

# 腕金再利用自動判定システムの開発

## — データ表現の相違による再利用判定精度の比較 —

### Crossarm Reuse Judgement Methods Based on Rust Color Only

小野田 崇\*1      村田 博士\*1      山名 美智子\*2  
Takashi Onoda      Hiroshi Murata      Michiko Yamana

\*1(財)電力中央研究所

Central Research Institute of Electric Power Industry

\*2(独)産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

We have developed an automatic judgment system, which consists of a digital camera and a standard note book personal computer (PC), for crossarm reuse based on the rust color. This system is able to reduce the effect of rust positions on judgment accuracy. However, judgment accuracy is low for a rust image which has completely different rust position from collected rust images. This report presents two data expression methods and a sampling method independent of rust position, and judgment accuracy of these methods. We test two data expression methods and a sampling method independent of rust position, (1) RGB histogram, (2) HSV histogram, (3) virtual sampling. We compare judgment accuracy with these methods. HSV histogram and virtual sampling indicate high accuracies in these methods.

## 1. はじめに

中部電力(株)配電部では、配電線の架線に使用する腕金の再利用によるコスト削減、廃棄物の削減による環境への影響の軽減を試みている。現在は、腕金に発生した錆の色と錆の進行程度との分析結果に基づき、「再利用」、「廃棄」の各腕金錆の写真の判定見本を用いて、人間が視覚により「再利用」、「廃棄」の判定をしている。今後は、環境への影響をさらに低減するため、めっきし直した後、腕金を再利用する(「めっき後再利用」といった技術も導入予定である)。

そのような状況の中、中部電力(株)配電部と(財)電力中央研究所システム技術研究所では、腕金錆画像に基づく再利用判定システムを共同で研究開発し、サポートベクターマシン(SVM)を使用した腕金錆画像に基づく再利用判定方法を提案した[1]。

しかし、実際の現場での再利用判定時には、作業者により腕金の撮影方向が逆だったり、作業効率のためや腕金の構造上の問題(ボルトを通すための穴位置など)により仕方なく、斜め方向から撮影したりするなど、画像中でいつも同じような部分に錆が入るように撮影することは困難である。そこで、錆の位置情報をできるだけ排除し、錆の色だけに注目するよういくつかの方法を試用し、各方法による再利用判定精度を比較したので、本稿でその結果について報告する。

## 2. 画像中の錆位置に依存しない画像データ

### 2.1 RGB ヒストグラム

腕金錆画像データは  $640 \times 480$  画素のカラー画像である。このデータは、 $640 \times 480$  画素数の R, G, B の 3 枚の画像で構成されている。各画素の値は 0 から 255 までの 256 値のいずれかをとっている。ここで、各 R, G, B それぞれについて、横軸に 0 から 255 の画素値を縦軸に画素数をとるヒストグラムを作成する。このデータを RGB の順に繋げる事により、特徴数  $256 \times 3 = 768$  のデータを生成する。

次に、特徴ベクトルの成分が平均 0, 分散が 1 となるように正規化を行っておく。正規化は次の手順で行う。N 個のデータ  $\{x^i\}$ , ( $i = 1, \dots, N$ ) が得られたとき、N 個のデータによる平均  $\bar{x}$  と標準偏差  $\sigma$  が以下で定義される場合、

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2,$$

データ  $x_i$  に以下のような変換を行い、 $x'_i$  を用いる分析を行う。

$$x'_i \rightarrow \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma}.$$

### 2.2 HSV ヒストグラム

画像は通常 R, G, B の 3 色で表わされているが、これを色相 (H:hue), 彩度 (S:saturation), 明度 (V:value) の HSV 色空間に変換することで、より人間の感覚に近い形で腕金錆画像の識別を行う。

HSV 色空間とは以下のようなになる [2]。

色相 H 色相は赤, 青, 緑などの色の違いを表わすものである。六角錐カラーモデルを用いた HSV 色空間では, RGB とその補色の C(シアン), M(マゼンダ), Y(イエロー) を R, Y, G, C, B, M の順で正六角形の頂点におき, R から角度で色相 H を表わす。

彩度 S 彩度は色のあざやかさを表わすものであり, 無彩色(灰色)を彩度 0 と定義し, 最もあざやかな色(純色)(彩度 100)までを等分して表わす。上記モデルでは, 六角形の中心(灰色)から対象色までの距離と, 中心から外周(純色)までの距離の比で表わす。

明度 V 明度は色の明るさを表わすもので, 黒の明度を 0 とし, 白の明度を 255 とする。

実際の変換は次のように行う。

$\text{Max} = \max\{R, G, B\}$ ,  $\text{Min} = \min\{R, G, B\}$  とするとき, V の定義

$$V = \text{Max} \quad (1)$$

連絡先: 小野田 崇, (財)電力中央研究所 システム技術研究所, 東京都狛江市岩戸北 2-11-1, 03-3480-2111, 03-5497-0318, onoda@criepi.denken.or.jp

## S の定義

$$S = \begin{cases} 0 & (V = 0) \\ 100 \times \frac{\text{Max} - \text{Min}}{\text{Max}} & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

## H の定義

$$H = \begin{cases} 0 & (S = 0) \\ 60 \times \frac{G - B}{\text{Max} - \text{Min}} & (V = R) \\ 120 + 60 \times \frac{B - R}{\text{Max} - \text{Min}} & (V = G) \\ 240 + 60 \times \frac{R - G}{\text{Max} - \text{Min}} & (V = B) \end{cases} \quad (3)$$

この色空間に変換した上で、ヒストグラムを用いた特徴ベクトルを作成する。データの正規化は RGB の場合と同様に行っている。また、H, S, V データからそれぞれのヒストグラムを作成する方法は RGB の場合と同様である。

## 2.3 仮想サンプリング

腕金鍔画像に基づく再利用判定が、画像中の鍔位置に依存しないとすると、画像を回転させても同じ判定ラベルのまま良いと考えられる。そこで、実際取得できた鍔画像を計算機上で回転させた鍔画像を作り、元の画像に付いていた判定ラベルを、回転させた鍔画像にも付けた仮想サンプルを事例データに加え、学習データとして利用する。この仮想サンプルを含む事例データを学習することで、画像中の鍔位置に依存しない識別面を形成することができる。

判定ラベル付けの際、実際には、人間は鍔の色だけではなく、鍔の大きさ、同じ鍔色の広がり具合なども無意識に考慮している可能性が高い。ここで述べた仮想サンプルは、実際に取得できた画像を回転させるだけなので、人間が無意識に行っている鍔の大きさ、同じ鍔色の広がり具合などの情報を欠落させない。つまり、仮想サンプルを含む事例データを学習することで、人間が無意識に考慮している情報も取り込むことができ、判定精度の高い識別面をサポートベクターマシンが生成できる可能性が高くなる。

本研究では、仮想サンプルとして、元の取得画像を 180 度回転させた画像に、元画像の判定ラベルを付けた組を用意した。

## 3. 実験結果

## 3.1 ヒストグラムを用いた再利用判定精度の評価実験

RGB のヒストグラムによる画像表現と、HSV のヒストグラムによる画像表現を用いた腕金再利用判定精度の評価を行った。パラメータは  $\gamma=5e-6, 1e-5, 5e-5, 1e-4, 5e-4, 1e-3, 5e-3$  の範囲で、10 分割交差検定法を適用し、学習データに対して最も高い判定精度の得られた  $\gamma$  の値に対してテストを行った。ただし、 $C = 10000$  とした。「再利用」、「廃棄」の 2 クラス判定および「再利用」、「廃棄」、「めっき後再利用」の 3 クラス判定精度を表 1, 2 に示す。

色ヒストグラムは画像の回転に対して不変であるので、テスト画像として、180 度回転させたデータを与えても、回転させないデータを与えても同じ判定精度が得られる。RGB と HSV を比較すると HSV の方が約 2% 程度良いという結果が得られた。特に「再利用」と「めっき後再利用」の判別性能が上がっている。

## 3.2 仮想サンプリングによる再利用判定精度の評価実験

従来の RGB 画像データの粗視化法 [1] を用いるが、ランダムに選ばれた 581 枚の学習画像について、取得画像をそのまま用いた 581 枚と仮想サンプルとして、元の取得画像を 180

表 1: ヒストグラムを用いた 2 クラス判定精度 (100 試行平均)

表現	平均	再利用	廃棄	$\gamma$
RGB	95.9%	91.8%	97.9%	$5e^{-5}$
HSV	97.8%	95.5%	99.0%	$1e^{-5}$

表 2: ヒストグラムを用いた 3 クラス判定精度 (100 試行平均)

表現	総合	再	廃	めっき	$\gamma$
RGB	91.9%	91.9%	94.6%	89.2%	$5e^{-5}$
HSV	94.0%	95.5%	94.3%	92.3%	$1e^{-5}$

度回転させた画像 581 枚の計 1162 枚を計算機に学習させる。そして、残しておいた 150 枚を取得画像から 180 度回転させて再利用判定精度を評価した。ヒストグラムの場合と同様に、SVM のパラメータ  $\gamma=0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10$  と画像サイズ:  $4 \times 3, 5 \times 4, 8 \times 6, 10 \times 8, 20 \times 12, 20 \times 15, 32 \times 24$  に対して 10 分割交差検定法を行い、学習データに対して最も判定精度の高かった  $\gamma$  値と画像サイズの組み合わせでテストを行った結果を表 3 に示す。 $\gamma$  と画像サイズは、2 クラス、3 クラスどちらの場合も  $\gamma = 0.1$ 、画像サイズ  $20 \times 15$  の組合せが学習データに対する判別精度が高かった。

表 3 と表 1, 2 より、2 クラスの場合、HSV ヒストグラム表現と仮想サンプリングの判定精度がほぼ同じであり、3 クラスの場合、仮想サンプリングの判定精度が、HSV ヒストグラム表現による判定精度より平均で 2% ほど良いことがわかる。

表 3: 仮想サンプリングを用いた 2, 3 クラス判定精度 (100 試行平均)

クラス	平均	再利用	廃棄	
2 クラス	97.4%	96.3%	98.0%	
クラス	平均	再利用	廃棄	めっき
3 クラス	96.0%	96.3%	96.9%	94.8%

## 4. まとめ

本稿では、鍔の発生位置による影響を受けにくい画像データ作成方法として、ヒストグラムによる色表現 2 種類と、計算機上で回転させた仮想的な画像データを学習させる仮想サンプリングの合計 3 種類の方法について、判定精度の比較を行った。その結果、HSV ヒストグラムと仮想サンプリングが高い判定精度が得られ、特に「再利用」、「廃棄」、「めっき後再利用」の 3 クラスに分類する場合、仮想サンプリング法が他の方法より高い判定精度を示した。しかし、仮想サンプリング法は判定精度は高いものの、他の方法より計算時間がかかってしまうことを実験で確認している。

## 参考文献

- [1] 山名 美智子, 村田 博士, 小野田 崇, 大橋 徹, 加藤 誠二: 腕金鍔画像に基づく再利用判定精度の向上, 2004 年度人工知能学会全国大会論文集, 2F2-02 (2004).
- [2] 高木 幹雄, 下田 陽久監修: 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会 (2004).