

# 應用二維傅立葉之對稱性與直交性特性 於 TFT-LCD 面板與彩色濾光片之表面瑕疵檢測

曾紀綱

工業技術研究院量測技術發展中心先進光學檢測技術發展部(R300)

[jesson@itri.org.tw](mailto:jesson@itri.org.tw)

## 摘 要

近來液晶顯示器(TFT-LCD)已逐漸取代傳統 CRT(Cathode Ray Tub)陰極射線管型之顯示器，不僅如此 TFT-LCD 製造商為帶給消費者更便利性、可攜性之特性，在 TFT-LCD 與彩色濾光片(Color Filter)產品製造及品檢上，更需要以高標準的製造技術及產品檢測來審核它，以確保出貨的品質保證，進而保障消費者的權益；目前 TFT-LCD 與 Color Filter 的瑕疵檢測仍然以大量人工進行檢測，由於每一個人的檢測標準都不盡相同，在產品檢測品質上便很難達到一致性，及其檢測品質變異過大。故本研究將提出一機器視覺檢測方法，以避免人工檢測所造成檢測品質變異過大之情形；本研究主要針對 TFT-LCD 面板中人眼不易觀察之微觀瑕疵，包括指觸、粉塵、配向膜孔洞及刮痕瑕疵，與 Color Filter 中之刮痕與異物瑕疵進行瑕疵偵測，於製程中偵測其瑕疵所在位置。

由於 TFT-LCD 與 Color Filter 製造技術不斷精練，使得其檢測精度也不斷精細，因此造成其檢測機台定位精度上更需精準，此種情況將使得檢測機台製造成本更為提高；由此本研究提出一檢測方法，期望能在不考慮定位精度層面下，精準地檢測出瑕疵位置及瑕疵形貌；本研究主要是利用二維傅立葉影像轉換，將影像中具有規律性之水平與垂直紋路去除，並保有瑕疵能量在傅立葉頻譜中貢獻最多的區域；在頻譜中去除紋路方法上，本研究主要是利用傅立葉能量頻譜影像中能量較高處，並以最小平方法求出影像中能量較高處之線性方程式，將此方程式利用傅立葉對稱性與直交性之特性，製作出一個去除影像中水平與垂直紋路的濾波器，其主要目的是在抑制影像定位不足，造成影像旋轉，進而影響最後瑕疵偵測不良；接著再搭配 Butterworth 低通濾波去除影像中的雜訊與細微規律性紋路，使用此濾波的主要目的是使傅立葉反轉後的瑕疵區塊，能較不受水波紋影響(Ringing Effect)其實際瑕疵形貌；最後再經統計管制界限法明確突顯瑕疵，以達到阻抗影像旋轉之定位不足的瑕疵偵測目的；實驗結果顯示本研究方法對 TFT-LCD 與 Color Filter 之瑕疵偵測有良好的瑕疵偵測效果；本研究針對 256 x 256 8 bit 灰階影像進行檢測，其檢測時間約為 1 秒。

關鍵字：TFT-LCD，Color Filter，規律性紋路，表面瑕疵檢測，傅立葉轉換

## 壹、前言

現今液晶顯示器(TFT-LCD)與彩色濾光片(Color Filter)製造精度日進增高，隨之其檢測標準也不斷提昇，若採用以往大量人工進行檢測，往往會因檢測人員許多不確定性因素，造成檢測品質變差，及檢測品質標準差異過大的情形發生；所以若要有效的管控檢測品質，以大量人工進行檢測的方式似乎不是一個良好的長久檢測之計，其應用於高精製程下的長久檢測之計，應採用一個檢測品質一致性高、檢測品質變異性小、檢測誤判機率小及其檢測精度高之檢測方式，進行製程精度高下的檢測；基於上述原因，本研究提出一機器視覺檢測方法，避免人工檢測所造成檢測品質變異過大的情形發生；本研究主要將針對 TFT-LCD 面板中人眼不易觀察之微觀瑕疵，包括指觸、粉塵、配向膜孔洞及刮痕瑕疵，與彩色濾光片 (Color Filter)中之刮痕與異物瑕疵進行瑕疵偵測，並設法偵測出瑕疵所在位置；由於 TFT-LCD 樣板不易取得，因此本研究所使用的 TFT-LCD 的影像樣本，皆引用曾彥馨【2003】碩士論文中，所使用的影像樣本，作為本研究所使用的測試樣本。

## 貳、研究方法

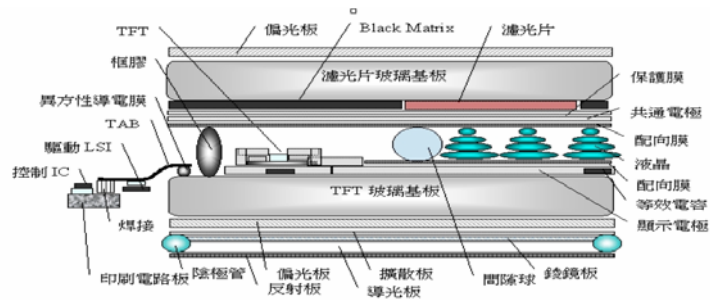
本研究利用機器視覺的技術，針對TFT-LCD 面板影像與Color Filter影像進行瑕疵檢測；由於 TFT-LCD 面板影像在高解析度(60 pixel / mm)擷取之影像【資訊來源引用：曾彥馨【2003】】，其影像中皆有規律性紋路呈現，因此本研究利用TFT-LCD 面板影像與Color Filter影像具有規律性紋路之特性，再加上文獻中曾彥馨【2003】所提出來的利用二維傅立葉去除TFT-LCD 面板影像之規律性紋路的想法，提出一個於傅立葉頻譜中，可抗定位不足之自動尋找去除具直交性的規律性紋路濾波的方法，此方法主要是利用TFT-LCD面板影像與Color Filter影像於影像空間域中，皆具有水平及垂直紋路之特性，TFT-LCD面板影像與Color Filter影像經二維傅立葉轉換，空間域水平紋路於經中央平移後之二維傅立葉頻譜中，將會集中於頻譜中心之垂直方向位置上，然而空間域垂直紋路，則會集中於頻譜中心之水平方向位置上。

由於水平與垂直紋路於二維傅立葉頻譜具直交性的特性，本研究提出利用影像處理之Threshold與Labeling的技術，於Normalize且中央平移後之傅立葉頻譜影像中，找出三個能量分布最大且資訊量最小之區塊，利用此三個區塊，搭配One-Order LSM(一階最小平方法)，找出一線性方程式，利用此線性方程式亦可推算出，通過二維傅立葉頻譜DC之另一條直交線性方程式，由此兩條線性方程式，方可構成一去除具直交性的規律性紋路濾波，接著再利用Butterworth低通濾波的方法，保留瑕疵能量在二維傅立葉頻譜中貢獻最多的資訊，此濾波不同於黃哲韻【2000】所提出的Ideal Lowpass Filter的方法，使用Butterworth低通濾波所具彈性較大，其原因在於利用此濾波，可阻抗傅立葉經Ideal Lowpass Filter反轉後，瑕疵外形易受水波紋影響(Ringing Effect)；最後採用Shewhart Control Chart二值化的方法，將瑕疵突顯出來，接著再利用曾紀綱【2004】所提出的具精鍊式Median Filter的方法，不需設定任何參數，可自動精鍊去除雜訊，最後結果若為全白影像，表檢測結果為正常影像，反之。

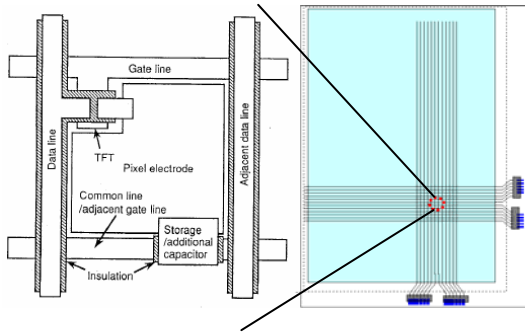
本章架構分為一、TFT-LCD面板與Color Filter影像紋路特性分析，二、偵測的瑕疵種類進行說明，三、針對二維傅立葉做一簡介，四、則介紹自動尋找結構性濾波與Butterworth低通濾波產生的方法與原理，五、說明Shewhart Control Chart二值化方法與具精鍊式Median Filter去除雜訊的方法。

### 一、TFT-LCD面板與Color Filter影像紋路特性分析

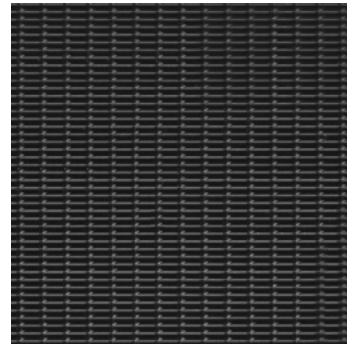
由於 TFT-LCD 面板在製造過程中，會產生結構性紋路的特性，如圖 1 (b)所示，TFT-LCD 面板由單一像素 Array 所組成，單一像素中包括信號線 (Data line)、閘線 (Gate line)、薄膜電晶體 (TFT) 與像素電極，單一薄膜電晶體所構成的之結構在適當之解晰度下，其感測之影像會形成水平與垂直之規律性紋路表面，如圖 1 (c)即為高解晰下取得之 TFT 面板影像；然而彩色濾光片亦受製程的影響，在其影像上也會呈現水平與垂直之規律性紋路表面，如圖 2 所示：。



(a) TFT-LCD 組成元件



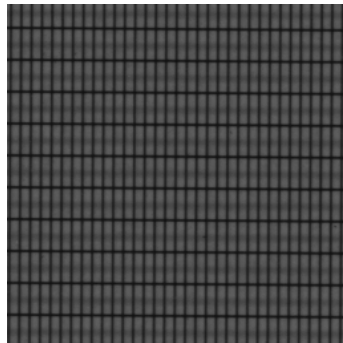
(b) 單一像素與 TFT-LCD Array



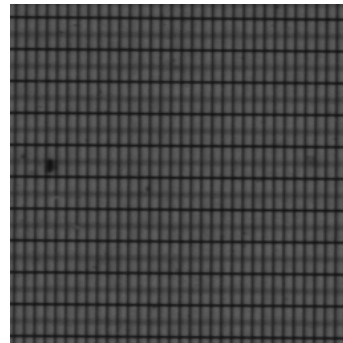
(c) TFT 面板於高解析下之影像

圖 1、TFT 面板產品特性圖

【摘自：曾彥馨【2003】，圖 3-1, pp. 14】



(a) 正常 Color Filter 之灰階影像



(b) 瑕疵 Color Filter 之灰階影像

圖 2、正常與瑕疵之 Color Filter 影像示意圖

## 二、偵測的瑕疵種類

本節主要說明TFT-LCD面板與Color Filter影像有哪些種類瑕疵；本研究引用曾彥馨【2003】將配向工程中發生不同之瑕疵類型，對Cell 最終檢測造成之結果項目，歸納為如表1所示，包括括痕、孔洞、粉塵、指觸與其他五種瑕疵類型；其中刮痕：大多由於玻璃基板表面傷害所造成、粉塵：由於大小與所在位置不同形成成品之各種瑕疵項目多為點瑕疵(Point defect)、孔洞：會使配向膜均勻被破壞對液晶顯示形成傷害、指觸：由於大小與所在位置的不同對玻璃基板形成不同影響及其他瑕疵部分：

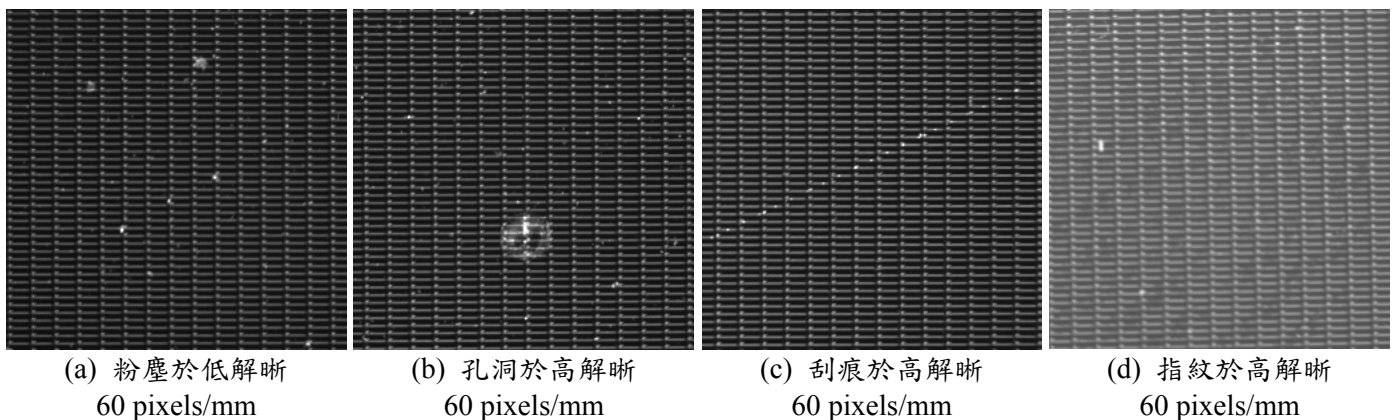
為巨觀瑕疵並非本研究所探討對象。

本研究將針對TFT-LCD面板製程中較常發生、且人工檢測易於誤判之微觀瑕疵類別包含刮痕(Scratch)、粉塵(Particle)、孔洞(Pinhole)與指觸(Fingerprint)進行瑕疵檢測，其瑕疵圖形如圖3所示，然而在Color Filter方面主要是針對異物與刮痕進行偵測，異物瑕疵會在Color Filter影像中灰階值低的部份，而刮痕瑕疵會在Color Filter影像中灰階值高的部份，其瑕疵圖形如圖4所示：

**表1、配向工程之瑕疵類型**

**【摘自：曾彥馨【2003】，表3-1, pp. 16】**

類別	造成 Cell 最終檢查項目	瑕疵類型	可能發生之工作站
微觀瑕疵 (Micro-defect)	玻璃基板表面刮傷 玻璃基板破裂 TFT 玻璃刺孔	刮痕	TFT 玻璃基板切割
	玻璃基板髒污 黑點 (Black dot) 白點 (White dot)	粉塵	配向塗佈 配向處理
	PI 孔洞 (PI Pinhole) 配向聚集 (Rubbing cluster)	孔洞	配向塗佈
	玻璃基板髒污 配向聚集 (Rubbing cluster) 黑色污物 (Black stain) 白色污物 (White stain)	指觸	配向塗佈 配向膜燒結
	巨觀瑕疵 (Macro-defect)	Rubbing mura PI mura PI 位移 (PI shift)	其他



**圖 3、TFT-LCD 瑕疵於不同解晰下呈現之影像**

**【摘自：曾彥馨【2003】，圖 3-4, pp. 21】**

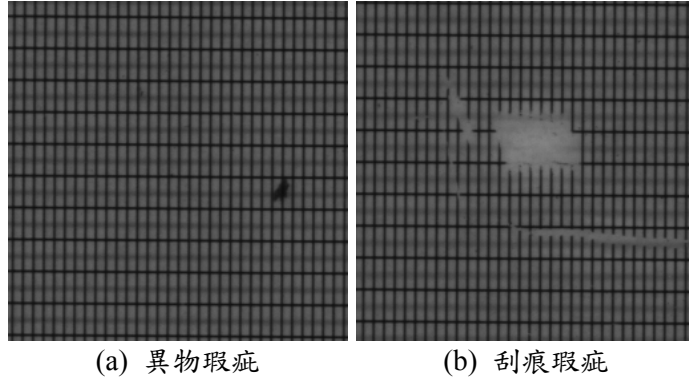


圖 4、Color Filter 瑕疵影像

### 三、二維傅立葉轉換簡介

本研究中所分析的 TFT-LCD 面板與 Color Filter 之影像皆是二維的離散影像，其影像大小為  $M \times N$  的二維離散影像，影像中座標  $(x, y)$  的灰階值為離散函數  $f(x, y)$ ，其中  $x = -\frac{N}{2}, \dots, \frac{N}{2}$  和  $y = -\frac{N}{2}, \dots, \frac{N}{2}$ ，當影像以方陣取樣時，即  $M = N$ ，則其二維離散傅立葉轉換偶為；其中  $j = \sqrt{-1}$ ， $u, v$  為頻率變數，且  $u, v = -\frac{N}{2}, \dots, \frac{N}{2}$ ，其轉換公式如式(1)與(2)所示，然而二維傅立葉轉換是複數函數，如式(3)所示：

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{y=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} f(x, y) \cdot \exp[-j \cdot 2\pi (ux + vy)/N] \quad (1)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{u=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{v=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} F(u, v) \cdot \exp[j \cdot 2\pi (ux + vy)/N] \quad (2)$$

$$F(u, v) = R(u, v) + j \cdot I(u, v) \quad (3)$$

式(3)中  $R(u, v)$  和  $I(u, v)$  分別是  $F(u, v)$  的實部和虛部，如式(4)和式(5)所示：

$$R(u, v) = \sum_{x=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{y=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} f(x, y) \cdot \cos[2\pi (ux + vy)/N] \quad (4)$$

$$I(u, v) = - \sum_{x=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{y=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} f(x, y) \cdot \sin[2\pi (ux + vy)/N] \quad (5)$$

其二維離散函數的傅立葉頻譜為  $|F(u, v)|$  如式(6)所示：

$$|F(u, v)| = [R^2(u, v) + I^2(u, v)]^{1/2} \quad (6)$$

#### 四、自動尋找結構性濾波與 Butterworth 低通濾波的方法

由於本研究所欲檢測產品影像皆具有直交性的規律性紋路，但若在定位不足或人員影響的狀態下，造成影像旋轉時，使用曾彥馨【2003】所提出的檢測方法，其檢測效果不佳；因此本研究提出一自動尋找結構性濾波的方法，再結合 Butterworth 低通濾波，用來去除旋轉影像中具直交性之規律性紋路。

##### (一)、自動尋找結構性濾波的方法

本研究以傅立葉轉換後之頻譜影像，經中心平移與 Normalize 的頻譜影像資訊，以影像處理中 Threshold(影像二值化)，再搭配 Labeling(貼區塊標籤)的方法，由 8 bit 頻譜影像中之灰階能量最大值 255 開始做 Threshold，然後利用 Labeling 去尋找，二值影像中是否有三個區塊存在，若無再繼續往灰階能量中次大的灰階值做 Threshold，然後再以 Labeling 去尋找，其二值影像中是否有三個區塊存在，依此程序不斷進行，直到利用 Labeling 找出三個區塊存在時，則停止尋找，其搜尋原理在於傅立葉頻譜影像經中心平移且 Normalize 後，其影像中心位置為 DC 值最高處，會先被找出為一個區塊，然而傅立葉影像具有對稱性，所以下一個找到的區塊，必為兩組對稱區塊，此搜尋方法將可得到最小且較有利的資訊，供後續處理。

再者將此 Labeling 找出的三個二值區塊影像中之  $(x, y)$  資訊，利用一階最小平方法求算其線性方程式，利用此線性方程式將可定義出單一頻率變化較大的水平或是垂直方向的濾波結構，而另一方向的濾波，可利用線性直交且通過頻率 DC 值最高處，即保有原有空間域圖像架構之能量點，此點乃頻譜影像中心點，求取出另一個垂直原有找出那一線性方程式之濾波，將此兩個濾波結合，將可構成一個去除具水平與垂直紋路之直交濾波。其流程圖 5 所示：

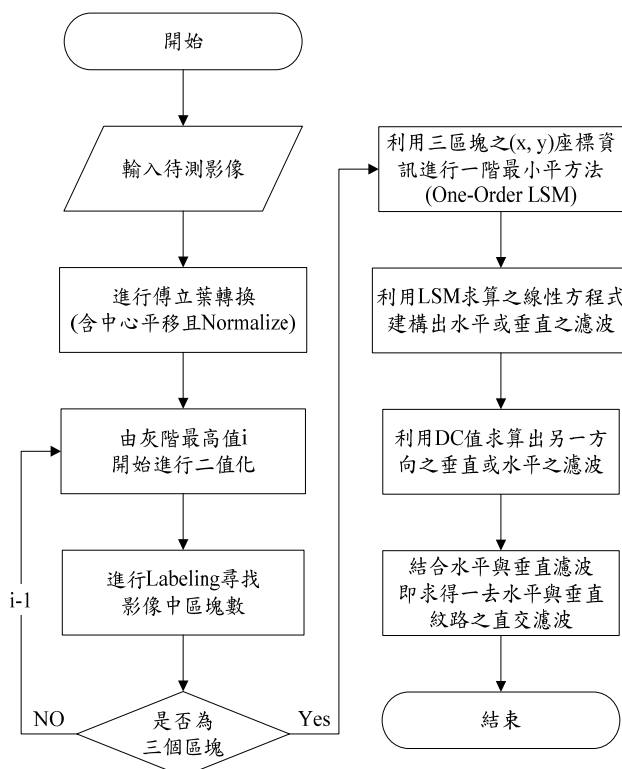


圖 5、自動尋找結構性濾波之流程圖

(二)、Butterworth 低通濾波

此濾波方程式如式(7)所示，為一低通濾波 BLPF (Butterworth Lowpass Filter)，式(7)中含有兩個參數  $D_0$  與  $n$ ， $D_0$  主要是控制低通濾波半徑範圍， $D_0$  設定愈大低通濾波半徑範圍愈大，反之；然而  $n$  主要用來控制低通濾波起伏變化，當  $n$  設定愈大，其波形將會愈陡峭，當  $n$  設定愈小，其波形將會愈平滑，其 BLPF 之示意圖如圖 6 所示；本研究結合自動尋找結構性濾波與 Butterworth 低通濾波此兩種濾波，去除影像中的雜訊與水平和垂直之結構性紋路。

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{D(u,v)}{D_0} \right]^{2n}} \quad (7)$$

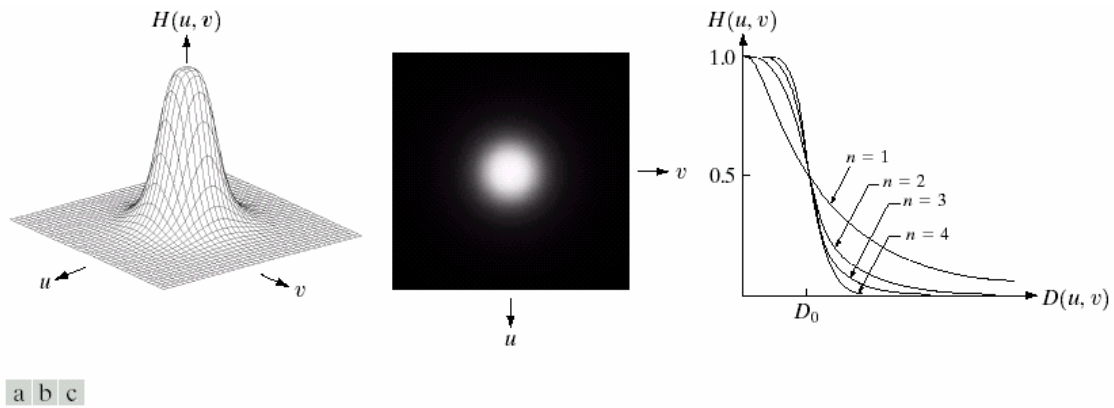


FIGURE 4.14 (a) Perspective plot of a Butterworth lowpass filter transfer function. (b) Filter displayed as an image. (c) Filter radial cross sections of orders 1 through 4.

圖 6、Butterworth Lowpass Filter 示意圖

【摘自：Digital Image Processing, Second Edition, pp. 173】

五、Shewhart Control Chart 二值化方法與具精鍊式 Median Filter 去除雜訊的方法

本節主要說明二值化突顯瑕疵與去除影像中瑕疵的方法，以下將分別說明 Shewhart Control Chart 二值化方法與具精鍊式 Median Filter 去除雜訊的方法。

(一)、Shewhart Control Chart 二值化方法

去除待測影像中規律性紋路後，此時需再做影像二值化分割，以突顯瑕疵位置所在，其二值分割法本研究引用曾彥馨【2003】所使用之管制界限法，來區分瑕疵與背景的部分；首先令影像大小為  $N \times N$  Pixels，則利用傅立葉轉換反轉後的影像上，所有像素點灰階值為  $f(x, y)$ ，求算其平均值  $\mu$  及標準差  $\sigma$  分別為式(8)和式(9)所示：

$$\mu = \frac{1}{N^2} \sum_{y=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{x=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} f(x, y) \quad (8)$$



$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{y=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{x=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} (f(x, y) - \mu)^2} \quad (9)$$

其瑕疵影像管制界限可寫成  $\mu \pm k \cdot \sigma$ ，其中  $k$  為檢測常數；然而針對傅立葉轉換反轉後之頻譜影像上所有像素點  $(x, y)$  的灰階值  $f(x, y)$  作檢測，則所有像素點  $(x, y)$  的灰階值  $g(x, y)$  將定義如下式(10)所示；則可將瑕疵與背景分離。

$$g(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } \mu - k \cdot \sigma \leq f(x, y) \leq \mu + k \cdot \sigma \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

## (二)、具精鍊式 Median Filter 去除雜訊的方法

此方法主要功用在於針對二值化後之瑕疵影像，作雜訊去除，其方法主要是利用 3x3 方形 Mask 之 Median Filter 針對二值瑕疵影像作雜訊濾除，且以 Median Filter 不斷重複進行雜訊濾除動作，直到當下之二值瑕疵影像中的瑕疵黑色像素個數總和等於，前次作用之二值瑕疵影像中的瑕疵黑色像素個數總和，則停止結束雜訊濾除動作；此方法的詳細內容可參考曾紀綱【2004】論文中的雜訊去除章節中，有更詳細的敘述。

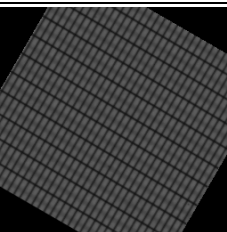
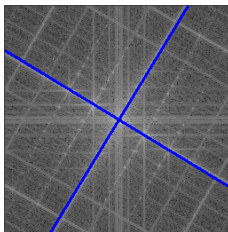
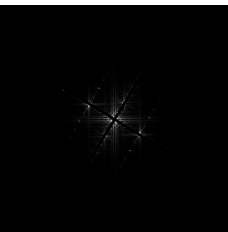
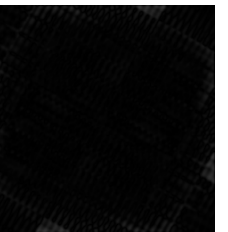
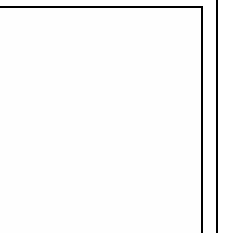
## 叁、研究成果

本章主要分兩部分來進行探討，第一部分將針對 TFT-LCD 面板影像進行實驗探討，第二部分則針對 Color Filter 影像進行實驗探討。

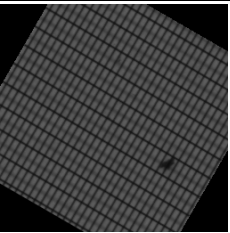
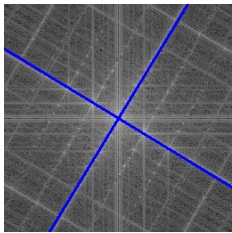
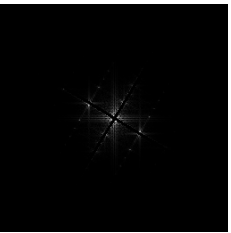
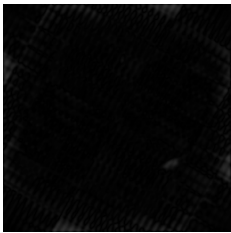
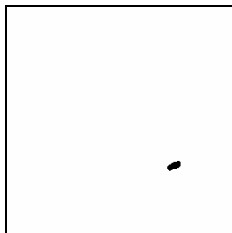
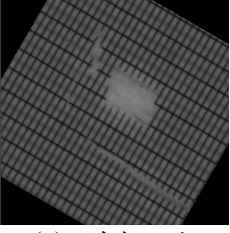
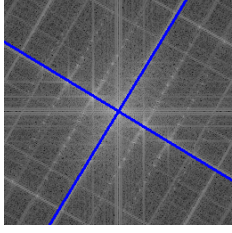
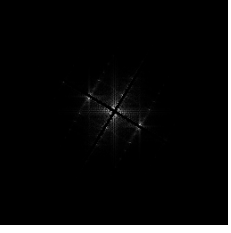
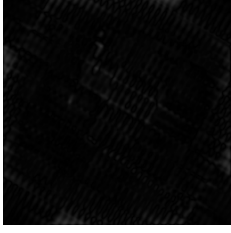
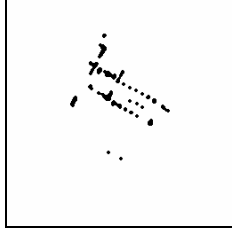
### 一、Color Filter 影像之實驗結果

為驗證本研究方法，因此針對 Color Filter 影像作一順時針 30 度旋轉，模擬待測物件大幅度定位不足的情形發生，其實驗結果如表 2 所示，其瑕疵突顯結果除刮痕瑕疵突顯結果並非理想，原因在於此影像中刮痕瑕疵之瑕疵特徵，含有與相背景結構同方向的結構特徵存在，因此經影像頻譜濾波反轉後，刮痕瑕疵影像中含有部份背景結構瑕疵特徵也被濾除，導致最後的瑕疵突顯結果不佳；然而在其參數設定方面上，自動尋找結構性濾波寬度設為 3 Pixel，其圖示如表 2 藍色直交區域所示；而 Butterworth 低通濾波中的  $D_0$  與  $n$  分別設為 40 與 2， $n$  設定為 2 對影像而言，有達到 Smoothing 去雜訊的效果， $D_0$  設為 40 可保留瑕疵能量較高之所在範圍，在二值化參數設定方面，本研究設定檢測常數  $k$  為 2.8 倍  $\sigma$ ，其瑕疵判定準則為，若待測影像為正常樣本，其檢測結果將無任何瑕疵黑點出現，反之。

表 2、Color Filter 影像之實驗結果對照表

Color Filter Image (Rotation 30 度)	自動尋找結構性濾 波結果	Butterworth 低通濾波結果	傅立葉 反轉後結果	二值化且 去除雜訊後結果
 (a) 正常影像				

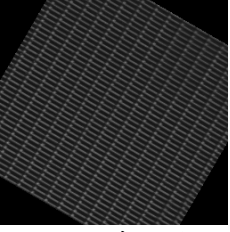
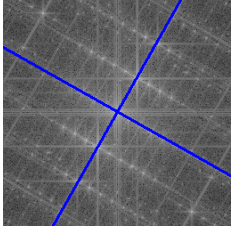
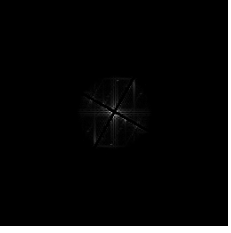
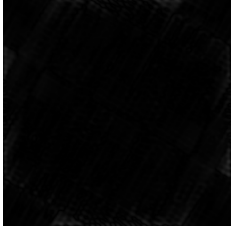
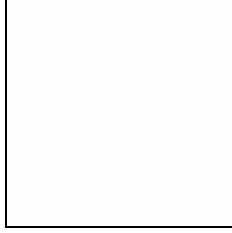
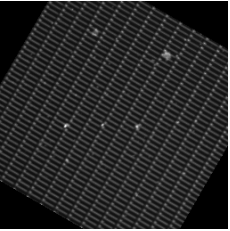
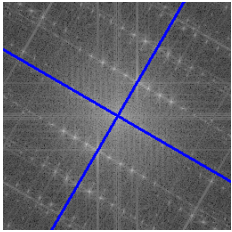
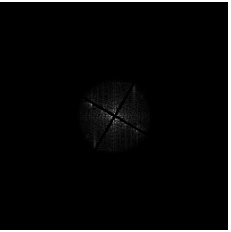
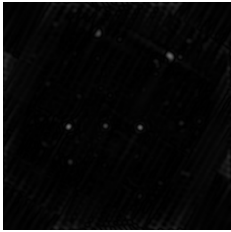
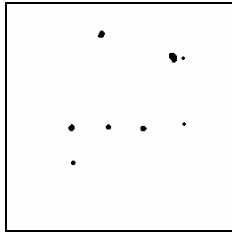


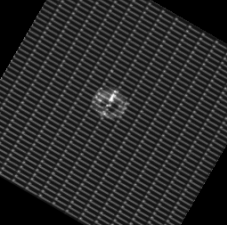
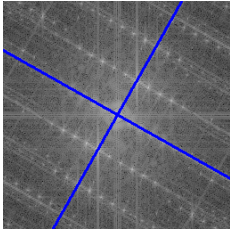
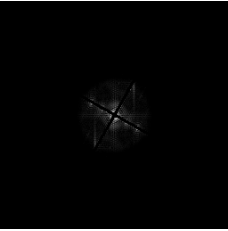
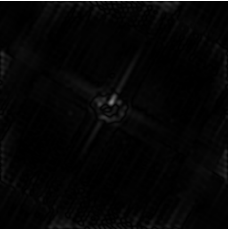
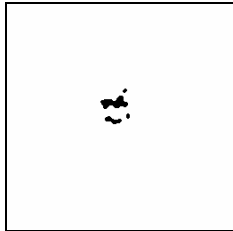
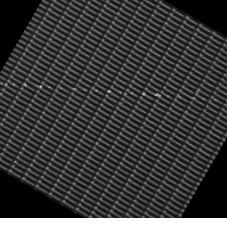
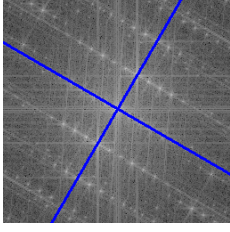
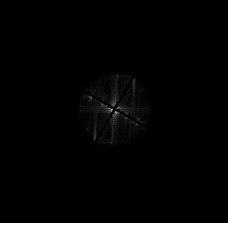
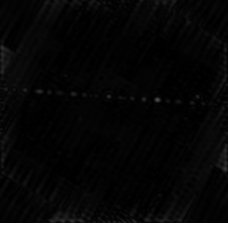
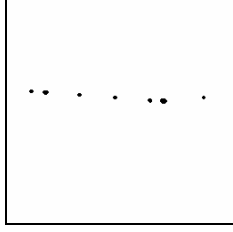
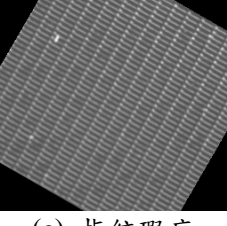
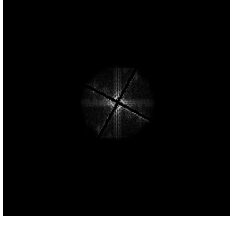
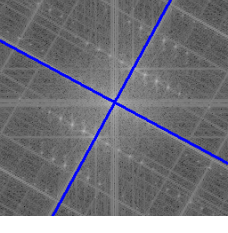

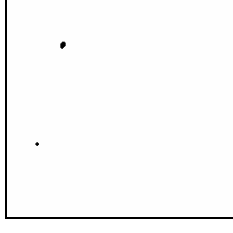
 <p>(b) 異物瑕疵 (Defect)</p>				
 <p>(c) 刮痕瑕疵 (Defect)</p>				

## 二、TFT-LCD 面板影像之實驗結果

為驗證本研究方法，因此針對 TFT-LCD 影像作一順時針 30 度旋轉，模擬待測物件大幅度定位不足的情形發生，其實驗結果如表 3 所示；然而在其參數設定方面上，自動尋找結構性濾波寬度設為 3 Pixel，其圖示如表 3 藍色直交區域，而 Butterworth 低通濾波中的  $D_0$  與  $n$  分別設為 40 與 15， $n$  設定為 15 不同於 Color Filter  $n$  值的設定，主要的原因在於此種類影像，以 Ideal Lowpass Filter 有其良好的檢測效果，而  $n$  設定為 15 則有達到 Ideal Lowpass Filter 的效果，因此將  $n$  設定為 15，在  $D_0$  設定方面仍設為 40，可保留瑕疵能量較高之所在範圍，在二值化參數設定方面，本研究設定  $k$  檢測常數亦為 2.8 倍  $\sigma$ ，其瑕疵判定準則為，若待測影像為正常樣本，其檢測結果將無任何瑕疵黑點出現，反之。

表 3、TFT-LCD 影像之實驗結果對照表

TFT-LCD Image (Rotation 30 度)	自動尋找結構性濾 波結果	Butterworth 低通濾波結果	傅立葉 反轉後結果	二值化且 去除雜訊後結果
 <p>(a) 正常影像</p>				
 <p>(b) 粉塵瑕疵 (Defect)</p>				

 <p>(c) 孔洞瑕疵 (Defect)</p>				
 <p>(d) 刮痕瑕疵 (Defect)</p>				
 <p>(e) 指紋瑕疵 (Defect)</p>				

由表 2 與表 3 的檢測結果可知，本研究的檢測方法可阻抗具有結構性之水平與垂直紋路之影像，且皆有其良好的檢測效果；補充說明由於表 2 與表 3 的影像皆經過影像處理順時針旋轉 30 度，因此本研究將去除且不考慮且濾除旋轉後，未填值之四個角落的黑色區塊。

#### 肆、結論與建議

由於 TFT-LCD 面板與 Color Filter 皆具有直交性的規律性紋路之影像特性，若檢測機構精度不準、定位不良或是人員因素，造成待測物件之影像產生旋轉的效應時，使用曾彥馨【2003】所提出之去除傅立葉頻譜中，以中心基點設計出一水平與垂直的濾波方式進行檢測時，其檢測效果不彰，但若採用本研究所提出之自動尋找結構性濾波的方法，將自動找尋其結構性濾波的主要位置所在，必可解決影像產生旋轉之定位不足的問題；再者本研究使用 BLPF (Butterworth Lowpass Filter) 此濾波，其優點除可彈性設定其所需的濾波波型，亦可去除雜訊與頻譜能階較小的區域，又可保有黃哲韻【2000】所使用的 Ideal Lowpass Filter 的功效，且能仰制反轉後水波紋影響(Ringing Effect)的程度，由實驗結果可知針對 TFT-LCD 與 Color Filter 影像，進行瑕疵檢測，有良好的檢測效果；本研究針對 256x256 8 bit 灰階影像進行檢測，其檢測時間約為 1 秒。

本研究在結構性紋路 Filter 寬度設定、與 Butterworth Lowpass Filter 中  $D_0$  與  $n$  的設定和二值化方法中檢測常數  $k$  值的設定，皆以試誤法視其檢測效果來設定其個別參數值，並無提出一自動參數設定的方法，雖然在實務上保有其參數調整設定的彈性，但在時效上需花費一些時間找出其最佳的參數組合，因此未來可針對這些參數做一敏感度分析，進而找出各參數自動選取之設定準則，然而在二值化瑕疵突顯方面，則可選用較佳且較適之非手動設定參數的二值化方法，將可達到自動化設定參數的目標，以提昇檢測效率。

## 伍、參考文獻

- [1] 曾紀綱，2004 年，「應用機器視覺方法於晶圓表面瑕疵檢測之研究」，碩士論文，私立元智大學工業工程研究所。
- [2] 曾彥馨，2003 年，「應用機器視覺於 TFT 面板之表面瑕疵檢測與分類」，碩士論文，私立元智大學工業工程研究所。
- [3] 黃哲韻，2000 年，「應用機器視覺於隨機性紋路之表面瑕疵檢測」，碩士論文，私立元智大學工業工程研究所。
- [4] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. [2002]. Digital Image Processing, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [5] Tsai, D. M. and T. Y. Huang, 2003, "Automated Surface Inspection for Statistical Textures," Image and Vision Computing, Vol. 21, pp. 307-323.
- [6] Tsai, D. M. and C. Y. Hsieh, 1999, "Automated surface inspection for directional textures," Image and Vision Computing, Vol. 18, pp. 49-62.