# 法政大学学術機関リポジトリ

# HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-01-15

# 磁気センサー信号を用いた知的可視化情報処 理

斎藤, 兆古 / KAWAMURA, Kensaku / 早野, 誠治 / 河村, 憲作 / HAYANO, Seiji / SAITO, Yoshifuru

(出版者 / Publisher) 法政大学情報メディア教育研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title) 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告 / Bulletin of Research Center for Computing and Multimedia Studies, Hosei University

(巻 / Volume) 19 (開始ページ / Start Page) 101 (終了ページ / End Page) 105 (発行年 / Year) 2006-03-23 (URL)

https://doi.org/10.15002/00025069

### 河村 憲作 早野 誠治 斎藤 兆古 法政大学大学院

筆者らは、ライン信号を可視化するため、3次元リサージュ図法を提案した<sup>1)</sup>。ライン信号から3次元リサージュ図 を生成するために等価固有値法とポアンカレ法を提案した<sup>1)</sup>。本報告は前者の等価固有値法に関するものである。この 方法は、数値シミュレーションで離散化誤差が無視できる場合、系の正確な固有値へ厳密に対応する等価固有値を与え る。しかし、実際の磁気センサーではノイズのため、第1近似固有値の平均値程度に止まる。本稿は定常状態に於ける 系の入出力特性から3次元リサージュ図を生成する方法を提案する。すなわち、センシング対象を含む系全体の定常状 態伝達関数を定常状態の等価固有値として可視化し、識別する方法を提案する。その結果、定常状態の等価固有値は比 較的直交性が高い事が判明したので此処に報告する。

#### 1. はじめに

筆者らは、映像情報獲得手段の広範な普及を鑑み、可 視化情報から特異点や規則性を計算機の強力な反復計算 能力を用いて抽出する知的可視化情報処理(Smart Visualized Information Processing、Svip と略記)」を提案し た<sup>2)</sup>。

筆者らは、ライン信号を可視化するため、3次元リサー ジュ図法を提案した<sup>1)</sup>。ライン信号から3次元リサージ ュ図を生成するためにSvipのツールとして開発された等 価固有値法とポアンカレ法を提案した。本報告は前者の 等価固有値法に関するものである。等価固有値法は磁気 センサー出力であるライン信号からセンシング対象を含 む系全体の固有値を第1近似で得ようとする方法である。 この方法は、数値シミュレーションで離散化誤差が無視 できる場合、系の正確な固有値へ厳密に対応する等価固 有値を与える。しかし、実際の磁気センサーでは信号に 必然的に含まれるノイズのため、第1 近似固有値を平均 化した精度を有する固有値情報程度に止まる問題点があ った。本稿は、従来の等価固有値法が過渡状態を前提と するのに対し、定常状態に於ける系の入出力特性から 3 次元リサージュ図を生成する方法を提案する。すなわち、 センシング対象を含む系全体の定常状態伝達関数を可視 化し、ライン信号からセンシング対象を識別する方法を 提案する。その結果、センシング対象間で比較的直交性 の高い可視化情報が得られることが判明したので此処に 報告する。

2. 磁気センサー信号処理

#### 2.1 等価固有値(Equivalent Characteristic Value)

ECVは系が与える時間領域の応答信号を初期値問題の 解と仮定して解析することで系の性質、すなわち、系の 固有値情報を求める方法である。ECVは応答信号が双曲 線関数の指数部を計算可能な最小離散化点数3点毎に計 算可能である<sup>3)</sup>。

2.2 シミュレーションによる電気回路の ECV

電気抵抗 R とインダクタンス L が直列に接続された電気回路へ直流電圧 V が印加された場合、出力電流は Fig.1

のように時間変化する。Fig.1 の任意の離散化された時間 n∆t における電流は式(1)で表現できるから、

$$i_{n\Delta t} = i_{(n+1)\Delta t} + \left[ i_{(n-1)\Delta t} - i_{(n+1)\Delta t} \right] \varepsilon^{-\lambda\Delta t}$$
(1)

$$\lambda = -\frac{1}{\Delta t} \ln \left[ \frac{l_{n\Delta t} - l_{(n+1)\Delta t}}{i_{(n-1)\Delta t} - i_{(n+1)\Delta t}} \right]$$

Fig.1 の波形に式(2)を適用して得られる ECV を Fig.2 に示 す。明らかに、線形なシステムから得られる ECV は一定 値の実数である。

(2)

また、直流電圧入力に対する応答から、ECV は正確に 計算される。しかし、交流入力に対する応答信号からは、 信号の時間変化率が小さい部分でノイズが生ずる。この ノイズを削減するため、ECV を加算平均処理し、ECV 値 の実数部は入力に依存せずシステムに固有の値を取り、 虚数部は交流入力の角周波数へ対応するECV 値へ収束 することは既に報告した<sup>4)</sup>。



#### 2.3 実験による電気回路の ECV

実験データにおいては、ECV法が、ノイズを拡大する という欠点があり、ノイズ処理の問題があった。しかし、 実験データへ繰り返し加算平均処理を適用することで、 ノイズの影響を減らすことが可能となり、シミュレーシ ョンと同様の結果が得られることは既に報告した<sup>1)</sup>。

さらに、繰り返し加算平均処理を、周波数・波形・位 相変化した実験データに適用した結果、いずれも解析解 の ECV 値とほぼ同様の結果が得られた。 3. ライン信号識別

3.1 3次元リサージュ図

ライン信号の可視化画像、本稿ではこれを固有パター ンと呼ぶ。固有パターンは信号のリサージュ図形である。 リサージュ図形とは2個の信号を用い、x軸に一信号、y 軸に他の信号を入力し、時間軸をパラメタとして描いた 図のことである。従来の単純なリサージュ図では軌跡の 重複情報が削除される。このため、 軌跡の重複度をヒス トグラム的に加算し重複情報を高さ情報として維持する 3次元リサージュ図を考える。Fig.3 は位相差や周波数の 相違を表す3次元リサージュを示す。



Fig.3から、3次元リサージュ図は振幅、位相、周波数、 そして時間情報などを巧みに表現する画像化方法である ことが分かる5)6)。

3.2 最小二乗法

画像データは2次元スクリーン上のピクセルに格納さ れている。すなわち、2次元画像データは以下のように あらわすことができる。

$$G = g(i, j)$$
,  $i=1,2,3,...,l$ ,  $j=1,2,3,...,l$  (3)

画像認識のシステム方程式の入力ベクトル Y は、画像 データ G の要素を1次元ベクトルへ並べ替えて得られる。

$$\mathbf{Y} = [g(1,1), ..., g(1,l), g(2,1), g(2,2), ..., g(l,l)]$$
(4)

画像認識のシステム方程式の係数行列を構成する列べ クトルは、予め用意された n 個のデータベース画像から 入力ベクトル Y と同様に、それぞれの画像データをベク トルデータへと変換し、

$$\mathbf{C}_{1} = [g(1,1),g(1,2),\dots,g(1,l),g(2,1),g(2,2),\dots,g(2,l),g(3,1),\dots,g(l,l)]$$
  
$$\mathbf{C}_{2} = [g(1,1),g(1,2),\dots,g(1,l),g(2,1),g(2,2),\dots,g(2,l),g(3,1),\dots,g(l,l)]_{(5)}$$

 $\mathbf{C}_{n} = [g(1,1),g(1,2),\ldots,g(1,l),g(2,1),g(2,2),\ldots,g(2,l),g(3,1),\ldots,g(l,l)]$ 

得られたn個の画像データベクトルci, i=1,2,...,nを使 って、 n行m列のシステム行列Cを構成する。

$$\boldsymbol{C} = [\boldsymbol{c}_1, \boldsymbol{c}_2, .., \boldsymbol{c}_n] \tag{6}$$

任意の画像データを1次元配列へ並べ替えて得られる 入力ベクトルが Y であるから、システム方程式は(7)式で 与えられる。

$$\mathbf{Y} = C\mathbf{X} \tag{7}$$

(7)式で解ベクトル X の要素を

$$\mathbf{X} = [X_1, X_2, \dots, X_n]$$
(8)

とすれば、最大値を取る要素が識別された画像データ となる

(6)式の画像データベクトルのそれぞれに対応する原画 像データベクトルを、 $V_1, V_2, \dots, V_n$ とすれば、(8)式の解べ クトルXから生成される画像データGは(9)式で与えられ న.

$$G = \sum_{i=l}^{n} X_i V_i \tag{9}$$

次に解ベクトル X を求める方法について述べる。一般 に、(7)式の線形システム方程式のシステム行列 C が正方 行列の場合 Cの逆行列を求めることで解ベクトル X を求 めることができる。しかし、(7)式のシステム行列 C は長 方行列であるから不適切なシステム方程式となる。この 不適切な線形システム方程式の解を導くため、最小二乗 法を用いて近似解を導く。

(7)式のシステム方程式は n 個の未知数に対し、m 個の 式数であり、m>n とすれば、全ての式を同時に満足する 解は特別な場合を除いて存在しない。このため、誤差べ クトルのノルム

$$\varepsilon = |\mathbf{Y} - C\mathbf{X}| \tag{10}$$

を最小にする解ベクトル、すなわち、最小二乗法による 解ベクトルを用いて(7)式の近似解(11)式を得る。

$$\mathbf{X} = \left(\boldsymbol{C}^{T} \boldsymbol{C}\right)^{-1} \boldsymbol{C}^{T} \mathbf{Y}$$
(11)

4. 磁気センサー信号識別への応用1

4.1 サンプル

Fig.4 に示す空き缶の識別を行なう。3次元リサージュ 図を用いて缶の識別を行う。サンプルはアルミ缶(Sample1 ~4)とスチール缶(Sample5~9)である。







Sample 8 (Steel) Fig.4 Tested Sample Cans

Sample 9 (Steel)

Sample 7 (Steel)

#### 4.2 試作磁気センサー

缶の識別データを得るため、Fig.5 に示す磁気センサー を試作した。 試作磁気センサーは励磁コイルと差動セン サコイルからなり、 励磁コイルは直径 9[cm]で 0.5[mm] のホルマル線 200 回巻きの有限長ソレノイドであり、両 端の差動コイルは同一仕様であり、それぞれ直径 8[cm] で 0.5[mm]のホルマル線 200 回巻きの有限長ソレノイドで ある。この磁気センサーの励磁コイルへ周波数 400[Hz]の 正弦波電圧を印加し、差動コイルの一方に Fig.4 に示す缶 を挿入した場合に得られる差動コイルの出力信号を缶の 識別データとして得る。この識別データ信号から Fig.4 に 示されている個々の缶を識別する。



#### 4.3 識別結果

Fig.6 は励磁コイルの入力信号と差動コイルの出力信 号を用いた3次元リサージュ図である。Fig.6 は、アルミ 缶とスチール缶の違いが位相差として表現している。こ のため、Fig.6 の3次元リサージュ図から個々の缶の相違 が観察できる。



Sample 7 (Steel) Sample 8 (Steel) Fig.6 3Dimension Lissajous

Fig.6の3次元リサージュ図を用いて 3.2節で述べた最 小二乗法で缶の認識を行なう。解ベクトル X の要素を Fig.7 に示す。各解ベクトル中の最大値をとる要素番号が データベース中の認識された画像である。Fig.7の結果か ら、3次元リサージュ法は、振幅、位相、周波数、そし て時間情報などを的確に可視化する方法であり、すべて の缶が磁気センサー信号から識別できることが分かる。



#### 5. 磁気センサー信号識別への応用2

#### 5.1 金属球の位置認識

Fig.8は、試作した金属球の位置認識磁気センサーを示 す。中心部に位置するコイルが励磁コイルであり、直径 2.5[cm]で 0.6[mm]のホルマル線 100 回巻きの有限長ソレ ノイドコイル、両端の差動コイルは同一仕様であり、直 径 3.5 [cm] で 0.6 [mm] のホルマル線 60 回巻きの有限 長ソレノイドコイルである。Fig.8 で、励磁コイルに周波 数 5[KHz]の正弦波電圧を印加し、被測定対象物(ターゲ ット金属)の影響による磁界の差異を左右の差動コイル に誘起する差動電圧が与える。センサーの入出力信号を 用いてターゲットの位置認識に関する検討を行う。



#### 5.2 サンプル金属球

Fig.9に位置認識に用いる金属球を示す。サンプルはス チール球、銅球、アルミ球でそれぞれ、直径 20[mm]の球 である。各球をセンサーの端から端まで1[cm]毎に移動し センサーの入出力信号を 30 点で測定する。センサーの中 心は、端から15[cm]に位置する。



Fig.9 Tested Sample balls

#### 5.3 金属球の位置認識結果

Fig.10 は、スチール球の移動時の励磁コイルの入力信号と差動コイルの出力信号を用いた3次元リサージュ図である。



Fig.10 の3次元リサージュ図を用いて 3.2 節で述べた 最小二乗法で金属球の位置認識を行なう。5回の測定結果 を畳み込みした解ベクトル X の要素を Fig.11 に示す。各 解ベクトル中の最大値をとる要素番号がデータベース中 の認識された画像である。

スチール球で9割、銅・アルミ球で8割弱の認識率で あった。しかし、誤認識は、出力がゼロ近傍で多く、再 現性が高い有効な出力が得られる場合は、ほぼ100%の認 識率であった。拠って、3次元リサージュ法は、金属球 の位置認識問題に対して有効な手段であることが判明し た。また、スチール球と銅・アルミ球との認識率の差は、 磁性体と非磁体による出力の違いに拠る。すなわち、銅・ アルミ球がターゲットである場合、センサー端部で出力 が低下する。



6. まとめ

本稿は、等価固有値法が過渡状態を前提とするのに対し、定常状態に於ける系の入出力特性から3次元リサージュ図を生成する方法。すなわち、センシング対象を含む系全体の定常状態伝達関数を可視化し、ライン信号からセンシング対象を識別する方法を提案した。

その結果、3次元リサージュ法を用いることで、空き 缶の識別においては、全ての空き缶の識別が可能であり、 また金属球の位置認識においては、有効出力が得られる 場合、良好な位置認識が可能であることを述べた。

特筆すべきは、有効な入出力信号が得られる場合、セ ンシング対象間で比較的直交性の高い可視化情報が得ら れる点にある。

#### 参考文献

- [1] 河村憲作,早野誠治,斎藤兆古,"等価固有値法によるライン信号処理",可視化情報学会誌 Vol.25 ,pp-63-66, 2005 年.
- [2] 河村憲作,早野誠治,斎藤兆古,"赤外線画像から熱伝 導率の推定",可視化情報学会誌 pp-219-222,2004 年.
- [3] 茂田幸康,早野誠治,斎藤兆古,"磁気センサー信号処 理-概念と一例-",電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-00-116,2000年.
- [4] 茂田幸康,早野誠治,斎藤兆古,"等価固有値法によ る磁気センサー信号処理",2002 年度法政大学大学院 工学研究科電気工学専攻修士論文,2003 年.
- [5] 木村祐二,早野誠治,斎藤兆古,"ライン信号の可視 化と信号認識",可視化情報学会誌 pp-235-238,2004 年。
- [6] 妹尾勇,早野誠治,斎藤兆古,"信号認識と磁気セン サー",2001 年度法政大学大学院工学研究科電気工学 専攻修士論文,2002年.

<u>キーワード.</u>

磁気センサー、可視化信号処理、知的処理

\_\_\_\_\_

### Summary.

# Smart Visualized Magnetic Sensor Signal Processing

Kensaku Kawamura Seiji Hayano Yoshifuru Saito Graduate school of Engineering, Hosei University

After Newton mechanics had been established, major effort of human innovation had been devoted to enforce the human physical power, such as hand, foot and fighting power by many physical tools and mechanical devices. After spreading use of digital computers, most of the human innovative efforts are now devoting to work out the artificial human brain or compensative tool of human brain works.

In the present paper, one of the methodologies to carry out the line signal diagnosis is proposed based on the some assumptions in natural phenomena.

## Keywords.

Magnetic Sensor, Visualized Signal Processing, Smart Processing