

ノイズに頑健なコントラスト弁別指標を用いた画像融合手法 Image Fusion Method Using Noise Robust Contrast Discriminant Measure

赤司 竜一[†] 柴田 剛志[†] 戸田 真人[†] 蝶野 慶一[†]
Ryuichi Akashi Takashi Shibata Masato Toda Keiichi Chono

1. はじめに

夜間環境において複数の波長を用いて撮影シーンを網羅的に観測するため、Short-wave infrared (SWIR)カメラと Long-wave infrared (LWIR)カメラが利用されている[1]. SWIR カメラは、夜間上空より放射される夜光によって夜間環境においても可視カメラに比べて明るい画像を撮影することができる。また、SWIR カメラは、可視カメラと同様に物体の反射光を観測するため、可視画像と似た見えの画像を撮影できるという特徴を持つ。しかし、夜光だけでは観測光量が不十分なため、夜間環境では強いノイズを含む画像が撮影される。一方、LWIR カメラは物体が放つ熱を観測するため、撮影画像は可視画像と見えが大きく異なる画像となり、人が理解しやすい画像とは言えない。しかし、LWIR カメラは物体自体が放つ熱を観測するため、夜間環境においてもノイズの影響をほとんど受けずに画像を撮影することができる。

夜間の運転支援や人による異常検知という応用には、これら異なる波長の画像を元に人が素早く判断を行う必要がある。しかし、異なる波長画像を個別に確認する作業は、時間と手間を要するため、素早い判断の妨げとなる。素早い判断を行うためには、異なる波長の画像を融合して 1 枚の画像として提示することが有効である。

本稿では、従来の画像融合手法とその課題について述べ、ノイズに頑健なコントラスト弁別指標を用いた画像融合手法を提案する。実験により提案手法の有効性を示す。

2. 従来手法と課題

画像融合手法としてウェーブレット変換を用いた手法が提案されている[2,3]. この手法ではまず、SWIR 画像と LWIR 画像に対してウェーブレット変換を適用して係数 M_S と M_L を算出する。続いて、 M_S, M_L を用いて SWIR 画像の融合比率 W_S を算出する。

$$W_S = \begin{cases} 1 & \text{if } |M_S| > |M_L| \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 W_S と LWIR 画像の融合比率 W_L は式(2)を満たす。

$$W_S + W_L = 1 \quad (2)$$

従来手法は、係数 M_S, M_L の絶対値が大きい方の成分だけを残す融合となる。ウェーブレット係数の絶対値は局所的な変化の強さを表すため、従来手法は局所的な領域のコントラストを用いた融合とも解釈できる。

しかし、夜間環境において SWIR 画像に強いノイズが含まれる場合、ノイズの影響によって係数 M_S の信頼度が低下するため、融合比率を適切に決定できない。

3. 提案手法

提案手法では、画像に含まれるノイズ量と局所領域の

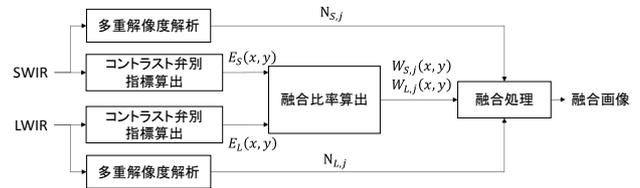


図 1. 提案手法のブロック図

コントラストから算出するコントラスト弁別指標を用いて融合比率を決定し、融合画像を生成する。提案する画像融合手法のブロック図を図 1 に示す。提案手法では、まず LWIR, SWIR 画像の画素 (x, y) についてコントラスト弁別指標 $E_L(x, y), E_S(x, y)$ を算出する。その後、LWIR, SWIR 画像それぞれに、カーネルサイズの異なる複数の平均フィルタを適用して生成した平均画像について、隣接する解像度間の平均画像の差分をとることで、SWIR, LWIR 画像を空間周波数成分 $N_{S,j}, N_{L,j}$ に分解する。 j は周波数成分の番号を表し、 j が大きいほど低周波成分である。コントラスト弁別指標 $E_S(x, y), E_L(x, y)$ を用いて融合比率 $W_{S,j}(x, y), W_{L,j}(x, y)$ を決定し、分解した周波数成分 $M_{S,j}, M_{L,j}$ を融合して融合画像を生成する。

3.1 ノイズに頑健なコントラスト弁別指標

ノイズに頑健なコントラスト弁別指標 $E_X(x, y)$ ($X \in S, L$)を、ノイズの標準偏差 σ_X と局所コントラスト $C_X(x, y)$ を用いて算出する(式(3))。

$$E_X(x, y) = \frac{1}{\exp\left(\frac{\alpha \cdot \sigma_X}{\beta \cdot C_X(x, y) + \gamma} + \delta\right)} \quad (3)$$

ここで、 σ_X は全画像の 5×5 ブロック毎に求めた画素値の標準偏差の最小値であり、 $C_X(x, y)$ は 5×5 ブロックにおけるコントラスト差である。また、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ は 3.3 節に記す方法で決定するパラメータである。

式(3)から分かるように、 $E_X(x, y)$ は画像に含まれるノイズが強いほど小さな値をとり、局所コントラストが大きいほど大きな値をとる。一般にノイズの標準偏差が大きい場合、局所コントラストの信頼度は低下する。この場合、式(3)はノイズの標準偏差の逆数で局所コントラストを重み付けするため、局所コントラストの信頼度を考慮した指標となる。ゆえに、提案手法における $E_X(x, y)$ は従来手法よりも、ノイズに頑健なコントラスト弁別指標となる。

3.2 融合比率の算出

導出したコントラスト弁別指標 $E_S(x, y), E_L(x, y)$ に基づき、SWIR, LWIR 画像の空間周波数成分 $M_{S,j}, M_{L,j}$ に対する融合比率 $W_{S,j}(x, y), W_{L,j}(x, y)$ を決定する。

本研究では、SWIR の SWIR の $E_S(x, y)$ が十分大きい場合には SWIR を優先して融合する方針としたため、SWIR の

[†] NEC Corporation

$E_S(x, y)$ が LWIR の $E_L(x, y)$ および所定の閾値 t_{2j} よりも十分大きい場合に $W_{S,j}(x, y) = 1$ とする。また, SWIR は見えが可視画像に似ているという特徴を持っており, 見えが可視画像に近い融合画像を生成することを融合の指針としたことから, 最低周波数成分($j=4$)の場合にも $W_{S,j}(x, y) = 1$ とする。SWIR の $E_S(x, y)$ と LWIR の $E_L(x, y)$ の両方が所定の閾値よりも小さい場合, これは SWIR と LWIR 両方の指標が低いことを表しているため, 単純に平均をとって $W_{S,j}(x, y) = 0.5$ とする。SWIR の $E_S(x, y)$ が LWIR の $E_L(x, y)$ および所定の閾値 t_{2j} よりも十分小さい場合には, $W_{S,j}(x, y) = 0$ とする。融合比率 $W_{S,j}(x, y)$ の決定方法を式(4)と表1に示す。

$$W_{S,j}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if 条件1 or 条件2} \\ 0.5 & \text{else if 条件3} \\ 0 & \text{else 条件4} \end{cases} \quad (4)$$

ここで, 融合比率 $W_{S,j}(x, y)$ と $W_{L,j}(x, y)$ は式(5)を満たす。

$$W_{S,j}(x, y) + W_{L,j}(x, y) = 1 \quad (5)$$

表1. 融合比率算出における条件

条件1	$(E_S(x, y) - E_L(x, y) \geq t_{1j} \text{ and } E_S(x, y) > E_L(x, y))$ or $(E_S(x, y) \geq t_{2j})$
条件2	$j = 4$
条件3	$(E_S(x, y) - E_L(x, y) < t_{1j}) \text{ and } (E_S(x, y) < t_{2j})$
条件4	$(E_S(x, y) - E_L(x, y) \geq t_{1j} \text{ and } E_S(x, y) < E_L(x, y))$ and $(E_S(x, y) < t_{2j})$

3.3 弁別指標のパラメータ設計

3.1節では, 指標 $E_X(x, y)$ がノイズに対して頑健であることを述べた。視認したいオブジェクトの弁別性は, オブジェクトのコントラスト差, 画像のノイズ強度だけではなく, オブジェクトのサイズにも依存すると考えられる。具体的には, オブジェクトのサイズとコントラスト差が大きい場合, ノイズ強度が高くともオブジェクトの弁別性は高いと考えられる。逆に, オブジェクトのサイズとコントラスト差が小さい場合, ノイズ強度が低くともオブジェクトの弁別性は低いと考えられる。

提案手法では式(3)のパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ を上記の依存関係を考慮して設計する。この設計方針を考慮した実験で $\alpha = 27.6, \beta = 3.2, \gamma = 0.0083, \delta = 1.1$ とした。

4. 実験

LWIR 画像と強いノイズを含む SWIR 画像の融合における提案手法の有効性を示すため, SWIR 画像のノイズ強度増加に対する融合画像のエッジ保存率の比較と, 夜間撮影した LWIR 画像と SWIR 画像を融合する実験を行う。

4.1 エッジ保存率

入力画像AとBを融合した融合画像Fと, Aにノイズを付加した A_n とBを融合した融合画像 F_n を生成し, 融合画像のエッジ保存率による評価を行う[4]。評価は, Aに対する A_n のエッジ保存率 Q_A と, Fに対する F_n のエッジ保存率 Q_F を用いて式(6)により算出するノイズ耐性Dを用いて行った。評価は TNO 画像融合データセット[5]を用いて行い, 近赤外画像に標準偏差 $\sigma = 20$ のガウスノイズを付加して実施した。

表2. 評価結果

	提案手法	従来手法[2]
Q_F	0.44	0.092
D	10.13	0.47

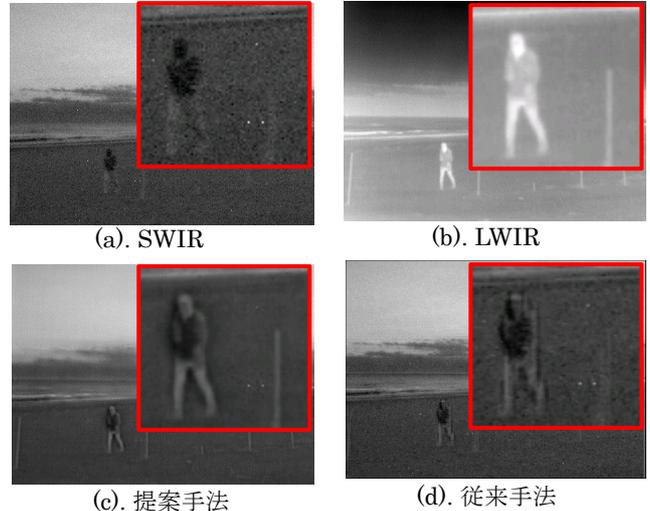


図2. 画像融合結果

評価結果を表2に示す。表2の値は, データセットの各画像対に対して算出した D の平均値である。 Q_F が高いことは, 入力画像のノイズが増加した場合に, 融合画像のエッジが保存されていることを表し, Dが高いことは, ノイズの増加による入力画像の劣化に対して, 融合画像の劣化が小さいことを表す。提案手法の方が, エッジを保存し, ノイズ増加に対して頑健であることがわかる。

$$D = \frac{Q_F - Q_A}{Q_A} \quad (6)$$

4.2 夜間撮影画像の融合

夜間に撮影した LWIR 画像と強いノイズを含む SWIR 画像を融合する実験を行う。SWIR 画像と LWIR 画像のサイズはともに VGA である。融合に用いた SWIR 画像と LWIR 画像, 提案手法による融合結果, 従来手法による融合結果を図2に示す。提案手法は従来手法に比べ, 強いノイズを含む画像の融合において, より細かな物体を視認可能な融合画像を生成できていることが分かる。

5. おわりに

本研究では, ノイズに頑健なコントラスト弁別指標に基づく画像融合手法を提案した。提案手法により, 入力画像に含まれるノイズに対して頑健に, 従来手法に比べて細かな物体を視認可能な融合画像を生成できることを確認した。

参考文献

- [1] R. Vandersmissen, et al, "Night-vision camera combines thermal and low-light-level images", Photonik Int, Vol.2, 2-4 (2008).
- [2] Q. Guihong, et al, "Medical image fusion by wavelet transform modulus maxima", Optics Express, Vol.9, No.4 184-190 (2001).
- [3] Z. Jiang, et al, "A wavelet based algorithm for multi-focus micro-image fusion", ICIG, 176-179 (2004).
- [4] V. Petrovi, et al, "On the effects of sensor noise in pixel-level image fusion performance", ICIF, WEC3-14 (2000).
- [5] A. Toet, et al, "Progress in color night vision," Optical Engineering 51(1) (2012).