

霧を含んだ画像の鮮明化の一手法 A method of clearing an image with haze

赤松 凌[†] 村木 祐太[†] 西尾 孝治[†] 小堀 研一[†]
Ryo Akamatsu Yuta Muraki Koji Nisio Kenichi Kobori

1. はじめに

霧は大気現象の一つであり、空気中の水蒸気や塵などにより光が散乱する現象である。これらの大気条件で撮影された画像はコントラストが低下し、霞んだ印象の画像となる。コントラストの低下は、物体の判別が付きにくくなる問題を生じ、物体認識など AI を用いた検出の精度は、霞んでしまった画像におけるコントラストの低さの影響を受けてしまう。そのため、画像中から霧の除去を行い、鮮明な画像を生成する必要がある。

近年、画像から霧の除去を行う研究は広く行われており、He ら^[1]は霧のかかっていない画像には各画素の 3 チャンネルの内 1 つ以上は低い値を取る特徴を用いて霧の濃さを推定し、霧の除去を行っていた。また、Xin ら^[2]は画像の低周波成分に霧の情報が強く出現するという調査の下、画像を低周波成分と高周波成分に分離し、霧の除去とエッジの強調を行い、鮮明な画像を生成していた。

しかし、従来手法では空を含んだ霧画像において、空にノイズが出現する場合があった。また、霧除去後の画像の印象が暗くなるため、コントラストの調整を行っているが、白飛びが出現するなど画像の印象を損ねていた。これは、空は画像中の物体とは違った特徴を持つため、霧の濃度の推定が上手くいかないためである。

空は画像中で最遠方にあるため、霧の情報を多く持っており、空を含む画像の空の印象は画像全体の印象にも影響する。そこで、本研究では、空を含む霧画像に限定し、前景と空の分離を行い霧の除去を行う。空は画像中で最も明るいという仮定の下、空領域の抽出を行い、空領域の画素から大気光の値を決定する。次に、霧のない画像に現れるダークチャンネル特徴を用いて霧の濃さの推定を行い、霧の除去を行う。最後に、霧除去後の結果に明るさ補正を行うことで、鮮明な画像の生成を行う。

2. ダークチャンネル特徴

本論文では、霧画像に出現する特徴として、He らの DarkChannelPrior(以下 DCP)を用いるため、その原理について簡単に説明を行う。

カラー画像は RGB 成分を持っているが、その全てのチャンネルに値が必ず入っているわけではない。色鮮やかな物体や黒い物体では RGB 成分のいずれかが欠けていることが多い。霧のかかっていない画像で RGB 成分の最小値を取ると、ほぼ黒い画像が得られる。しかし、霧がかかり大気光が散乱してくることで、全てのチャンネルに値が入るため、RGB 成分の最小値を取った時に画像が全体的に暗くなることはない。そのため、その画像は霧の情報を持っていると言える。しかし、DCP は空や白い物体は対象外のため、

ある大きさのパッチサイズを定義し、各画素の周辺の値を参照することで対応している。

3. 提案手法

提案手法で用いる霧モデル^[3]を式 1 に示す。

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (1)$$

霧画像 $I(x)$ は、被写体とカメラの距離に応じて、霧がかかるため、被写体から反射する光 $J(x)$ は霧の透過度 $t(x)$ によって散乱する。また、霧によって大気中の光も散乱するため、被写体からの光に加え、大気光 A もカメラに到達する。そのため、霧画像から霧の透過度と大気光を推定することで、元画像 $J(x)$ を復元することができる。

提案手法の手順を以下に示す。

- (1) 空領域抽出
- (2) 大気光推定
- (3) 霧の濃度推定
- (4) 霧除去
- (5) 明度補正

3.1 空領域の抽出

空は画像中で明るい領域であるため、明度画像を用いて空領域の抽出を行う。まず、入力画像を HSL 表色系に変換し、図 1(b)の明度画像を得る。HSL 表色系の明度は各画素の RGB 成分の最大値と最小値の平均値である。空は明るく、遠方に存在するため、散乱している大気光が最も多い。そのため、RGB 成分の最大値と最小値を用いた HSL 表色系の明度は前景と空では大きく差が出る。

次に、明度画像のヒストグラムより、ある閾値以上の範囲で最も出現頻度の高い画素値位置を検出する。閾値と検出した位置の間で出現頻度の最も低い画素値位置を空と前景を分離する閾値として使用する。明度画像を決定した閾値で 2 値化を行い、微細な領域を埋めるために 3×3 のカーネルで膨張収縮処理を行うことで、空領域候補を得る。

空領域候補には空以外の領域も含まれているため、除外を行う。まず、ラベリング処理を行い、一定面積以下のラベル領域を除去する。

次に、空領域候補の中で最も空らしいラベル領域を基準領域とする。空は広く高い位置にあるため、各ラベル領域の面積と中心 y 座標によって重み付けを行う。面積の重みは、全てのラベル領域の中で最も大きい面積が最大の重みをもつように 0-1 の範囲で重み付けを行う。中心 y 座標の重みは、y 座標 0 の時に最大の重みをもつように 0-1 の範囲で重み付けを行う。この 2 種類の重みを掛け合わせ、最も重みの大きい領域を基準領域とする。

[†] 大阪工業大学大学院 Osaka Institute of Technology

最後に、複数の空領域がある場合のために、統合処理を行う。空領域が複数ある場合、その領域同士の高さは大きく異なる値を取らないと考えられることから、基準領域から y 座標の値が一定距離以内にあるラベル領域を基準領域に統合する。領域の統合を行った場合は、新しい基準領域との距離を用いて統合処理を繰り返し行う。統合できるラベル領域がなくなった時の基準領域を図 1(c)の空領域とする。



(a) 入力画像

(b) 明度画像



(c) 空領域

図 1 空領域の抽出

3.2 大気光の推定

大気光は霧によって散乱する光のことであり、霧の濃くかかっている箇所ほど大気光の情報を保持している。空は遠方に存在しているため、大気光の情報を多くもっている領域と言える。そのため、抽出した空領域のマスクを用いて、入力画像から空領域の画素を抽出する。抽出した画素の平均値を画像全体に散乱している大気光の値として用いる。

3.3 霧の濃度推定

DCP を用いて霧の濃度の推定を行う。透過度は入力画像の各画素の RGB 値を大気光の値で割り、その最小値より決定できる。霧は局所的に滑らかであり、急激な変化を行わない。そのため、入力画像の透過度画像で各画素のパッチ毎に最小値を取ることで滑らかな透過度を推定することができる。しかし、パッチのサイズが固定では、同一色の大きな物体がある画像では、周辺の情報を用いて透過度の決定が行えない箇所が出現する。透過度は霧除去後の画像の印象に大きく関わるため、画像毎に適したパッチサイズを用いる必要がある。

複数の色情報から透過度を決定できるパッチサイズを決定するために、空領域のマスクを使用して生成した前景画像からラブラシアン法を用いて図 2 の勾配画像を生成する。勾配画像に 2 値化を行い、勾配の強く変化している箇所を抽出する。次に、2 値化した勾配画像に対して 3×3 のパツ

チサイズで膨張処理を繰り返し、前景領域中から黒画素が存在しなくなるまで続ける。繰り返し回数 n より式 2 を用いてパッチサイズ S を決定する。

$$S = 2 * n + 1 \quad (2)$$

パッチサイズ S を用いて収縮処理を行うことで、画像中の全ての画素は少なくとも 2 種類以上の色情報を用いて透過度の決定が行える。しかし、収縮処理を行った画像は、霧のかかっている範囲を本来の物体より一回り大きい範囲となる。そのため、膨張処理を行うことで、物体に合致した同図(b)のような透過度画像を生成する。空領域の透過度は、DCP により決定できないため、前景領域の中で最も高い透過度を用いる。



(a) 勾配画像

(b) 透過度画像

図 2 透過度画像の生成

3.4 霧の除去

推定した大気光と透過度より霧の除去を行う。式 1 より、鮮明画像 $J(x)$ は式 3 で示すことができる。

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A \quad (3)$$

霧を除去した結果を図 3 に示す。

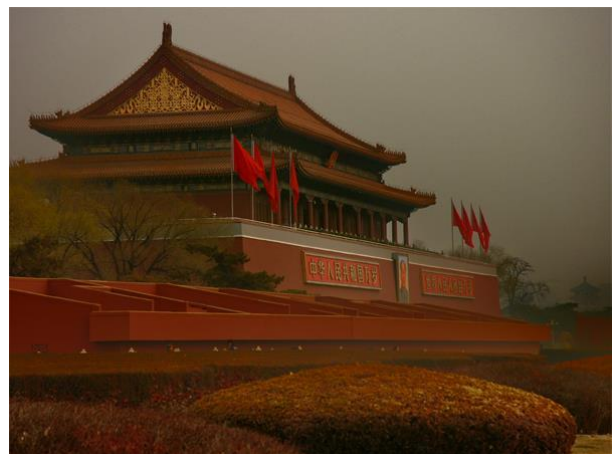


図 3 霧の除去

3.5 明度補正

霧除去を行うと、被写体の明瞭度は向上しているが、画像全体の印象が暗くなっている。これは、霧による影響が大気光の散乱だけではなく、被写体に反射する光が霧による弱まりを受けているためである。そのため、明度の補正を行う。 γ 補正などの明るさ補正手法は、人間が輝度値の低い色の変化に敏感である特徴を利用し、画像中の低い画素値に階調をもたせている。しかし、霧除去後の輝度値の低い色に階調をもたせると、全体のコントラストが低下し、霧のかかった印象の画像になってしまう。そのため、低い値を持つ画素は変更せず、高い値を持つ画素の値を大きくして、明度を補正する手法が霧画像においては適切であると考えられる。

そのため、霧画像における明度補正手法として線形濃度変換を行う。線形濃度変換は各画素値に補正値を掛け合わせる処理であり、低い画素値より高い画素値に強く補正をかけた本手法に適している。入力画像である霧画像の輝度値を基準として、霧除去後にどれだけ輝度値が低下したかを式 4 より求める。 G_{out} は霧除去後の輝度値、 G_{in} は入力画像の輝度値を示している。

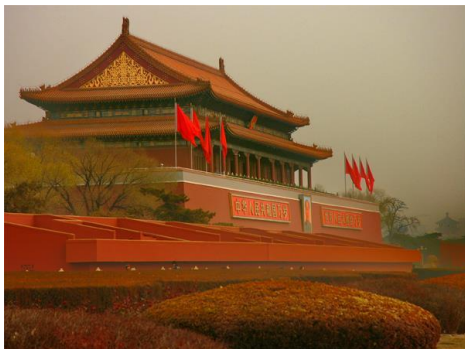
$$\alpha(x) = 1 - \frac{G_{out}(x)}{G_{in}(x)} \quad (4)$$

算出した α より霧除去後の画像に線形濃度変換を行い、明度の補正を行う。補正を行った結果を図 4 に示す。



(a) 入力画像

(b) 霧除去後

(c) 明度補正後
図 4 明度補正

4. 実験と考察

4.1 実験

提案手法を用いて、霧画像の鮮明化の実験を行う。実験を行った結果を図 5、6 に示す。



(a) 入力画像



(b) 出力画像

図 5 実験 1



(a) 入力画像



(b) 出力画像

図 6 実験 2

4.2 考察

図 5、6 の結果より、コントラストの低くなっていた被写体が鮮明になっており、提案手法は霧を良好に取り除くことができていることが確認できる。また、従来手法との比較を行った結果を図 7、8 に示す。



(a) He らの手法 (b) Xin らの手法

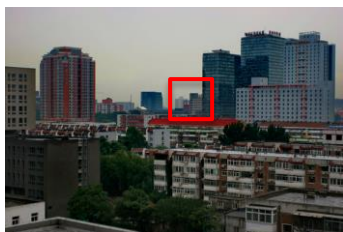


(c) 提案手法

図 7 従来手法との比較 1



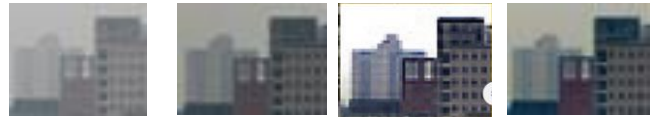
(a) He らの手法 (b) Xin らの手法



(c) 提案手法

図 8 従来手法との比較 2

図 7(a)では山と空の境目付近でハロー効果が生じている。同図(b)では、ハロー効果は生じていないが、画像全体の明度が低くなっており、鮮明ではない。図 8(a)では、空にノイズやハロー効果が生じており、画像全体の印象を損ねている。同図(b)でも、空が白飛びしており、元の画像の印象を損ねている。また、同図の矩形部の拡大図を図 9 に示す。同図より、提案手法は遠方の物体でも鮮明になっているため、提案手法の結果は、ハロー効果や白飛びが生じず、元画像の印象を損ねない鮮明化を行える霧除去手法であると言える。



(a)入力画像 (b)He らの手法 (c)Xin らの手法 (d)提案手法
図 9 図 8 の一部拡大図

しかし、提案手法の結果で一部違和感を生じている箇所がある。図 5(b)および図 6(b)の一部拡大図を図 10 に示す。



(a) 図 5(b)の一部拡大図 (b) 図 6(b)の一部拡大図
図 10 印象を損なっている例

同図に示すように、空や一部の建物の色が強調されすぎることがあり、画像の印象を損ねている。この原因としては、線形濃度変換による明度補正によって元より高い値を取る画素が強調されすぎることが挙げられる。そのため、明度補正手法の見直しが必要である。

5. おわりに

本研究では、空領域に注目し、空と前景を分離し透過度と大気光を推定する霧除去手法を提案した。従来手法では空のある画像の霧を除去するとノイズや白飛びが発生していた。また、除去後の画像の明度が下がる問題があった。提案手法では、空領域を推定し、空領域より大気光を決定した。また、透過度推定では前景領域の勾配情報を用いてパッチサイズの決定を行い、滑らかな透過度画像を生成し、空領域の透過度は前景領域の最大透過度を用いて霧の除去を行った。また、除去後の明度低下改善のため、線形濃度変換による明度補正を行った。これにより、霧除去後の画像はノイズなどのない鮮明な画像を生成することができた。

しかし、明度補正により、極端に強調される色があり、画像の印象を損ねていることが分かった。今後の課題として、明度補正手法の見直しを行い、違和感のない画像を生成することが挙げられる。また、真値画像との印象の比較も今後の課題である。

参考文献

[1] Kaiming He, Jian Sun, Xiaoou Tang, "Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior," Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on, pp.1956-1963, 2009
 [2] Xin Liu, He Zhang, Yiu-ming Cheung, "Efficient single image dehazing and denoising: An efficient multi-scale correlated wavelet approach", Computer Vision and Image Understanding, Volume 162, pp.23-33,2017.
 [3] S.G. Narasimhan and S.K. Nayar, "Vision and the Atmosphere," Int'l J. Computer Vision, vol. 48, pp. 233-254, 2002.