

## 高效的 PCB 銅面覆蓋法

莊淳傑<sup>1</sup> 高浩宸<sup>2\*</sup> 黃志明<sup>3</sup>

1,2,3：台灣,台北市,中國文化大學,電機工程學系

### 摘要

本研究針對 PCB 銅面覆蓋問題提出了一個更高效的解決策略，透過縮短路徑行程以及減少覆蓋的重疊面積，為三角形和部分四邊形設計出了一套能夠有效完成其覆蓋的策略，並保持著遠低於現行策略的覆蓋重疊率。相較於傳統方法和前人的研究所提出改良方案，本覆蓋策略能夠大幅降低時間和材料成本，並且在提高生產效率的同時提供更均勻的覆蓋，從而提高大銅面的可靠性。

**關鍵字：PCB 銅面覆蓋、縮短路徑行程、降低覆蓋重疊**

## Highly efficient PCB copper pour coverage method

Chun-Jie Zhuang<sup>1</sup> Hao-Chen Gao<sup>2\*</sup> Chi-Ming Huang<sup>3</sup>

1,2,3：Department of Electrical Engineering, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

### Abstract

This research presents a more efficient solution for PCB copper pour coverage. By shortening the travel path and reducing overlap areas, a strategy is designed for effectively covering triangles and certain quadrilaterals. The overlap rate remains significantly lower than that of current methods. Compared to traditional approaches and previous improvements, this coverage strategy greatly reduces time and material costs, enhances production efficiency, and ensures a more uniform coverage, thereby improving the reliability of large copper areas.

**Keywords: PCB copper coverage, path optimization, overlap reduction**

投稿日期:2024.09.24

修改日期:2024.11.05

接受日期:2024.11.27

刊登日期:2024.11.29

---

\* 通訊作者：高浩宸 地址：台北市大安區和平東路三段 5381 樓 Tel：(02) 27398588  
E-mail：haochengao7@gmail.com

## 一、前言

大銅面 (Copper Pour) 是印刷電路板中的一塊較大面積的銅箔區域，主要用於連接地線或電源，具有散熱、防干擾、改善信號完整性等功能，良好的大銅面設計能夠提高 PCB 的可靠性。然而，用來覆蓋大銅面範圍以及其他 PCB 圖面的筆刷只能畫出線和圓 (圓即線長等於線寬的線段)，大銅面的面積有大有小，隨著需覆蓋的面積增大，覆蓋所需的線段也就越多，如果覆蓋策略設計不當，不僅徒增材料消耗，還會對生產效率造成負面影響。

目前業界採用的覆蓋策略仍存在諸多不足，雖然已有研究者試著提出新方法來改進傳統覆蓋策略，但這些方法在效率方面仍有很大的改進空間。

下面將介紹業界所使用的傳統方法以及張維恩等研究者於 2020 年提出的改良方法。

### (一) 傳統覆蓋方式

現今主流廠商採取的覆蓋策略是首先使用最細 (線寬為 1) 的線繪製銅面的各邊，再用兩倍寬的線 (線寬為 2) 放在底部與頂部，接著用寬度再兩倍的線 (線寬為 4) 再次放置於底部與頂部，而後便是重複此動作直至描繪出整個銅面 (見圖 1)。

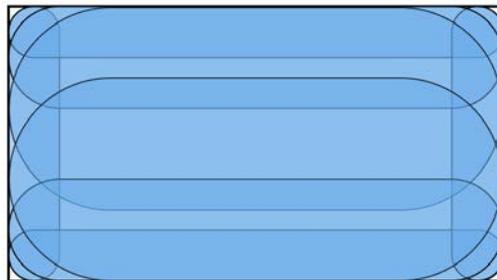


圖 1. 傳統覆蓋方式

這個方法最大的缺陷在於許多情況下它無法完全覆蓋理論上能達到的所有區域，這是由於線寬呈指數倍增長，而側邊卻僅使用了一條最細線覆蓋所導致的，這就造成當最小筆刷尺寸與欲覆蓋面積差距過大或夾角角度過小的時候容易出現空隙。



圖 2. 傳統覆蓋出現空隙

雖然出現漏洞無法避免，但何時會出現漏洞卻是能夠計算出來的，如在覆蓋矩形的時候，當迭代到第七個筆刷，也就是 64 倍的最小筆刷尺寸時便會出現空隙，因此傳統方法要覆蓋較大面積時，通常需要將其切割成好幾塊子區域來進行填補，這就是傳統方法在覆蓋效率上的劣勢。

## (二) 張維恩等研究者提出的覆蓋法

張維恩等人提出的方法是將每道筆劃間形成的空隙控制在剛好等於最小線寬，使得最後能夠以最小筆刷沿著邊塗一圈填滿所有空隙，達成理論上的最佳覆蓋率。

以三角形的覆蓋為例，首先分別對三個夾角計算出一系列從最小線寬至最大線寬（內切圓直徑）之間不會出現大於最小線寬空隙的筆刷尺寸組合，如圖 3 中紅、黃、粉的筆劃就是由三角形各個角計算得出的筆刷尺寸，而在把靛青色的內切圓放入後，可以發現同色筆劃之間形成的空隙確實都不大於最小線寬，此時以最小筆刷沿著三角形的三個邊塗一圈後，整個圖形的空隙便僅剩下三個角尖處無論如何填補到的部分（見圖 4）。

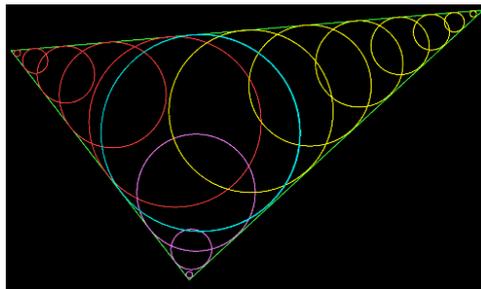


圖 3. 每個筆畫間的空隙皆不大於最小線寬

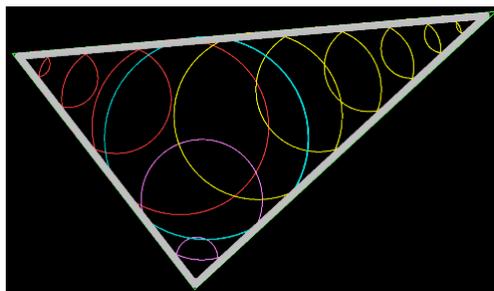


圖 4. 每個筆畫間的空隙皆不大於最小線寬

這樣的方法雖然能達到最佳覆蓋率，但由於每次筆刷半徑增加的大小取決於最小線寬，因此當欲覆蓋面積與筆刷的尺寸差距過大時，就需要使用非常大量的筆劃來填充（見圖 5），如此一來不僅會導致生產效率低落、材料成本過高，還會嚴重影響覆蓋的均勻性，特別是在圖形中心部分的單位面積重疊率會遠高於其他區域。

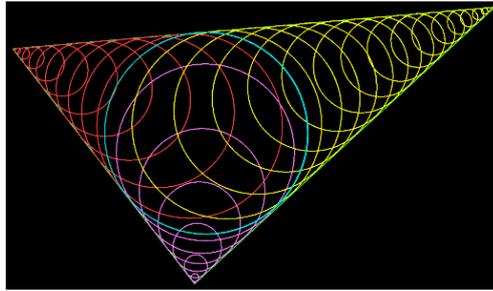


圖 5. 欲覆蓋面積遠大於最小筆刷的情況

## 二、改良方法

拋開既有方法的觀點，正常人要以畫筆去塗滿一個三角形時，第一個想法應該是以盡可能大的筆刷開始塗色，而這時會發現由於不能塗超出範圍原因，越大的筆刷其實能覆蓋的範圍反而越小，並且當筆刷半徑足夠大時，要達到其最大的覆蓋範圍僅需貼著圖形內側繞著邊一圈即可（見圖 6），可以看到此時僅剩下三個夾角處留有空隙。

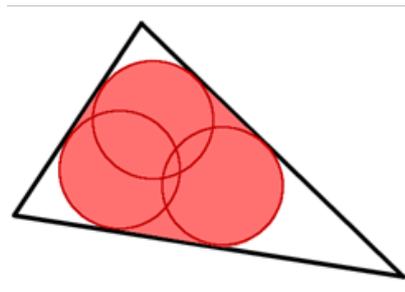


圖 6. 大尺寸筆刷的覆蓋

然而隨著筆刷半徑減小，沿著三個邊繞一圈這個策略會開始在中心出現空缺（見圖 7），於是我想若是找到恰好不會使中心出現空缺的筆刷半徑，那便能完成「貼著邊塗一圈」這個方法的最大覆蓋面積，並且將問題簡化為對剩餘三個夾角的覆蓋。

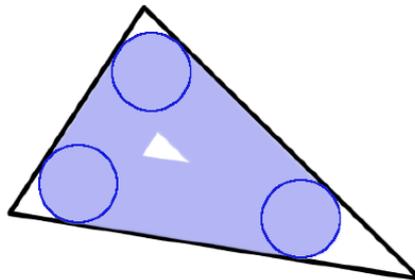


圖 7. 小尺寸筆刷導致中心出現空缺

經過分析，這個剛好使得中心不會出現空缺的筆刷半徑正好是三角形內切圓半徑的二分之一（見圖 8）。

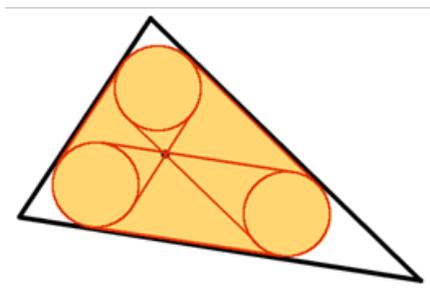


圖 8. 筆刷直徑為內切圓半徑時的覆蓋

接著對剩餘的三個角的未覆蓋區域進行分析，這三塊區域僅有夾角的角度不同，因此只需要想出一個通用的方法將它們覆蓋即可（見圖 9）。

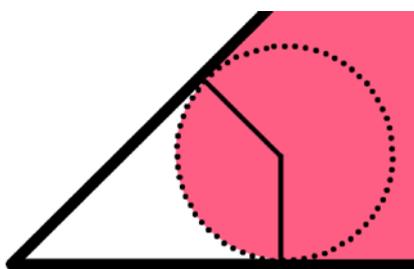


圖 9. 夾角處的空隙

由於筆刷的移動距離越短越好，因此若能從圓與夾角兩邊的切點做為起點，以 V 字的方式進行填充，便可在兼顧高覆蓋面積的同時保持較短的移動距離（見圖 10）。

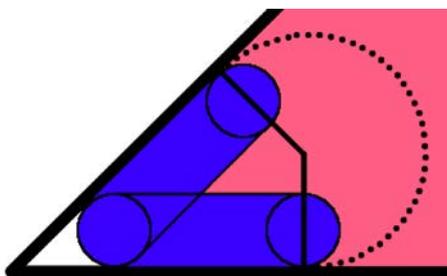


圖 10. V 字形覆蓋法

這時會注意到這樣的「V 字形覆蓋法」跟剛才的問題有很多類似的地方，首先越大的筆刷越難深入夾角內部進行覆蓋，實際能覆蓋的面積反而越小，再者當筆刷半徑過小時，中心又會與凹陷的圓弧間出現空隙，因此只要找到最小能夠不使中心產生空隙的筆刷半徑，便能以 V 字形的方式深入夾角覆蓋到最多的面積。

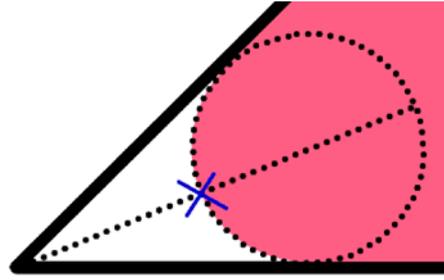


圖 11. 角平分線與凹陷圓弧的焦點

透過對不同尺寸的筆刷進行分析，會發現空隙是由角平分線交於凹陷圓弧的一點開始擴散(圖 11 藍叉處)，因此只要取該點與任意一邊的垂直距離作為筆刷直徑(圖 12)，便能使「V 字形覆蓋法」不會出現空隙的同時達成最大覆蓋面積。

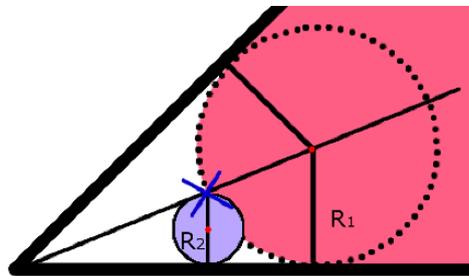


圖 12. 求出下一個筆刷的半徑

經過分析，可以得出公式：

$$R_{i+1} = R_i * (1 - \sin(\theta/2))/2 \quad R_{i+1} = R_i * (1 - \sin(\theta/2))/2$$

以  $R_2$  完成 V 字形覆蓋後，空隙的範圍便由「 $R_1$  為半徑的圓和夾角間的空隙」變為「 $R_2$  為半徑的圓和夾角間的空隙」，此時將  $R_2$  代入公式求出  $R_3$  後再次進行 V 字形覆蓋，如此往復迭代直到  $R_{i+1}$  小於最小筆刷半徑 ( $R_{\min}$ ) 後，再以  $R_{\min}$  進行最後一次覆蓋，便完成了夾角空隙的填補。

分別對三個角的空隙進行上述的填補後，便完成了整個三角形的覆蓋(見圖 13)。

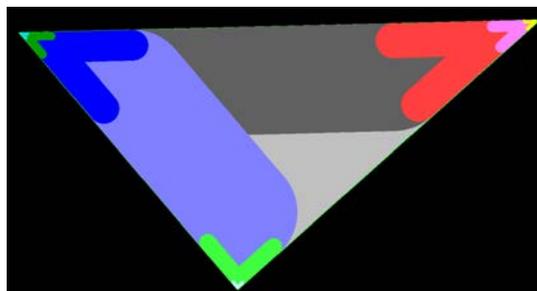


圖 13. 完成改良方法的覆蓋

### 三、方法評估

為了能夠具體地比較方法之間的優劣，我總結出了兩個對 PCB 生產影響較大的因素做為評估指標：

首先是「覆蓋重疊率」(Coverage Overlap Rate)，我將其定義為「實際覆蓋面積」對上「有效覆蓋面積」的比值。當覆蓋重疊率越大，所需要消耗的材料成本也就越高，並且在覆蓋的均勻性上也很可能越差。

再來是「移動距離」(Travel Length)，也就是覆蓋時筆頭所移動的總距離，但為了方便進行比較，我這項指標定義為「總移動距離」對上「欲覆蓋圖形之周長」的比值。當移動距離越大時，筆刷移動所需時間就會越長，這便直接影響到了生產的時間成本。

根據上面兩項指標，我們將最小筆刷半徑定義為 1 長度單位，隨機生成 1000 個面積為一萬平方單位的三角形，分別使用本研究的改良方法與張維恩等研究者提出的方法進行比較後，將尺寸放大 10 倍、100 倍（面積變為 100 倍、10000 倍）再次做對比，得出了以下結果：

| 面積   | 覆蓋重疊率   | 移動距離   |
|------|---------|--------|
| 10K  | 152.36% | 78.14% |
| 1M   | 154.77% | 79.06% |
| 100M | 154.98% | 79.15% |

表 1. 本研究的改良方法

| 面積   | 覆蓋重疊率    | 移動距離    |
|------|----------|---------|
| 10K  | 220.50%  | 154.90% |
| 1M   | 578.28%  | 159.74% |
| 100M | 1753.16% | 160.23% |

表 2. 張維恩等人提出的覆蓋法

可以觀察到本研究提出的方法不管是在「覆蓋重疊率」或是「移動距離」上都遠優於張維恩等人提出的覆蓋法，並且隨著面積增大，這兩項指標的數值也不會有明顯增加，反觀張等人的方法在面積增大時，覆蓋重疊率呈現出明顯的上升趨勢，可見其只適合在面積與最小筆刷尺寸差距較小的場合使用。

#### 四、結論

本研究提出的銅面覆蓋策略在保持低覆蓋重疊率的同時，大幅縮短了覆蓋過程所需移動距離，提升了生產效率和覆蓋均勻性，並且經過實驗資料表明，隨著覆蓋面積增大，此方法在性能上的優勢將更加突出，這證明了其在大規模覆蓋應用中的潛力。未來的研究可以進一步改良覆蓋策略，探討更多複雜形狀的覆蓋方法，並在實際生產環境中驗證其可行性和效果。

#### 參考文獻：

- 1.張維恩、顏明賢、謝瀚恩、黃志明（2020）。以最少直線筆刷覆蓋多邊形之策略研究。  
**全國資訊管理前瞻技術研討會暨專題競賽。**
- 2.周春梅（2006）。高速 PCB 的可靠性設計。內蒙古電大學刊，Vol.11。
- 3.LONG Zi-ye, ZHANG Jie and KOU Qiong-yue (2007). **The Design of Printed Circuit Board. Journal of Wuhan Polytechnic University, Vol.26, No.4.**