る. また, 屋外と室内を同時に撮影した場合や, 一部の路上のみ街灯や照明が存在するなど環境光の明るさが場所ごとに異なる場合もある. このような空間内での条件の違いにより, 映像中の領域ごとに異なる係数の輝度劣化モデルを持つことになる.

加えて, 時間帯による天候の変化や被写体の移動, カメラの向きや倍率の変化などによっても映像内の霧の影響は逐次変動する.

よって, 霧の影響の空間的な差異や, 時間的な変化を考慮した補正処理が必要となる.



図 3 画像領域ごとのヒストグラム分布

Figure 3 Distribution of histogram for local image areas.

3. 関連研究

映像中から霧や霞の影響を除去する研究は古くから行われている. 単純には, 画面内で一律に所定の範囲の輝度を伸張するようなリニア変換やガンマ変換などのレベル補正処理を行うことでコントラストを強調することが可能である. また, シーン内で距離の異なる被写体が存在する場合に被写体ごとに最適な補正を行うことを目的とし, シーン内の 3 次元構造に関する情報を取得し, その情報を活用して被写体単位での適応的な補正処理を実施する手法も提案されている. このような手法としては, 事前情報として予め別の手段で取得した 3 次元情報を活用する手法[2]や, 同じ角で天候の異なる複数の映像を比較してシーン構造を解析する手法[3]などが提案されている.

撮影シーンが不定である場合や, 旋回カメラのように撮影角が動的に変化する場合は, 事前情報を用いずに 1 枚の撮影映像から霧の状態を推定し補正を行う必要がある. これを実現する手法として, He らの提案した Dark Channel Prior を用いた手法が良く知られている[4].これは RGB 信号の局所的な最小値である Dark Channel Prior (図 2 の暗部の最小輝度 L_{dk} に相当) と環境光の明るさ L_f の推定値を用いて, 画素ごとのコントラストの減衰率を推定し補正関数を決定することで霧のない状態を復元する手法である. この方式は単純な処理で効果的な霧画像の補正が可能だが, 環境光の明るさ L_f をどのように定義するかが性能に大きく影響するため, 重要な課題となる. He らは簡単に Dark Channel Prior の最大値が暗部輝度 L_{dk} の無限遠における値, すなわち環境光の明るさであるという仮定のもと L_f の推定を行っている. それに対し, Fattal ら[5]は最適化問題により補正効果が最も良好となる L_f を算出することで推定精度の向上を図っているが, 処理時間を要するため組み込みには適していない. Lv ら[6]は He らの手法を高速化するために, 演算時間を要する被写体境界でのセグメント処理を Cross-Bilateral filter に置換し, それによりビデオレートに近い処理時間を実現した. ただし, 環境光の明るさについては He らと同様に Dark Channel Prior の最大値を採用している. この方法では画面近くに高輝度の被写体が存在する場合や, 映像上のノイズが多い場合は誤推定を起こす可能性がある. また, L_f が画面内で一様であることを前提とし

ているため、誤推定が起きた場合は、その影響が画面全体に伝播することも課題となる。このとき、誤ったモデルで霧を補正することで、画像全体が暗く沈むなど補正前より視認性の低下した映像となる可能性がある。

一方、カメラシステムへの組み込みを前提とし、センサからの多bit長入力を映像のbit長に最適配分するためのトーン再分配処理と Land らの提案した Retinex 理論[7]をベースとした人間の視感特性に基づく画素ごとのレベル補正処理とを組み合わせることでコントラストを拡大する手法を Yoshida ら[8]が提案している。

本研究では、Yoshida らの提案したコントラスト拡大手法をベースに式(1)の輝度劣化モデルを適用し、霧環境に対して最適化した補正処理を提案する。組み込みに適さない最適化問題などの演算量の多い処理を用いずに、高輝度被写体の有無やノイズの影響を受けにくい輝度劣化モデルの推定を行うことで、監視カメラで要求される多様な撮影シーンに対するロバスト性の確保を目指す。

4. 提案手法

4.1 提案手法の概要

提案手法では映像内の被写体ごとに霧の影響が異なるという前提に立ち、被写体ごとの霧の影響の評価にコントラストの減衰率と環境光の明るさを用いる。式(1)、式(2)より以下が導ける。

$$L_0(x) = (L(x) - L_f(x)) \cdot \frac{L_{0lt} - L_{0dk}}{L_{lt}(x) - L_{dk}(x)} + L_f(x) \quad (3)$$

ここで、霧の影響が無い場合の最大輝度 L_{0lt} および最小輝度 L_{0dk} は映像信号の白レベルと黒レベルとして定義できる。よって、霧画像から観測した注目画素 x の輝度 $L(x)$ に対し、その画素を含む被写体の取りうる最大輝度 $L_{lt}(x)$ 、最小輝度 $L_{dk}(x)$ 、環境光の明るさ $L_f(x)$ が分かれば式(3)に示した一次関数を用いることで元の輝度 $L_0(x)$ が復元できる。ここで、特徴量 $L_{lt}(x)$ 、 $L_{dk}(x)$ 、 $L_f(x)$ は以下の条件を満たすと仮定する。

- 注目画素 x を含む局所領域には、ほぼ同じ距離の被写体が含まれている可能性が高い。
- 局所領域の大きさをある程度十分にとれば、その中に同じ距離の被写体の取りうる最大輝度および最小輝度が含まれる可能性が高い。また、被写体の輝度は収束点である環境光の明るさを中心に均等な確率で分布する。

この仮定より、入力映像をウインドウ単位で分割し、注目画素 x を中心としたウインドウ内の最大輝度を $L_{lt}(x)$ 、最小輝度を $L_{dk}(x)$ 、輝度の重心を $L_f(x)$ とそれぞれ見做す。ただし、領域内に距離の異なる被写体が含まれる場合や一様な明るさの被写体が存在する場合に、必ずしも正しい値が取得できないため、そのような場合にも対応する必要がある。

4.2 トーン再分配による霧画像の補正

上記の仮定を用いてトーン再分配処理を行うことで霧画像補正を実施する。処理のフローチャートを図 4 に示す。以下に各処理の詳細を説明する。

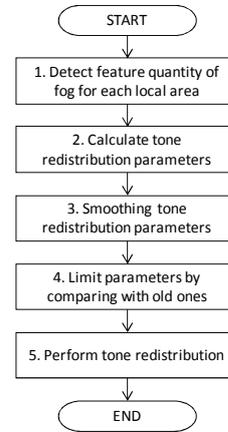


図 4 トーン再分配による霧画像補正フロー

Figure 4 Flowchart of defog with tone redistribution.

(1) 局所領域ごとの霧特徴量の取得

まず、注目画素 x を含むウインドウ内の輝度値を比較することでウインドウ内の最大輝度 $L_{lt}(x)$ 、最小輝度 $L_{dk}(x)$ を推定する。単純にウインドウ内の輝度の最大、最小値を取得すると太陽の反射のような点光源やノイズなどの霧以外の要素の影響を受け適正な値が取得できない場合がある。そこで、ウインドウ内の画素の中で N 番目に大きい輝度値 $L_{ltN}(x)$ と M 番目に小さい輝度値 $L_{dkM}(x)$ を、ノイズの影響を考慮した最大輝度、最小輝度として $L_{lt}(x)$ 、 $L_{dk}(x)$ の代わりに用いる。図 5 に示すように一度ウインドウ内の輝度値のヒストグラムを作成し、輝度値の低いものから画素数の累積値を算出して、累積値が初めて M を超えたときの輝度値を記録することで $L_{dkM}(x)$ を得る。同様に、輝度値の高いものから画素数の累積値を算出し、 N と比較すれば $L_{ltN}(x)$ が得られる。 N 、 M は調整パラメータであり、点光源の大きさやノイズの出現頻度によって決める必要がある。

また、ヒストグラムの重心を算出し、その領域の環境光の明るさ $L_f(x)$ として取得する。

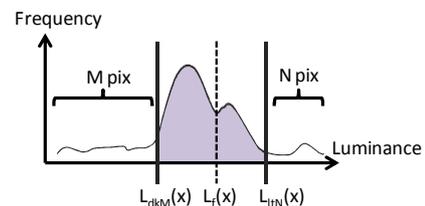


図 5 局所領域の霧特徴量の推定

Figure 5 Estimation of feature quantity of fog in local area

(2) トーン再分配補正パラメータの算出

式(3)を元に、局所領域ごとの霧特徴量を用いてトーン再分配処理の補正パラメータが算出する。

トーン再分配処理の入出力特性を図 6 に示す。暗部、主

被写体領域，明部のそれぞれに異なる比率で信号を割り当てる特性を持ち，補正式は次のように表すことができる．

$$L_o(x) = \begin{cases} (L'_{odk}(x) - L_{odk}(x)) / (L_{dkM}(x) - L_{imin}(x)) \cdot L_i(x) + L_{odk}(x) & \text{case } L_i(x) \leq L_{dk}(x) \\ (L'_{oih}(x) - L'_{odk}(x)) / (L_{ihN}(x) - L_{dkM}(x)) \cdot L_i(x) + L'_{odk}(x) & \text{case } L_{dk}(x) < L_i(x) \leq L_{ih}(x) \\ (L_{oih}(x) - L'_{oih}(x)) / (L_{imax} - L_{ihN}(x)) \cdot L_i(x) + L'_{oih}(x) & \text{case } L_i(x) \geq L_{ih}(x) \end{cases} \quad (4)$$

L_{imax} ， L_{imin} は入力映像の信号の最大値と最小値である． $L_{ihN}(x)$ および $L_{dkM}(x)$ はウィンドウごとのヒストグラムより推定した値を使用する．

一方， $L'_{oih}(x)$ および $L'_{odk}(x)$ は補正されたトーンマッピング処理で信号伸張された後の最大輝度と最小輝度である．これらの値は $L_{ihN}(x)$ および $L_{dkM}(x)$ と環境光の明るさ $L_i(x)$ を用いて下式のように決定する．

$$L'_{odk}(x) = L'_f(x) - s \cdot (L_f(x) - L_{dkM}(x)) \quad (5)$$

$$L'_{oih}(x) = L'_f(x) + s \cdot (L_{ihN}(x) - L_f(x)) \quad (6)$$

$L'_f(x)$ は信号伸張された後の環境光の明るさで，この値を $L_f(x)$ と同じ値にすることで，補正前後で環境光の明るさを維持することが可能となる． s は主被写体領域の補正の傾きで，下記式で与えられる．

$$s = \max(A \cdot \min(s_1, s_2, S_{max}), 1) \quad (7)$$

$$s_1 = (L_{oih} - L'_f(x)) / (L_{ihN}(x) - L_f(x))$$

$$s_2 = (L'_f(x) - L_{odk}) / (L_f(x) - L_{dkM}(x))$$

s_1 は環境光の明るさより明るい被写体のコントラストの減衰率の逆数，すなわち明るい被写体を元のコントラストに信号伸張するために必要な補正ゲイン，同様に s_2 は環境光の明るさより暗い被写体に対する補正ゲインを意味する．2つの値は本来であれば一致するはずだが，推定した $L_{ihN}(x)$ ， $L_{dkM}(x)$ に誤差が生じているとこれらの補正ゲインは一致しない．そこで，補正を行う際に補正ゲインが小さい方に合わせることで，過補正により黒潰れや白飛びが発生するのを抑制する．

また， A および S_{max} は調整パラメータとして与える． S_{max} は補正ゲインの最大値を規定するもので，信号を伸張した際にノイズも強調されて画質が低下するのを抑制する． A は全体の補正効果を調整するためのパラメータとなる．補正後の映像において，輝度が $L'_{oih} \sim L_{oih}$ および $L_{odk} \sim L'_{odk}$ の範囲に存在する被写体は最大輝度や最小輝度を推定する際にノイズと見なして除外した被写体である．しかし実際にはノイズとともに微小面積の被写体が含まれている可能性があるため，補正後にこの被写体が黒潰れしないように A を 1 より小さい係数とする．これにより，微小面積の被写体が完全に黒つぶれ，白飛びするのを抑制することが可能である．係数処理後の補正の傾きが 1 より小さいとコントラストが低下してしまうため，最後に傾きが 1 を下回ら

ないようにリミットする．式(5)から式(7)を解くことで式(4)の各補正式の係数，すなわち一次関数の傾きと切片を算出でき，これらがトーン再分配の補正パラメータとなる．

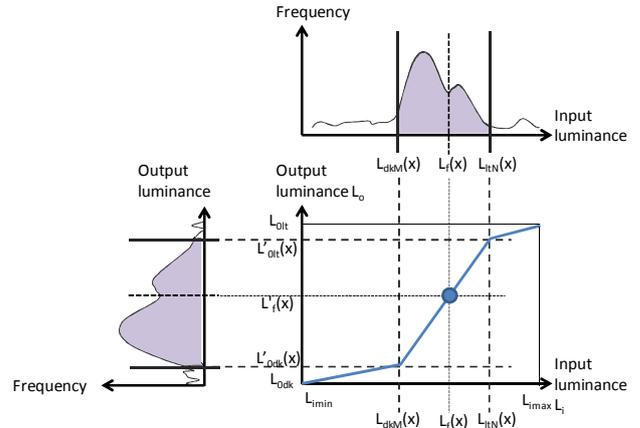


図 6 トーン再分配処理の入出力特性

Figure 6 In-out specification of tone redistribution

(3) 補正パラメータの平滑化

領域ごとに算出したトーン再分配補正パラメータは，ノイズや被写体の絵柄の影響で，局所的に周辺から大きく外れた値が存在する可能性がある．このパラメータを用いて補正を行うとその領域だけ誤った伸張が行われる可能性があるため，補正パラメータに対してガウシアンフィルタを適用することで平滑化し，外れ値の影響を抑制する．ガウシアンフィルタのフィルタ係数は一般に式(8)で記述される．

$$G(a, b) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{a^2 + b^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

ここで， (a, b) は注目画素 x を中心としたフィルタ内の座標， σ はフィルタ係数のガウス分布の分散値である．

(4) 過去パラメータ比較によるリミット処理

補正パラメータは映像のフレームごとに逐次算出する．これにより時間帯に伴って霧の濃さが変化したり，カメラの向きや倍率を変えたりした場合でも適応的に補正を行うことが可能である．一方で，交差点のように霧の濃さが不変にも関わらず歩行者や車両などの被写体が頻繁に移動するようなシーンでは，毎フレーム補正を行った場合にフレーム間で補正効果が異なるため，ちらつきのように見える場合がある．そこで，フレームごとに算出した補正パラメータに対し，フレーム間で補正パラメータが変化しすぎないように前フレームで算出したパラメータとの α ブレンド処理によるリミット処理を行う．

$$p_{new} = \alpha p_{calc} + (1 - \alpha) p_{old} \quad (9)$$

p_{old} は前のフレームの補正パラメータ， p_{calc} は現在フレームで算出した補正パラメータ， p_{new} はリミット処理を考慮した最終の補正パラメータである． α ブレンドの係数 α は 0~1 の間で調整でき，1 より値を小さくすることでちらつ

きを抑制できる。

(5) トーン再分配処理の実施

以上により算出した補正パラメータを用いて全画素に対しトーン再分配処理を実行する。トーン再分配処理の一例を図 7 に示す。補正前の映像に対し、コントラストが伸張され、鮮明な映像が生成されていることが確認できる。



(a) 補正前



(b) 補正後

図 7 トーン再分配処理結果

Figure 7 Result of tone redistribution

4.3 色信号の補正

これまでは輝度信号の補正方法について述べてきた。色信号については輝度信号と同じ比率でコントラストが減衰していると考えられる。そこで、色信号については輝度信号の補正前後の入出力比を算出し、同じ比率で飽和度に対するゲイン処理を行う。これにより、色再現性を損なわずに自然な色付きを実現できる。

5. 実験結果

5.1 ビデオカメラシステムへの実装

4 章で説明した一連の処理をビデオカメラシステムに実装した。システム構成のブロック図を図 8 に示す。

提案手法を適用したトーン再分配処理について、ヒストグラムの算出処理や信号補正処理は画像処理プロセッサ上で H/W 処理を行い、ヒストグラム情報を用いた補正パラメータの演算は CPU 上で S/W 処理を行うこととした。トーン再分配処理による補正結果は図 7 に示した通りである。

さらに、トーン再分配後の映像に対し、Retinex 理論に基

づく照明光・反射光補正処理とヒストグラム均等化処理を実施する[8]。霧画像の場合では、特に照明光・反射光補正処理を実施することにより更に視認性を改善することが可能である。実行結果の一例を図 9 に示す。補正前の映像に対し、暗部の明るさが改善するとともにエッジが強調され精細感が向上していることが確認できる。

画像処理プロセッサ上ではカメラ内で映像信号を生成するために必要なデモザイキング処理やフィルタによるノイズ除去処理、エンハンサ処理、ガンマ処理、ビット長変換処理などの種々の信号処理を同時に行う。このうち、特にノイズ除去処理は霧画像補正処理の前段で行うこととした。霧画像補正を行うと信号成分だけでなくノイズ成分も強調されることから、霧画像補正後の映像に対してノイズ除去処理を行っても十分な効果が得られないためである。

この構成により、1920×1080 画素のフル HD 解像度で、60fps のフルフレームレートに対して、毎フレーム霧画像補正処理が行えることを確認した。

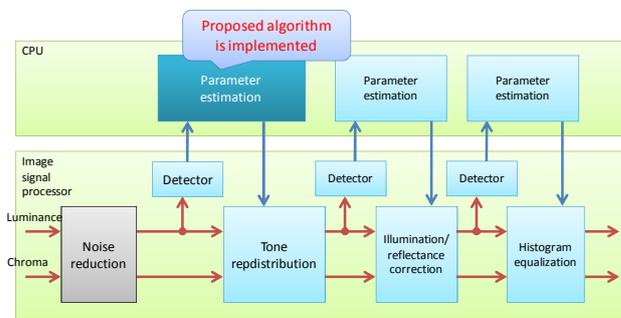


図 8 霧画像補正カメラシステムのブロック図

Figure 8 Block diagram of the defog camera system



(a) 補正前 (トーン再分配補正後)



(b) 補正後

図 9 照明光・反射光補正処理結果

Figure 9 Result of illumination/reflectance correction

5.2 提案手法による霧画像補正性能の確認

図 10 に霧画像に対して提案手法を適用した結果を示す。撮影シーンの一例として、監視カメラの直前を高輝度の被写体（例えば白い服を着た歩行者）が通過した場合を想定し、霧画像(a)と霧画像の一部を高輝度の矩形を重畳した画像(c)に対し、それぞれ提案手法による霧画像補正を実施した。高輝度の矩形の有無に関わらず、いずれの結果においても鮮明で視認性の良好な映像が取得できることを確認できた。



(a) 補正前画像



(b) (a)を入力とした補正後画像



(c) (a)に矩形を重畳した画像



(d) (c)を入力とした補正後画像

図 10 提案手法による霧画像補正結果の例

Figure 10 Example of defogged image with proposed method

さらに、画像間の補正結果のロバスト性を評価するため、画像(a)と(c)のそれぞれの補正後の画像より、平均輝度の変化率 E を評価した。

$$E = |\mu_1 - \mu_2| / \mu_1 \quad (10)$$

ここで、 μ_1 は画像(a)の補正結果における矩形の領域を除く全画素の平均輝度、 μ_2 は画像(c)の補正結果における矩形の領域を除く全画素の平均輝度である。

Dark Channel Prior を用いた手法を文献[5]に記載のアルゴリズムを参考に組み込んだ場合の変化率 E は 42.4%であるのに対し、提案手法の変化率 E は 16.9%であり、8.0dB の改善効果が得られた。Dark Channel Prior を用いた手法では、被写体によって環境光の明るさを誤推定し、結果として映像が大きく変動する可能性があるのに対し、提案手法はシーンによる誤推定が発生しにくく安定した映像が取得できる方式であると言える。今回想定においたカメラの直前を高輝度の被写体が通過するようなシーンでも、変動の少ないロバストな映像が得られると考えられる。

6. おわりに

ビデオカメラ向けの霧画像補正技術を開発した。輝度劣化モデルに基づき画像の領域ごとにコントラストの減衰率と環境光の明るさを推定し、適応的な信号伸張処理を行うことで、多様な撮影シーンに対し安定した補正映像の生成を実現した。提案手法を実際のカメラシステムに実装し、フル HD、60fps で動作可能であること、また、霧環境でロバストかつ鮮明な映像取得が可能であることを確認した。今後は被写体距離や霧の濃淡が多様なシーンで更なる視認性の向上に向けて性能改善を検討していく。

参考文献

- 1) Koshmieder, H.: Theorie der horizontalen sichtweite, Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre (1924)
- 2) Kopf, J. et al.: Deep Photo: Model-Based Photograph Enhancement and Viewing, Trans. SIGGRAPH Asia, Vol.27, No.5, pp.116:1-10 (2008)
- 3) Narasimhan, S. G. and Nayer, S. K.: Contrast Restoration of Weather Degraded Images, IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25, No. 6, pp.713-724 (2003)
- 4) He, K. et al.: Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1956-1963 (2009)
- 5) Fattal, R.: Single Image Dehazing, ACM SIGGRAPH, pp.72:1-9 (2008)
- 6) Lv, X. et al.: Real-time Dehazing for Image and Video, 18th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, pp.62-69 (2010)
- 7) Land, E. H. et al.: Lightness and Retinex Theory, J. Optical Theory of America, vol.61, no.1, pp.1-11 (1971)
- 8) Yoshida, D. et al.: Visibility Enhancement Technology for Cameras, IAPR MVA2013, pp.407-410 (2013)