

HOG 特徴量を電子部品検査に適用した場合の課題検討

広島工業大学 ○西村 晃紀, 柳部 正樹, 青戸 勇太, 長谷 智紘, 森山 健, 前田 俊二

Consideration of electronic component inspection with HOG feature

Hiroshima Institute of Technology Koki Nishimura, Masaki Yanabe, Yuta Aoto, Tomohiro Nagatani,
Takeru Moriyama and Shunji Maeda

Precision electronic components are manufactured, being inspected for defects with automatic visual inspection machines. However recently higher sensitivity has been demanded, defect candidates contain a lot of good components, so re-inspection is necessary. In this research, classification method of images by determining the extraction positions of the target images and aligning between the comparison images by the similarity of the HOG feature is studied. This report describes the issues of applying HOG features to electronic component inspection.

1. 諸言

精密な電子部品を製造する際、電子部品の欠陥の有無が検査装置により判定されている。しかし、検査の高感度化の要求に伴い、検査装置が欠陥候補として判定したものには良品も多く含まれ、過検出が起り得る。そのため、目視による再検査により、欠陥候補を欠陥と良品に分ける作業が行われている。製造工程の高効率化を実現するには、目視検査を、図1のように自動化することが望まれている。本研究では、検査対象とする画像の切り出し位置の決定および比較する画像間での位置合せを、HOG 特徴量²⁾³⁾の類似度により行い、欠陥と良品の分類を可能とすることを目的とする。HOG 特徴量は人物検出に使われているが、欠陥検査への適用例は少ない。本報告では HOG 特徴量を欠陥検査に適用する場合の課題を検討し、類似度算出手法である HI と KLD によりヒストグラムの変動を比較評価し、さらに欠陥判定に適用した結果についても報告する。

2. 検査対象

本研究では、電子部品等に使われているプリント基板を評価対象とする。検査装置によって抽出された欠陥候補の画像を用い識別を行う。ここでは、re-visit によって再度画像を取得することなく、検査装置と同じ検出画像を用いて、on the fly にて欠陥候補とペアとなる良品画像を用いて、これらの比較検査による識別を行う。

3. 提案手法

(3.1) 提案手法の概要

欠陥認識の全体構成を図2に示す。欠陥候補を検出するたびに、欠陥候補画像と本来同じ対応パターンとなる良品画像を対象に、特

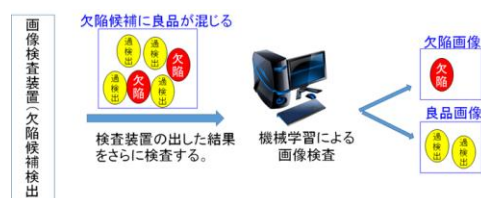


図1 機械学習による電子部品の検査

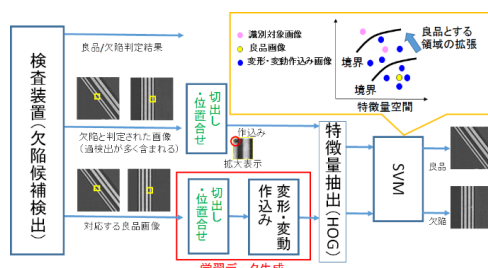


図2 欠陥認識の全体構成

徴量抽出を行う。そして、SVM⁴⁾を用いて欠陥の識別を行う。欠陥画像の種類や量が十分に確保できないため、方式評価に当たっては、赤丸で示したような変形・変動を作り込み、性能評価を行う。本報告では、作り込んだ変形・変動は良品として扱い、1classSVM を適用して欠陥かどうかを識別することにした。特徴量としては、欠陥の形状に着目した HOG 特徴量を用いる。切り出し位置は、HI により決定し、位置合せは、HI および KLD を適用し比較する。

(3.2) Histograms of Oriented Gradients

HOG 特徴量とは、輝度の勾配に着目し、局所画像からセル(例えば8×8画素)単位で各画素の輝度の勾配方向ごとに勾配強度を加算してヒストグラム化し、これをセル分連結したものである。1セルの領域における画像 $f(x,y)$ の各画素の輝度から、勾配方向 $\theta(x,y)$ と勾配強度 $m(x,y)$ が次式より算出される。

$$f_x(x,y) = f(x+1,y) - f(x-1,y) \quad (1)$$

$$f_y(x,y) = f(x,y+1) - f(x,y-1) \quad (2)$$

$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \frac{f_y(x,y)}{f_x(x,y)} \quad (3)$$

$$m(x,y) = \sqrt{f_x(x,y)^2 + f_y(x,y)^2} \quad (4)$$

(3.3) HI (Histogram Intersection)⁵⁾

HI とは、二枚の画像の類似度を、ヒストグラムに基づき評価する手法である。画像 $f(x,y)$ 、 $g(x,y)$ 間の類似度は次式により表され、

$$HI = \frac{\sum_i \min\{h(f(x,y))[i], h(g(x,y))[i]\}}{\sum_{bin[i]} h(g(x,y))[i]} \quad (5)$$

評価値は最小(完全不一致)で0、最大(完全一致)で1の値をとる。

(3.4) KLD (Kullback Leibler Divergence)⁶⁾⁷⁾

KLD とは、二つの確率分布の差を測るものであり、次式で表される。

$$KLD = \sum_{bin[i]} h(f)[i] \log \frac{h(f)[i]}{h(g)[i]} \quad (6)$$

KLD は真の分布 P で符号化した際の平均符号長と分布 Q で符号化した際の平均符号長の差を示したものであり、値 0 が最大類似度となる。

(3.5) 局所特徴量のための切り出し位置

3.2 節で述べた局所特徴量は回路配線パターンの影響を受けるため、局所特徴量の切り出し位置や良品部との位置ずれによって特徴量のヒストグラム形状が変わってしまう。

本報告では、局所特徴量である HOG 特徴量の切り出しに関して、HI および KLD を用いたヒストグラムの変動に関する検討を行った。図3に HI を用いた特徴量抽出の位置決定法を示す。欠陥候補の画像を±5画素(121通り)範囲で上下左右に振った各画像を±1画素の範囲で類似度を算出し、HI 最大位置で画像を切り出す。

(3.6) 画像の位置合せ

図4に画像位置合せ法を示す。欠陥候補画像を±2画素(25通り)範囲で上下左右に振って類似度最大位置を求める。

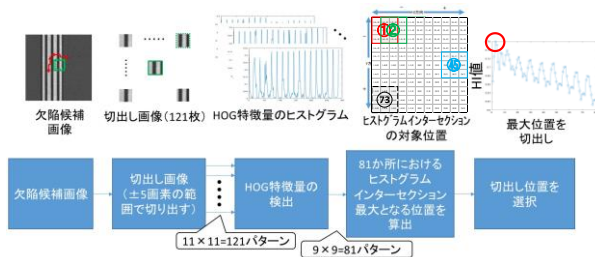


図3 HIを用いた特徴量抽出の位置決定法

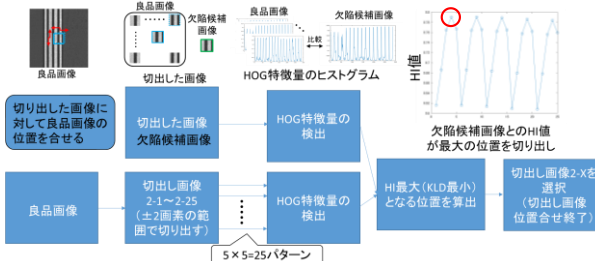


図4 HIおよびKLDを用いた画像位置合せ法

表1 実験条件

項目	条件
評価画像	不良品画像:10枚, 過検出画像:8枚
画像の切出し寸法	24×24画素
作り込む欠陥のサイズ	6×6画素
作り込む欠陥の階調	-100
作り込む欠陥の回転角度	0~80°, 20°刻み
HOG特徴量のブロックサイズ	2×2
HOG特徴量のセルサイズ	8×8画素
ヒストグラムの勾配方位	0~360°, 20度刻み, 18方向
ヒストグラム安定位置の探索範囲	±5画素
位置合せにおける位置ずれ許容範囲	±2画素
SVMの種類	1クラス
SVMの外れ値の割合	0.025

表2 各評価画像の安定位置上位五つのHI値

HI値の 高い順	1	2	3	4	5	
不良品	a	0.7541	0.7532	0.7526	0.7518	0.7437
	b	0.8220	0.8199	0.8138	0.8092	0.8084
	c	0.7990	0.7970	0.7956	0.7950	0.7942
	d	0.7770	0.7735	0.7679	0.7669	0.7658
	e	0.8786	0.8715	0.8700	0.8680	0.8675
	f	0.8272	0.8260	0.8052	0.8048	0.8017
	g	1.0825	1.0777	1.0675	1.0648	1.0460
	h	0.7600	0.7517	0.7389	0.7343	0.7316
	i	0.8290	0.8281	0.8268	0.8234	0.8226
	j	0.8331	0.8311	0.8153	0.8139	0.8055
過検出	k	0.8466	0.8244	0.8075	0.8060	0.8037
	l	0.8390	0.8372	0.8362	0.8342	0.8339
	m	0.9330	0.9294	0.9135	0.9089	0.9061
	n	0.8324	0.8305	0.8302	0.8297	0.8292
	o	0.9127	0.9115	0.9066	0.8926	0.8636
	p	0.8458	0.8437	0.8410	0.8380	0.8370
	q	0.8382	0.8360	0.8357	0.8353	0.8347
	r	0.9995	0.9987	0.9927	0.9901	0.9889

4. 実験条件および結果

(4.1) 実験条件

実験条件を表1に示す。±5画素の範囲でヒストグラム安定位置を探索するのは、探索範囲を広くしてパターンセルへのかかり具合を変化させるためである。安定位置を決定するためのHIが上位5つ画像を用いて評価を行う。±2画素（25通り）の範囲で位置合を行う理由は、検査装置の位置決め精度を考慮した結果である。

(4.2) 実験結果

表2に各評価画像の安定位置上位五つのHI値を示す。パターンセルへのかかり具合（位相）とヒストグラムの変動を確認するために、図5に一例を示す。表2の過検出「k」のものである。同図は安定位置を決定したHIが最大のものと、4, 5番目のものである。同図の画像およびヒストグラムの青枠部分では、セルにパターンがかかるかどうか微妙な位置であり、1画素ずれるだけでヒストグラムが変動し、HI値が下がってしまう。許容可能なパターンの変動に対して敏感に反応し過ぎて、過検出の抑制には不向きである。また、ヒストグラムの変動は欠陥の見逃しにもつながる。

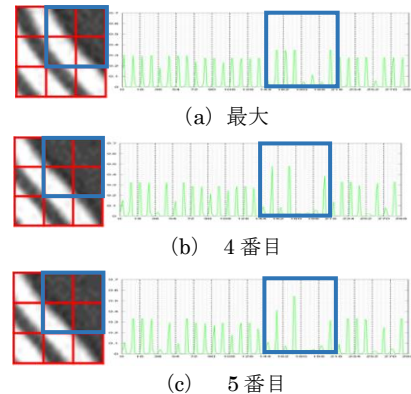


図5 切出し画像とヒストグラム

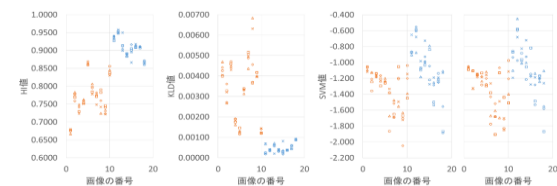


図6 HI/KLD/SVM評価結果

図6は、不良品・過検出画像と対応する良品画像のHI類似度、KLD類似度および、SVMの評価結果をグラフにしたものである。表2のHI最大となる画像のみではなく、上位五つの画像に対して評価した。縦軸がHI値、横軸が評価画像18枚の番号を示している。橙色が不良品画像、青色が過検出画像のものである。HI、KLDいずれも不良品と過検出の分離が可能であり、過検出を良品として救済し得ることが確認できた。

SVM評価に関しては、各画像上位五つの切出し位置に関して、HIにより画像の位置合せを行った場合、八つのうち三つは良品画像として救済し得る。KLDの場合には、八つのうち一つであった。

このように、HIやKLDによりHOG特徴量の抽出位置を決定し、かつ比較する2枚の画像の位置合せを行い、そこで得られたHOG特徴量に対し、HIおよびKLDによって欠陥識別まで行う手法が、少数サンプルながら有効であることが確認できた。

SVMは機械学習の一種であるため、学習によるポテンシャルが高く、汎用性も高いと考えるが、HIやKLDといったヒストグラムベースのシンプルな評価手法も有用であることが再確認できた。

5. 結言

人物検出に使われているHOG特徴量を電子部品の欠陥検査に適用し、その変動に関して分析した。パターンのセルへのかかり具合によってヒストグラムに変動が生じることを明らかにし、HOG特徴量の安定抽出位置の決定およびレジストレーションを、ヒストグラム類似度評価手法であるHIおよびKLDにより実現し、かつ欠陥と良品の分類にも適用できる可能性を有することを確認した。

参考文献

- 1) 浦野貴裕・酒井薫・前田俊二・佐藤真一：対話的教示欠陥選択に基づく効率的な実欠陥・虚報弁別技術, IEICE, Vol.96-D, No.1 221/229 (2013)
- 2) N.Dalal and B.Triggs: "Histograms of oriented gradients for human detection", (2005)
- 3) Richard Szeliski 訳玉木徹他：コンピュータビジョン・アルゴリズムと応用, 578, 共立出版株式会社 (2013.3)
- 4) 平井有三：はじめてのパターン認識, 森北出版株式会社 (2012.7)
- 5) M. J. Swain and D. H. Ballard: Color indexing, International Journal of Computer Vision, Vol. 7, No. 1 11/32 (1991)
- 6) 奥富正敏：デジタル画像処理, 画像処理教育振興協会 (2015)
- 7) 諸岡健一: Kullback-Leibler 情報量に基づく特徴の生成と選択による顔検出, 電子情報通信学会論文誌, D Vol. J89-D No.3 530/540(2006)
- 8) 青戸勇太他: Histogram Intersection による局所特徴量の安定抽出に基づく欠陥検査, 平成 29 年電気学会電子・情報・システム部門大会(2017.9)