

骨格線抽出による多層パターンの検査アルゴリズム

4G-10

鈴木洋子, 土井秀明, 原靖彦, 二宮隆典, 中川泰夫  
 (株)日立製作所 生産技術研究所

1. はじめに

プリント基板の配線パターンの立体形状欠陥をX線により検出する検査方式を開発した。この検査方式における画像処理アルゴリズムについて述べる。本アルゴリズムでは、配線パターンのX線透過画像を2値化、骨格線抽出し、その接続情報により欠陥を検出する。多層基板のX線透過画像での、パターンが重なった部分の欠陥も検出可能である。

2. 動機と目的

プリント基板の配線パターンは微細化、高密度化が進んでおり、高精度で高速な検査が、製造に不可欠である。X線を用いたパターンの立体形状（厚み）欠陥の検査は、基板の信頼性確保と歩留り向上に大きく寄与する。典型的な配線パターンは幅90 $\mu\text{m}$ 、厚さ50 $\mu\text{m}$ の銅であり、基材は有機材料である。検査装置のシステム構成を図1に示す。X線を検査対象であるプリント基板に照射し、その拡大投影像をイメージインテンシファイアで可視光に変換し、これをCCDカメラで撮像する。得られた画像を処理し欠陥を検出する。画像処理のアルゴリズムは、LCA（Logic Cell Array）を用いたマイクロプログラム式の回路で実現している。

3. 画像処理アルゴリズム

本アルゴリズムは、パターンの接続情報により欠陥を検出する。処理の流れは、2値化、骨格線抽出、接続情報判定となる。処理の概略を図2に示す。(a)はプリント基板の一部分である。パターンは基材の両面に形成され、終端はパッドになっており、3ヶ所（欠陥1~3）に欠損欠陥が存在している。(b)はX線画像である。基材は明るく、パターンは暗く、パターンが両面に存在する部分は更に暗く撮像される。欠陥のX線像は正常なパターンの像よりも明るくなる。(c)は(b)のX線画像を1重パターンレベルのしきい値で2値化した画像である。(d)は(b)のX線画像を2重パターンレベルのしきい値で2値化した画像である。(e)、(f)はこれらの2値化画像をそれぞれ骨格線抽出処理した結果である。骨格線抽出

は、パターン像の接続を保ちながら幅が1画素になるまで細らせる処理である。

3.1 接続情報の判定

骨格線が2本に枝分れしている箇所は、分岐数3であり、これを3分岐とよぶ。この数え方によれば、骨格線の端は分岐数1であり、全く孤立している箇所は分岐数0である。図2(e),(f)中の欠陥1は1重パターン（以下1重、2重と略す）の3分岐、2重の0分岐である。欠陥2は1重の4分岐である。欠陥3は1重の1分岐である。このようにして、接続情報の判定条件は次のものとなる。

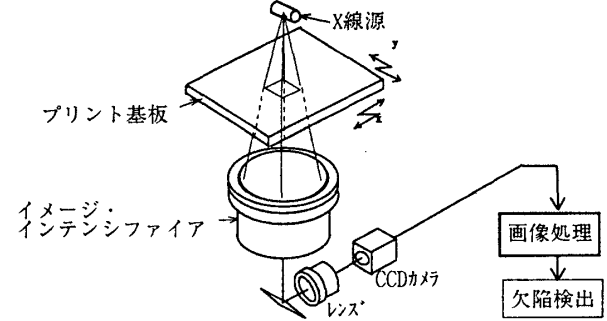


図1. 検査装置のシステム構成

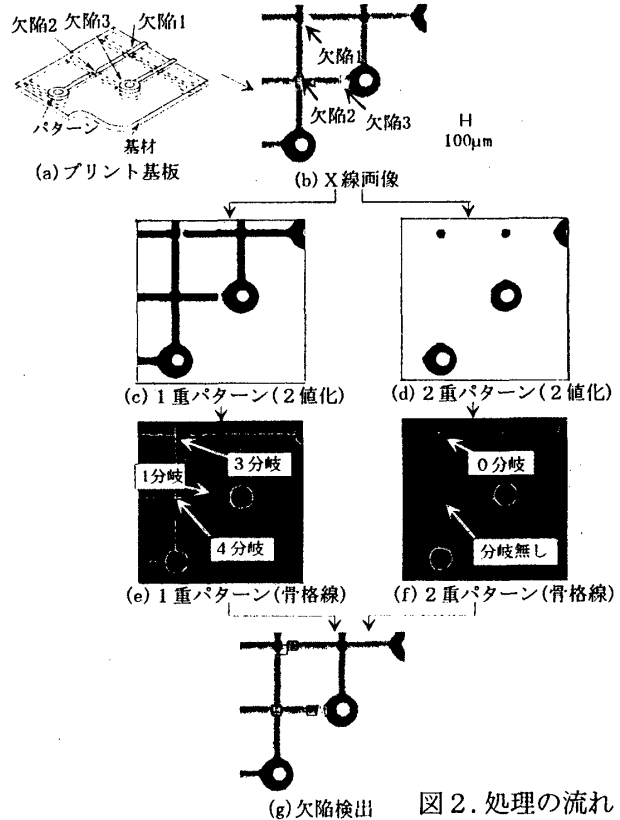


図2. 処理の流れ

(判定条件) 「(1)1重の1分岐である  
 (2)1重の3分岐であり、2重の1分岐でない  
 (3)1重の4分岐であり、2重の0分岐でない  
 (4)2重の1分岐であり、1重の3分岐でない  
 (5)2重の0分岐であり、1重の4分岐でない  
 (1)~(5)の何れかに該当するものを欠陥とする。」

3. 2層以上の多層基板の判定条件

X線画像の2値化のしきい値を変えれば、任意の重なり数のパターン(但し、それより重なり数の大きいパターンを包含する)が得られる。パターンは格子上に形成されるとする。格子の交点を1つ含む領域において以下の判定条件が成立する

(判定条件) 「領域に含まれるパターンの最大重なり数を  $n$  とする。  $x$  重の分岐数を  $f(x)$  とおくと、

$$\sum_{1 \leq x \leq n} f(x) = 2n \quad \dots(1)$$

である。これに反するものは欠陥である。」

判定条件の根拠を示す。

I)  $n=1$  のとき、  $f_1(1)=2$  (領域に1重のみが存在する(図3.1))。よって

$$\sum_{1 \leq x \leq 1} f_1(x) = f_1(1) = 2 \quad \dots(2)$$

条件は成立する。

II)  $n=k$  のとき、判定条件が成立すると仮定する

$$\sum_{1 \leq x \leq k} f_k(x) = 2k \quad \dots(3)$$

$n=k+1$  のとき、

$$\sum_{1 \leq x \leq k+1} f_{k+1}(x) = 2(k+1) \quad \dots(4)$$

が成立するかどうかを調べる。なお、  $f_k$  のように表記するのは、(あるパターン形状の  $f(x)$ ) = (別のパターン形状の  $f(x)$ ) とは限らないので、形状ごとに区別するためである。

$k$  本のパターンへの、  $k+1$  本目のパターンの重なり形状により場合分けする。重なり形状は次の(i)~(iii)の3通りがある

(i)  $k+1$  本目のパターンの一端が  $a$  重と重なり、1端が  $b$  重と重なる ( $a \leq b \leq k$ ) (図3.2)

(ii)  $k+1$  本目のパターンの一端が  $a$  重と重なり、1端がどのパターンとも重ならない ( $a \leq k$ ) (図3.3)

(iii)  $k+1$  本目のパターンどのパターンとも重ならない (図3.4)

(i)のとき、

$$f_{k+1}(a+1) = f_k(a+1) + 1,$$

$$f_{k+1}(b+1) = f_k(b+1) + 1,$$

$$f_{k+1}(k+1) = 0,$$

$x \neq a, x \neq b$  のとき

$$f_{k+1}(x) = f_k(x)$$

よって

$$\sum_{1 \leq x \leq k+1} f_{k+1}(x) = \sum_{1 \leq x \leq k} f_k(x) + 2 = 2(k+1) \quad \dots(5)$$

となり、式(4)が成立する。

(ii)のとき、

$$f_{k+1}(1) = f_k(1) + 1,$$

$$f_{k+1}(a+1) = f_k(a+1) + 1,$$

$$f_{k+1}(k+1) = 0,$$

$x \neq 1, x \neq a$  のとき

$$f_{k+1}(x) = f_k(x)$$

よって、式(4)が成立する。

(iii)のとき、

$$f_{k+1}(1) = f_k(1) + 2,$$

$$f_{k+1}(k+1) = 0,$$

$x \neq 1$  のとき

$$f_{k+1}(x) = f_k(x)$$

よって、式(4)が成立する。

以上により判定条件が示された。

4. 結言

筆者らは、本稿で示したアルゴリズムにより2層プリント基板の配線パターンの欠陥を検出できることを確認した。X線画像は可視光像に比べてノイズ、画像歪みが大きく、CADデータとの比較検査は困難である。そのため、パターンの特徴抽出による画像処理が不可欠であり、本アルゴリズムは非常に有効である。



図3.1  $n=1$

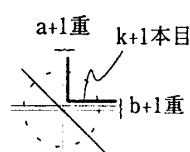


図3.2 条件(i)

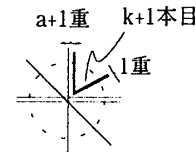


図3.3 条件(ii)

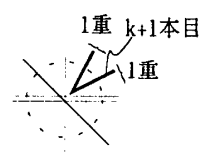


図3.4 条件(iii)