フラクタル次元解析を用いた温度画像の異常診断†

内 富 昭 三*・隈 崎 健 二**・緒 方 純 俊**

Diagnosis of Thermal Image by Fractal Dimension Analysis

Syozo UCHITOMI*, Kenji KUMASAKI**
and Sumitoshi OGATA**

This paper deals with the classification of Temperature patterns and the analysis of time varying images. The fractal dimension provides a usefull skill to understand the complexity of the topography.

We prepared a set of data which includes the cooling process and heating process on the surface of a micom board, and computed the set of fractal dimension corresponding to the individual thermal image based on the power law.

Key Words: pattern instrumentation, thermal image, classification, fractal dimension

1. はじめに

温度プロセスの表面温度分布を診断することは工業的に有用である。本研究は、混沌とした画像データの中から規則性や構造的な特徴を理解し、対象プラント内部の状態変化などを診断する手法¹⁾を研究するものである。

本報では温度パターンの時間的変化を解析する手法について述べる。CGの分野で利用されているフラクタル図形の次元²⁾を用いる手法は、工業分野でも少しずつ活用³⁾されてきた。そこで画像の複雑さを表わす指標として画像テクスチャの時系列的変化をフラクタル次元の変化によって表わし、既存の分類手法では特徴抽出が困難な画像に対して有効であることを実証する。

2. 画像のフラクタル次元

輝度値も含めて画像全体を被覆するのに必要な1辺 r のCube(ディバイド)の個数を $N(r)$ としたとき、スケール r によらず

$$N(r) = C \cdot r^{-D} \quad C \text{ は定数} \quad (1)$$

が成り立つような D をフラクタル次元と呼ぶ。

xy 平面上の領域における画像濃度曲面を1辺 r の画面素間隔の立方体で分割した際の各単位領域上の個数を

$n_v(r)$ とし、その輝度値を BV_i とすると、立体画素数 $N(r)$ は(3)式で表わされ、フラクタル次元 D_c は

$$n(r) = \text{Int} \left[\frac{\text{Max}(BV_i)}{r} + 1 \right] \quad (2)$$

$$N(r) = \overline{n(r)} \cdot \frac{S}{r^2} \quad S: \text{全メッシュ面積} \quad (3)$$

$$D_c = \frac{\log_{10} N(r)}{\log_{10} r} \quad (4)$$

(4)式から求まる。これらにより、複数の標本値から最小二乗法により回帰直線の傾き $-D$ が求められる。

3. マイコンボード熱画像データ

使用した画像データは、ボードマイコンの発熱温度をサーモビューアにより画像化したものである。画像は20秒間隔で測定し、15枚の時系列画像を取り込んである。ボードが十分暖まった状態でスイッチをOFFにし、120秒でスイッチをONにする。すなわち、0秒(スタート)から120秒間は冷却状態(スイッチOFF)、120秒から280秒間は加熱状態(スイッチON)となっている。画像の一部を**Photo. 1**((a)0秒(b)60秒)に示す。

Squareフラクタル次元を求める場合は、前処理として画像を二値化する。一般に、熱画像はなだらかに変化しており、通常の閾値処理ではその特徴をとらえにくい。そこで熱画像をマルチスライスすることにより等温線を描かせる。原画像**Photo. 1**(a), (b)を同じ閾値幅で等温線化したベクター画像を**Fig. 1**(a), (b)に示す。

マイコンボードの熱画像データについて、CubeおよびSquareをディバイドとして求めたフラクタル次元の時系列的な変化を**Fig. 2**(a), (b)に示す。(a)はCube

† 第3回計測自動制御学会中国支部学術講演会で発表(1994・12)

* 宇部工業高等専門学校 宇部市常盤台

** 九州工業大学情報工学部 飯塚市大字川津 680-4

* Ube National College of Technology, Ube

** Kyushu Institute of Technology, Iizuka

(Received June 5, 1995)

(Revised August 23, 1995)

(a) 0[s]

(b) 120[s] after

Photo. 1 Thermo-view of micom-board

Data1

Data4

(a) 0[s]

(b) 120[s] after

Fig. 1 Isothermal lines of thermo-view

フラクタル次元によるもの、(b)はSquareフラクタル次元によるものである。(a)、(b)ともマイコンボードの冷却過程でフラクタル次元が減少し、発熱過程で増加している様子が確認された。

一画面の画像を多数の行に分割し、それぞれの行を1本につないだ長い走査型時系列データを作ると、画像としての性質は失われるが、変化を調べる場合の解析手法としては有効である。温度画像をフラクタル画像とみなせば、フラクタル次元の解析を行うことも可能である。

最初の画像の走査型時系列データを x_n 、つぎつぎ変化する画像の走査型時系列データを y_n とし、 x_n の平均値を μ_x 、 x_n の画素数を N とすると、相互相関関数値は(5)式で計算される。

計算結果をグラフで表示すると Fig. 3 のようになり、Fig. 2 と同様の傾向を示している。

(a) Cube

(b) Square

Fig. 2 Time sequential changes of fractal dimension

Fig. 3 Time sequential change of cross colloration

$$\hat{\rho}_{xy}(0) = \frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \mu_x)(y_n - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (x_n - \mu_x)^2 \sum_{n=1}^N (y_n - \mu_y)^2}} \quad (5)$$

Fig. 2の(a)と(b)を比べると, Squareによるものは Cubeによるものに比べて, フラクタル次元の変化範囲が広く, 微妙な変化をとらえている。しかし, Squareによるものは二値化処理を必要とし, その処理の中で閾値幅の決定法が経験的であるという問題がある。

相互相関数値は Square フラクタル次元と同様に, 画像の微妙な変化にもよく影響が現れている。

4. Cube フラクタル次元の計算法の改善

まず, ディバイダサイズ r の妥当な最大値を調べる。テスト方法としては, つぎのようなパラメータを変化させた画像を発生させ, そのパラメータ変化に対するフラクタル次元の変化を調べた。4種の生成パターンは, (1)輝度値変化による場合, (2)矩形波の振幅変化による場合, (3)余弦波の周波数変化による場合, (4)ランダム信号の振幅変化による場合, であった。画像サイズはすべて, 256×256 の 256 階調である。また, スケール r は 2 から 2 の階乗で変化させ, r の最大値が 8, 16, 32, 64, 128, 256 の各場合についてそれぞれテストした。

あらゆるテストの結果, r の妥当な最大値はスケールの最大値である 256 のものがよいという結果を得た。つまり, スケール r の最大値は画像をひとつのディバイダで覆えるものが最良ということになる。

フラクタル次元は定義ではメッシュ単位でディバイダを移動させて求めるが, ピクセル単位で求めるものとすれば, 単位領域での Cube の個数 $n(r)$ の平均 $\overline{n(r)}$ を整数から実数に変更するものとなる。このとき計算式は, (i) ディバイダの個数 $N(r)$ や $n(r)$ を整数個に限定

$$\overline{n(r)} = \text{Int} \left[\frac{\sum_{i=0}^{Y-r} \sum_{j=0}^{X-r} n_{ij}(r)}{(X-r+1)(Y-r+1)} \right] \quad (6)$$

$$N(r) = \text{Int} \left[\overline{n(r)} \cdot \frac{X \cdot Y}{r^2} \right] \quad (7)$$

(ii) ディバイダの個数 $N(r)$ や $n(r)$ を double に変更して, 実数個に拡張する。

$$\overline{n(r)} = \text{Double} \left[\frac{\text{Max}(BV_i)}{r} + 1 \right] \quad (8)$$

$$N(r) = \text{Double} \left[\overline{n(r)} \cdot \frac{X \cdot Y}{r^2} \right] \quad (9)$$

すなわち, (i)(ii)の2通りで行った。その結果, Fig. 2(a)は, (i)法では Fig. 4(a)に, (ii)法では Fig. 4(b)のように改善された。

5. おわりに

熱画像の時間的変化を Square および Cube フラクタル次元の変化によって表わすことができた。ディバイダサイズ r の最大値は(i)では画像をひとつのディバイ

(a) is case(i)

(b) is case(ii)

Fig. 4 Time sequential change of improved Cube Fractal Dimension of Fig. 2

ダで覆えるものが最もよかった。(ii)の場合は画像サイズよりも1ランク小さい r が最適であった。またマイコンボードの改善フラクタル次元(i), (ii)は共に時間につれて滑らかに変化しているが, 4章で述べた4種の生成パターンの「矩形波の振幅変化」に関しては, (i)の場合にはあまり改善されなかったが, (ii)の場合はよく改善された。また, 相互相関数でも同様の結果が得られた。これによりフラクタル次元を熱画像データの異常診断に適用し, どの程度の異常かを判断できることが確認された。今後は異常の生じている場所の同定などについても改善をはかりたい。

参考文献

- 1) 内富, ほか: 等温閉曲線の構造的理解および熱プロセス診断への応用, 計測自動制御学会論文集, 30-3, 363/365(1994)
- 2) 高木, ほか: 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会(1993)
- 3) 明石: フラクタル次元を用いたバイオプロセスにおける比増殖速度の計測, 計測自動制御学会論文集, 27-3, 255/262(1991)