

視覚特徴分離に基づくカラー画像の霧除去 Color image dehazing based on visual features decomposition

戸田 真人[†] 先崎 健太[†] 塚田 正人[†]
Masato Toda[†] Kenta Senzaki[†] Masato Tsukada[†]

1. はじめに

近年、監視カメラ映像を用いた不審者の特定や追跡などの高度映像監視へのニーズが高まっている。高度映像監視においては、目視や機械認識による検知や追跡を高精度に実施することが求められ、その実現のためには、高品質映像を安定的に取得することが重要である。

屋外環境において、映像品質を低下させる大きな要因の一つに、撮影環境における天候変動が挙げられる。特に、霧や霏などの悪天候時では、撮影映像のコントラストが低下し、遠方の視認性が大きく悪化する問題がある。

これまで、撮像過程での物理モデルを用い、霧や霏の状況下の撮影画像から、霧・霏の影響を除去する手法が提案されている[1,2]。これらの手法は、撮影シーンについての事前知識を用いることで霧・霏の重畳量を推定し、撮影物体面での反射光を復元する。そのため、注目局所領域の特徴が事前知識と一致しない場合には、推定誤差が発生し、補正画像の画質が劣化する問題がある。高品質映像の安定的な取得のためには、補正による画質劣化を抑止する必要があるが、一般に、推定誤差を完全に防ぎ止することは困難である。

本稿では、推定誤差が発生した場合においても、視覚的に安定して高品質映像を生成する霧除去法を提案する。具体的には、補正処理で画質劣化が顕著に現れる視覚特徴があることに着目し、入力画像から、あらかじめその視覚特徴を分離する。そして、霧・霏の影響を除去する処理を適用すると同時に、視覚特徴の過度な変動を抑止することで、高品質映像を実現する。

2. 従来手法とその課題

霧や霏の状況下でカメラセンサが受光する観測光は、シーン中の物体からの反射光と大気中の粒子によって拡散された環境光の混合光である。画素位置 $\mathbf{x}$ における霧や霏状況下での観測光 $\mathbf{I}(\mathbf{x})$ は、反射光 $\mathbf{J}(\mathbf{x})$ と大気による環境光の重畳率 $\omega(\mathbf{x})$ および別途推定可能な環境光 $\mathbf{A}$ を用いて式(1)のように表すことができる[1]。そのため、反射光 $\mathbf{J}(\mathbf{x})$ の復元は、未知な値である反射光 $\mathbf{J}(\mathbf{x})$ と重畳率 $\omega(\mathbf{x})$ とを分離する不良設定問題を解くこととなる。

$$\mathbf{I}(\mathbf{x}) = (1 - \omega(\mathbf{x})) \cdot \mathbf{J}(\mathbf{x}) + \omega(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{A} \quad (1)$$

He ら[1]は、局所領域内のいずれかの画素で反射光が 0 となるカラーチャネルが存在するという統計的知見に基づき、重畳率を予測している。また、Fattal[2]は、反射光と重畳率の空間的な無相関性に着目し、この相関性が最小となる重畳率を推定している。そして、式(1)を用いて復元処理が実行される。

従来法では、原理上、注目局所領域の特徴が利用した事前知識と一致する場合、観測光から反射光を完全に復元することができる。しかし、例えば、一面灰色の撮影

物体の場合、もともと反射光が灰色か環境光により灰色になったのかの判別がそもそも困難な状況となり、重畳率推定に誤差が発生する。

重畳率推定誤差の影響は、低彩度領域が黒くつぶる問題や、過度な局所的なコントラストが発生する問題が生じる。この問題に対応するために、補正を弱めると、環境光を多く含む高輝度領域での補正が不十分となる。

3. 提案手法

提案手法では、まず、補正処理による領域色と局所的なコントラストの変動の個別把握を可能にするために、観測光である入力画像を、色の変化が小さい平坦領域と強エッジから構成される骨格成分と、細かい模様を表すテクスチャ成分の 2 つの視覚特徴に分離する。その後、これら変動を考慮した大域のおよび局所的な環境光重畳率推定による映像補正処理によって、安定した高品質映像を生成する。

本手法では、視覚特徴の分離のために、入力画像に対し、Digital TV Filter [3]を適用する。Digital TV Filter は、画像中のエッジを保持しながら、効果的に局所的な振動を除去する。提案手法では、領域内のテクスチャを振動成分とみなし除去することで骨格成分を抽出し、その残差成分をテクスチャ成分とする。入力画像 $\mathbf{I}$ と骨格成分 $\mathbf{S}$ とテクスチャ成分 $\mathbf{T}$ の関係は、式(2)のように表される。

$$\mathbf{I}(\mathbf{x}) = \mathbf{S}(\mathbf{x}) + \mathbf{T}(\mathbf{x}) \quad (2)$$

次に、大域的な環境光重畳率推定に基づいて、映像を補正する。文献[1]の事前知識は、画像領域全体で考えた場合、十分に成立していると見なすことができる。そこで、まず、画像領域全体に一樣に重畳している環境光の重畳率 α を、係数 k_g を用いて式(3)のように検出し、この影響を除去した補正画像 $\mathbf{I}_1$ を生成する。

$$\alpha = k_g \cdot \min_{\forall \mathbf{x}, RGB} \frac{\mathbf{I}(\mathbf{x})}{\mathbf{A}} \quad (3)$$

$$\mathbf{I}_1(\mathbf{x}) = \frac{1}{1 - \alpha} (\mathbf{I}(\mathbf{x}) - \alpha \cdot \mathbf{A}) \quad (4)$$

補正画像 $\mathbf{I}_1$ は、撮像モデルをもとに、一樣に重畳している環境光の影響は除去されているが、領域毎にさらに重畳している環境光の影響は、残されたままである。そこで、提案手法では、式(4)による補正後の骨格成分 $\mathbf{S}_1$ の色情報をもとに、領域色に含まれる環境光の色成分の内、比率 k_l 分が残された環境光の重畳量であると仮定し、画素毎の環境光重畳率 β を式(5)のように算出する。

$$\beta(\mathbf{x}) = k_l \cdot \min_{\forall RGB} \frac{\mathbf{S}_1(\mathbf{x})}{\mathbf{A}} \quad (5)$$

算出重畳率 β には、予測誤差が発生する場合があります。式(1)のモデルに基づいて復元した場合、2 章で述べた問題が発生する。そこで、提案手法では、式(6)のように重畳率 β から算出した指数値 γ を用いて、式(7)の補正処理を実行し、補正画像 $\mathbf{I}_2$ を生成する。

[†] 日本電気株式会社 NEC Corporation

$$\gamma(x) = \frac{1}{1 - \beta(x)} \quad (6)$$

$$I_2(x) = A \cdot \left(\frac{I_1(x)}{A} \right)^{\gamma(x)} \quad (7)$$

本補正処理では、高輝度画素に対しては、式(1)を用いた復元処理と類似した補正が実行され、また、低輝度画素に対しては、比較的小さな補正量による補正が実行される。そのため、高輝度側の強い補正を保ったまま黒つぶれや過度な彩度の発生を抑制できる特徴がある。

最後に、テクスチャの増幅率を用い、補正処理による領域内のテクスチャの過度な増幅や画像中のノイズを抑制し、出力画像を生成する。テクスチャの増幅率 r は、入力画像のテクスチャ成分 T と補正画像 I_2 のテクスチャ成分 T_2 を用いて、式(8)のように表される。

$$r(x) = \frac{T_2(x)}{T(x)} \quad (8)$$

提案手法では、式(7)による補正で防止できなかったテクスチャ成分の過度な増幅を抑制するために、増幅率 r の上限値 R を設け、式(9)のように修正する。

$$T_3(x) = \begin{cases} T_2(x) & r(x) < R \\ R \cdot T(x) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

また、テクスチャ成分には、画像のノイズも含まれる。そこで、補正されたテクスチャ成分 T_3 から、カメラ特性と増幅率から算出されるノイズ標準偏差 σ によってノイズの振動を式(10)のように除去し、補正画像 I_2 の骨格成分 S_2 と合成することで、出力画像 O を生成する。ただし、 $\text{sgn}(\cdot)$ は、符号を表す関数である。

$$T_4(x) = \begin{cases} 0 & |T_3| < \sigma(x) \\ \text{sgn}(T_3) \cdot (|T_3| - \sigma(x)) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$O(x) = S_2(x) + T_4(x) \quad (11)$$

4. 提案手法による処理結果

図 1 および図 2 に、異なる霧状況下で撮影した画像に対する処理結果を、文献[1]の処理結果と共に示す。図 1 を見ると、提案手法は、従来手法と比較し、黒つぶれやノイズ増幅を発生することなく補正が実行できていることが分かる。また、図 2 のように、霧・霞が画像一面に強く重畳している画像に対しては、画質劣化の生じにくい大域的な環境光重畳量推定に基づく補正を強くかけることができるため、従来手法より鮮明な画像を得られることが分かる。

5. まとめ

本稿では、霧・霞状況下の撮影映像から、視覚特徴の分離と分離情報に基づく補正処理によって、安定して高品質映像を生成する手法を提案した。また、撮影画像に対する適用結果と共に、その有効性を示した。

参考文献

- [1] Kaiming He, Jian Sun, and Xiaoou Tang, "Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, (2009).
- [2] Raanan Fattal, "Single Image Dehazing", ACM SIGGRAPH 2008, (2008).
- [3] Tony F. Chan, Stanley Osher, and Jianhong Shen, "The Digital TV Filter and Nonlinear Denoising", IEEE Trans. Image Process., vol.10, no.2, (2001).



図 1 霧状況下の画像に対する処理結果 1

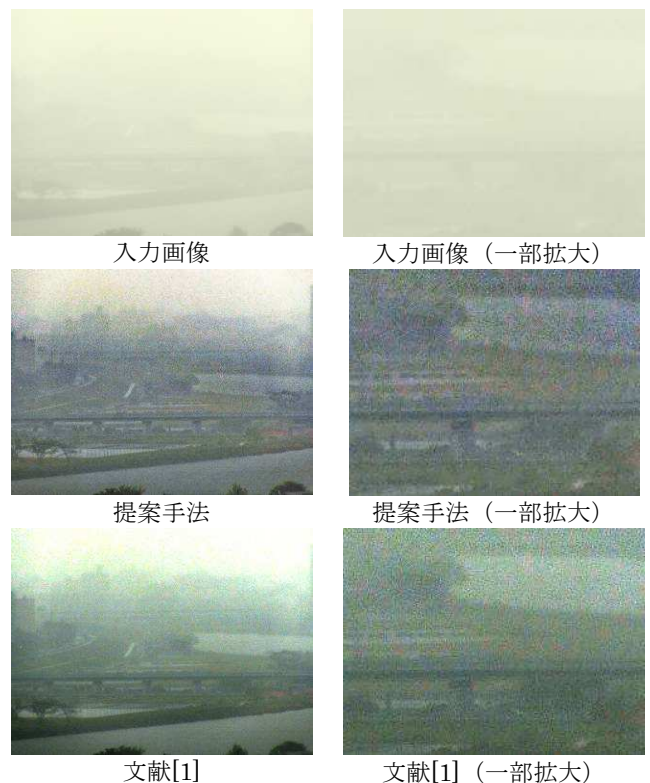


図 2 霧状況下の画像に対する処理結果 2