基板検査用治具設計のための微細画像処理 システムの開発*

川崎 雅生**・有木 康雄***・井上 嘉明****

Development of a Fine-Image Processing System for Design of Print Board Checking Device (Jig)*

Masao KAWASAKI**, Yasuo ARIKI*** and Yoshiaki INOUE****

At present, print board checking devices (called jig) are widely used for electrical checking of multi-layer print boards. To design these devices, it is required to extract points, which correspond to ends of electrical circuits, from the print films. The point extraction work has been done by human beings and it makes their eyes extremely tired.

This paper describes an image processing system for newly developed for automatic point extraction, after feeding print films by one-dimensional line sensor with high resolution.

The features of the system to extract the points are :

- (1) Local image processing is carried out on the large amount of data for processing efficiency.
- (2) Global processing that signal connection is checked between print boards is incorporated for processing accuracy.
- (3) The system is designed to be universal so that multi-layer print boards can be dealt with.

1. はじめに

プリント基板の高密度化・多層化が進む現在において、基板製造時の精度的な問題など¹⁾があるため、電子部品を搭載する前には、基板上の回路の断線や短絡の有無を全数検査する、いわゆる基板検査の工程がある。検査方法としては、各基板に対応した専用の治具と呼ばれる装置を基板ごとに作成し、基板に検査用のピンを立てて通電検査を行う方法が、一般的であり信頼性が高い。

最近の回路パターンの設計は、CAD によるものが主流になってはいるが、基板検査用の治具は、治具製造専門の企業に設計を依頼して製造するのが現状であり、その比率は80%以上である。その場合、CAD データをMT等で直接渡すことはなく、基板製造用のプリントフィルムを渡して、治具を設計・製造してもらうことが多い。このため、プリント基板製造用のフィルムから、治具の検査ピンをどこに立てるかを決定する作業（以下、ポイント取りと呼ぶ）が発生するが、これは、すべて人手（目視作業）で行われているが現状である。

ポイント取りとは、具体的には、プリント基板上の回路パターンの中から、回路上の端点になっている部分（ポイント）をすべて抽出する作業であり、一つの基板では平均して3,000箇所程度のポイントが存在する。多層基板では、このフィルムが複数枚で全体的な回路を構成しているため、作業そのものも複雑で、熟練と根気を要し、平均20時間程度の作業がかかっている。このため治具設計のポイント取りにおいては、次のような問題が生じている。

* 原稿受付 1993年10月13日

** 滋賀県立機械金属工業指導所 Institute for Machine & Metal Industry of Shiga Prefecture ; 52, Okamachi, Hikone city, Shiga 522, JAPAN

*** 龍谷大学 理工学部 Faculty of Science and Technology, Ryukoku University ; 1-5, Yokotani, Oe-cho, Seta, Otsu city, Shiga 520-21, JAPAN

**** 滋賀県工業技術センター Industrial Research Center of Shiga Prefecture ; 232, Kamitoyama, Ritto-cho, Shiga 520-30, JAPAN

Key Words : image processing, point extraction, thinning processing, connection check, AND processing.

(1) 作業環境の問題

平均 3,000 個のポイントをみつけるという作業量と、1 基板当たり平均 20 時間という作業時間からくる、目と肉体の極度な疲労を生じる。

(2) 信頼性の低下

この検査用のピンは高価であるため、必要最小限の本数ですべての回路パターンを検査できるように配置する必要がある。ところが、プリントフィルム上の回路パターンは高密度であるため、その微細パターンからポイントを抽出する作業では、目の疲労から必ず誤りが含まれている。この誤りは人によってばらつきもあるため、できるかぎり誤りが少なく、ばらつきの少ないポイント取りが必要とされている。

(3) 目視作業の限界

基板の多層化が進む中で、現在 30 層クラスまでは生産されており、技術的には 50 層程度まで実用生産が可能となってきた。これらのポイント取りを目視で行うことは非常に困難なことであり、目視以外の手法が必要である。

以上の点から、本研究^{2)~4)}では、基板検査用の治具設計のために、高密度で微細な印刷パターンを持つ複数枚のプリントフィルムから、人間の目視にかわってポイントを精度良く効率的に抽出することのできる画像処理システムの開発を目的としている。

画像処理システムとしては、微細なプリントフィルムを読みとるための高解像度なラインセンサと、読み込まれた画像データを高速に処理するパーソナルコンピュータとで構成されるシステムを基本としている。1 枚のプリントフィルムを通常的方式で入力すると 5,000 点 × 5,000 行 (25 M ビット) であり、8 枚程の多層プリントフィルムでは約 25 MB と大容量になるため、プリントフィルムの入力、処理方式にも精度を保持しながら処理効率をはかるための工夫が必要である。本研究で開発した基板検査用治具設計のための、大容量微細画像処理システムの特徴は次のとおりである。

- (i) 処理の効率をはかるために、画像全体に処理をほどこすことをさけ、ポイントをさがすために画像処理の適用領域を極力限定している。
- (ii) 実用に耐えうる精度を得るために、複数枚のプリントフィルムの画像間で信号線の連結関係を調べ、真のポイントのみをとるよう処理している。

以下、2. ではポイント取りの工程を画像処理として実行する方法について述べる。3., 4. ではシステムのハードウェアとソフトウェアについて述べ、5. で処理結果について述べる。

2. ポイント取りの工程と自動化のための画像処理

2.1 人間によるポイント取りの工程

多層プリント基板用フィルムとして、6 層用のものを例にとりて、人間によるポイント取りの工程について概略を述べる。6 層用のプリントフィルムは、基板の表面と裏面の信号層 (以下、S1, S2 層と呼ぶ)、内層の信号層 (S3, S4 層)、グランド層 (G 層)、電源層 (V 層) の 6 枚と、S1, S2 層に対応するレジスト層 (R1, R2 層) の 8 枚から構成されている。レジスト層とは、基板の表面と裏面の信号層に対して、レジスト (絶縁膜) が存在していないところを示すフィルムである。Fig. 1 に 6 層用プリントフィルムのレジスト層と S1 層の一部を示す。

(a) A part of S1 layer

(b) A part of resist layer

Fig. 1 Example of S1 and resist layer

目視作業によるポイント取りの概略の工程は次のとおりである。

ステップ 1 S1 層と S2 層を見て部品をハンダ付けする場所、もしくは層と層を電氣的に接続するための穴 (スルーホール) のある場所を見つける。この場所は通常ランドと呼ばれている。ランドの形は千差万別である。

ステップ 2 つぎに、ランドのうち、信号の中継場所となっているランドはポイントではないので除外する。中継場所とは、Fig. 2 (a) のよ

(a) Land (not point candidate)

(b) Land (point candidate)

Fig. 2 Two kinds of lands

うに2本以上の信号線（以後これを手と呼ぶ）が入りこんでいるランドのことである。このようなランドを除外することにより，Fig. 2 (b) のような信号線の端，すなわち信号が行き止まりとなる所を検出することができる。

ステップ3 最後に，残っているランドに対して層間の結合を調べる。この様子を Fig. 3 に示す。Fig. 3 では，●と①が対象として残っているランドであり，②はS2層で手を2本もつため，ステップ2ですでに除外されている。残っているランドがS3層，S4層，グランド層，電源層と結合しているかどうか調べる。①のように結合していれば，そのランドは層間でスルーホールの手をもつため信号線の端とはみなされないで，ポイ

ントから除外する。こうして，最終的に●のみがポイントとして抽出される。

2.2 自動化のための画像処理

人間によるポイント取りの概略工程にほぼ対応して，処理の精度を保持しつつ処理効率を上げるために，次のような自動化の手法を採用している。ただし，各プリントフィルムは二値画像として入力されており，信号線，電源，グランドの存在しているところ，およびレジストの存在していないところが1の情報をもっているものとする。

(1) S1層，S2層とレジスト層とのAND処理

部品をハンダ付けする場所やスルーホールの場合であるランドの形は千差万別であるため，人間と同様な処理によってランドを抽出することは精度上無理がある。本研究では，「レジスト層で示されているレジストの無いところ（以後レジスト無しと呼ぶ）にのみポイントを立てることができる」という考えから，S1層とレジスト層，S2層とレジスト層とのAND処理を行って，信号線上でレジスト無しのところをランドとして検出している。

Fig. 4 (a) は，通常の信号線とレジスト無しとの関係を示すもので，この場合，AND処理の結果はレジスト無しと同じとなり，ランドが抽出される。一方，Fig. 4 (b) は，IC部品をハンダ付けするランドの部分であり，レジスト無しと信号線とのAND処理により，簡単にランドを抽出することができる。また，この処理は，信号線のみからランドを抽出する目視の場合に比べて，同程度に精度のよい処理となっている。

(2) ランドの判別処理

(1)で抽出されたランドには，2種類のランドがある。一つはスルーホールと呼ばれるランドであり，各層間での接続も考慮しなければならない。もう一つは，表面実装と呼ばれるランドであり，文字どおり表面（もしくは

裏面）にのみ存在し，上下接続用の穴があいていないため，他の層とのつながりは無い。したがって，ランドに接続する信号線の数を知る場合，スルーホールは全層で，表面実装はその層のみで数える必要がある。

表面実装とスルーホールの判別は，ランドの中心位置におけるグランド層と電源層の存在の有無の組み合わせで行える。Table 1 にその組み合わせとともにランドの分類を示す。グラ

Fig. 3 Lands (○, ●) and their connections

Fig. 4 AND processing between regist layer and S1/S2 layer

Table 1 Classification of lands

V	G	role of lands
1	1	Surface line
1	0	Through hole for power
0	1	Through hole for ground
0	0	Through hole for signal

ンド層と電源層が両方1の場合は、その位置にS1層とS2層の接続は存在しないので、表面実装と判別でき、その他の場合にはスルーホールと判別する。スルーホールと判別したランドについては、グランド層や電源層との接続があれば、手の数を一つ追加しておく。

(3) ランドの近傍における信号層の細線化処理

Fig. 5 (a) に示すように (1) で抽出されたランドの中心において、信号線の数 (手の数) を数える。ランドの周囲を回って信号線を横ぎる回数を調べる方法は、ランドの大きさが千差万別であること、またプリントフィルムが高密度であり、近傍に他の信号線が存在すること、の理由により適用できない。

本研究では、処理効率を考慮して、Fig. 5 (b) のようにランドの近傍のみに細線化処理^{5,6)}をほどこし、他の信号線が存在しないランドの中心付近で1周することにより手の数を数えている。(2) で述べたように、スルーホールの場合はこれをすべての信号層で行い、表面実装の場合はS1層とS2層のみに対して行う。スルーホールの場合にすべての信号層で細線化して手の数を数える

(a) Neighborhood of a land

(b) Thinning processing

Fig. 5 Neighborhood of a land and thinning processing (○: land)

理由は、どの層にも結合していないスルーホールやS3層やS4層のみで結合しているスルーホールが存在するためである。最終的に手の数が2本以上のランドを除外し、手の数が1以下のみのランドをポイントとして抽出する。

ランドの数は平均10,000個ほど存在し、また6層基板であれば信号層が4層存在するため、細線化に要する処理時間は大きい。ランドの近傍のみを細線化することで処理の効率を上げている。

Fig. 6 に、多層基板用プリントフィルムを入力した場合の処理の流れを示す。6層用プリントフィルム8枚は、各々、入力装置により2値画像として入力される。AND処理や層間の結合を調べる必要性から、入力した8枚の二値画像の位置合わせを行っている。その後、先に述べたように、レジスト層とS1層、レジスト層とS2層のAND処理を行いランドを抽出する。次に層間の結合を調べた後、細線化により各ランドにおける手の数を決定しポイントを抽出する。最後にポイントの位置を印刷出力して終了する。以下システムの実装方法をハードウェアとソフトウェアにおいて述べる。

3. システムのハードウェア構成

Fig. 7 にシステムのハードウェア構成を示す。

処理装置と入力装置は、シリアルインターフェイスとパラレルインターフェイスで接続されており、入力装置に対するパラメータの設定や動作指示は、シリアルイン

Fig. 6 Processing flow

Fig. 7 Hardware organization

ターフェイスで行い、入力データはパラレルインターフェイスから送られてくる。

3.1 入力装置

フィルムパターンは、最小の線幅が $200\ \mu\text{m}$ 程度であるが、線の両端での ± 1 ドットのふらつきを考えると、最小の線幅を3画素で入力できる視野を設定する必要がある。そのためには、1画素の視野を $70\ \mu\text{m}$ 以下にしなければならない。また、実寸印刷を行う必要があるため、1視野でフィルム幅全体 ($275\ \text{mm}$) を、入力できる方

が望ましい。市販されている2次元 CCD は、 $1,024 \times 1,024$ 素子程度であり、分解能の点で問題があるため、本システムでは1次元ラインセンサを使用している。この入力装置は、ラインセンサを使って1行当たり5,000ドットのデータを、最高0.6 ms で入力することができ、2値化して1、または0の開始位置を1次元座標値の形で格納することができる。

フィルムパターンは、全体を平均すると1行当たり100個程度の信号線および部品装着の回路パターンを持っているため、1行分のデータには、約200個の1または0の開始点がある。したがって1行当たりの記憶容量としては、約400バイト (2バイト/個 $\times$ 200個) 必要であり、1枚のフィルムパターンは、平均約2メガバイトで格納される。

3.2 処理装置

2.2 で述べた画像処理を高速に実行し、なおかつシステムのコストを低くおさえるために、処理装置として Fig. 7 に示すようなパーソナルコンピュータを使用している。この処理装置の OS としては OS/2 を使用しており、マルチスレッド機能を用いることで後述する 4.1~4.3 の処理を並列に実行することができる。また、入力される画像サイズが大きいことから、主記憶として 18 MB を搭載し、並列処理の効率を上げている。

4. システムのソフトウェア構成

Fig. 8 にシステムのソフトウェア構成を示す。プログラムは、MS-C で記述しており、全体で5,000ステップ程度である。

4.1 フィルム入力

1回の起動でフィルム1枚を、縦方向 (テーブル移動

Fig. 8 Software organization

方向)に、 $50\mu\text{m}$ ピッチで5,000行(最高10,000行)分入力する。入力には1枚当たり、2分程度要する(入力された画像のことを以後パターンと呼ぶ)。

読み取ったデータを処理装置に送る場合、1行ごとにシリアルインターフェイスからコマンドを送信すると時間的損失が多い。また、フィルムの高密度な部分では、1行当たり400個程度の回路パターンが存在するため、最大1,600バイト程度を、1行分のデータ記憶領域として確保する必要がある。そこで、入力装置に2Mバイトのメモリを搭載し、1回の入力指示で1,000行分のパターンを読み込み、処理装置に座標値を送信するように設定している。

4.2 位置補正

縦方向に $50\mu\text{m}$ ピッチでテーブルが移動するのに対し、横方向(ラインセンサの視野)は、1ドット当たりおよそ $55\mu\text{m}$ (フィルムの幅 $275\text{mm} \div 5,000$ ドット)であるため、横方向に1.1倍して1画素当たりの大きさを $50\mu\text{m}$ となるように補正している。また、ラインセンサの中央部と端部で1画素に対する大きさが異なっているので、大きさを合わせるための補正も行っている。これら位置補正に要する時間は、1枚当たり約30秒である。

4.3 位置合わせ

複数枚のフィルムの間では回路パターンの大きさは等しいが、それをとりまく周辺部の余白の大きさは一般に不揃いである。このため、フィルムを1枚ごとにイメージリダのテーブル上にセットして入力する場合、各フィルムの対応する場所がずれる(平均 $\pm 5\text{mm}$ 程度)という問題が生じる。本システムでは、画像間のAND処理や、画像間での信号線の結合関係を調べる必要があるので、画像間の位置合わせを行っている。

各フィルムは、目的により周辺部に異なった文字や図

柄等を含むため、各フィルムパターン上で位置合わせのための対応点を自動的に見つけることは、実用上精度が期待できない。そこで、G層を基準とし、その他のパターンをディスプレイ上に表示し、両方のパターンの共通ランドを2箇所マウスで指定している。指定された、対応する2点の2次元座標値の組をもとに、回転と平行移動を伴う(1)式の線形変換により、座標変換を行う。

$$p = Aq + C \quad (1)$$

ただし、

$p = (x, y)^T$: 変換前の座標値

$q = (X, Y)^T$: 変換後の座標値

であり、ここで、

$$A = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{bmatrix},$$

$$\alpha = \frac{R \cdot r}{\|r\|^2}, \quad \beta = \frac{\|R \times r\|}{\|r\|^2},$$

$$R = p_1 - p_2, \quad r = q_1 - q_2$$

とする。ただし、 p_1, p_2, q_1, q_2 は2枚の画像においてマウスで指定した2次元座標ベクトルであり、また、

$$C = -Aq_1 + p_1$$

である。

4.4 ランド抽出

パターンに含まれる画像は、二値画像にすると、25Mバイト(5,000ドット/行 $\times$ 5,000行 $\times$ 8枚)であるため、全パターンに対してランド抽出処理を行うことは、無駄である。そこで、2.2(1)で述べたように、ランド抽出の精度と処理効率の向上を考えて、レジスト層とS1層、レジスト層とS2層とのAND処理を行う。

検査用のピンを立てて意味があるのは、ピンを立てた部分にレジスト(絶縁膜)が存在しないところのみであるため、この処理により抽出されたランドには、すべてのポイントが含まれていることになる。

4.5 ポイント抽出

ランド抽出処理を行ったパターンと、S1～S4層、G層、およびV層よりポイント抽出を行う。

各ランドに接続している配線数、すなわち「手」の数を調べて、ポイントを検出する。2.2(2)で述べたように、ランドがポイントであるかどうかは、ランドから延びる「手」が層内、層間で1本以下か2本以上かで区別できる。1本以下の場合がポイントであり、2本以上の場合は検査ピンを省略できるランドである。

また、2.2(3)で述べたように、ランドから延びる「手」の数を正確に調べるために、細線化を行っている。しか

し、これをパターン全域に施すと、莫大な処理時間がかかるので、ランドに関するおおよその大きさから決定できる近傍領域に対して、対象とするランドを中心位置に置いて、局所的な細線化を施している。

4.6 印刷

4.5で抽出した検査用ピンを立てるポイントの位置を、S1層やS2層とともに色分けして印字する。

使用しているプリンタの解像度が低い(1,250×912ドット/枚)、画像の解像度を下げて出力している。このポイントの出力画像は、確認作業に使用するため、解像度の低さは問題とならない。

5. 処理結果と考察

開発した本システムの有効性を確かめるために、6層基板のプリントフィルム62サンプルに対して、システムによりポイント取りの処理を行った。Fig.9(a), (b)にポイント抽出結果の一例を示す。

表面実装と呼ばれているランドは、ほとんどが細長い長方形である。ランドの中央にある白丸は、ポイントの位置を示す。白丸のないランドは層内、層間で2本以上の手をもつもので、ポイントを省略できるランドである。処理時間は、全体で4時間程度である。このうち作業者がフィルムを任意の順序で8枚入力して、マウスにより位置合わせのための2点を指定するまでの拘束時間は、

約30分程度である。位置合わせは約70分、ランド抽出は約20分、ポイント抽出は約100分、印刷は約20分を要する。

実用化の目安として最も重要な抽出精度については、実験の対象としたプリントフィルム62サンプルの場合、目視作業で抽出されるポイント総数183,555個に対して、本システムによる自動抽出の結果は総数183,082個であり、99.7%以上の精度が得られた。抽出されなかった473個のポイントは、フィルムの汚れ(傷、ゴミ)により二つの回路が接続しているかのように入力されたものや、入力テーブルの振動によるフィルムの読み取り不良によるものなどであった。なお、本システムによって抽出されなかったこの0.3%弱のポイントについては、目視作業の場合と同様、人手によって再度チェックを行いポイント取りを完全なものとしている。

今回開発したシステムは、6層(8枚組)のフィルムを対象にしたものであるが、5層以下や7層以上のフィルムに適用することも容易であり、層数に対して汎用的なシステムとなっている。

6. おわりに

本システムの開発により、従来の目視による方法に比較して、下記の改善が実現できた。

(1) 作業環境の改善

作業量(約10,000個のランドから3,000個のポイントを探検)と作業時間(平均20時間程度)から来る、目や肉体の疲労を大幅に軽減することができた。

(2) 信頼性の向上

高解像度(5,000×5,000ドット)で処理することにより、肉眼では作業しにくい微細パターンに対しても、高い精度で処理できるようになった。とくに、LSI等の単純高密度部分においては、目視ではミスが発生しやすいが、その心配がなくなった。

(3) 作業対象の拡大

基板の多層化が進む中で、現在30層クラスまでは生産されており、技術的には50層程度まで実用生産が可能となってきている。これらのポイント取りを目視で行うことは非常に困難なことであるが、本システムは比較的容易に実行できる。

ただし、本システムは、ポイント取りに必要な機能のかなりの部分を含んでいるが、現場で行われている作業ルールをすべてカバーしているわけではない。たとえば、特殊なケースとして存在する網目状のランドに対する処理などは、現在のシステムに含まれていない。この点については、今後、必要に応じて作業ルールをシステムに追加していく予定である。

(a) S1 layer

(b) S2 layer

Fig. 9 Example of extracted points (white points)

なお、本システムは、大西電子（滋賀県）にて、1993年4月より実機として稼働している。

参 考 文 献

- 1) 栗村：パターン欠陥検査；精密機械，Vol. 51, No. 12, pp. 2206～2212 (1985)
- 2) 川崎，木村，桜井，井上，中川：検査作業の自動化のための視覚システムの研究（第一報）；滋賀県工業技術センター研究報告，pp. 17～22 (1990)
- 3) 川崎，有木，中川：検査作業の自動化のための視覚システムの研究（第二報）；滋賀県工業技術センター研究報告，pp. 9～13 (1991)
- 4) 有木，川崎，加藤，中川：基板検査用治具設計のための画像処理システム；第4回インテリジェントFA シンポジウム講演論文集，pp. 17～20 (1993)
- 5) 画像処理ハンドブック編集委員会（編）：画像処理ハンドブック，昭晃堂，pp. 317～319 (1989)
- 6) 尾崎，谷口：画像処理—その基礎から応用まで，共立出版，pp. 223～224 (1988)