

點矩陣式全像圖案製版機

點矩陣式全像圖案製版機在全像領域之應用已具舉足輕重之地位，所以本文之重點為點矩陣式全像圖案製版機之繪圖原理、機器結構及製作各類圖案效果之介紹。

葉勝利

一、前言

由於全球仿冒之風盛行，防偽輔助工具變得非常重要，而全像片 (hologram) 因其單位製作成本低、易於使用和辨識、具美化外觀之功能而被廣為使用。現在坊間較常使用之全像片主要為兩類，一為彩虹式全像片，另一為立普曼 (Lippmann) 全像片。立普曼全像片因為屬於體積式全像片，而每張影像皆需以全像感光底片複製而得，所以製作成本較以 PET、OPP 及 PVC 等材料可用熱滾壓方式大量複製之彩虹式全像片 (屬於表面凹凸式全像片) 高出許多。當然立普曼全像比起彩虹式全像片仍然有影像較清晰、可顯示較深之立體景深等優點，但只能表現固定式影像、無法表現動態感、影像顏色亦固定、無法表現彩虹式變色等則是其主要缺點。由於只能表現出靜態且固定顏色之影像、只能以底片感光方式複製、適合以黏貼方式使用和製作成本較高，都使得立普曼全像片之使用遠不如彩虹式全像片來得普及。

彩虹式全像片可以利用黏貼、燙金、平壓、滾壓或射出成型等方式使用，也可以做成包裝紙，兼

具防偽和美觀雙重功能。而彩虹式全像片依其微觀結構可區分為傳統拍攝式和繞射光柵式兩大類。傳統拍攝式之優點為立體感較佳和全場拍攝，主要缺點則為亮度較差、需實物供拍攝、無法自動化拍攝和難以表現動態影像。相較之下，繞射光柵式則優異許多，除了立體顯示方面比傳統拍攝式差外，其餘不管是亮度、動態顯像、自動化或製作良率方面皆明顯優於傳統拍攝式，因此繞射光柵式彩虹全像片已成為全像片市場之主流產品。

製作繞射光柵式彩虹全像片之主要機器有點矩陣式全像圖案製版機 (或稱兩點干涉儀 two-beam writer)、pattern copier、雷射光直寫機 (laser-beam writer) 和電子束直寫機 (e-beam writer) 等。其中 pattern copier 畫出之影像亮度較低，而雷射光直寫機和電子束直寫機繪圖速度慢且成本高，所以各方面性能都能達到相當水準之點矩陣式全像圖案製版機則成為佔有絕大部分市場之機種，其他機種在全像市場之競爭力難望其項背。所以本文重點將鎖定在點矩陣式全像圖案製版機之各種特性介紹。

二、點矩陣式全像圖案製版機

全球不同品牌之點矩陣式全像圖案製版機雖然不下十家，但市場上最常見之三品牌為台灣華錦光

葉勝利先生為國立台灣大學機械工程學博士，現任龍華科技大學機械工程系副教授。

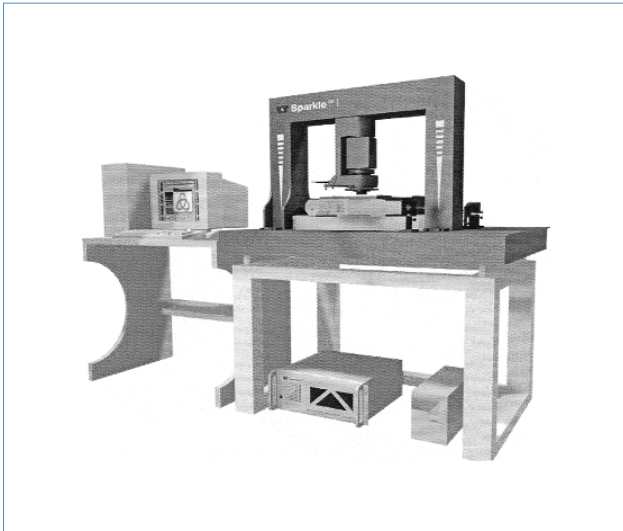


圖 1. Sparkle 機器外觀。

電公司之 Sparkle、英國 Westmead 公司之 Lightgate 和美國 Dimensional Arts 公司之 Light Machine。因為各家公司之機器設計原理皆不相同，所以表現各有千秋，但 Sparkle 點矩陣式全像圖案製版機則是整體功能最完整的一種機型。

現有之點矩陣式全像圖案製版機製作之圖案兼具防偽和美觀兩大功能。一般的全像動態效果 (dynamic/kinetic effect) 為各類型機器皆共有之功能，而這類效果包含移動、轉動、放射、流動、縮小或放大、擴散、亂點、寬視角、多色、漸層色等效果。除了一般的全像動態效果外，點矩陣式全像圖案製版機能製作之其他特殊效果，包含超細字 (microtext)、真彩 (true color)、3D 立體、疊紋 (moire)、暗碼 (hidden image)、散射式圖案及特殊光柵點形狀等效果，都是防止全像片遭偽造的好技術。即使是最普通的動態效果也能在結合碎形圖案 (fractal image) 後而得以變化萬千，不僅難以仿製，外觀亦很美觀耀眼。Sparkle 機器外觀如圖 1 所示。

1. 點矩陣式全像圖案製版機繪圖原理

點矩陣式全像圖案為一顆顆光柵點組成，而各光柵點皆為光柵 (grating) 構成。此處之光柵為空間密度超過 1000 lpi (line pairs per inch) 之直線族，所以此光柵足以讓通過它的光線產生明顯之繞射

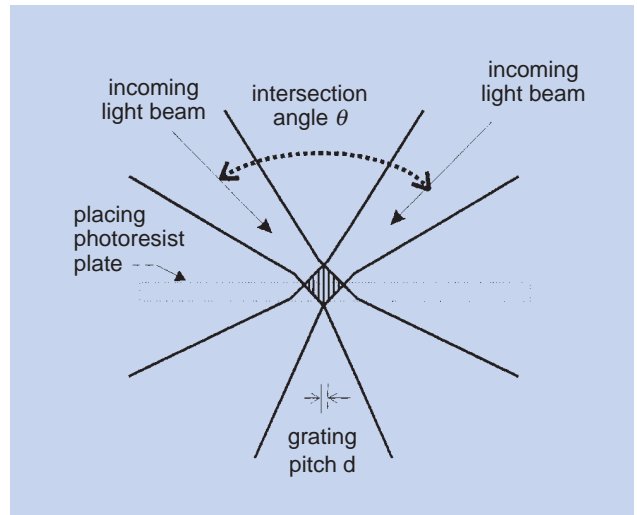


圖 2. 以兩道雷射光在光阻底片上曝光製作光柵點。

(diffraction) 現象。光柵點有以下特性可供調整使用，包含光柵角度、光柵節距、光柵點尺寸、光柵繞射效率、光柵點周期及光柵點形狀等。不同的光柵角度可以使相同方向的入射光繞射至不同方向；不同之光柵節距可以使相同條件入射的混色光，其不同單色光成份被繞射至不同方向；不同的光柵點尺寸和不同的繞射效率皆能使光柵點繞射出不同的亮度；光柵點周期則影響到圖案的解析度 (resolution)，通常以 dpi (dots per inch) 表示；光柵點形狀則藉由控制雷射光束之形狀著手。

通常點矩陣式全像圖案製版機使用氦鎘 (He-Cd) 雷射為光源，讓其入射至機台內後分成兩道光，再讓兩道光重疊聚光在全像光阻底片上 (圖 2)。由於兩道雷射光可以在底片上產生夠密之亮暗式直線族，又光阻片曝光量會反應在其顯影後之表面凹凸上，所以經曝光和顯影後之底片可以產生凹凸式的線條族，此線條族就是讓光線產生繞射而表現影像的光柵。逐點整齊地在光阻底片上製作出各種光柵角度和光柵節距之光柵點，即能得到點矩陣式全像圖案。

點矩陣式全像圖案製版機對於光柵角度、光柵節距、光柵點尺寸、光柵點周期與光柵點形狀等皆須加以控制。控制入射光的收斂性，可以調整光柵點尺寸；控制平移台之移動量可以控制圖案的光柵點間距；控制旋轉台 (rotation stage) 之旋轉量，可

以改變光柵角度；改變兩束光的干涉夾角，可以改變光柵節距；控制光柵點曝光時間，可以改變光柵點大小；加遮罩 (mask) 控制雷射光之形狀則可得到不同形狀之光柵點。

2. 點矩陣式全像圖案製版機之結構

由於不同廠牌之機器不盡相同，無法一一介紹，這裡僅以 Sparkle 機器為例做其結構之介紹。Sparkle 之零組件有龍門架、光學旋轉頭、底片架、底片用平移台、光學防震桌、空氣壓縮機、雷射、電腦、軟體、控制箱、不斷電系統、AOM 電子快門及導光零件等。

龍門架為機器本體之主架構，除了具有導光功能外，也有控制光束收斂性的裝置。光學旋轉頭附著在龍門架懸臂中間下方，除了可以將一道入射光分成兩道光並使此兩道光繞其軸心旋轉外，並且能在維持兩道光重疊照射於全像底片上同位置處的前題下，仍可改變兩道光在底片上交會的夾角。

底片架是用以固定底片，安裝於底片用平移台上，在光學旋轉頭下方。底片用平移台共兩台，一台為橫向，一台為縱向，一台直接鎖在光學防震桌上，另一台再鎖在其上，最上面再鎖上底片架。

光學防震桌係利用氣墊原理，隔絕地面上之震波傳至其桌面，以免兩道光因振動使干涉條紋產生漂移 (shifting) 現象而效果變差。

空氣壓縮機係將外界空氣吸入加以壓縮，使氣壓增大，借管子之連通，將高壓氣體送至光學防震桌，以提供其維持氣墊功能所需之氣壓。雷射係提供底片曝光之能量來源。

電腦用於設計和製版過程，設計時為獨立操作，製版時則能計算及下達各項控制指令 (透過控制箱)。

軟體是提供電腦設計、計算及控制使用之原動力，除了 Windows 基本應用軟體外，還有設計用軟體 (CorelDRAW、Photoshop 及 KPT 等) 和機台操作軟體 (Sparkle 應用軟體)。控制箱係接受電腦之指令，控制各相關零件之動作。

不斷電系統具有穩壓和不斷電的雙重功能，避免電壓不穩而使控制動作失誤，也可讓製圖工作不因停電而前功盡棄。數分鐘之停電可以完全沒影

響，停電達一定時間之後 (約五分鐘)，則會自動要求電腦將尚未完成事項存檔，再行斷電。恢復供電後，再一次開機時，可選用上述存檔繼續畫完上次未畫完之部份，避免須全部重畫之困擾。

AOM 電子快門是將可快速啟動和解除光繞射的 AOM 裝置，當成快門使用的良好應用，有別於一般機械式快門解析時間長 (ms) 和耐用性不夠 (連續不停地使用時只能撐約 200,000 次)，此電子式快門解析時間短 (μ s) 且耐用性十足 (連續不停地使用時能撐極多次)。

導光元件用於將雷射光正確地導入龍門架，以及將打在底片上的兩道反射光導光至適當位置處，供架設機台和隨時校正機台之用。

三、點矩陣式全像圖案製版機之各類效果

1. 動態效果和碎形圖案

由於不同的光柵角度和節距可以使得相同方向的入射光，繞射至不同方向，而如果不考慮使用時之照光方向和觀看視差 (影像面積不大時)，所有相同角度和節距之光柵點會有一樣的繞射表現，所以利用此特性，我們可讓整圖之光柵點依據角度和節距分成很多群組，則在照光或觀看角度漸漸改變時，會分批輪流變亮，此即動態效果之表現。

Sparkle 在表現圖案時，係以圖形完全互相對應之灰度圖檔和彩色圖檔為主，灰度圖檔 (圖 3) 控制圖案各點處之光柵方向 (以 256 等份表示半圓之角度)，彩色圖檔則控制圖案各點處之光柵節距。通常表現動態效果時有太多圖案解析點須指定灰度和顏色，在指定顏色方面，因為只須以單色色塊填充各局部區域，工作量不大；但是在指定灰度方面，因為要有動態效果，所以灰度須有明顯之變化，如果要一點一點地指定數值，不僅點數多得難以完成，錯誤的輸入值亦在所難免。因此套用 KPT 特殊效果資料庫軟體乃因應而生，它可以讓指定範圍內的局部區域中所有點的灰度值直接套用 KPT 軟體中之一項特效，也就是設計人員只要選擇欲套用特效之區域和選用特效型式即可，其他細節 KPT 軟體即會自動將它完成，既省時又省力。

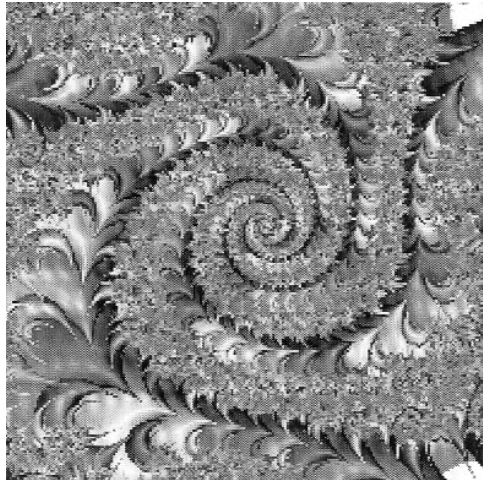


圖 3. 碎形圖案之灰度圖檔。

由於以上提到之動態效果設計太直接且太過系統化，以致於內行人只要觀看製作出之圖案的動態效果和顏色分佈，即可大約逆推算出原始設計概念，所以重新製版並不致於太困難，無法有效地防止有心人的仿製行為。為了因應此一逆推算行為，發展出一套極為複雜而難以逆推算之灰度變化圖案即變得非常重要。

如果只是要單純地製作出一幅難以逆推算之圖案並不困難，但是實用上卻須兼顧設計容易、外形美觀及影像易記憶等功能，否則以亂點方式設計灰度圖案最直接也最不易重製，但是其不夠美觀，最糟的是圖案難以記憶，兩張亂點圖案幾乎難以簡單區分，仍然無法防止仿製。兼顧以上各特性之最佳工具為碎形圖案，它係利用多重迭代複數類方程式的方式求數值，以各位置點處大過某標準值的速度來表示灰度值。雖然只是簡單多項式的迭代，由於選定多項式、常數項數值、標準值、選定之複數平面範圍皆會嚴重影響灰度圖形，因此動態圖案難以逆推算出原始設計。由於是多項式的迭代，所以相鄰點間之灰度變化皆為順序性的改變，只是改變的趨勢和速度變化萬千，所以圖形易留有印像，但其動態效果又夠複雜，至於原始設定則是非常簡單方便。圖 3 所示亦為碎形圖案之一例。實用上可在碎形圖案中再加入座標轉換動作，如此將可更加確保製圖之唯一性，以防碎形圖案萬一被人海戰術的試誤法 (try and error method) 僥倖地試出。

2. 超細字

由於 Sparkle 可以繪製出 800 dpi (約為 32 微米) 以上解析度之小光柵點，所以利用若干個此種小點可以組成細小之文字，而此等細小字小到無法用眼睛直接觀看到，而須借助於顯微鏡的幫忙。超細字外觀為一般全像效果，但通常利用 50 倍以上之顯微鏡可以將超細字看清楚。觀看點陣式全像圖案超細字和觀看高解析度印刷之超細字有極大的差異，一般之高解析度印刷只要對準被觀看物充分照光，不管照光方向為何，就能由顯微鏡看到特定顏色的影像，但是全像類超細字必須由正確方位 (圖案之彩虹變色方向) 和正確傾斜角度 (和圖案法線夾角) 照光，才能用顯微鏡觀看到，而且看到的影像顏色不會是特定，會和照光方位和傾斜角有關。圖 4 中顯示出以顯微鏡觀測到之 1000 dpi 光柵點所組成之超細字。

3. 真彩

利用和彩色電視機類似的原理，我們可以應用 Sparkle 製造出真彩全像圖案。利用每三點光柵點代表 1 圖案解析點，而此三光柵點分別要顯現出紅、綠、藍色，再配合控制各光柵點之繞射效率，各色光即能以各種不同的比例相混色，而得到足以代表眼睛所能辨識的各種顏色。Sparkle 將固定的一種光柵，區分成 256 種繞射效率，也就是可以用

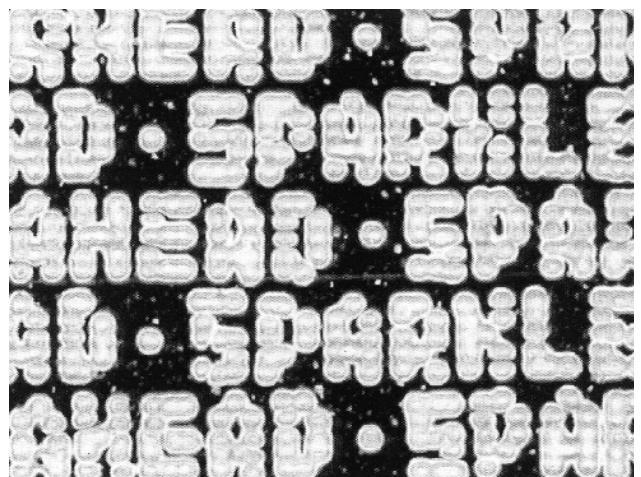


圖 4. 以顯微鏡觀測到之 1000 dpi 光柵點所組成之超細字。

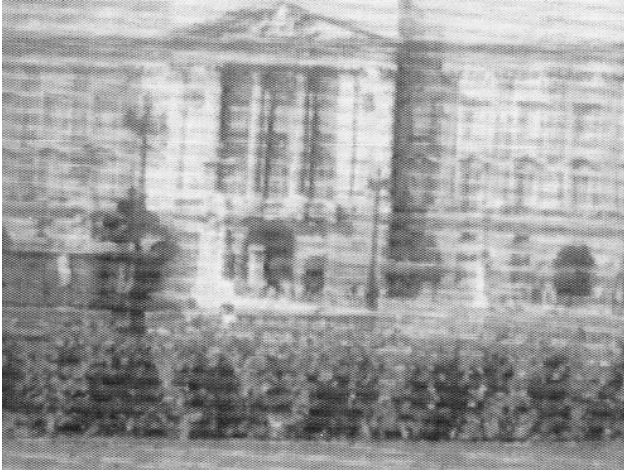


圖 5. 真彩全像片之一例。

256 種亮度表現同一種顏色，因此三色以不同比例混色可得到 $256 \times 256 \times 256 = 16,777,216$ 色。但是彩色電視機係以固定的三原色混色，只能表現在 C.I.E. 圖中三原色所包含之三角形範圍內的各種顏色，而全像片則能以色光頻譜中的任意三純色 (pure color) 做混色，所以事實上全像片不只能包含 16,777,216 色，還有許多連電視機也無法表現之顏色。理論上，全像片可包含 C.I.E. 圖中所有的顏色，但實際應用上，卻因照射光源的顏色並不是純色，所以難免會有混色現象，以致於能表現之區域稍小於 C.I.E. 圖。圖 5 中顯示出真彩全像片之一例。

4. 3D 立體

人們之所以能感覺外界立體物之景深，全靠兩眼所看到之二影像有視差而成，也就是兩眼看到了大約相同的影像，但是各影像之各組成點間的相對位置是不同時，經大腦做分析判斷，即能感覺出何者在前，何者在後了。例如在人前面有 A 物和 B 物，A 物比較靠近人，B 物比較遠離人，則在人的雙眼皆會看到 A 物和 B 物，但在兩視圖中，左視圖中 A 物較偏右且 B 物較偏左，右視圖中則 A 物較偏左且 B 物較偏右。圖 6 顯示不同景深處之三樣物體 (三角形位於最前面，圓形次之，方形則位於最後面) 形成不同視圖之一例。

真正的立體物是由雙眼可由任意角度看，且可

以看到各方位的立體影像，而拍攝式彩虹全像片雖然號稱可表現出真正的立體感，但事實上它只能由一維方向 (通常為水平方向) 看到任意方向的立體感，而另一維方向則無法表現立體感；點矩陣式全像則不僅是只能由一維方向看到立體感，而此方向上表現出的立體感亦只是少許數量的立體感，因為它是將全像片以多視圖的方式表現，讓各視圖只能在預先設定的角度被觀看到，而相鄰或相間隔的兩視圖分別被雙眼看到時，大腦就能感知立體感，但是因為視圖數量不會太多，所以能感知的立體感亦極為有限。通常能表現 N 張視圖的全像片最多只能被感知 $N-1$ 種立體感，所以點矩陣式全像片表現出的立體感是極為受限的。事實上，表現 3D 圖案是傳統拍攝式全像片的專長，表現動態效果則是點矩陣式全像片的專長。所以用點矩陣式全像片來表現 3D 立體效果只能做到差強人意的成果，無法出類拔萃，就像以傳統拍攝式全像片表現動態效果，同樣會有施展不開的遺憾。

表現立體感的方法通常分為二類，3D 和 2D/3D。3D 是用於表現具有各種景深之曲面物體，而 2D/3D 係用於表現數層 2D 平面影像因前後位置不同而造成 3D 景深的感覺。點矩陣全像片之 3D 影像設計有二，一是利用 3D 影像設計軟體在電腦中做 3D 虛擬模型的设计，再分別截取適當方向之視圖，另一種方式係利用相機直接拍攝真正立體模型或實景之各適當視圖供使用。使用普通相機

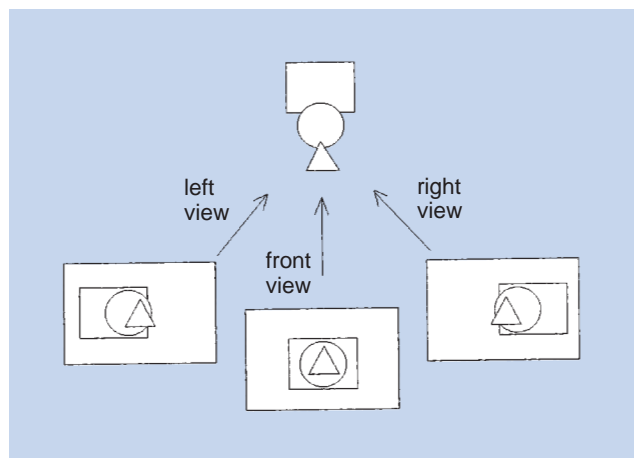


圖 6. 不同視圖之差異。

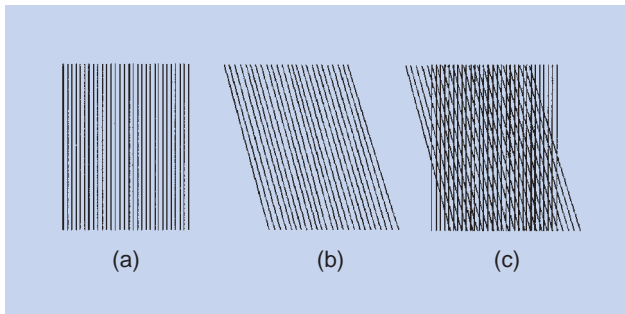


圖 7. 疊紋原理。(a) 第一層圖案，(b) 第二層圖案，(c) 產生疊紋圖案。

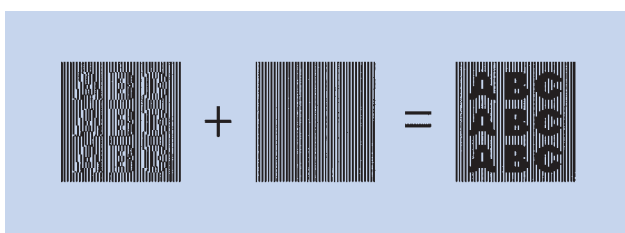


圖 8. 未加偽裝圖案之隱藏疊紋圖案和其疊紋圖案判讀示意圖。

取像時，因為須沖洗照片和掃描照片進電腦，極不方便，改用數位相機取像則因為可將影像資料直接傳送給電腦，既省時省力又方便，通常須使用百萬像素之數位像機以符合全像影像之解析度需要。至於 2D/3D 圖案的設計則簡單許多，只要將各平面圖案分別輸入電腦或在電腦中設計好，再以全像片平面上之圖案為基準（它在左右視圖中為同位置），依據各平面圖案欲設計成比此圖案深入或浮出之深度感，將各圖案在左右視圖中分別把整個平面圖案平移若干距離即可。實用上，結合 2D/3D 和 3D 效果有其方便性，即以 2D/3D 效果表現背景裝飾圖案，而以 3D 效果表現前景主題圖案，將可使圖案的設計更能海闊天空，或是方便地選用資料庫中之各種背景圖案。

5. 疊紋

疊紋原理係將兩層相同或不同周期分佈之圖案疊在一起，上層者為透明和不透明區域相間隔，稱為判讀片，下層者為亮區和暗區相間隔，稱為被判讀圖案，疊加之後顯現出的第三種圖案就是疊紋圖

案（圖 7）。

在一張全像片中，其疊紋圖案隱藏區域可細分為疊紋圖案本體區和疊紋圖案背景區，二區域在蓋上正確的判讀片時，會顯現出不同的亮度，所以眼睛能區別出疊紋圖案本體區和疊紋圖案背景區，進而看出疊紋圖案。

雖然上層之判讀片和下層之被判讀圖案可以為任意的重複性變化圖案，但為了使用時之方便，上方圖案常採用周期性二元性 (binary) 變化之平行直線族 (line family)，即透明和不透明直線周期性相互交織 (interlacing)。而為了設計上的方便，下層圖案也採用和上層相同周期之二元性變化之平行直線族，但其疊紋圖案本體區和疊紋圖案背景區間存在有錯位量 (錯位方向和直線成垂直)，而此錯位量不能等於平行直線之交織周期。通常判讀片圖案和被判讀圖案均分別採用上述之兩類周期性變化圖案，而被判讀圖案則係以周期性直線交織圖案為基本架構再經特殊處理而成。判讀片上直線之交織周期和被判讀圖案上直線之交織周期相等時，才能成功地配對而完成疊紋圖案之判讀，所以不同解析度之疊紋圖案全像片皆有其個別適用的判讀片，判讀片間並無互換性。

一般之拍攝式全像片因其係利用 3600 dpi 之定位準度製作拍攝用圖案原稿，而其圖案解析點大小又常大於 400 dpi 的點，所以用錯位方式來隱藏疊紋圖案，而沒有判讀片輔助時，並無法直接看出疊紋圖案 (因錯位量遠小於圖案解析點尺寸)；但是當使用點矩陣式全像片時，因疊紋圖案本體區和疊紋圖案背景區間的錯位量等於數倍光柵點尺寸，疊紋圖案會很容易被眼睛直接看出 (圖 8)，所以單純地導入錯位量並不實用，而須加入輔助作法。輔助方法係在經錯位處理後的圖案中將部份亮點轉換成暗點和將部份暗點轉換成亮點，而這些暗點和亮點可以是隨機分佈，也可以是刻意設計，只要其分佈不致於干擾疊紋圖案之正確判讀即可 (圖 9)。

6. 暗碼

點矩陣式全像片之隱藏暗碼圖案技術係利用不同光柵角度和不同光柵節距之光柵點可將同方向入射光繞射至不同方向現象，加以精心設計，準確地

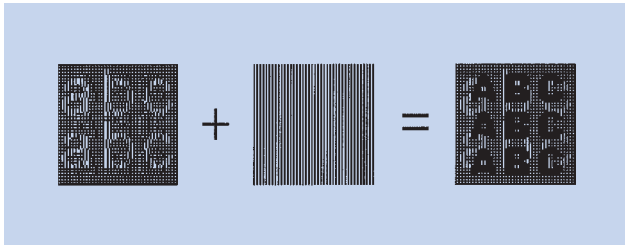


圖 9. 加上偽裝圖案之隱藏疊紋圖案和其疊紋圖案判讀示意圖。

控制各光柵點，將特定條件入射的光繞射至特定位置，產生刻意設計之暗碼圖案。此種暗碼平時只能看到動作整齊畫一的矩陣式動態效果影像，需要利用判讀機才能看到暗碼，所以此類全像片稱為機器判讀式暗碼全像片 (machine-readable hidden image hologram)。判讀方式可以是人眼判讀，也可以是完全由機器自動判讀。

設計首先須計算或設計而決定出暗碼圖案需由多少個亮成分點組成，此時亮成分點的個數即是組成基本光柵點區塊的光柵點數目，而不同的光柵點須將雷射光繞射至暗碼圖案之不同亮成分點處；光柵點區塊以方形構圖最為方便，而且通常方形之長和寬相差不要太大；如果基本光柵點區塊中之光柵點無法完全填滿方形區塊，可以留空不填。其實基本光柵點區塊即已具備繞射出完整暗碼圖案之能力，但是因為其面積太小且重建出之圖案不夠亮，所以必須把此圖案利用二維周期性複製方式填滿整個暗碼圖案隱藏區域。圖 10 所示為基本光柵點區塊重建出暗碼圖案之示意圖。

基本光柵點區塊決定後，以二維周期性複製的方式填滿整個暗碼圖案隱藏區域，此暗碼圖案隱藏區域即具有繞射出暗碼圖案的功能。當聚焦性的雷射光由全像片正面以適當條件入射在暗碼圖案隱藏區域上時，不同的光柵點會將雷射光繞射至背面後方 (對穿透式全像片而言) 或正面前方 (對反射式全像片而言) 適當的位置處成像，且因暗碼圖案的所有亮成分點皆有光柵點和其對應，所以暗碼圖案即被重建出來。以眼睛直接觀看繞射出的暗碼圖案並不容易，除了眼睛須朝繞射光前進方向逆看回去，會因看到的影像太亮而不舒服外，同時因眼睛無法一次看到組成暗碼圖案的所有繞射光，不能一眼看

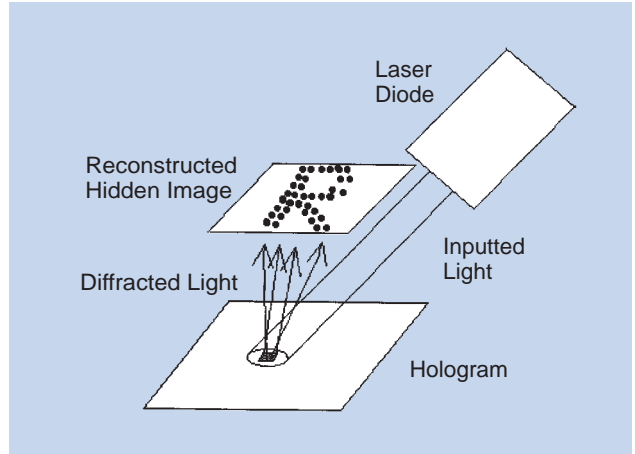


圖 10. 雷射光經基本光柵點區塊繞射而重建出暗碼圖案示意圖。

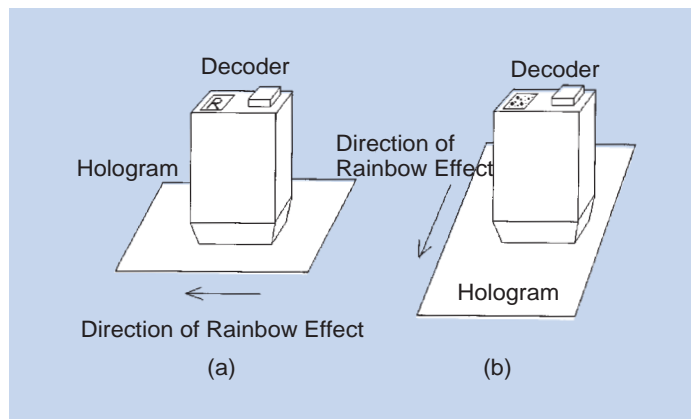


圖 11. 以判讀機判讀暗碼圖案之示意圖。(a) 正確使用；(b) 錯誤使用。

到完整的暗碼圖案。因此實用上必須用毛玻璃或白紙放在暗碼圖案成像處，讓暗碼圖案投射在其表面而成像，並且此影像具有散射光特性，眼睛即可很容易地從許多方向看清楚圖案。圖 11 所示為以判讀機判讀暗碼圖案之示意圖。圖 12 所示為被重建出之暗碼圖案一例。

暗碼圖案也可以是具有亮度變化分佈之圖案，因為只要分別控制其各個對應光柵點之繞射效率即可。各光柵點區塊內之光柵點的排列可以在同一區塊內任意調換位置，只要光柵點區塊之尺寸大幅度小於暗碼圖案之各成分點間之位置差異量即可，因為此時同一光柵點區塊中各光柵點中最大的位置差

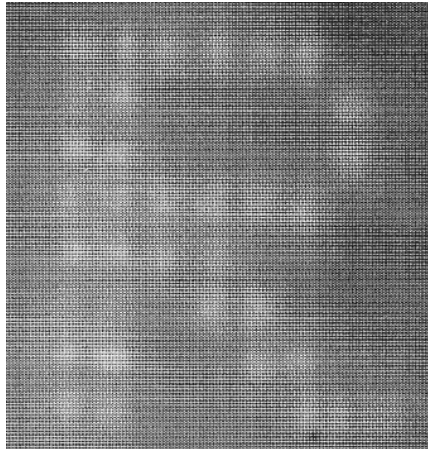


圖 12. 被重建出之暗碼圖案。

異量仍遠小於暗碼圖案兩相鄰成分點之位置差異量，所以光柵點位置之調換對於暗碼圖案之重建外觀，不會有明顯的影響。

基本光柵點區塊可以周期性複製成為大面積之暗碼圖案隱藏區域，必要時也可切割出特殊形狀供使用。雖然重複的圖樣只能將平行性入射光繞射成和照射在暗碼圖案隱藏區域上照光區域等大的光束，但當入射光具有聚焦性時，繞射光可在某段距離處聚成小點，且此點不會因暗碼圖案隱藏區域被照射位置之不同而有明顯平移。

由於雷射光典型照光區域之尺寸為數 mm，所以為了暗碼圖案各組成點被重建的亮度不會因照光位置改變而有明顯改變，同時照光區域最好能包含多一些完整的光柵點區塊，也就是完整照光之光柵點區塊數目應遠多於不完整照光之光柵點區塊數目，以免照光區域中未被完整照射到的光柵點區塊對暗碼圖案之亮成分點的亮度有太大的影響，實用上讓光柵點區塊之長和寬不大於 0.5 mm 時會有比較好的效果。

7. 散射式圖案

點矩陣式全像片之觀看角度須配合照光條件才能看到光柵點發亮是其主要缺點。有時候製作各種照光角度且從各方向皆能看到之點有其使用必要性，此時光柵點便必須由散射點 (scattering dot) 取代，散射點因本身同時包含許多種角度和節距之光柵而表現出白色外貌，但是卻是可以達到任意方向

觀看之要求。利用 Sparkle 原有之製版技術，將其功能加以擴充，即能使機器同時具有繪製光柵點和散射點的功能，進而製作出具有散射式圖案的點矩陣式全像片。圖 13 所示為具有散射式圖案之點矩陣式全像片示意圖。

製作同時包含各種角度和節距的光柵之最直接方法係使用毛玻璃，當雷射光行經毛玻璃時，毛玻璃會將規則的光線雜亂折射至如同散射現象，可以讓一個曝光點同時記錄著非常多種光柵，以致於曝光點具有將照射在其上的燈光產生散射的能力，所以稱它為散射點。點矩陣式全像圖案製版機係將打在感光底片上之兩道光遮住其中一道，而且在底片上蓋上一片毛玻璃 (粗糙面接觸底片感光面)，再以剩下之一道光對底片逐點曝光即可得到散射式圖案。圖 14 中之白色線條即為散射式圖案之一例。

毛玻璃有表面式 (只有其粗糙表面會使光散射) 和體積式 (有一層具厚度之散射層，散射層上各深度和各位置處皆能使光散射)，此處則只可使用表面式毛玻璃，且其表面凹凸不宜太深，否則粗糙面上會有局部區域未能非常靠近全像底片，造成小光束經毛玻璃後形成之雜亂折射光會在底片上投射出太大的散射點，而不是理想中只比相同雷射光束繪製之光柵點稍大之散射點。散射點雖然和光柵點同樣是矩陣式排列，但二者之周期不限定要相同，其相對位置亦不受限制。雖然散射點和光柵點分別以矩陣式排列構成散射式圖案和全像效果圖案，但是

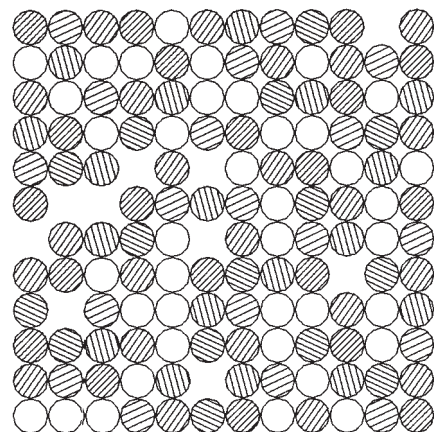


圖 13. 具散射式圖案之點矩陣式全像片，具有平行線條之點為光柵點，單純圓圈之點為散射點。

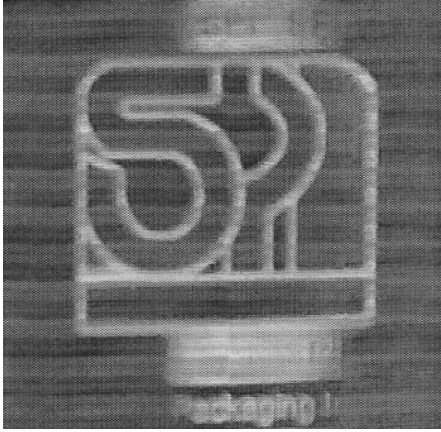


圖 14. 具散射式圖案之點矩陣式全像片，其中白色線條區域即是散射式圖案區域。

其部份位置處可以留空，不一定需要完全填滿。光柵點構成之圖案以顯微鏡觀看時，通常可以清楚地分辨出各點位置，但是散射點構成之圖案則因為各散射點間可能會緊密接合，而不一定能夠清楚地分辨出各點位置。

在繪製散射式圖案時因有毛玻璃蓋在底片上，底片之厚度會造成聚焦誤差（散射點和光柵點之大小會有差異）和雷射光投射出之光點位置會有平移（shifting），致兩道光照射之區域會有錯位現象（重疊面積變小），所以只能使用單道光。使用越薄之毛玻璃越能減少聚焦誤差和光點平移量，而光點位置平移量因為是定值，可以精確地被補償，所以散射點之定位準度很高。

由於散射式圖案係由散射點逐點組合而成，而散射點則因其照射光可調整其聚光程度而能成為細小點，故其能表現出具細微特徵之圖案，當然它也能表現亮度一致的大面積圖案，而藉著分別控制個別散射點的曝光量（exposure energy），也能表現出具有亮度分佈的散射式圖案。

由於製作散射點時只使用一道光，再加上毛玻璃會反射掉少部份光，且雜亂光柵比較不會有明顯

過度曝光現象，所以此時單點散射點之曝光時間約須為平常繪製光柵點時之曝光時間的 3 至 4 倍。由於散射點曝光時對於振動較不敏感，繪製過程可以省掉等待時間（平移台移動就定位後至開始曝光前之時間），而且因為打點過程中不必旋轉光學頭，所以雖然曝光時間增為數倍，打點速度依然快許多（因為等待時間通常大於 10 倍曝光時間）。

8. 光柵點形狀

由於光柵點是由兩道雷射光干涉曝光而得，所以雷射光束的形狀直接影響光柵點之形狀。一般未經處理過之雷射光束為圓形，所以一般之光柵點形狀也是圓形，但是如果讓兩道雷射光皆經過相同形狀之光罩，且亮區在底片上仍能重疊，則可得到特殊形狀之光柵點。本技術之要領在於避免明顯之雷射光束繞射現象之產生，所以實用之特殊形狀也只能是簡單之多邊形等較不易引起繞射現象之形狀。

四、結論

點矩陣式全像圖案製版機由於功能強大，非常適於防偽方面之應用；其自動化程度高，美工設計人員即可完成製版工作，可省卻雇用有經驗之熟手在暗房內長時間工作之困擾；而光柵式影像之高亮度和動態顯示更使得點矩陣式全像圖案製版機可以應用至各種全像應用領域。基於使用方便、功能強大、自動化程度高和成品亮度高等理由，點矩陣式全像圖案製版機大量取代傳統拍攝式全像術遂成為無法阻擋之趨勢。

參考文獻

1. *User Manual of Sparkle Machine*, 華錦光電科技股份有限公司 (2001).
2. <http://www.ahead.com.tw> (2001).