画像処理による溶接ナット位置検査 システムの開発*

岡 本 裕 幸** 米 澤 洋**

Position Inspection System for Welded Nuts by Image Processing

Hiroyuki OKAMOTO and Yoh YONEZAWA

This paper describes a design and trial construction of the welded-nut position inspection system which applies gray-scale image processing. The inspection is made as follows: 1st, define two square inspection areas which enclose a nut (= object) image. These two areas have a common center and different area sizes to each other. 2nd, calculate a standard density level by using 5 densities of pixels around the center. 3rd, count the number of pixels which density levels are lower than the standard one, in each area. 4th, judge the quality of the work by the difference between the counts at large area and that at small area. It is clarified by experiments at an industry that the system inspected with no error and with about 15 ms/object processing speed.

Key words: position inspection, image processing, gray-scale, nut

1. は じ め に

ロボットを用いてナットの溶接工程を自動化している生産ラインが多いが、ワークの検査は人間が目視により行っている。不良品はめったに発生しないために「良品である」との思い込みから、不良品を見逃してしまう場合がある。そこで画像処理を導入して、見逃しのない確実な検査を実現することにより、ナット溶接全工程の完全な自動化を可能にした¹⁾。

画像処理による産業用検査システムは種々発表されているが、溶接ナット位置の検査システムはいまだ発表されていない。位置、形状の検査システムとしては例えばプリント基板の検査²⁾³⁾、シリコンウエハの検査⁴⁾、IC リードフレーム検査⁵⁾、マルチウィンドウ⁶⁾⁷⁾等があるがほとんどの検査がどちらかと言えばクリーンな現場で行われ、外部光の影響を受けない理想的な条件の下で対象を撮影し、二値画像処理により検査を行っている。特に最後のマルチウィンドウ法は本論文と同じウィンドウを使う点では似た手法と言えるが、基本的に固定しきい値を使用しており、照度変動が大きい場合にはしきい値のマニュアルによる変更を必要とする。これに対して本論文では、

① 独自の動的しきい値決定方法 (ただし処理はあ

くまでも濃淡画像を対象とし、二値化処理自体は行っていない)を採用し、

② 同一画像内での相対比較 (モデルは使わない)により検査を行う。

アルゴリズムを採用したこの処理により、周囲の明るさに変動があっても検査パラメータになら変更を加える必要がなく安定して検査ができる特徴を有する。

試作機を使った現場での実験結果、本システムは溶接火花が飛びかつ周囲の明るさが変動するような現場で、十分な処理速度で溶接ナット位置の検査が確実に行えることを確認した。

2. 検 査 原 理

まず最初に検査対象について述べる。図1に検査対象を工業用テレビカメラ (以下ITVカメラと略記) で撮影した画像の一例を示す。検査対象はT形ナットあるいは六角ナットであり、複雑な形状をしたワークの側面、上面あるいは底面に合計で15個溶接されている。図1は大きなワークの一部分を撮影したもので、3個のナットがその上面に溶接されている。撮影距離は約870 mmで、このとき1画素の水平方向の長さは対象上で約0.45 mmの長さに相当する。本実験で用いたワークの場合は6画面に分けて撮影したが、撮影距離はいずれも約870 mmになるようにした。な

* 原稿受付 平成4年1月6日

** 正 会 員 広島大学工学部 (東広島市鏡山1-4-1)

Fig. 1 An example image of objects

Fig. 2 Section of a welded nut

Fig. 3 Density distributions on a horizontal center line: (a) Nut image; (b) Hole image

お、画像の濃度値は0（最も暗い）～255（最も明るい）の値を取る。

図2にナット部分の断面図を示す。正常な場合、ナットはボルトの通る下穴を覆うような形でワークに溶接されている。

図3(a)にナットが正常に溶接されている場合の画像の中心を通る水平方向の濃度分布を示し、図3(b)にはナットが溶接されていない場合の同じ位置の濃度分布（＝下穴の濃度分布）を示す。濃度値の小さい部分（濃度値が図(a)では約18～36、図(b)では約20～40）がナット穴（あるいは下穴）の部分である。濃

度値の大きい部分（濃度値が図(a)では約200以上、図(b)では約212以上）がナットの上面（あるいはワーク面）部分である。図(a)の右端付近で濃度値が約148の極小値を取る部分は、ナットの周辺が溶接で焼けて黒くなっている部分である。

ナットの有無の検出にはナット穴と下穴との画素数の違いを利用する。位置のずれはあらかじめ教示によって定めた基準検査範囲および中心座標を利用して検出する。

まず、ナット穴（あるいは下穴）の画素数を計数するために濃度分布が急激に立ち上がる、穴と周囲の境界となる濃度値（図3の D_0 で以下基準濃度値と記す）の定め方について述べる。周囲の明るさの変動が濃度分布へ与える影響を調べるための基礎実験を行った。

基礎実験ではカメラの絞り値（ F 数）を1.6～8の範囲で変化させ、照度変動を模擬した。各 F 数に対して

- イ) ナットの形状をT形、六角の2種類。
- ロ) ナットの大きさをM6, M8の2種類。
- ハ) ナットの位置を基準位置、および許容ずれ限界の位置の2種類。
- ニ) ナットがない場合。
- ホ) 撮影距離を約390, 480, 580, 680, 770, 870, 970 mmの7種類。

と条件を変え、すべての条件での濃度分布を調べた。基礎実験の結果、

- ① ナット穴（あるいは下穴）の濃度値はほぼ32以下の値を取りあまり大きく変動しない。
- ② 周辺部の濃度値は約80～250と大きく変動する。
- ③ 濃度値が小さい部分から濃度値の立上がり部分までの分布形状はほぼ似た形状となる。
- ④ ナット穴（あるいは下穴）の中心部分の5画素は上記ハ、ホ)の条件の下では常にナット穴（あるいは下穴）内にある。

ことが判明した。なお、 F 数11, 16では画像全体が暗くなり過ぎ、中心部と周辺部の濃度差がほとんどなくなったので実験条件からはずした。（ある程度の照明を与えれば画像が極端に暗くなることはない）。

実験結果の④を考慮し、ナット穴（あるいは下穴）の中心部分の5画素の濃度値の平均と D_0 の関係を（処理を簡単化するため）直線近似し、式(1)の関係を得た。

$$D_0 = (\text{中心5画素の平均濃度値}) \times 1.3 + 10 \quad (1)$$

5画素の平均を取ったのは中心部分の濃度値のばら

つき、ノイズによる異常値などによる誤動作を防ぐための処理である。なお、5画素の中心座標は後述の教示によって定める。また基礎実験中、 D_0 の値は画像と濃度分布を比較して実験者の判断により定めた。基礎実験のデータのみで求めた直線近似の各係数には比較的大きなばらつきがあった。ばらつきの大きな原因は D_0 の決定に主観が入るためと思われる。そこで実験データのみで求めた関係式を使って実際に検査を行い、各係数の微調整を行った。上記イ)～ホ)の条件内では式(1)で安定して基準濃度値が求まることを確認した。なお、実験結果の①～③は使用するカメラの撮像特性によって定まることを別の撮像特性を持ったカメラを使った比較実験で確認した。すなわち、カメラの撮像特性が共通であれば、どのメーカーのカメラであっても式(1)を適用できる。今回使用したカメラの主要な撮像特性は

- ・撮像素子=インタライン転送方式 CCD
- ・ガンマ特性=1
- ・ゲイン=オートゲインコントロール
- ・ホワイトクリップレベル=110 IRE $\pm$ 10
- ・電荷蓄積モード=フレーム蓄積モード

である。

次に、 D_0 以下の濃度値を持つ画素数を計数する範囲の定め方を述べる。この範囲をある一つの固定値とすると汎用性がなくなり、かつ照度変動にも弱くなることを考慮し、中心座標は共通で面積の違う二つの範囲を使い、両範囲での計数結果を比較する方法を考案した。範囲の一つは後述の教示の時に検査実験を行って定める正方形とした(以下この範囲を基準検査範囲と記す)。通常この基準検査範囲はナット内径にほぼ外接する正方形となる。他の一つは基準検査範囲の一边を1.5倍した正方形とした。通常、この範囲は下穴をほぼ内部に含む正方形となる。共通の中心座標は後述の教示によって定める。

後者の範囲は検査実験を行い、ナットが全くない場合、許容範囲を越えてずれた位置に溶接された場合、溶接による焼けでナットの周囲が黒ずんだ場合等でも確実に検出できる範囲として経験的に定めた。

最後に、良否の判定において許容範囲内の位置ずれやノイズ等の影響をなくするために次式で示す判定基準も前述の検査実験から経験的に定めた。

$$S_2 - S_1 < 16 \cdots \text{良好} \quad (2)$$

$$S_2 - S_1 \geq 16 \cdots \text{不良} \quad (3)$$

ここで S_1 は基準検査範囲内で D_0 以下の濃度値を持つ画素数、 S_2 は基準範囲の一边を1.5倍した正方形内で D_0 以下の濃度値を持つ画素数である。正規の位

Fig. 4 Schematic diagram of the inspection system

置に溶接された場合は $S_2 - S_1 = 0$ となる。

なお、溶接による焼けの部分の濃度値が D_0 以下になる場合があり、この部分を計数すると正しく判定できない。そこで、 D_0 以下の画素数を画像内で水平方向に1行ごとに計数していくときにナット穴(あるいは下穴)の中心から左右別々に外側に向かって計数し、一度 D_0 を越えたら計数を中止しそれより先は検査範囲内であっても計数しないようにした。

3. ハードウェア

図4にハードウェア構成を示す。システムは大きく分けて照明装置、ITVカメラ、マイクロコンピュータ(以下マイコンと略記)、ディジタイザ、モニターで構成した。

ロボットコントローラはワーク搬送用ロボットのコントローラでマイコンとI/Oポートを介してワークの識別、画像撮影のタイミング、検査結果の転送等を行う。

照明装置は市販のサークル型蛍光灯(インバータ駆動32 W, 30 W 各1本)を改造し、試作したケースに取り付けたものである。

ITVカメラは水平解像度が570本、垂直有効ライン数が485本のものを使用した。これを上述した照明装置の中央に取り付け、蛍光灯からの直接光が入らないようにフードを付け、このフードの先にカメラレンズ保護用のUVフィルタを取り付けた。

マイコンはラック形式で構築した。クロック10 MHzの80286 CPUと640 Kバイトのメインメモリ(RAM)と256 KバイトのシステムROMからなるCPUボード、絶縁型パラレルI/Oポートを3ポート持ったI/Oボード、512 Kバイトのバッテリーバックアップ機能を有するRAMと1 MバイトのEPROMを搭載したメモリーボードを備えている。

Fig. 5 An example image at teaching mode

アナログ画像データ処理用ディジタイザはマイコンのラックの一つに挿入して使用した。画像メモリーは縦横 512×512 画素、濃度 256 階調の画像を 1 画面記録することができる。バンク切換えにより、マイコンのメインメモリーの一部として直接アクセスすることにより画像処理を実行する。

モニタは 9 インチの白黒モニタで画像データの表示と教示の時のメニューの表示、ならびに検査結果を表示するために使用した。

4. ソフトウェア

ソフトウェアは大きく教示用プログラムと検査用プログラムに分かれる。プログラムは処理速度向上のためにすべてアセンブラで記述した。

4.1 教示用プログラム

教示用プログラムは検査実行時に必要となる、検査画像ごとの各ナットの基準検査範囲とその中心座標を記録したデータファイル（以下「教示データ」と記す）を作成するプログラムである。このプログラムは現場で容易に使用できるように、モニタ画面に表示されるメニューを選択するだけで教示データを作成できるようにした。

なお、ロボットの位置、姿勢等の教示は別にロボットコントローラを使って行う。

図 5 に教示データ作成時の画面の一例を示す。基準となる位置に正しく溶接されたナットをほぼ真上から撮影した画像を使い教示を行う。手順は以下の通りである。

- ① 画面の上中央にある正方形のカーソルを検査したいナットの位置へ移動させる。
- ② カーソルの位置と大きさを調整し検査実験を行う。
- ③ 正しく判定できる最小の大きさのカーソルの一

Fig. 6 An example image of test inspection

辺の大きさ（＝基準検査範囲）とカーソルの中心座標をデータファイルに記録する（＝教示データ）。

検査実験を行った例を図 6 に示す。検査を行ったナットの像の下に検査結果（OK＝良好、NG＝不良）、画素数の差（前述の $S_2 - S_1$ 、図では「差」と表示）および基準濃度値（図では「基」と表示）を 16 進数で表示する。この表示を参考にし、画素数の差が 0 となるようにカーソルの大きさおよび位置を調整する。なお、 S_1 の領域を明示するために、 S_1 内部画素の濃度反転処理も行った。

一つの生産ラインで種類の違ったワークを溶接する場合に対応するため、教示データにはワークの種類に応じた番号を付けた。最大 32 種類のワークの識別ができる。

4.2 検査用プログラム

検査用プログラムは上述の教示用プログラムで作成した教示データから、検査画像内での各ナットに対する基準検査範囲とその中心座標を読み取り、検査を実行するプログラムである。

以下に検査手順を示す。

- a) ワーク番号に応じた教示データを読み込み、基準検査範囲、中心座標を定める。
- b) ロボットが教示の時に定めた撮影位置に移動し、静止したときにロボットコントローラが出力する信号を確認し、検査対象を撮影する。
- c) 式 (1) により基準濃度値 D_0 を定める。
- d) 前述の S_1 , S_2 を計数する。
- e) 式 (2), (3) で判定し、結果をモニタ画面のナットの像の下に、良好の場合は「OK」、不良の場合は「NG」と表示する。
- f) c)～e) を 1 画像内のナットすべてについて行う。
- g) 1 個のワークに溶接されたすべてのナットについて b)～f) の処理を行う。

Fig. 7 An example image of a good work

b) すべての検査の結果、1か所も不良が無い場合にのみ良品と判定する。検査結果をロボットコントローラに出力すると同時に最後の画面の左上にも表示する。検査継続の場合はa)に戻る。

図7に良品と判定した場合の画像の一例を示す。各ナットの像の下に表示しているのがこの画面での各ナットに対する検査結果で、画面左上に表示しているのが全体の検査結果である。

5. 実験結果

ナットの自動溶接ラインで試作機を試験使用した実験結果を次に示す。この実験に使ったワークには合計で15個のナットが溶接されている。これをナットがほぼ真上から撮影できるように

- ・M6の六角ナット1個+M8のT形ナット2個
- ・M8の六角ナット2個
- ・M8の六角ナット2個
- ・M6の六角ナット1個+M8のT形ナット1個
- ・M8のT形ナット3個
- ・M8のT形ナット3個

の6画面に分けて撮影した。撮影距離はいずれの画面も約870 mmである。実験期間は約2週間である。

- ・検査個数（ワークの個数）……………2 860 個
- A) 良品を良品と判定した個数 ……2 823 個

- B) 不良品を不良品と判定した個数 ……37 個
- C) 良品を不良品と判定した個数 ……0 個
- D) 不良品を良品と判定した個数 ……0 個

このようにすべて（ナットの個数にして42 900 個）を正確に判定できた。なお、B)の不良品の内訳はナットが全く無かったものが9個、ナットがずれた位置に溶接されたものが28個であった。ナット1個の判定に要する時間は約15 msであった。画像の撮影時間と教示データの読みだし時間は合わせて約55 msであった。従って1画面に3個のナットが撮影されている画像の全処理時間は約100 msである。

6. ま と め

開発したシステムは現場での実験結果より、周囲の明るさの変動に関係なく、十分な処理速度で溶接ナットの位置を確実に検査でき、実用に供することができると判断した。

また、独自に考案した動的しきい値決定方法も良好であることが確認できた。

この検査原理は明るい画面内の暗い部分の位置、大きさを検査するものである。従って、ナットだけでなくその他の位置検査にも応用可能である。

参 考 文 献

- 1) 岡本裕幸, 米澤 洋: 画像処理によるナット検査システムの開発, 精密工学会中国四国支部・九州支部合同徳島地方学術講演会論文集, (1991) 15.
- 2) 後藤宣之: プリント板とICマスクの検査, テレビジョン学会誌, 35, 11 (1981) 928.
- 3) 後藤宣之, 近藤隆志: プリント板パターンの自動検査方式, テレビジョン学会誌, 39, 5 (1985) 440.
- 4) 伊井正武ほか: シリコンウェハーの検査, テレビジョン学会誌, 35, 11 (1981) 924.
- 5) 上田俊一, 山口博史: ICリードフレーム外観検査, 第2回外観検査の自動化ワークショップ, (1990) 47.
- 6) 森下 巖ほか: 外観検査の自動化, 電気学会, (1984) 270.
- 7) 西塚 宏ほか: 最新目視検査の自動化, テクノシステム, (1990) 156.