

修士論文要旨 (2017 年度)

透過マップを用いた近赤外線画像の統合による靄画像の明瞭化手法

Color Image Dehazing by Fusing Visible and Near-Infrared Images with Transmission Map

電気電子情報通信工学専攻 工藤 勇平

1. まえがき

近年、社会生活に安心・安全を提供するために、防災・防犯のための監視カメラや事故予防のための車載カメラなどにおいて画像認識技術が活用されており、画像を高品質で撮影することが求められている。しかし、これらのカメラは屋外で使用されるため、周囲の環境によっては画像の品質が低下してしまう。その原因の 1 つに靄がある。この靄はテクスチャ情報を失わせる性質を持っており、コントラストを下げる原因となる。これにより、特徴抽出や物体認識などのコンピュータビジョンにおいて、その精度を低下させてしまう。そこで、取得画像の靄領域を明瞭化してテクスチャ情報を復元する方法として Dehazing 手法 [1] がある。

Dehazing 手法には、取得画像だけを用いる方法 [2, 3] と近赤外線画像を融合する方法 [4] がある。前者の場合、靄が強い場合は、十分な効果を得ることが一般的に難しい。これに対して、後者の場合、靄の影響を受けにくい近赤外線画像のテクスチャを利用することができるため、靄除去の効果が高い。

Schaul らは、近赤外線画像を取得画像の明度画像に融合する方法を提案した [4]。融合においては、近赤外線画像と明度画像を、Weighted Least Squares フィルタ [5] に基づいた多重解像度画像に分解し、各解像度レベルにおいて画素値の大きい方を選択した。しかしながら、靄の強度が考慮されていないため、エッジが過度に強調される問題がある。

本研究では、この問題を解決するために、取得画像の明度画像に対して、透過マップを重み付けした近赤外線

画像をラプラシアンピラミッド [6] * に基づいて融合する方法を提案する。透過マップは、靄の強さに反比例した画像であり、取得画像から He らの方法 [2] を用いて推定する。提案手法では、透過マップの重み付けにより、靄の強さに応じて適切にエッジの復元が可能である。

2. 提案手法

2.1 概要

提案手法では、次の 5 つのステップにより、取得したカラー画像 $I(\mathbf{x})$ と近赤外線画像 $N(\mathbf{x})$ を用いて明瞭化したカラー画像 $\hat{I}(\mathbf{x})$ を生成する。ここに、 \mathbf{x} は画像座標を表す。

- (1) カラー画像 $I(\mathbf{x})$ を色相 $H(\mathbf{x})$ 、彩度 $S(\mathbf{x})$ および明度 $V(\mathbf{x})$ の各画像に変換
- (2) カラー画像 $I(\mathbf{x})$ から透過マップ $T(\mathbf{x})$ を推定
- (3) 近赤外線画像 $N(\mathbf{x})$ に透過マップ $T(\mathbf{x})$ を重み付けして、重み付き近赤外線画像 $\tilde{N}(\mathbf{x})$ を生成
- (4) 明度画像 $V(\mathbf{x})$ に重み付き近赤外線画像 $\tilde{N}(\mathbf{x})$ を融合してエッジを復元した明度画像 $\hat{V}(\mathbf{x})$ を生成
- (5) エッジを復元した明度画像 $\hat{V}(\mathbf{x})$ 、色相 $H(\mathbf{x})$ および彩度 $S(\mathbf{x})$ をカラー画像 $\hat{I}(\mathbf{x})$ に変換

以下では、ステップ (2) ~ (4) について述べる。

2.2 透過マップの推定

透過マップは、被写体からカメラに到達する光の強度の画像であり、0 から 1 までの値を取る。したがって、透過マップは、靄の強さに反比例したものを表す。

*文献 [4] において、Schaul らは、ラプラシアンピラミッドによる画像融合ではハロのアーティファクトが生じると述べているが、我々の実験においては同様なアーティファクトが生じることはなかった。Weighted Least Squares フィルタに基づいた分解に比べるとラプラシアンピラミッド分解は計算量が非常に小さいため、提案手法ではラプラシアンピラミッドを採用した。

カラー画像 $I(\mathbf{x})$ から He らの方法 [2] に基づいて透過マップの初期推定画像 $T_0(\mathbf{x})$ を推定する.

$$T_0(\mathbf{x}) = 1 - 0.95 \cdot \min_{\mathbf{y} \in \Omega(\mathbf{x})} \left(\min_{c \in \{R, G, B\}} \frac{I^c(\mathbf{y})}{A^c} \right) \quad (1)$$

ただし, c は RGB の各チャネル, A^c は各 RGB の環境光, $\Omega(\mathbf{x})$ は \mathbf{x} を中心とした 15×15 サイズのパッチを表す.

式 (1) の環境光 A^c は次のように推定する [2]. まず, 観測画像の dark channel 画像 I^{dark} を求める.

$$I^{\text{dark}}(\mathbf{x}) = \min_{\mathbf{y} \in \Omega(\mathbf{x})} \left(\min_{c \in \{R, G, B\}} I^c(\mathbf{y}) \right) \quad (2)$$

次に, $I^{\text{dark}}(\mathbf{x})$ の値が上位 0.1% である画素領域を求める. 最後に, その領域において, カラー画像の輝度値が最大値となる画素を求め, その各 RGB 値を A^c の値として算出する. $\Omega(\mathbf{x})$ は式 (1) と同じパッチである.

透過マップの初期推定画像 $T_0(\mathbf{x})$ には, ブロック状のアर्टィファクトが生じるため, 平滑化処理により透過マップ $T(\mathbf{x})$ を生成する. He らの方法 [2] では, soft matting を用いていたが, 提案手法では, 処理の高速化のため, カラー画像をガイドとしたガイデッドフィルタ [7] を平滑化処理に用いる.

2.3 重み付き近赤外線画像の生成

近赤外線画像 $N(\mathbf{x})$ を透過マップ $T(\mathbf{x})$ で重み付けし, 重み付き近赤外線画像 $\tilde{N}(\mathbf{x})$ を次式に基づいて生成する.

$$\tilde{N}(\mathbf{x}) = \begin{cases} N(\mathbf{x}) \times \frac{1 - T(\mathbf{x})}{1 - \tau}, & T(\mathbf{x}) > \tau \\ N(\mathbf{x}), & T(\mathbf{x}) \leq \tau \end{cases} \quad (3)$$

ここに, τ は閾値であり, $0 \leq \tau \leq 1$ である.

透過率が閾値 τ よりも大きければ, 霧がないと判断し, 重みを $(1 - T(\mathbf{x})) / (1 - \tau)$ として赤外線画像の値を小さくする. これにより, 次のステップである画像融合において取得した明度画像の情報が多く選択されるようになる. 逆に, 透過率が閾値 τ 以下であれば, 霧の強度が大きいと判断し, 赤外線画像の値を保持する. これにより, 画像融合において, 霧によりエッジ強度が低下した明度画像よりも赤外線画像の情報がより多く選択されるようになる.

閾値 τ は, 霧が少ない透過率の大きい領域において, 明度画像と近赤外線画像のエッジ強度が一致する基準値として算出する. エッジ強度を表す画像にはラプラシアンピラミッド [6] の第 0 層画像を用いる. 明度画像と近赤外線画像の第 0 層画像をそれぞれ V_0 と N_0 とすると, 閾値 τ を次式により算出する.

$$\tau = \arg \min_{0 \leq t \leq 1} \sum_{\mathbf{x}} \{V_0(\mathbf{x}) - tN_0(\mathbf{x})T(\mathbf{x})\}^2 \quad (4)$$

2.4 画像融合

画像融合には, ラプラシアンピラミッド [6] に基づく分解と合成を用いる. まず, 明度画像 V と重み付き近赤外線画像 $\tilde{N}(\mathbf{x})$ をラプラシアンピラミッド分解する. 階層数を L とし, 各層のラプラシアン画像をそれぞれ V_k^l と $\tilde{N}_k^l(\mathbf{x})$ ($k = 0, \dots, L - 1$) とする.

次に, 次式に基づいて $V_k^l(\mathbf{x})$ と $\tilde{N}_k^l(\mathbf{x})$ を融合し, コントラスト改善した明度画像の第 k 層におけるラプラシアン画像 $\hat{V}_k^l(\mathbf{x})$ を生成する.

$$\hat{V}_k(\mathbf{x}) = \begin{cases} V_k(\mathbf{x}), & E(V_k(\mathbf{x})) > E(\tilde{N}_k(\mathbf{x})) \\ \tilde{N}_k(\mathbf{x}), & E(V_k(\mathbf{x})) \leq E(\tilde{N}_k(\mathbf{x})) \end{cases} \quad (5)$$

ここに, 関数 $E(\cdot)$ は, 対象画素 \mathbf{x} を中心とした 3×3 の領域におけるエネルギー (画素値の 2 乗和) を表す. すなわち, $V_k(\mathbf{x})$ と $\tilde{N}_k(\mathbf{x})$ のエネルギー $E(V_k(\mathbf{x}))$ と $E(\tilde{N}_k(\mathbf{x}))$ を比較し, 大きい方の画素値を採用する.

最後に, 得られた全てのラプラシアン画像 $\hat{V}_k^l(\mathbf{x})$ ($k = 0, 1, \dots, L - 1$) と L 層における明度画像のガウシアン画像 V_L^g を用いてラプラシアンピラミッド合成を行い, エッジを復元した明度画像 $\hat{V}(\mathbf{x})$ を生成する.

3. 実験

3.1 画像の取得

屋外の遠景領域に霧がかかったシーンに対してカラー画像と近赤外線画像を撮影した. 近赤外線画像の撮影には, 700 [nm] よりも長い波長の光を透過させるフィルタ (富士フィルム社, IR-76) を用いた. 取得した画像のサイズはともに 1600×1200 [pixel] である.

撮影したカラー画像と近赤外線画像を図 1 (a) と (b) に示す. カラー画像では, 遠景においてテクスチャの詳細な成分が失われていることがわかる. それに対して,

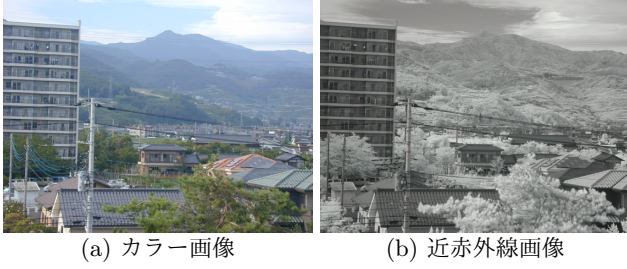


図 1: 取得画像

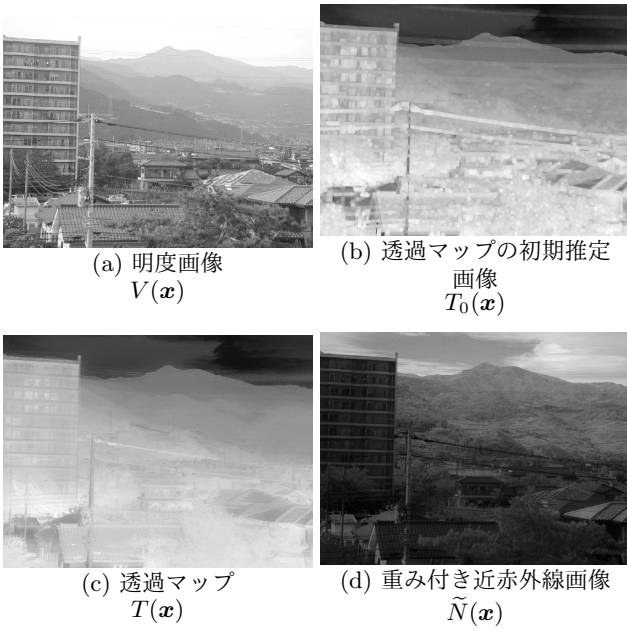


図 2: 各種生成画像

近赤外線画像では、遠景のテクスチャ成分も詳細に取得されている。また、近景の植物の領域では、葉緑体の性質により近赤外光が強く反射されるため、近赤外線画像の輝度が大きくなっている。

3.2 各種生成画像

カラー画像から生成した明度画像を図 2 (a) に示す。カラー画像と同様に遠景領域ではテクスチャが失われていることが確認できる。

透過マップの初期推定画像とそれを平滑化した結果を図 2 (b) と (c) にそれぞれ示す。ここでは、各画素の透過率を 255 倍して画素値に変換している。環境光は、取得したカラー画像から、すべての色チャンネルで 255 と推定された。

初期推定画像では、 15×15 サイズのパッチごとの処理であるため、ブロック状のアーティファクトが生じてい

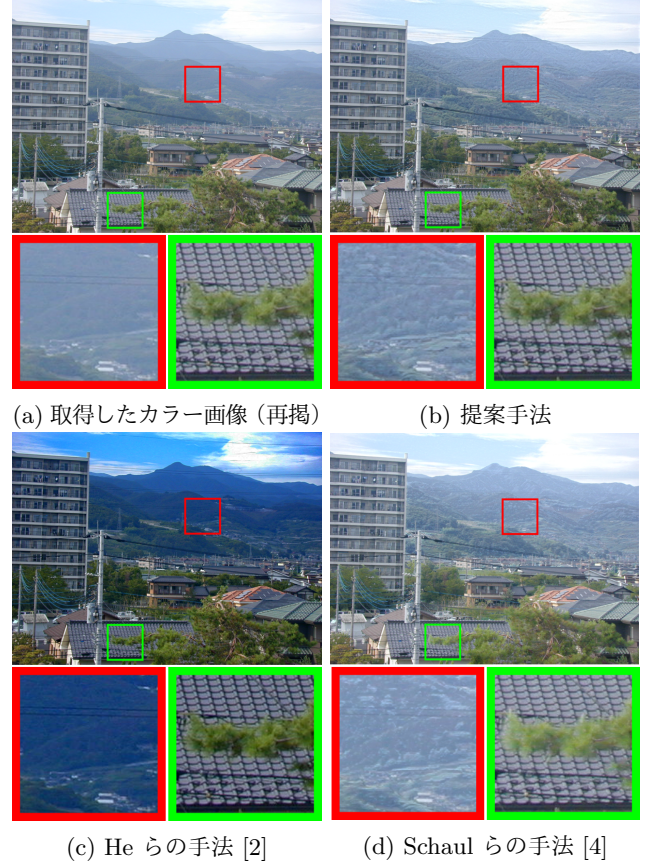


図 3: 取得したカラー画像と生成結果の比較

る。これに対して平滑化した画像では、細かい領域においても透過率が滑らかに変化していることがわかる。また、霧の影響が大きい遠景の領域において低い透過率が推定されていることも確認できる。

生成した重み付き近赤外線画像を図 2 (d) に示す。生成の際に用いる閾値 τ は 0.37 と算出された。透過率が 0.37 よりも大きな画素では、重みが小さくなるため、重み付き近赤外線画像の画素値も小さくなる。そのため、透過率の高い近景領域では画素値が小さく、透過率の低い遠景領域では画素値が大きくなっていることが確認できる。

3.3 画像融合結果

カラー画像 (再掲) および提案手法で生成した画像を図 3 (a) と (b) にそれぞれ示す。提案手法におけるラシアンピラミッドの層数を $L = 3$ とした。比較のため、従来手法として He らの方法 [2] および Schaul らの方法 [4] の生成結果を図 3 (c) と (d) にそれぞれ示す。緑

色と赤色で示された領域については、それらの拡大画像をそれぞれ示した。

カラー画像と比較すると、提案手法の生成画像は、遠景領域のエッジが復元されていることがわかる。特に、緑色の領域を比較すると、遠景の山肌や稜線が鮮鋭になっている。近景領域については、カラー画像との差がほとんどなく、取得時の画素値が保持されていることも確認できる。

He らの結果では、遠景領域のエッジがほとんど復元されていないことが見てとれる。カラー画像の遠景領域に十分なエッジが含まれていないので、単一のカラー画像からのエッジの復元に限界があるためである。また、画像全体の画素値が低くなり、色合いが不自然になっている。これに対して、提案手法の結果は、色合いにほとんど変化がなく、自然な画像になっていることがわかる。

Schaul らの結果では、エッジが過度に強調され、エッジ周辺の輝度が非常に高くなっている領域が近景と遠景でともに見られる。これは、靄の強度が考慮されずに近赤外線画像が融合されるため、近赤外線画像のエッジを融合する割合が適切でなくなることが原因である。これに対して、提案手法の結果では、透過マップによる重み付けにより、靄の強度に応じて近赤外線画像のエッジが適切に融合されていることがわかる。

4. おわりに

本研究では、靄のある領域に対して近赤外線画像が持つエッジ情報を融合することによって画像を明瞭化する画像融合法を提案した。提案手法では、推定した透過マップによって重み付けした近赤外線画像を明度画像に融合することによって、靄の強度に応じた領域のエッジ復元を可能とした。そして、従来手法との比較実験を行い、提案手法の有効性を示した。

今後は、より効果的な明瞭化を行うために、各パラメータの最適推定や色合いの復元の方法を検討する。また、主観評価実験により画像品質の定量評価を行う予定である。

参考文献

- [1] Y. Xu, J. Wen, L. Fei and Z. Zhang, “Review of Video and Image Defogging Algorithms and Related Studies on Image Restoration and Enhancement,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 165–188, Mar. 2016.
- [2] K. He, J. Sun and X. Tang, “Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, no. 12, pp. 2341–2353, Dec. 2011.
- [3] C. O. Ancuti and C. Ancuti, “Single Image Dehazing by Multi-Scale Fusion,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.22, no.8, pp.3271–3282, 2013.
- [4] L. Schaul, C. Fredembach and S. Süsstrunk, “Color Image Dehazing Using the Near-Infrared,” *IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 1–4, Nov. 2009.
- [5] Z. Farbman, R. Fattal, D. Lischinski and R. Szeliski, “Edge-Preserving for Multi-Scale for Multi-Scale Tone and Detail Manipulation,” *ACM Transactions on Graphics*, vol. 27, no. 3, Article 67, pp. 1–10, Aug. 2008.
- [6] P. Burt and E. Adelson, “The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code,” *IEEE Transactions on Communications*, vol.31, no.4, pp.532–540, 1983.
- [7] K. He, J. Sun and X. Tang, “Guided Image Filtering,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.35, no. 6, pp. 1397–1409, Jun. 2013.