法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-01-15

画像認識手法を用いた磁界系非破壊検査

佐藤, 隆紀 / SAITO, Yoshifuru / HAYANO, Seiji / SATO, Takanori / 齋藤, 兆古 / 早野, 誠治

(出版者 / Publisher)法政大学計算科学研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of Computational Science Research Center, Hosei University / 法 政大学計算科学研究センター研究報告

(巻 / Volume) 16 (開始ページ / Start Page) 83 (終了ページ / End Page) 87 (発行年 / Year) 2003-03-20 (URL)

https://doi.org/10.15002/00024979

画像認識手法を用いた磁界系非破壊検査

佐藤 隆紀 早野 誠治 齋藤 兆古 法政大学大学院工学研究科

本論文は磁界の可視化手法に画像認識手法を応用した非破壊検査法を提案する. さらに,カラー動画像 として可視化された動磁界分布から解像度や基準座標に依存しない不変量を抽出し,抽出された不変量 から線形システム方程式を導出し,方程式を解くことによって画像認識を行う. 非破壊検査の具体例と して磁気素子の認識を行い,その有用性を報告する.

1. はじめに

近年の電子・電磁機器は数多くの半導体によって回路 が集積化されており、多くの場合密閉構造をしている. そのため、破壊・分解なしに機器内部の健全性を検査・ 診断,及び不良部位を特定することは比較的困難である. 非破壊的な電子・電磁機器の検査にあたり、電磁界を利 用した方法は機器の動作に伴う電磁界分布検査も兼ねる ことが可能であり、極めて簡便で有効な方法である.本 研究は、最初に磁気素子直上で測定される磁界分布を動 的なカラー画像データ、すなわち動磁界を動画像で可視 化することを考える.次に動画像から、測定の解像度や 位置などハードウェア的制約に依存しない不変量となる 固有パターンを抽出する. さらに各動画像から得られる 固有パターンをデータベースとしてシステム方程式を導 き,動画像認識を行う.最終的な結果として,少ない測 定点で測定された粗悪な磁界分布から得られる固有パタ ーンをシステム方程式の入力として解くことで、元の磁 界分布を認識可能であることを述べる.

2. 磁界分布の可視化

磁界はベクトル量であるから,互いに直交する x, y, z 成分で表現される.そこで,磁界の各直交成分が x, y, z 方向 3 成分について得られている場合,それら x, y, z 方向 成分をそれぞれカラー画像の赤,緑,青(以下それぞれ R, G, B と略記)成分に対応させることで磁界分布を可視 化する[1][2].図1は平面状コイルを正弦波 10kHz, 0.5A で励磁し,その直上をソレノイド型サーチコイルで測定 した磁界の x, y, z 方向成分,及びそれらを用いて磁界分布 をカラー画像として可視化した画像である.実験時の測 定点数は縦・横共に17点であるので,生成された可視化 画像の解像度は17×17 画素となる.



3. 画像認識手法

3.1 画像の不変量抽出

計算機のスクリーン上へ可視化された画像は,2次元平面上の画素(Pixel)で構成される.各画素は可視光の波長よってそれぞれ R,G,B 成分の情報をもつ.また,画像は反射光の強さ(Intensity),色相(Tone),色成分(Color component)の組み合わせからなり,それらの幾何学的配置で表現される.そのため,計算機のスクリーン上の可視化画像は、スクリーンの解像度や基準座標(視点)に依存する性質をもつ.このようなハードウェアに依存する性質を削減した可視化画像の不変量を、本論文では固有パターンと呼ぶ[3].

3.1.1 固有パターンの構成要素

固有パターンは反射光強度,色相,色成分ベクトルの3 要素によって構成される.反射光強度ベクトルは,各画 素中のR,G,Bの色成分のベクトルノルムで与えられ,1 画像に対して1組得られる.色相ベクトルは,各画素を 構成するR,G,Bの色成分の構成比で与えられる.各成分 の和は反射光強度で与えられるので,独立な構成比はR, G,Bの色成分の中で任意の2組である.色成分ベクトル は、1画像を構成するR,G,Bの色成分の量で与えられる. 従って、1画像に対して3組得られる.

3.1.2 反射光強度ベクトル

x, y 方向の画素数がそれぞれ <math>a, b であるとき,画像デ ータを $a \times b$ 次のベクトルとして扱う.ベクトルとして表 現されたカラー画像における第 i 番目の画素の反射光強 度値を $I_{int,i}$ とし,同画素のR, G, Bの色成分値を R_{i}, G_{i}, B_{i} とすると,反射光強度値 $I_{int,i}$ は色成分値R, G, Bのベクト ルノルムによって与えられる.

$$I_{\text{int},i} = \sqrt{R_i^2 + G_i^2 + B_i^2}, \quad i = 1, 2, 3, \cdots, p$$
(1)

(1)式における p (=a×b) は表示画像中の全画素数である. 従って,反射光強度分布を I_{int}とすると,(2)式で与えられる.

$$\mathbf{I}_{\text{int}} = [I_{\text{int},1}, I_{\text{int},2}, I_{\text{int},3}, \cdots, I_{\text{int},p}]$$
(2)

次に,反射光強度分布 I_{int} をダイナミックレンジDの分布 に正規化した正規化反射光強度分布 I_{int}^{D} に変形する.ここで,Round[]が括弧内の値を整数化する演算を表し, Max[]が括弧内の集合における最大値の要素を求める演 算を表すものとすると,第i番目の画素の正規化反射光強 度値 $I_{int,i}^{D}$ は(3)式によって与えられる.

$$I_{\text{int},i}^{D} = \text{Round}\left[D \times \frac{I_{\text{int},i}}{\text{Max}[\mathbf{I}_{\text{int}}]}\right],$$
(3)

$$i = 1, 2, 3, \cdots, p$$

正規化反射光強度分布 I_{int} ^Dにおいて、1 から D までのそ れぞれの反射光強度値を取る画素を計数する.これによ り、正規化反射光強度分布が反射光強度値を階級として ヒストグラム化され、各階級の度数にあたる各反射光強 度値の出現頻度が求められる.これによって求められた 各反射光強度値の出現頻度を、ベクトルの要素とする反 射光強度ベクトル E_{int} を生成する.

3.1.3 色相ベクトル

本論文で考える色相は、各画素中のR, G, Bの色成分値 の構成比であり、反射光強度値に対するR, G, Bの色成分 の割合で表す.ここではカラー画像におけるR成分色相 分布を考える.R成分色相分布を $\mathbf{I}_{\text{tone}, R}$ とし、第 i番目の 画素におけるR成分色相値を $I_{\text{tone}, R, i}$ とすると、(4)式で与 えられる.

$$I_{\text{tone},R,i} = \frac{R_i}{I_{\text{int},i}}, \quad i = 1, 2, 3, \cdots, p$$
 (4)

次に,正規化 R 成分色相分布を $I_{\text{tone, }R}$ ^Dとし,第 i 番目の 画素における正規化 R 成分色相値を $I_{\text{tone, }R,i}$ ^Dとすると,(5) 式で与えられる.

$$I_{\text{tone},R,i}^{D} = \text{Round} \left[D \times \frac{I_{\text{tone},R,i}}{\text{Max}[\mathbf{I}_{\text{tone},R}]} \right],$$
(5)

 $i = 1, 2, 3, \cdots, p$

正規化 *R* 成分色相分布 **I**_{tone, R}^Dにおいて出現頻度を求め, *R* 成分色相ベクトル **E**_{tone, R}を得る.*G* 成分色相ベクトル **E**_{tone, G}と *B* 成分色相ベクトル **E**_{tone, B} も *R* 成分色相ベクト ルと同様の演算処理によって得る.

3.1.4 色成分ベクトル

色成分ベクトルは、カラー画像におけるR成分の量、G成分の量、B成分の量によって与えられる.ここではカラー画像におけるR成分分布を考える.R成分分布を $I_{comp, R, i}$ とし、第 i番目の画素におけるR成分値を $I_{comp, R, i}$ とすると、(6)式で与えられる.

$$I_{\text{comp},R,i} = R_i, \quad i = 1, 2, 3, \cdots, p$$
 (6)

次に,正規化 R 成分分布を $I_{comp,R}^{D}$ とし,第 i 番目の画素 における正規化 R 成分値を $I_{comp,R,i}^{D}$ とすると,(7)式で与 えられる.

$$I_{\text{comp},R,i}^{D} = \text{Round}\left[D \times \frac{R_{i}}{\text{Max}[\mathbf{I}_{\text{comp},R}]}\right], \quad (7)$$
$$i = 1, 2, 3, \cdots, p$$

正規化 R 成分分布 $I_{comp, R}^{D}$ において出現頻度を求め, R 成 分ベクトル $E_{comp, R}$ を得る. G 成分ベクトル $E_{comp, G} \geq B$ 成 分ベクトル $E_{comp, B}$ も R 成分ベクトルと同様の演算処理に よって得る.

3.1.5 固有パターン

固有パターンを E とすると,固有パターン E は反射光 強度ベクトル E_{int} , R成分色相ベクトル $E_{tone, R}$, B成分色 相ベクトル $E_{tone, B}$, R成分ベクトル $E_{comp, R}$, G成分ベクト ル $E_{comp, G}$, B成分ベクトル $E_{comp, B}$ によって構成され, (8) 式で与えられる.

$$\mathbf{E} = [\mathbf{E}_{\text{int}}^{T}, \mathbf{E}_{\text{tone},R}^{T}, \mathbf{E}_{\text{tone},B}^{T}, \mathbf{E}_{\text{comp},R}^{T}, \mathbf{E}_{\text{comp},R}^{T}]^{T}$$

$$\mathbf{E}_{\text{comp},R}^{T}, \mathbf{E}_{\text{comp},R}^{T}, \mathbf{E}_{\text{comp},R}^{T}]^{T}$$
(8)

(8)式の上添え字 T は転置を表す.

図 2 に固有パターンの例を示す.本論文における固有 パターンのダイナミックレンジ D はいずれも 255 とした ので,(8)式から構成される固有パターンは 255×6=1530 次のベクトルとなる.同図(a)(b)の固有パターン間の相関 係数は 0.999 となり,解像度や基準座標に依存しない不変 量であることがわかる.



3.1.6 動画像への拡張

固有パターン抽出の概念を動画像へ拡張することを考 える.本論文では、対象物の位置や角度のみならず移動 方向に依存しない不変量を動画像の固有パターンとして 抽出する[4].

動画像は複数のフレーム画像によって構成される.そ のため、フレーム画像全体を通した画素分布から不変量 を抽出する必要がある.そこで、動画像を構成する全フ レームを重ならないように合成した全フレームの合成静 止画像を作成し、この合成静止画像から固有パターンを 抽出する.固有パターンはスクリーン上の可視化画像の 位置や角度に依存しない量であるため、合成静止画像か ら抽出した固有パターンは、動画像中のフレーム移動情 報を削除することが可能となる.

図 3(a), (b)に同一対象が異なる方向へ移動する動画像 を示す.同図(c), (d)に示す固有パターンはいずれも同値で あることから,合成静止画像から抽出された固有パター ンはフレーム移動情報を削除した不変量であることがわ かる.



:) 図 3(a)の固有パターン (d) 図 3(b)の固有パターン
 図 3. 動画像の固有パターン

3.2 一致性評価

本論文における画像認識は、予め複数の画像から固有 パターンを抽出し、データベースを構築しておく.その 後、認識処理対象として与えられる未知の入力画像から 固有パターンを抽出し、データベース画像と入力画像間 の固有パターンの一致性を線形システム方程式の解から 評価し、入力画像をデータベース画像のいずれかの画像 と認識するものである[5].

データベースに n 個の固有パターンが得られていると すれば,システム行列 C は(9)式で与えられる.

$$C = [\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2, \mathbf{E}_3, \cdots, \mathbf{E}_n]$$
⁽⁹⁾

ここで,任意の入力画像の固有パターンを E_xとすると, (10)式の線形システム方程式が得られる.

$$\mathbf{E}_{x} = \boldsymbol{C} \cdot \mathbf{X} \tag{10}$$

(10)式における X は、データベース画像の各固有パターンの重みを要素とする n 次のベクトルである.固有パターンの次数を m とすると, n=m でない限りシステム行列 C は m 行 n 列の長方行列となるので、(10)式は不適切な線 形システム方程式となる.本論文における固有パターン の次数mはm=1530となるので、データベース数n < 1530 であれば解ベクトル X の算出に(11)式で示す最小自乗法 を適用することができる[6].

$$\mathbf{X} = [C^T C]^{-1} C^T \mathbf{E}_{\mathbf{x}}$$
(11)

ここで,(11)式で得られる解ベクトルXの第j番目の要素が1で,他の要素がすべて0であるならば,入力画像の 固有パターン Exはデータベース画像のj番目の固有パタ ーン E_jに等しい.よって入力画像をデータベースのj番 目の画像と認識できる.なお,本論文では得られた解ベ クトル中で最大値をとる要素を認識された対象とする.

4. 磁界系非破壊検査

磁界系非破壊検査の例として,第2章で述べた可視化 手法及び第3章で述べた画像認識手法を用いた磁気素子の認識を行う[7][8].

図 4 にデータベース画像の例を示す.データベース画像として、コイル素子や DC/DC コンバータ等の磁気素子



及びシミュレーションによって得られた動磁界分布を 100類採用した.フレーム数は50であるが,各画像の解 像度は実験時の測定点数の違いから画像によって異なり, 16×16 画素~35×35 画素である.

図5に入力画像の例を示す.入力画像として,データ ベース画像と同形状の磁気素子を使用し,実験時の測定 間隔を粗くして得た動磁界分布を採用した.各画像のフ レーム数は40,解像度は9×9画素~13×13 画素である. これらの低解像度磁界分布から元の磁界分布を探査する.

図 6 に認識結果の例を示す. 同図に入力画像, 認識された出力画像, また得られた画像の妥当性を吟味するために, 解ベクトルも示す. 解ベクトルの横軸はデータベース画像の番号であり, 図 4 の番号と対応している. 図 6 の入力画像はデータベースの No.74, 75, 79 と同形状の可視化画像であるが, 同図に示す解ベクトルは正解を示す 要素で最大値をとり, 正しい認識結果が得られた.



また、動画像認識と動画像の1フレームのみ、すなわ ち静止画像認識との結果を比較する.図4のデータベー ス画像及び図5の入力画像のFrame10のみを使った静止 画像認識による解ベクトルを図7に示す。静止画像認識 による解ベクトルは、解ベクトル要素の値が小さく誤っ た認識結果を得た.一方、動画像認識による解ベクトル は、正解を示す要素の値が大きく、また正解はピーク値 に対応し、良好な認識結果が得られた.これは、複数フ レームを用いた動画像認識は、単一フレームによる静止 画像認識に比べ情報量が増加し、素子固有の情報をより 多く抽出しているためである.



5. まとめ

本論文では、磁界の可視化手法に画像認識手法を応用 した非破壊検査法を提案した.第2章では磁界分布の可 視化について述べた.磁界のx,y,z方向成分をそれぞれカ ラー画像のR,G,B成分に対応させることで、ベクトル量 である磁界分布をスカラー量であるカラー画像として可 視化した.第3章では固有パターンと線形システム方 程式を用いた画像認識について述べた.画像の不変量を 固有パターンとして抽出する方法を提案し,静止画像の みならず動画像へ拡張する方法について述べた.また, 固有パターンを用いた線形システム方程式を導入し,解 ベクトルを算出することで画像の認識を行った.第4章 では磁界系非破壊検査の例として,磁気素子の認識を行 った.その結果,少ない測定で得られる磁界分布からデ ータベース中の磁気素子が探査可能であることを示した. このことは測定されたフィールド分布から特定の素子や 物理的状態が探査可能であることを示唆し,さらに,短 時間で行われるべき非破壊検査で有力な手法として期待 できることを意味する.

参考文献

- [1] 遠藤久,早野誠治,齋藤兆古,"電磁界の可視化手法 に関する考察",電気学会マグネティックス研究会資料,MAG-01-069,2001年.
- [2] 遠藤久,早野誠治,齋藤兆古,國井利泰,"画像の支 配方程式とベクトル場への応用",電学論,Vol.120-A, No.10, pp.902-912, 2000年.
- [3] 若林健一,早野誠治,齋藤兆古,國井利泰,"画像の 固有パターンと画像認識への応用",可視化情報学会
 誌, Vol.19, No.1, pp.91-94, 1999年.
- [4] T. Sato, I. Marinova, S. Hayano and Y. Saito, "Dynamic Image Cognition Along with Eigen Patterns", The 2nd Japan-Australia-New Zealand Joint Seminar, 2002.
- [5] T. Sato, H. Endo, S. Hayano and Y. Saito, "Image Cognition by Means of Inverse Approach", Proceeding of the XII-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SEILA2001), Vol.II, pp.112-119, 2001.
- [6] G. Strang, "Linear Algebra and Its Applications", Academic Press, Inc., 1976.
- [7] 佐藤隆紀,早野誠治,齋藤兆古,"動画像認識手法の 提案と電子・電磁機器の非破壊検査への応用",電気 学会マグネティックス研究会資料,MAG-01-222, 2001年.
- [8] T. Sato, I. Marinova, S. Hayano and Y. Saito, "Dynamic Image Cognition and Its Application to Visualized Information", Proceeding of the 10th International Symposium on Flow Visualization, F0301, 2002.

<u>キーワード.</u>

画像認識,固有パターン,非破壊検査

<u>Summary.</u>

Magnetic Nondestructive Inspection by Means of Image Recognition

Takanori Sato Seiji Hayano Yoshifuru Saito Graduate School of Engineering, Hosei University

A method of image recognitions is proposed and applied to the nondestructive inspection utilizing the database of color-imaged magnetic fields. Our image recognition method has two distinguished features. One is that the image is handled as its eigen pattern. The other is that the recognition is carried out by solving for the ill-posed linear system of equations comprising the eigen patterns as a database. The eigen pattern consists of histograms in terms of intensity, tones and primal color components of the image. This eigen pattern of color components yields a numerical data set which is hard to be changed by the differences in spatial position of target as well as resolution of the image. An application of the proposed image recognition method to the nondestructive inspection based on measuring magnetic fields is carried out to demonstrate the usefulness of our method. Consequently, it is revealed that our methodology is one of the most powerful and effective nondestructive inspections of magnetic devices.

Keywords.

Image Recognition, Eigen Pattern, Nondestructive Inspection