

# 複数識別器を用いた電子基板の欠陥分類

## Defect Classification of Electronic Board Using Multiple Classifiers

岩堀 祐之

中川 拓哉

Yuji Iwahori

Takuya Nakagawa

中部大学 大学院 工学研究科

**概要** プロジェクト 53b の中で行っている研究のうち、本稿では、電子基板の欠陥分類を行うことを目的として、SVM を複数用いる多クラス分類を通して、判別が困難なクラスに属するデータ数の削減と誤認識する個数を少なくすると同時にパラメータの自動化と特徴量の追加による分類精度の向上をさせる手法について述べる。

### 1. 真欠陥と疑似欠陥の特徴

電子基板の欠陥には真欠陥と疑似欠陥とがある。真欠陥は接続: ショート(図 1 (a)), 単独: 残銅(図 1 (b)), 突起(図 1 (c)), 欠け(図 1 (d)), 断線(図 1 (e)), 濃い錆(図 1 (f))に分けられる。接続, 単独, 突起は輝度値が高く基板を構成しているパターンとの輝度差が少ない特徴がある。逆に, 欠け, 断線, 濃い錆は輝度値が低くベース(画像の暗い部分)との差が小さい特徴がある。一方疑似欠陥は埃(図 1 (g)), 薄い錆(図 1 (h))に分けられる。埃は輝度値が比較的明るく様々な形状があるが中には輝度値が低いものもある。薄い錆はリード線とベースとの輝度値の差が真欠陥と比較して全体的に大きくなるという特徴がある。これは, 薄い錆の輝度値が関係しており, 輝度値が低くなると濃い錆と判断されるため必然的に差が大きくなる。

### 2. 多クラス分類手法

SVM を用いた多クラス分類では, 投票数の同じクラスが複数出力される場合がある。そのため, 一般的には超平面の距離やランダムで所属するクラスを決定する。しかし, 本稿では1つのクラスに決定できない場合を判別が困難な欠陥とおくことにより, 対処を行う。これは, 1つのクラスに定まらない未知データは複数のクラスの間において, 誤分類しやすいと判断でき, 無理に判別するよりも保留することによって誤分類を防ぐことを目的としている。図2のクラス1はベースの輝度値に似ている真欠陥, クラス2はリード線の輝度値に似ている真欠陥, クラス3は疑似欠陥を表している。これらの3クラスをもとに分類を行う。

### 3. 特徴量の取得

欠陥候補領域より特徴量の取得を行う。特徴量は文献[3] で採用していた(1)輝度値の平均, (2)最大輝度値, (3)最小輝度値, (4)高い輝度値の割合, (5)円形度, (6)アスペクト比, (7)分散, (8)欠陥候補領域とリード線の輝度値の比, (9)候補領域とベースの輝度値の比,(10)面積, (11)x 方向のサイズ, (12)y 方向のサイズ, (13)周囲長, (14)対角線の長さ, (15)輝度値の重心と最大輝度値とのずれ, (16)複雑度, (17)滑らかさ, (18)コ

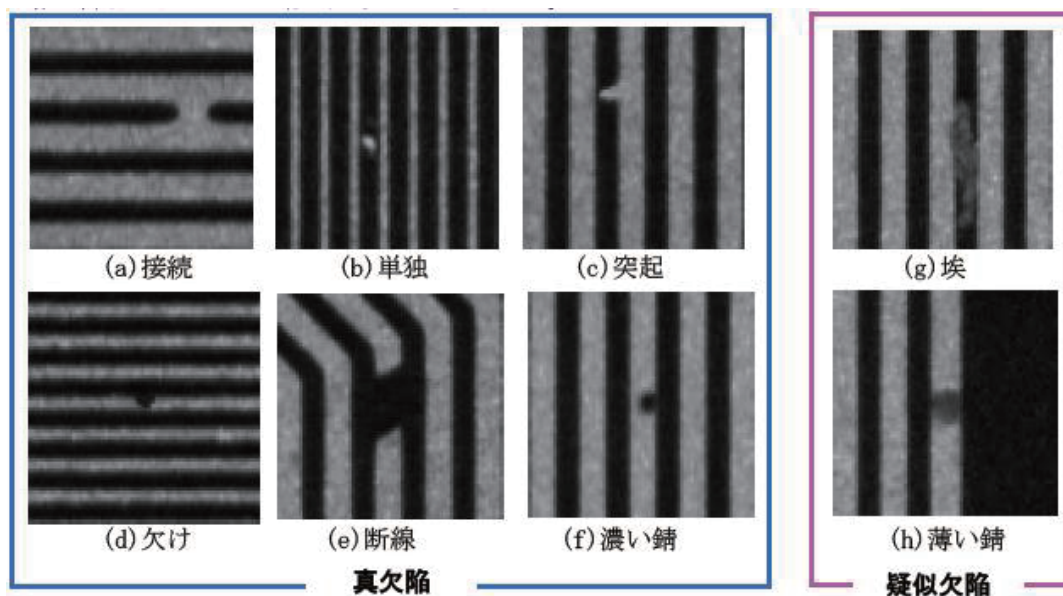


図 1. 新欠陥と疑似欠陥の種類

ントラスト, (19)近傍の画素間の相関, (20)角2次モーメント, (21)均質性, (22)最頻値, (23)歪度, (24)尖度 の計24種類を用いることとした。

#### 4. 識別器の構築

欠陥候補領域とベースの輝度値の比識別器としてはone-versus-the-rest方式(以下1-v-R)を用いる。1-v-Rの場合は、Mクラスのデータを学習するためには、すべてのデータを用いたSVM<sub>{i}</sub> (i=1, 2, ..., M)個を構築する必要があり、その結果を統合することでどのクラスに属するかを判断する。しかし、M個の2クラス識別器の内の2つ以上で同じ値が出力されるときもある。

このような問題を避けるために一般的には超平面からの距離(最近傍決定則)が最も大きくなるクラスへ識別することで分類を行っているが、ここでは判別が困難なクラスとして扱う。

手法では識別器ごとに特徴選択を行う独

立特徴選択方式を用いるものとする。

#### 5. 欠陥候補領域の結果

実際の電子基板から取得した欠陥候補領域を含んだ64 × 64画素の画像より、欠陥候補領域の検出を以下のように行う。まず、欠陥候補画像と参照画像を用いて差分画像を作成する。次に判別分析法によって参照画像を二値化し、二値化によって得られたリード線部とベース部ごとに閾値を設定する。最後にその閾値を元にして差分画像から欠陥領域を検出する。このようにして高精度な欠陥候補領域を検出した。

#### 6. 検証および評価方法

欠陥候補領域の検出し、特徴量を取得した後に、ベースの輝度値に似ている欠陥、リード線の輝度値に似ている欠陥、疑似欠陥の3クラスの判別をSVMを用いて行い、出力結果を元に真欠陥、疑似欠陥、判別が困難なクラスの評価を行うものとする。

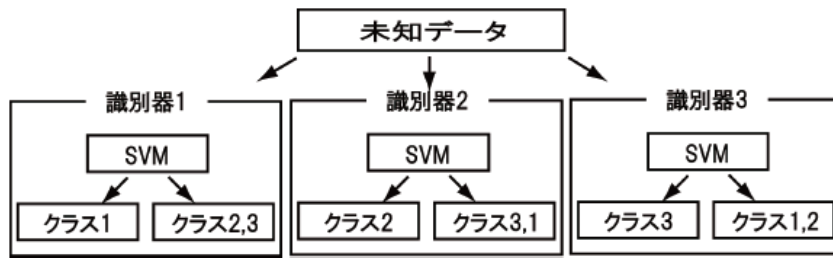


図 2. One-versus-the-rest方式

また未知データと学習データを最初の段階で分けて評価を行った。

### 7. 評価結果

手法の有効性を確認するために、文献[3]の手法との比較実験を行った。また、その他の手法との比較実験も行った。従来までは真欠陥と疑似欠陥の2クラスで分類を行っていたが、多クラス分類を用いた手法ではクラスが3クラス以上必要になる。

そこで、断線、欠け、濃い錆で構成されるベースの輝度値に似ている真欠陥、接続、単独、突起で構成されるリード線の輝度値に似ている真欠陥、埃、薄い錆で構成される疑似欠陥の3クラスで1-v-Rを用いて識別器を構築している。データセットは、未知データ300個と学習データ各120個ずつを使用し、特徴量は従来手法で使用している特徴量と追加した特徴量の合計24種類とし、RBFカーネルを用いたSVMに学習させることによって識別器を構築した後に前向き逐次選択法を用いて正答率を算出した。また、本研究では真欠陥と疑似欠陥の誤分類を減らすことを目的としているため、出力結果がリード線の輝度値に似ている欠陥とベースの輝度値に似ている欠陥のとき真欠陥とし、同じ投票数が複数ある場合には判別が困難な欠陥とし残りを疑似欠陥と

して表記している。クラス分類の識別器ごとの分類精度を表1に示す。クラス1はクラス数が1つ、クラス2はクラス数が複数を表しており、識別器1はベースの輝度値に似ている真欠陥を1クラスとし、識別器2はリード線の輝度値に似ている真欠陥を1クラスとし、識別器3は疑似欠陥を1クラスとしている。提案手法と文献[3]の手法を用いて未知データを分類した結果を表2に提案手法とその他の手法との結果を表3に示す。真欠陥と疑似欠陥の「困難」は投票数が複数のクラス同じになったもので、正答率は困難なデータを抜いて正分類と誤分類より算出しており、認識率はどれだけ困難なクラスに分類されなかったかを示している。

SVMのパラメータCは1、RBFカーネルの $\sigma$ の値は識別器1で0.5、識別器2で0.15、識別器3で0.39を用いている。また、表の正答率を式3、正誤認識率を式4の評価式によって算出している。

$$\text{正答率} = \frac{\text{正分類数}}{\text{正分類数} + \text{誤分類数}} \times 100 [\%]$$

$$\text{正誤認識率} = \frac{\text{正分類数} + \text{誤分類数}}{\text{すべてのデータ数}} \times 100 [\%]$$

表 1. 識別器ごとの結果

	特徴量	クラス 1		クラス 2		正答率[%]
		正	誤	正	誤	
識別器 1	7, 8, 9, 19	96	4	195	5	97.0
識別器 2	8, 9	91	9	194	6	95.0
識別器 3	8, 9, 18, 21	88	12	188	12	92.0

表 2. 従来手法との比較

用いた手法	クラス 1			クラス 2			正答率 [%]	認識率 [%]	誤分類数
	正	誤	困難	正	誤	困難			
提案手法	183	3	14	86	5	9	97.1	92.3	8
従来手法[3]	89	9	102	45	5	50	90.5	49.3	14

表 3. クラスの分類結果

用いた手法	クラス 1			クラス 2			正答率 [%]	認識率 [%]	誤分類数
	正	誤	困難	正	誤	困難			
提案手法	183	3	14	86	5	9	97.1	92.3	8
従来手法[3]	89	9	102	45	5	50	90.5	49.3	14
文献[4]	183	15	2	85	15	0	89.9	99.3	30

表 1 より各識別器ごとに用いられている特徴量が違うことから独立特徴選択を行ったため、各識別により適した有効な特徴選択がされているといえ、従来の特徴に加え追加した特徴量であるコントラスト(18)、近傍の画素間における相関(19)、均質性(21)が選択されていることから追加した特徴量は電子基板の欠陥分類には有効であるとわかる。

表 2 より従来手法である文献[3]の結果と比較すると正答率が6.6%上昇しており、認識率は43%上昇していることが確認でき、誤分類数も従来と比べる減少していることが確認できた。また、表 3 では文献[3]以外の手法である文献[4]の手法との比較を行っており、どの手法と比べても誤分類数が一番低くなっており、特に真欠陥を疑似欠陥と誤分類する個数が著しく減少していることが確認できる。

**謝辞** 本研究は中部大学研究費、科学研究費補助金(基盤研究(C)(#23500228)、東北経済産

業局戦略的基盤技術高度化支援事業の支援による。ここに感謝申し上げる。

### 参考文献

- [1] 二村和也, 岩堀祐之, 福井真二, 河中治樹, “サポートベクターマシンの用いた電子基板の欠陥分類手法”, 電気関係学会東海支部連合大会, O-126, 2008.
- [2] 二村和也, 岩堀祐之, 福井真二, 河中治樹, “SVM に基づく真欠陥の識別手法”, pp.63-66, WiNF2010 (情報学ワークショップ), 2010.
- [3] Yuji Iwahori *et al.* ”Discrimination of True Defect and Indefinite Defect with Visual Inspection Using SVM”, Lecture Notes in Computer Science, Vol.6884/2011, pp.117-125, 2011.
- [4] 胡 欣, クグレ マウリシオ, ヌグロホ アント サトリヨ, 黒柳 奨, 岩田 彰, “多クラスサポートベクターマシンにおける各SVM モジュールの独立特徴選択”, 電子情報通信学会 NC2005-86, 2005.