

有效連接 PCB 金手指之雙向測點排列方法

李承穎 黃靖 黃志明
中國文化大學電機系 國防大學資工系 中國文化大學電機系
學生 學生 教授 (通訊作者)
vensen7952@gmail.com jin840712jin@gmail.com yalo.huang@gmail.com

摘要

金手指不只用於擴展也要檢查電路的正確性。雖然印刷電路板(Printed circuit board, PCB)[1][2]製造的趨勢是包含更多的元件或電路，導線之間的距離或金手指的寬度變小，使得很難通過飛行探針檢查電路的正確性。有許多解決金手指擴充的方式被提出，然後確很少討論面積的利用率。在本文中，我們提出一個雙向量測點的排列的方式和近可能減少相對應連線金手指這樣多出來的擴充區域，使得 PCB 產品在製造時能夠更精確，且將 PCB 製造的成本最小化。

關鍵詞：金手指、印刷電路板、連結擴充、測點排列、利用率

Abstract

Golden fingers are not only used for extension but also to check the correctness of the circuit. While the trend of PCB manufacturing is to contain more and more components or circuits such that the distance between or the width of golden fingers get smaller. It is difficult to check the correctness of circuit by flying probe. Many solutions for the extension of golden fingers are proposed, however, the utilization of area used for extension is seldom discussed. In this paper, we propose a bi-directional pad arrangement and the corresponding linkage for golden fingers such that the extra area for linkage extension would be minimized as possible, i.e., minimize the cost of PCB manufacturing for the more accurate PCB product.

Keywords: golden finger、PCB、linkage extension、pad arrangement、utilization

1. 前言

連接頭 (edge connector) 是由金屬銅片鍍上一層防止氧化的導電薄膜而組成，因為外觀是金色的且像手指，所以俗稱之金手指，一般是印刷電路板 (Printed circuit board, PCB) 佈線的其中一部分如果有需求要將兩塊印刷電路板連結在一起，就要將其中一片 PCB 上的金手指插進另一片 PCB 上合適的插槽上，例如顯示卡、記憶體、音效卡都是利用其和主機板連接為一的。

印刷電路板幾乎存在於各種電子設備中，是台灣印刷電路產業的最大宗，在全球佔有率達 1.3% [3]，主要的功能是提供上頭各項零件的相互電流連接大多數電子零件都是鑲在上面，將零件組彼此連接再一起，使其發揮整體功能，但在 2006 起全球銅價上升，導致 PCB 相關產業成本壓力遽增，雖日漸趨緩，但之後又有原油價格居高不下，使 PCB 材料價格同樣居高不下 [4]，又因為科技日新月異，上頭的電子零件和線路的密度越來越高 [5]，此時要如何最大化利用 PCB 板的面積，不造成浪費，降低製作成本，就成為了一項有經濟價值的議題。

PCB 板上連接電路零件的電氣佈線的佈線圖形，經過自動佈線或者手工佈線使其電氣導體重現之後，就必須利用剩餘的 PCB 板來檢測電路板是否能不能真的導通 [6]，但如果金手指和金手指測點的間距太小，在測量時就會常常發生錯誤，如果太近會相互干擾，太遠會造成浪費，文獻 [7] 中提到：「解決的方法就是在 PCB 板上的擴充區域中畫出圓，將其視為測量點，並且把金手指末端和測量點連結為一，增加測點的面積，如此一來就能夠降低錯誤發生的機率」，而在連結金手指末端和測量點的線中，也同樣必須有最適當的間距否則一樣會產生干擾，為了在最小的連結擴充面積中，有最好的效率，我們同樣在文獻 [7] 中可得知：「先找出與金手指接口夾角 $\theta=45^\circ$ 的直線，再求出每個金手指垂直延伸至此直線的交點座標，透過一個 90° 的轉角，再對應到所對上的測量點。」是目前已知連線方法中效率最高的。

而在此前提下我們認為還有可能另有其解，

找出第四種連線方法，與文獻[7]中提出的最佳方法交叉比對，試圖找出面積利用率更大的連線方式。

本文的章節內容如下，第二章主要針對相關文獻[7]的探討第三章介紹金手指的擴充概念連線和測量點排列方式。第四章為實驗結果，第五章為文章的結論。

2. 相關文獻探討

由文獻[7]，我們一一分析，一層堆疊方式圖(1)、二層堆疊方式圖(2)、三層堆疊方式圖(3)、四層堆疊方式圖(4)，



圖 1.一層堆疊方式

面積利用率如下：

Pad 利用率= $\text{pad area}/\text{pad area size}=78.5\%$

缺點在於擴充來講並不容易，擴充時所需要的板子太寬。

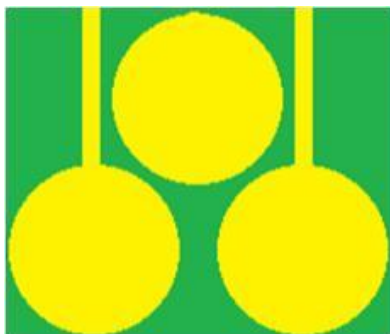


圖 2.兩層堆疊方式

Pad 利用率= $\text{pad area}/\text{pad area size}=57.514\%$

在面積利用率上與一層的堆疊方式相比下降不少，沒有達到利用率的最大值。

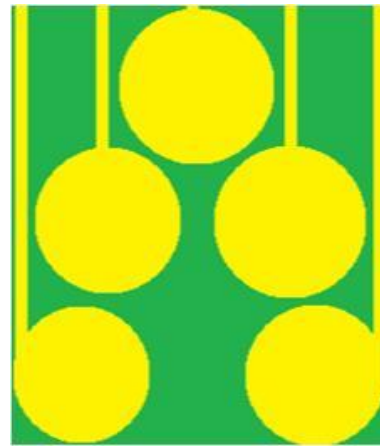


圖 3.三層堆疊方式

Pad 利用率= $\text{pad area}/\text{pad area size}=56.374\%$

三層堆疊方式的面積利用率，面積利用率比一層堆疊方式下降許多，只比兩層堆疊方式的面積利用率低一點點。

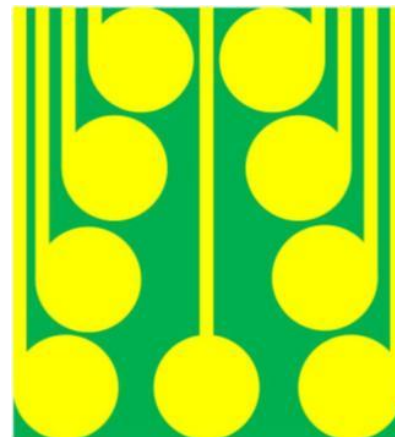


圖 4.四層堆疊方式

Pad 利用率= $\text{pad area}/\text{pad area size}=62.03\%$

四層堆疊方式的面積利用率相較於兩層和三層堆疊方式來得更高，從圖(4)可看出擴充方面也較前面所介紹的三種方式來得更好，因此我們利用這種堆疊方式來做為接下來討論主要所使用的方式。

四層堆疊式目前在文獻文獻[7]中，可以使用最大效益的堆疊方式，雖然每增加一層，測量點增多，但是不代表利用率可以使用到最大值，而我們也應需依照板子的大小去設定 Pad 的最大值，不是固定層數來設定，後續有發展與改進出更好的想法以及方式。

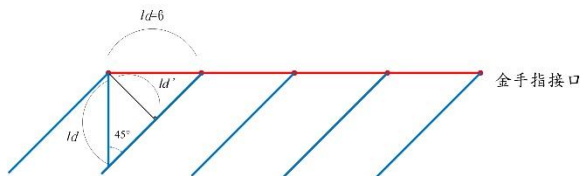


圖 5.連線方式一

第一種連線方式如上圖(5)為一般人最直觀的方式，直接連線的方式，線距(line distance, ld)為導線所需保持的最小距離也是金手指接口的間距，我們先記錄金手指的座標在和測量點接口的座標，在將兩者相連接，直接連線看似最簡單也最節省空間，但在測量點的數量較多時，使得角度大於等於 45° 時，我們發現 ld' 小於 ld ，因此在製成時容易產生短路，使得量測錯誤，所以方法一的連線方式較不適用。

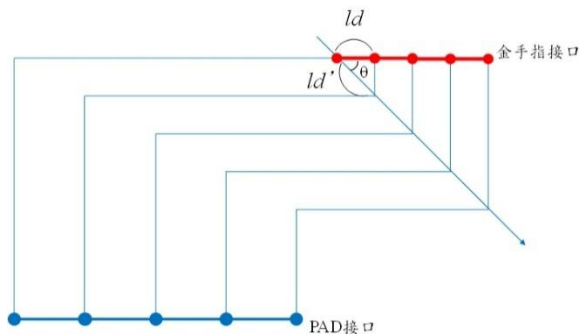


圖 6.連線方式二

第二種連線方式如上圖(6)，為了解決方式一所遇到的間距問題，雖可以解決方法一無法維持必要的間距，使使 ld' 大於 ld ，但是連線方式二所使用的直角方法，無法有效的使用空間，pad 接口的話是因為原本4層的方式，每一組中間就會有兩個空間多餘，無法有效地利用空間。

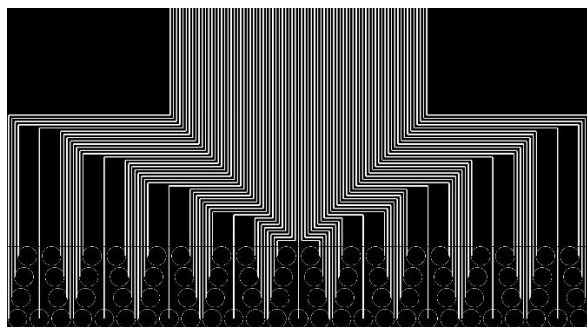


圖 7.四層 81 個測量點方式二連線

接下來將透過實際執行所得到的結果做分析與討論。

上圖(7)使用了四層堆疊的方式，在擴充上與前面幾種堆疊方式相比在擴充上有著最佳的效果，且透過方式二的連線方式也不會有間距上的問題產生，但如果我們同時改善四層堆疊無法改善的問題，以及連線方式二無法有效地使用空間，設法可以讓實驗結果達到最大效益。

3. 金手指的擴充

將兩塊 PCB 板做連結時，我們需要用到俗稱「金手指」的邊接頭(edge connector)，金手指也是 PCB 板佈線的一部分由於原始金手指導線間距過於密集，如圖(8)，使得量測上較於困難，為了使量測變得容易因此我們使用文獻[7]所提供的方法，將原始的金手指部份另外延伸出新的區塊，再將原始金手指連接到擴充區域，最後再連接到測量點，透過擴充區塊的測量點對金手指做量測，由於測量點(pad)變大了，使得量測變得容易，如圖(9)，在將擴充部分另外分為金手指接口、連線區域、擴充接口、量測點區域，我們將對連線區域、量測點區域和擴充區域接口做討論。

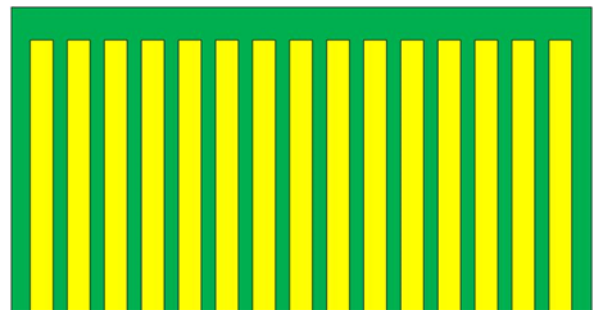


圖 8.原始金手指

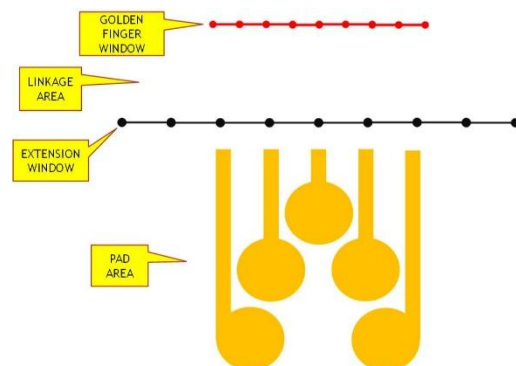


圖 9.金手指擴充分區圖

3.1 連線方式

文獻[7]所使用的連線主要分為兩種方式，

方式一如圖(10)，前面提到導線間需要保持一定的線距(line distance, ld)才不會有短路或者其他情況的產生，若金手指直接對接 PAD 接口，則明顯地， $ld' < ld$ ，違反至少保持線寬與線距之條件。

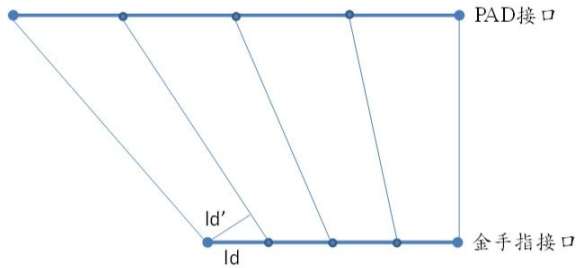


圖 10.方式一連線

為了解決間距的問題文獻[7]提出了第二種連線方式，透過 $\theta=45$ 度角的轉折，可將金手指的連線作90度的轉彎和PAD的垂直延伸線相交，如此可得合乎要的連線，如圖(11)，這種方式雖然解決了導線間距的問題，但並沒有注意到連線部分其實有著許多不必要的浪費，且PAD和金手指接口的連線較長如圖(12)。

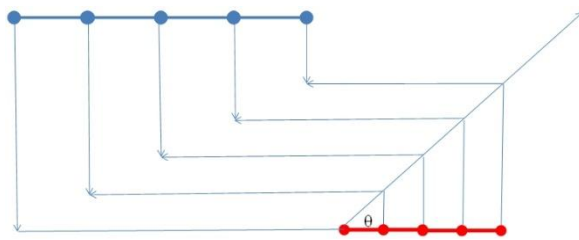


圖 11.方式二連線

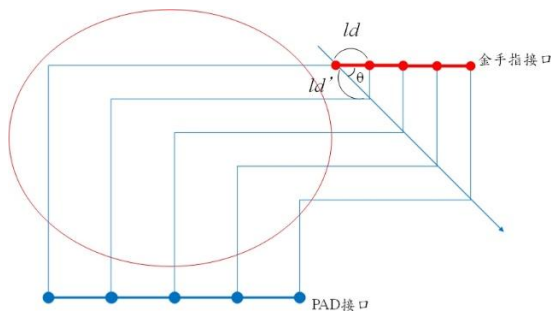


圖 12.多餘空間

由第二種連線方式，我們發現，如果有辦法將讓圖(12)中 θ 變小，則連線就有辦法變短，也就能節省不少空間，因此我們提出了一個新的連線方式如圖(13)。

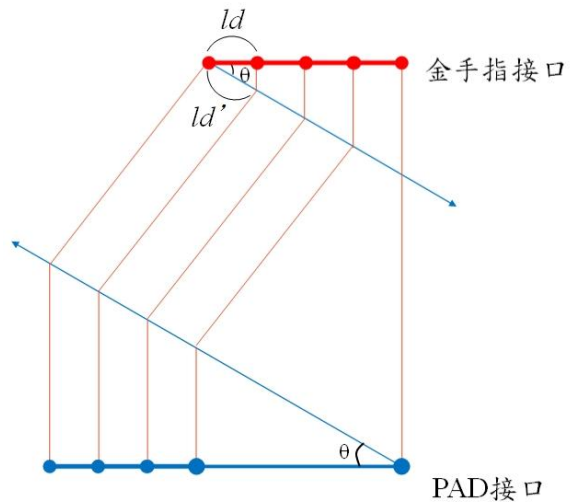


圖 13.新的連線方式

我們求出 θ 的角度，再由金手指與PAD接口端的點延伸至與接口夾角 θ 的直線上，即可以得到兩點，最後再將兩點連接即可求出，不只能夠維持 $ld' > ld$ 的間距，還能有有效節省不必要的空間浪費。

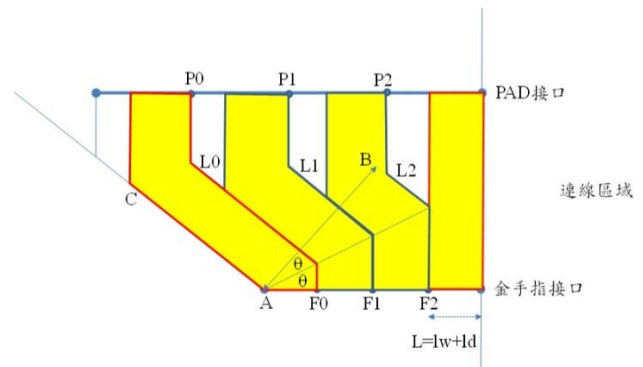


圖 14.公式概念圖

圖(14)設 PAD 接口的點稱為 P_0 、 P_1 、 P_2 ...，金手指接口的點稱為 F_0 、 F_1 、 F_2 ...，有同數量(N)的 PAD 和金手指接口，其座標如下：

$$P(i): (X_p(i), Y_p)$$

$$F(i): (X_f(i), Y_f)$$

利用膨脹方式[7]去做計算， L 為線寬(line width, lw)加上間距(line distance, ld)，金手指與 PAD 接口延伸直線後轉 θ 角，當 $\theta \leq 45$ 度的時候，或符合以下條件則可直接對接

1. $\angle BAC=90$ 度、且 $|AB|=3*lw$
2. 金手指與 PAD 接口延伸直線 L_0 、 L_1 、 L_2 交點需落在連接區
3. θ 角愈小連接線愈小
4. $\angle BAF_0=2*\theta$

在設計的過程中我們透過兩個步驟
 1. 找最小之 θ ，產生 $N=6$ 條平行線($L(0)$ 、 $L(1)...$)，線距為 $L=lw+ld$ ，其中第 0 條過 $F(0)$ 其中 $L(i)$ ， $i=0$ 到 5，的法向量為 $(\cos 2\theta, \sin 2\theta)$ ，設 (X,Y) 為 $L(i)$ 上之點，則 $L(i): (X-Xf(0), Y-Yf(0)) \cdot (\cos 2\theta, \sin 2\theta) = i * L$
 2. 求出 $P(i)$ ， $F(i)$ 和 $L(i)$ 的交點 (需落在 LINKAGE AREA)，求出連線區域中的兩個點 $Tp(i)$ ， $Fp(i)$ ，則 $P(i) \rightarrow Tp(i) \rightarrow Tf(i) \rightarrow F(i)$ 即為連線。

上述所使用的 θ ，可由下列方程式求得
 Find max j from N-1 to 0, satisfying
 $(P(j)-F(0)) \cdot (\cos 2\theta, \sin 2\theta) = N * L$
 and for $i=0$ to N-1, intersection points, $Tp(i)$, $Tf(i)$, must be in the linkage area.
 That is,
 $Dx = Xp(j) - Xf(0);$
 $Dy = Yp(j) - Yf(0);$
 $Dx * \cos 2\theta + Dy * \sin 2\theta = N * L;$
 $\sin 2\theta = (N * L * Dy \pm Dx * \text{pow}(Dx * Dx + Dy * Dy - N * L * N * L, 0.5)) / (Dx * Dx + Dy * Dy)$

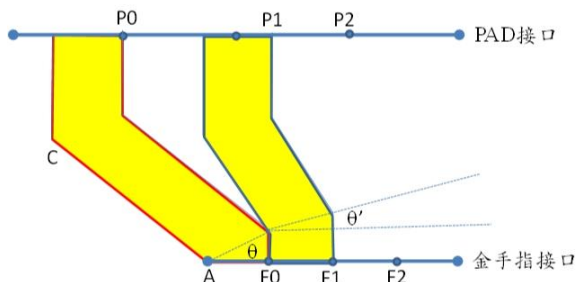


圖 15.連線分析-1

圖(15) P_0 距離 F_0 較 P_1 距離 F_1 遠，其最短的連接角度也不同 $\theta > \theta'$ ，但在實際應用時，為考量排線的整齊及延伸時不致於佔用太多空間，仍會採用 BUS 排線如圖(16)。

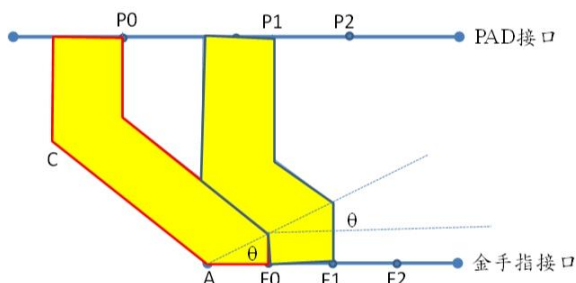


圖 16.連線分析-2

3.2 排列方式

文獻[7]提出四層堆疊為利用率高與擴充

上較為便利的一種 PAD 排列方式，我們試圖運用相同的理論，將層數增加，我們發現層數增加時，利用率持續下降，可發現在中間上方之未利用區域愈來愈大如圖(17)。

我們發現了中間上方所浪費的空間非常多，因此我們想出了一個新的 PAD 排列方法，我們設計出了重疊層來填補中間上方的空間如圖(18)。

主要透過下列方程式計算出重疊層， L 為膨脹後線寬， r 為量測點半徑

原 $n=6$ 層，重疊層 $m=2-1$ 層

$$\cos \theta = L / 2r$$

$$(n-1) * L >= 2r * (m-1) \sin \theta$$

$$(n-1) \cos \theta / \sin \theta + 1 >= m$$

$$n >= 2r(m-1) \tan \theta + 1$$

$$(m-1) * L + 2r * (n-1) * \sin \theta + 2r <= \text{height}$$

$$(m-1) * L + 2r * 2r(m-1) * \sin \theta / L * \sin \theta + 2r <= \text{height}$$

$$M = (\text{height} - 2r) / (L + 4r * r * \sin \theta * \sin \theta / L) + 1$$

$$N = 1 + (\text{height} - 2r) / (L + 4r * r * \sin \theta * \sin \theta / L) * \tan \theta$$

$$C(0,0) = ((m-1) * L + r, (m-1) * L) = (x_0, y_0)$$

$$C(i,0) = c(0,0) + (2r * i * \sin \theta, -i * L)$$

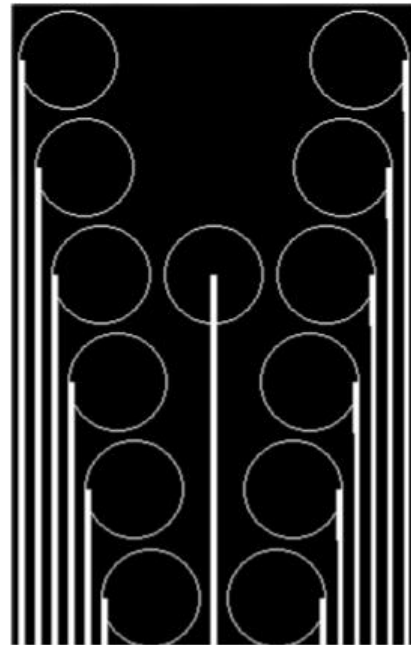


圖 17.四層排列延伸

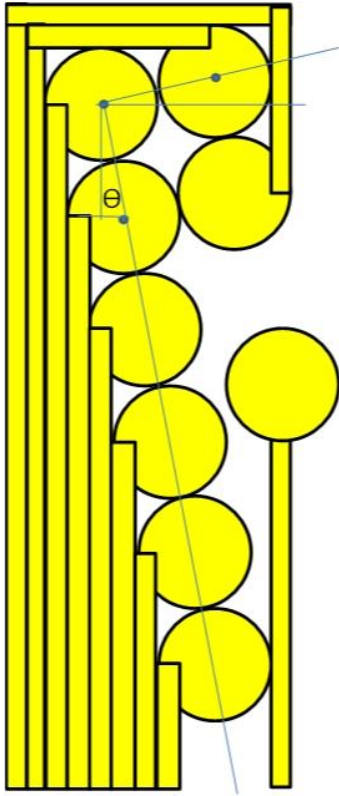


圖 18.重疊層概念圖

透過計算我們得知當 PAD 層數在 6 層以上時，經由轉角的計算，就可利用重疊層來增加面積的利用率。

4. 實驗結果

接下來將透過實際執行所得到的結果做分析與討論。

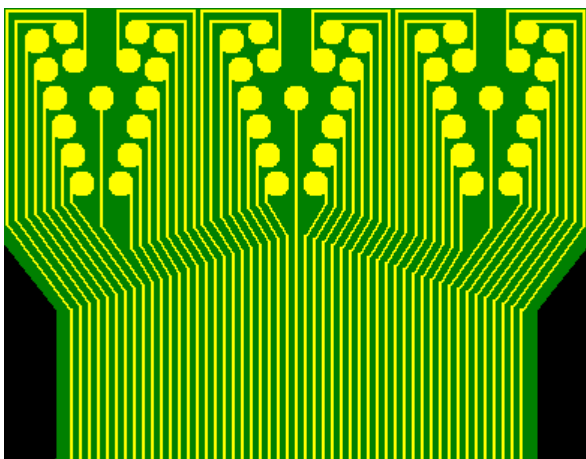


圖 19.六層 51 個測量點

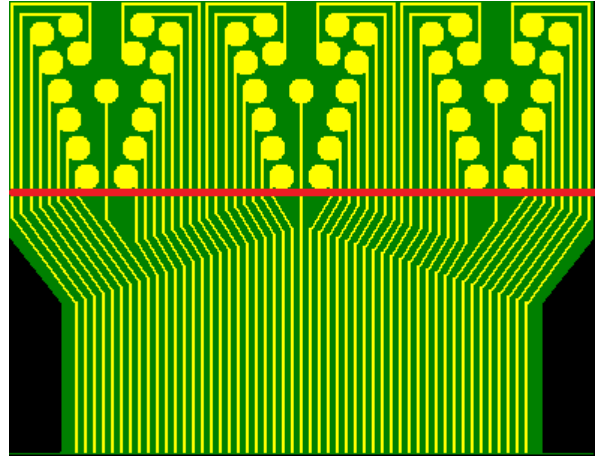


圖 20.PAD 接口

由圖(19)可看出，四層堆疊方式與我們這種排列方式相比，我們利用率較高，且對於 PAD 接口能夠更有效的利用空間，如圖(20)紅色部分指的就是 PAD 接口處。

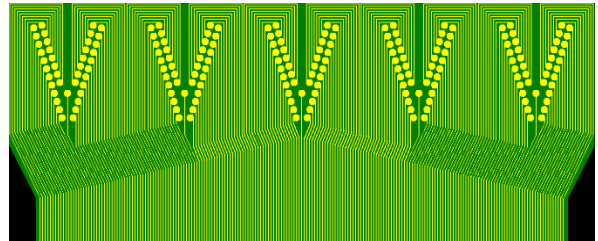


圖 21.十二層利用重疊層實驗圖

利用重疊層這種方法不只能運用再 6 層，再更多的層數都可去運用，如圖(21)就為 12 層運用重疊層原理的排列方式，可看到不管是在擴充上與利用率方面相較於四層堆疊的概念來得更加方便。

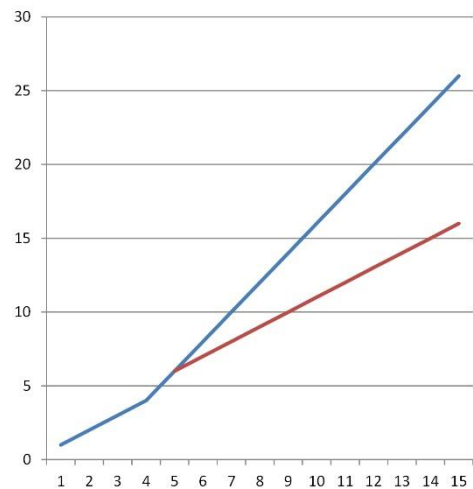


圖 22.實驗一

我們設 pad 半徑為 30，線寬為 4 且線距為

6 時(現場實務常用之參數), 去做比較 x 軸為欲完成之金手指數, y 軸為所需之層數(藍線為未重疊排列, 而紅線則為重疊排列, 金手指數由 35 至 255), 如圖(22)。

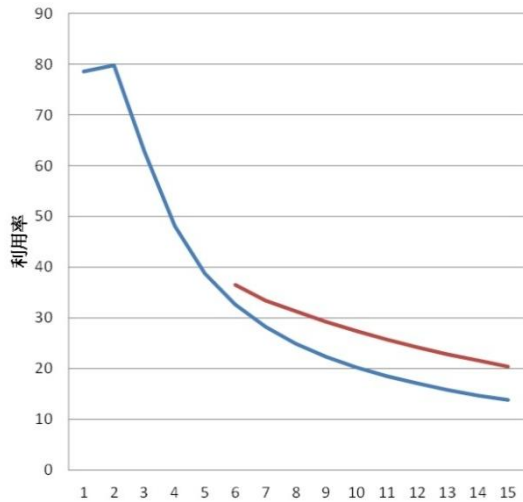


圖 23. 實驗二

一樣設設 pad 半徑為 30, 線寬為 4 且線距為 6 時(現場實務常用之參數), 去做比較 x 軸為欲完成之金手指數, y 軸為利用率(藍線為未重疊排列, 而紅線則為重疊排列, 金手指數由 35 至 255)如圖(23)。

從兩個實驗可看出當量測點數量較多的時候, 運用重疊的方式能有較高的利用率, 且所需層數夠低, 因此能夠更有效利用空間。

5. 結論

本文中, 我們提出一套新的連線方式與量測點排列方式, 來改善文獻[7]所提出的方式來增進 PCB 板在做檢測時的便利性, 找出原來方式可以改進的地方, 去做更完善的設計, 達到增進面積利用率的目標, 最後透過實驗一與實驗二來證實我們所提出的方式能更加有效利用 PCB 板上的面積, 達到最佳的面積利用率。

參考文獻

- [1] LONG Zi-ye, ZHANG Jie and KOU Qiong-yue, "The Design of Printed Circuit Board" Journal of Wuhan Polytechnic University, Vol.26 No.4 Dec.2007.
- [2] 周春梅 "高速 PCB 的可靠性設計", 內蒙古電大學刊, Vol.11, 2006.

[3] 施若瑜, "出口貿易佈局之競爭策略~以台灣印刷電路產業為例" 龍華科技大學, 2005.

[4] 吳崑誌, 方雪齡, 孟欏漣, 台灣印刷電路板廠商經營效率之分析研究, 元智大學工業工程與工程管理學系, 2007.

[5] LUO Bin, AM Mao-zhoog, WANG Cheng-young, LIU-feng, "Application of Polarization Curves in PCB Plating, 2009." Vol.12.No.10.2010.

[6] 徐琳琳, 蘇宇晗, "淺談 PCB 佈線方法的教學" 遼寧科技大學高職學院, 遼寧鞍山, Vol.12, No.12., 2010.

[7] 李承穎、黃靖、鄭瑞恒, "增加 PCB 板上金手指的連結擴充面積利用率方法" Advanced Management Information Technologies and Applications Conference, 2015