

赤外線サーモグラフィのための超解像手法

A Super-Resolution Method for Infrared Thermography

幸田 真和†

黒木 修隆†

沼 昌宏†

Masakazu Kouda Nobutaka Kuroki Masahiro Numa

1. まえがき

近年、医療、構造物の診断、品質管理など、様々な分野で赤外線サーモグラフィが用いられている。対象の細部まで計測を行うためには高い解像度が必要であり、高い解像度の赤外線サーモグラフィは非常に高価である。このため、ソフト処理によりセンサの解像度以上の高解像度画像を得ることが望まれる。しかし赤外線サーモグラフィは利用目的が検査・測定であるため、周辺のデータから補間することができず、ソフト処理による高解像度化に関する研究は積極的に行われていない。

本論文では、赤外線サーモグラフィの高解像度化を目的とし、サーモグラフィ画像に対する超解像 [1], [2] の適用方法を提案する。超解像は複数枚の低解像度画像間における変位から高解像度画像を復元する技術である。超解像に必要な変位を得るために赤外線サーモグラフィとそれに対応した可視光線カメラの2種類のカメラを用い、さらにそれらの解像度の違いを考慮することで、可視光線画像間における変位をサーモグラフィ画像間における変位に対応させる。そして、求めた変位を利用しサーモグラフィ画像に対して超解像を適用する。

2. サーモグラフィ画像に対する超解像

2.1 観測モデルの定義

本論文で想定する測定機の構成を図1に示す。測定機には、赤外線サーモグラフィと可視光線カメラが内蔵され測定中にこれらの位置関係は変わらないものとする。さらに、可視光線カメラの解像度は赤外線サーモグラフィの解像度の K 倍(2以上の整数倍)である場合を想定する。

また、赤外線サーモグラフィによる観測モデルを図2に示す。ここで測定機より得られる可視光線画像を $f(x, y)$ 、温度情報を $t_{n,m}$ と定義する。空間中の真の温度分布 $T(x, y)$ を、感度分布関数が $S(x, y)$ のセンサを通して観測すると、観測される温度分布 $T'(x, y)$ は、

$$T'(x, y) = T(x, y) * S(x, y) \quad (1)$$

のようになる。

ただし、測定機の性能により、測定ポイントの間隔は K に固定されており、温度情報 $t_{n,m}$ は、

$$t_{n,m} = T'(K \cdot n, K \cdot m) \quad (2)$$

のように得られると仮定する。本研究の目的は温度情報 $t_{n,m}$ から $T(x, y)$ を復元することである。

2.2 提案手法の概要

提案手法の処理の流れは図3のようになる。ここでは、可視光線画像の流れを実線、赤外線サーモグラフィの温度

情報の流れを破線で表す。

1回目に測定された可視光線画像と温度情報 $t_{n,m}^0$ を基準とし、2回目以降に測定された画像と温度情報 $t_{n,m}^i (i = 1, 2, \dots, I-1)$ を超解像用の画像として処理を行う。まず、それぞれの可視光線画像を用いて変位推定を行う。この際ブロックマッチングを用いてピクセル精度で変位 (dx_i, dy_i) を推定する。

次に求めた変位を利用し、それぞれの温度情報に対して超解像を適用する。これによって高解像度サーモグラフィ画像を取得する。

以下の節で各処理の詳細を述べる。

2.3 マッピング

可視光線画像におけるブロックマッチングで求めた変位 (dx_i, dy_i) を利用し $t_{n,m}^i$ から $T'_0(x, y)$ へのマッピングを行う。この概念を図4に示す。

$T'_0(x, y)$ に対する $T'_i(x, y)$ の変位が (dx_i, dy_i) を用いて、

$$T'_1(x, y) = T'_0(x + dx_1, y + dy_1) \\ \vdots \quad (3)$$

$$T'_{I-1}(x, y) = T'_0(x + dx_{I-1}, y + dy_{I-1})$$

と表せるとき、式(2), (3)から、

$$t_{n,m}^i = T'_0(K \cdot n + dx_i, K \cdot m + dy_i) \quad (4)$$

と考えられる。したがって観測値 $t_{n,m}^i$ から $T'_0(x, y)$ へのマッピングを、

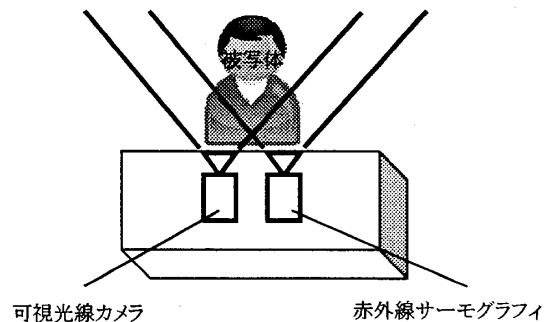


図1 測定機の構成

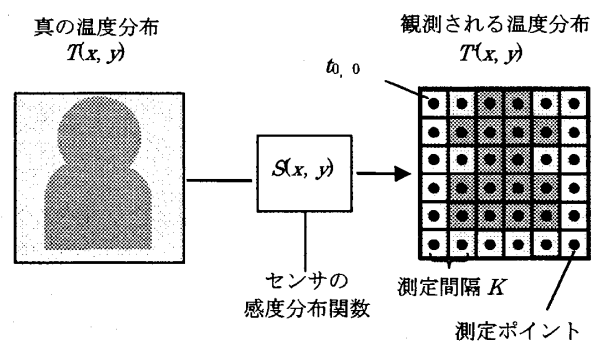


図2 温度情報 $t_{n,m}$ の観測モデル

† 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University.

$$\begin{aligned}
 T_0'(K \cdot n, K \cdot m) &\leftarrow t^0_{n, m} \\
 T_0'(K \cdot n + dx_1, K \cdot m + dy_1) &\leftarrow t^1_{n, m} \\
 &\vdots \\
 T_0'(K \cdot n + dx_{I-1}, K \cdot m + dy_{I-1}) &\leftarrow t^{I-1}_{n, m}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

のように行う。

2.4 ダウンサンプリング

解像度を $K \times K$ 倍に高めるために適切に変位を持った温度情報 $t^0_{n, m} \sim t^{I-1}_{n, m}$ が得られない場合 ($I < K^2$ の場合)は, $T(x, y)$ において不足した情報を補間する方法が考えられるが, 提案手法では $f(x, y)$ および $T(x, y)$ をダウンサンプリングすることによって測定間隔 K を相対的に小さくする。つまり, $I \geq K^2$ を満たすまでダウンサンプリングを行う。

3. 実験と考察

3.1 実験環境・方法

撮影に用いたカメラは 2 次元放射温度計アイスクエア TJ-200 である。このカメラは 2.1 節で定義したような構成であり, 温度情報は, 縦 8 点 × 横 8 点の 64 点で測定を行うことができる。温度情報の 1 点は可視光線画像における 20×20 画素に相等する。したがって原理的には最大 20×20 倍の超解像度化が可能であるが実験では撮影時間を抑えるため 4×4 倍の超解像を行う。これにより $32 \text{ 点} \times 32 \text{ 点} = 1024$ 点の温度情報を持つサーモグラフィ画像を作成する。

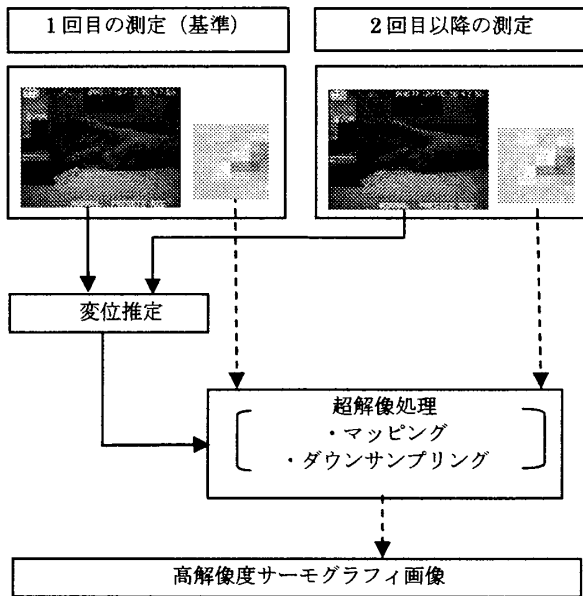


図3 処理の流れ

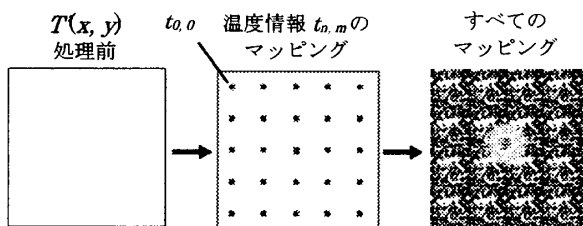


図4 高解像度サーモグラフィ画像へのマッピング

3.2 結果と考察

基準画像と, 基準画像から微小な変位を持った画像, 合わせて 36 枚撮影し, それらを用いて超解像を行った。図 5(a)と図 5(b)のサーモグラフィ画像を比較すると, 解像度が 4×4 倍になっていることが分かる。また図 5(b)と図 5(c)を比較すると正しい位置に温度情報がマッピングされていることが分かる。

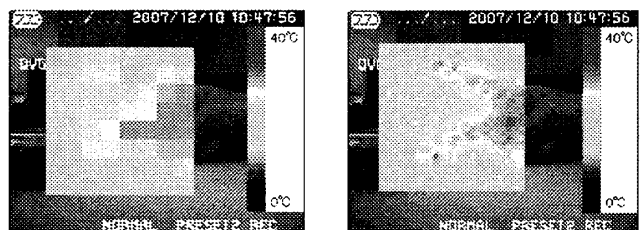
しかし, 図 5(b)の画像の温度分布を見ると, ノイズと思われる不自然に温度の異なる点が見られる。この原因としては, 長時間の撮影に及んだことによる被写体の温度変化, 形の変化が考えられる。また, 変位推定の際, ブロックマッチングによって水平・垂直方向の変位しか考慮しておらず, カメラの回転方向への移動がズレの発生につながりノイズを発生させたと考えられる。これらは, 撮影スピードの速い赤外線サーモグラフィカメラを利用することや回転方向への変位を考慮に入れた変位推定手法を用いることで解決できると考えられる。

4. まとめ

本論文では, 2 種類のカメラを用い, 赤外線サーモグラフィに対して超解像を適用する手法を提案した。また, 実験により, 基準画像の解像度の 4×4 倍の高解像度化を実現した。一部, サーモグラフィ画像にノイズが発生する問題は残ったが, 解像度の面ではセンサ本来の性能に比べて大幅に改善できることを確認した。

参考文献

- [1] 橋本雄幸, 小笠原洋一, 池田敏之, 井上多門, “画像再構成における超解像問題,” Med. Imag. Tech, vol. 11, no. 5, 1993.
- [2] M. Irani, and S. Peleg, Improving Resolution by Image Registration, CVGIP : Graphical Model and Image Processing, vol. 53, pp. 231-239, 1991.



(a) 基準画像

(b) 提案手法



(c) 可視光線画像

図5 基準画像と提案手法の比較