外観検査における画像処理アルゴリズム

Hough変換によるLED発光検査装置*

加藤 誠**

*Emitting Pattern's Inspection System for Light Emitting Diode by Hough Transform /
Makoto KATOH***Key words:** pattern recognition, inspection system, LED (Light Emitting Diode), Hough transform1. はじめに¹⁾

LEDなどの発光素子は、最終段階では目視で発光パターンの外観検査を行っている。通常この工程は、検査員の目の疲労を軽減するために、顕微鏡に工業用TVカメラを接続しているケースが多い。但し、この検査では検査員による個人差や目の疲労度により、判定基準を一定に保つのは問題がある。このような背景により、工業用TVカメラに画像処理装置を接続し、赤外LEDの欠陥を検出して、自動分類するシステムの開発を行うことにした。

パターン検査の手法としては、基本的には正常パターンとの比較が一般的である。今回の赤外LEDのケースは、被測定物が回転を伴って観測され、また大きさ、形状などにある程度許容誤差があるために、単純比較は不可能であり、部品の持っている幾何学的特徴量を捕らえ、それを正常値と比較して良否を判定する方法を取らねばならない。

そこで本報告では、赤外LEDが矩形形状であることに着目し、この情報を用いてLED発光領域を検出しようと試みた。具体的には画像処理手法のなかで直線検出法の代表的方法であるHough変換を採用したわけだが、LEDの矩形精度があまり良くなく、かつ周囲のベース部分にエッジが立っている場合が多く、従来の角度制限付きHough変換だけでは、変換面のバックグラウンドデータがもち上がり、特徴空間上にうまくピークが出てこずLED発光領域を安定に検出

するのは困難であった。

本報告では、抽出目標矩形画像の直線性がある程度悪くても、正確かつ高速に目標となる矩形画像を抽出する方法について検討し、かなりノイズな画像に対しても、人間が目視するのに近いLED発光領域の検出を行うことが可能であることを示す。

2. 検査の諸要求と処理の構成

検査の対象となる赤外LED発光パターンは、図1に示すように、中心のLEDチップにボンディング線が配線しており、LED発光効率を上げるための溝により周りに外輪パターンがある。測定対象は中央部の正方形部分で中央は電極の非発光部分があり、これにボンディング線が接続されている。

図1 測定対象となるLEDの構造

* 原稿受付 平成2年5月19日

** 浜松ホトニクス(株) (浜松市常光町812)

〈検査項目〉

- ・外形欠け検査
- ・内部きず検査
- ・内部輝度むら（発光不良）検査
- ・ボンディングパッド位置ずれ検査
- ・クラック（ひび割れ）検査

〈検査項目以外の装置に対する要求〉

- ・検査基準：現在検査員が目視検査で行っている基準に合わせることを。
- ・信頼性：真に正常なもののみ正常と判定し，異常なもののみ異常と判定し，疑わしいものはボンディング項目として出力し，検査員の判断を仰ぐようにする。
- ・高速処理：検査する対象が生産量が多量なもののため高速な処理手法が望ましい。

以上の諸要求に対し，本報告ではまず高速処理を意識することなしに，まず確実に判断できる手法を確立し，その後その計測精度を落とすことのないように高速に測ることを設計の方針とした。

次に以上に示した具体的検査項目について，検査する機能の大まかな組立を行った。処理を分類すると，

- ① 前処理部
- ② 発光パターン領域抽出部
- ③ 発光パターン検査部

に分けられる。

①の前処理は，発光領域特定のための2値化を行うものとする。LEDは自発光のため2値化の手法は比較的使いやすいが，輝度値は個々に異なるため，自動しきい値²⁾を用いることにする。②の発光パターン領域抽出部については基本的にHough変換を用いることにした。③発光パターン検査部は，②の抽出がうまくいけば，LEDのむらを除いて幾何学的な測定になるので既存の画像処理手法で対処できると考えた。従って今回は，②発光パターン領域抽出部を中心に説明していく。

3. 測定領域抽出のためのアルゴリズム

3.1 抽出の問題点

再び図1を観察すると，発光部の周囲のリング状の外輪パターンがLED発光部の抽出を困難にしていることが分かる。LED取付位置によっては，このリング部と接触したりするので，単純にしきい値を設定し，セグメント化しただけでは，このリングと同一セグメントと認識されてしまう。よって大局的な特徴処理であるHough変換を用いることにした。Hough変換による直線パターン検出の原理は， x - y 空間座標系

の直線が式(1)で示されるような θ - ρ パラメータで表されることにある。

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

ここで， ρ ：原点から直線までの垂線の長さ， θ ：垂線と水平軸との角度。

画像空間の同一直線上の座標点の式(1)による写像は，すべて同じ ρ - θ の座標点に集中する。従って，画面の中のエッジ境界線上の座標点に対し，式(1)の変換を行い ρ - θ 空間上の座標点をカウントアップしていくことにより，画像空間上の直線に相当する ρ - θ 空間上の点にピーク値が現れてくる。

そこで，今回のLED発光部の4つの辺をこの変換にてサーチして検出することを試みた。Hough変換による境界の抽出はこれまで数々の方法が提案されているが，いずれも変換する候補点を抽出するのに微分オペレータを用いている。今回のケースでは，この微分オペレータでは確実に候補点が出てこないことが分かった。その理由として以下の点が上げられる。

- (1) LEDはある高さを持っているのでメカニカルな精度で，ピント位置が常に一定という訳にはいかず（測定系+LED取付精度），ある程度エッジがボケてしまう。
- (2) LEDのエッジ自体，カッティングの精度により垂直端面ばかり出ているケースばかりでない。

よって今回は，発光部とバックグラウンドが自発光のため区別が付きやすい点に注目し，自動2値化の手法により2値画像を作り，この周辺部をトラッキングしながらHough変換を行う手法を採用した。但し，この手法²⁾をとった場合Hough変換を行う際，次のような問題点が出てきた。

- ① LED発光部の4つの辺が，正確に直線にならない（ピントがあまい，LED自体の精度）。
- ② LED発光部エッジがなまっているため，Gradientによる角度制限付き高速Hough変換⁴⁾の変換範囲の角度制限をあまり強められない。
- ③ ①及び，LED発光部周辺に散在する領域によって，Hough変換面での特徴量がバックグラウンドに埋もれやすい。

そこで今回，①の4つの辺をなるべく正確な直線となるようにするために，前処理部で一度自動2値化により2値画像を作ったあと，その2値画の幾何学的特徴を利用して，リング状の外輪パターン内でもう一度ヒストグラムをとり，自動2値化により再び2値画を作ることとした。これにより，リング内の背景とLEDの領域との中間のしきい値がより高精度でとられることになり，外輪部や背景によって影響を受けて

図2 LED しきい値画像 (a) とその Hough 変換データ (b), θ 方向投影データ (c)

いた LED の 2 値のエッジ部分が鮮明に浮き上がってきた。また、③のバックグラウンドに埋もれた LED の特徴量を高速かつ正確に抽出するために、角度方向に対しカウントアップする際の重み付けを変えることにより、直線収束性を向上させたアルゴリズムを試みた。

3.2 Hough 平面上の特徴量抽出の手法

まず自動 2 値化²⁾にて 2 値化されたしきい値像は、図 2 (a) のようになるが、このエッジを Hough 変換すると、図 2 (b) のように Hough 変換面では LED の 4 つの辺に対応する直線のピークが現れる。この 4 つのピークは θ 方向の投影を考えれば、図 2 (c) のように 2 つのピークを持ち、この差は 90° ある。また ρ 方向については、一辺の長さに対応した差 d を持つ。

今回はこの幾何学的情報を積極的に活用して、あまり精度のない LED の 4 つの辺の探索を高速に行うことにした。

まず図 3 に今回の Hough 変換アルゴリズムを示す。この方式では、まず図 2 (b) のような 2 次元の Hough 変換面 $H(\rho, \theta)$ 空間での計算と同時に、図 2 (c) のような $A(\theta)$ という Hough 変換面の角度方向投影データを作成し、この投影データより LED の 2 つの平行な辺のペアに対する角度をサーチする。次

- ① $H(\rho, \theta)$ 空間をすべてクリア, $A(\theta)$ をクリア
- ② reference 2 値画상을トラッキングして, X, Y の座標を求める。

- ③ 濃淡画の同一座標に対応する点の 3×3 gradient をとり

$$\theta_0 = \tan^{-1}(\Delta f_y / \Delta f_x)$$

より候補となる θ_0 を求める。

$$\begin{aligned} \Delta f_x &= \sum_{i=-1}^{i=1} I(m+1, n+i) - \sum_{i=-1}^{i=1} I(m-1, n+i) \\ \Delta f_y &= \sum_{i=-1}^{i=1} I(m+i, n+1) - \sum_{i=-1}^{i=1} I(m+i, n-1) \end{aligned}$$

$< I(m, n)$: 現在の注目点 >

- ④ θ_j を適当な区間 $[\theta_0 - K, \theta_0 + K]$ で振り (本実績では θ は 1° ごと, K は 3° に設定)

$$\rho_j = X \cdot \cos \theta_j + Y \cdot \sin \theta_j$$

を計算し

$$H(\rho_j, \theta_j) = H(\rho_j, \theta_j) + m(j)$$

$$A(\theta_j) = A(\theta_j) + m(j) \quad < m(j): \text{重み付け値} >$$

を行う。この時の角度範囲は 180° と比べて、かなり小さい範囲のため、計算量は少ない。

- ⑤ トラッキング終了かどうかを判定して、まだであれば②へ飛ぶ。

- ⑥ $A(\theta)$ の中より、2 つのピークを検出する。この時、2 つのピークは LED が矩形のため 90° の差がある。よって 90° の差のあるピークを検出し、この 2 つのピークを決定する。これは 1 次元のデータのため、処理時間は短い。この 2 つのピーク値を θ_{p1}, θ_{p2} とする。

- ⑦ 次に $H(\rho, \theta)$ 空間より

$$\theta_{p1} - K < \theta < \theta_{p1} + K, \quad \theta_{p2} - K < \theta < \theta_{p2} + K$$

の範囲のデータより、ピーク検出を行う。この時の角度範囲は 180° と比較して、大幅に狭められるため、計算スピードは向上する。

図3 重み付け Hough 変換アルゴリズム

に、この 2 つの候補となる θ 方向のウィンドウ領域により、 d だけ離れた 2 つのピークを $H(\rho, \theta)$ 平面より探索する方法をとった³⁾。これにより、2 次元の $H(\rho, \theta)$ 平面より特徴点を抽出する際の探索範囲が限定でき、高速に探索することができた。また、Hough 変換としては、Gradient 型 Hough 変換⁴⁾を採用し、変換時間を短縮化した。この時、Hough 変換面の角度方向の投影データは、(i) 重み付けをしない普通の Gradient 型 Hough 変換の場合 ($m[j] = \{1, 1, 1, 1, 1, 1\}$)、図 4 (a) のようにピーク部分がフラットなグラフになってしまいピークを限定できない。そこで、(ii) の重み付け ($m[j] = \{1, 2, 3, 4, 3, 2, 1\}$) のように角度方向にカウントアップの重みを付けて Hough 変換を行った場合、角度方向投影データが図 4 (b) のようになり、ピークが検出できる。また角度方向に重み付けを行った場合、Hough 変換での ρ - θ 平面の重なりはより顕著に出るため、周辺のごみデータや、ノイズに特徴点が埋もれてしまうことを防ぐことができた。

(a)(i) 重み付けしない場合, (b)(ii) 重み付けありの場合
(曲率 0.002 だけ直線から曲げたシミュレーションデータ
に対するもの)

図4 θ 方向投影データ

4. 検査部判定結果例

以上で難しい LED 発光領域が抽出されたので, 2 章で示す検査は後は比較的容易である. 図 5 に処理全体の流れを示す. まず, 重み付け Hough 変換で, 図 5 (b) のように LED 領域を検出する. 図 5 (c) は, この LED の領域だけを (b) の情報をもとに切り出したもので, 図 5 (d) はさらに 2 値化したものである. この中で LED の欠けやボンディング部分, さらに大きなクラック等は全く発光しないため, 輝度がかかなり下がっている. そのため 2 値画像と抽出領域との論理積をとり, かつボンディング部を除くだけで LED の欠け領域は検出できた. これを図 5 (e) に示す.

次にボンディング部の位置ずれの検出については, 既に発光領域が決定できているため中心はすぐに求まる. 従ってこの中心から規定半径の円を描き, この円に沿って 2 値パターンの ON の部分 (発光部) が連続して規定の長さだけ続いている場合に良品とする. 図 5 (f) にこの検査部分を示す.

5. ま と め

本報告では, ある程度エッジが鮮明でなく, かつ矩形の直線性もあまり良くない実際の LED に対し, 確実に LED 領域を抽出し, 欠陥を検出するシステムについて述べた. その際, LED 発光領域の検出に重み

(a) 原画, (b) 2 値画, (c) LED 検出 (Hough 変換),
(d) LED 2 値画, (e) LED 欠け検出, (f) ボンディング
部位置ずれ検査

図5 LED 欠陥検出処理

付け Hough 変換方式を用いて, 変換面でのピークがより高精度で出力できる方法を示し, さらに LED の発光パターンが矩形パターンであることを積極的に利用し, Hough 変換面でのピーク検出をより高速かつ高精度にて検出できることを示した.

今後の問題点としては, システムとしては専用プロセッサを進めることにより, 高速処理可能なシステムを開発することであり, また良否判定におけるしきい値も, より検査員の判定基準に近づけ完全自動化する課題もある.

参 考 文 献

- 1) 谷内田正彦: 目視検査の自動化——総論 (現状と今後の課題), T. IEE, 107-C, 8 (1987) 704.
- 2) 大津展之: 判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法, 信学論(D), J63-D, 4 (1980) 349.
- 3) 興水大和: 直線パターン検出のための HOUGH 曲線追跡型アルゴリズムについて, 信学論(D), J 68-D, 10 (1985) 1769.
- 4) F. O'Gorman and M. B. Clowes: Finding Picture Edges through Collinearity of Feature Points, IEEE Trans. Comp., C-25, 4, (1976) 449.