

## 第二章 文獻探討

### 2.1 全像術的起源與發展

全像術的概念最早起源於 1948 年由匈牙利籍英國科學家 Dennis Gabor 所提出之波前重建術 (Wavefront Reconstruction) [4][12][17]，運用光波記錄物光相位 (Phase) 與振幅 (Amplitude) 的方法，有效的提升了電子顯微鏡的分辨率，解決了早期因電子透鏡相差較光學透鏡相差大而分辨率不佳的問題，也開拓了全像光學 (Holography Optics) 的領域。

全像術 (holography) 有別於一般的照相術 (photography)，主要差別為照相術是依照幾何光學的成像原理，只將影像二維的光強度 (振幅) 分布資訊記錄在底片上，由於並未記錄光波的相位，因而無法重建三維的影像資訊；而全像術是利用干涉 (interference) 原理，將物光與參考光的干涉條紋 (相位及振幅資訊) 記錄於感光材料上，因此在特定條件下，便可利用參考光重建原先所記錄的二維或三維影像。

早期的全像光學，主要是以水銀燈記錄同軸 (in-line) 干涉條紋的方式來製作全像片，如圖 2-1(a)所示，但由於受到共軛虛像及零階光源 (直流光) 重疊 (twin image) 的影響，再加上沒有好的同調性光源，使得重建後的影像十分不理想。直到 1960 年好的同調光源—雷射光發明後[17]，全像光學才逐漸活躍起來。

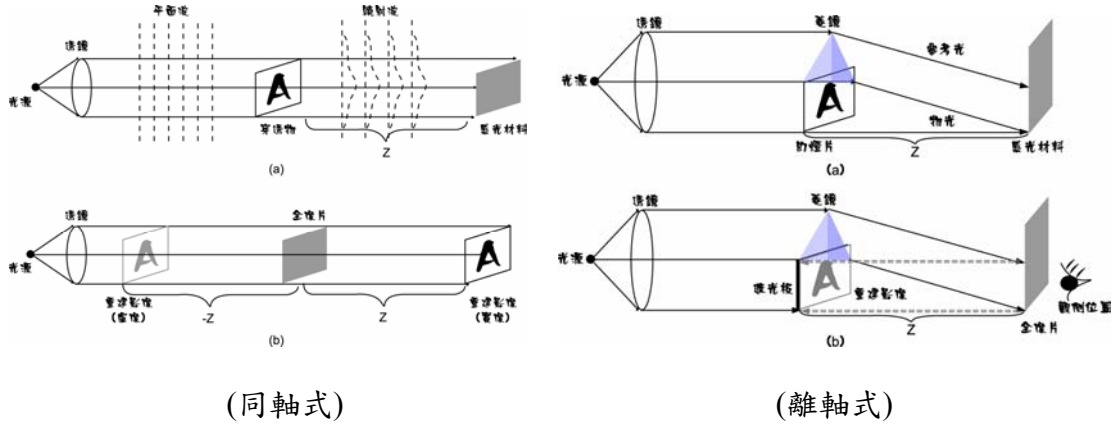


圖 2-1 同軸式及離軸式全像片光路示意圖 (a)記錄 (b)重建

1962 年，隨著 Leith 和 Upatnieks 提出以離軸式 (off-axis) 的拍攝架構取代傳統同軸式光學架構[8]，如圖 2-1(b)所示，重疊影像的問題才獲得改善，亦奠定了日後全像拍攝架構的基礎。同年，Denisyuk 提出了將物光與參考光由感光材料不同側入射的架構[28]，又使得全像拍攝架構更進一步，利用此架構所拍攝之全像片，稱為反射式全像片。因為其利用感光材料折射率的改變來記錄干涉的資訊，對於重建光波長及入射角度都有較高的選擇性，因此可利用白光來重建全像影像，也使得整個全像的發展漸趨完整。圖 2-2(a)、(b)分別為穿透式及反射式的全像光路示意圖

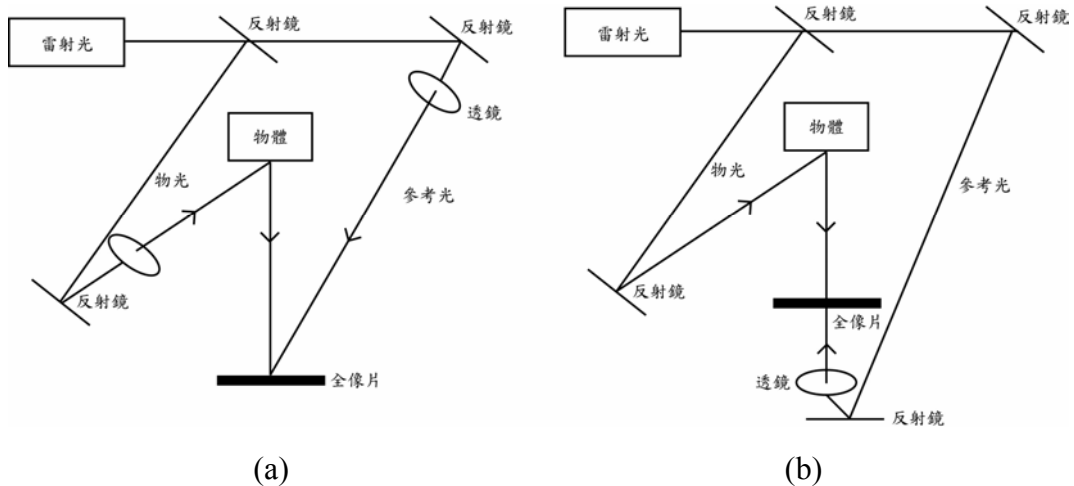


圖 2-2 穿透式及反射式全像光路示意圖(a)穿透式 (b)反射式[1]

現今全像片的種類很多，依拍攝方式及光路的不同可大致區分為同軸式全像片（In-line Hologram）、離軸式全像片（Off-axis Hologram）、體反射式全像片（Volume-Reflection Hologram）、彩虹全像片（Rainbow Hologram）及壓印式全像片（Hologram Embossing）等[18]；而鹵化銀（silver-halide）、光阻（photo resist）、光阻聚合物（photopolymer）及重鉻酸明膠（dichromated gelatin）等都是常見用來記錄全像的感光材料（母版）[1]。

## 2.2 點矩陣全像技術

點矩陣全像屬於表面全像 (Surface relief hologram) 的一種，最早是由 Frank S. Davis 於 1986 年所提出，基本原理是透過分光鏡將雷射光分為兩道光束後，再藉由光路設計以特殊角度相交於感光材料上，形成以點為單位的干涉圖形，然而由於干涉點是由近千條光柵所構成，因此可藉由調整雷射光相交的角度及方位，來控制光柵點的間距大小及排列方向，產生不同光影效果之全像圖[9]。再加上其是利用光阻或金屬表面凹凸紋理來產生光柵繞射的效果，因此可以透過壓印的方式進行複製，適合大量生產。

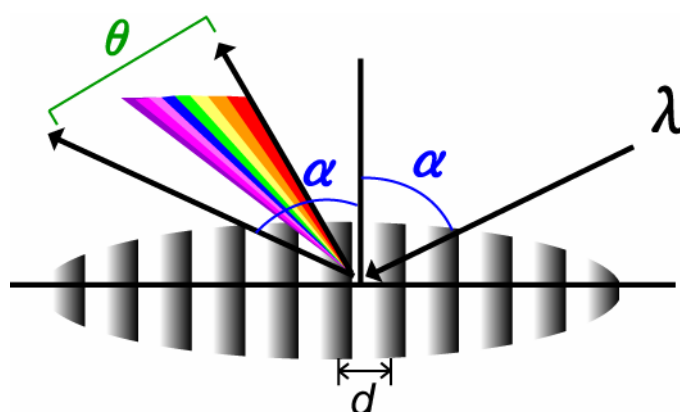


圖 2-3 全像片光柵結構示意圖

圖 2-3 為入射光  $\lambda$  經由全像片光柵結構後產生繞射的示意圖，其入射光角度為  $\alpha$ ，繞射光角度為  $\theta$ ，而光柵間距為  $d$  (約  $1\mu\text{m}$ )，因此我們可以根據方程式 2-1，找出其間所對應之關係，其中  $n$  為繞射光產生之階數(整數)。

$$d \cdot \sin \theta = n\lambda \dots\dots\dots(2-1) [9]$$

由方程式(2-1)我們可以發現當間距( $d$ )固定時，不同的入射光波長( $\lambda$ )會對應到不同的繞射角度( $\theta$ )，兩者成正比關係[31]，因此可以產生如彩虹般的全像圖案。

綜合以上所述，點矩陣全像片的設計原理主要是藉由控制光柵點尺寸(spot size)、光柵間距(grating pitch)和光柵角度(grating angle)來完成，而本研究主要是使用由國內廠商所設計之 Sparkle 點矩陣全像製版機來進行全像片的輸出，其功能分別說明如下[34]：

#### 1. 光柵點尺寸(spot size)：

由圖 2-4 (a) spot stage 中的一組凹凸透鏡來控制，可以藉著調整兩透鏡間的位置來影響兩道雷射光匯集的角度，使得曝光顯影後的光柵點尺寸改變，兩透鏡的間隔越大，則所形成的光柵點尺寸越小。

#### 2. 光柵角度(grating angle)：

由於不同的光柵角度會影響全像片的繞射角度，進而影響到全像片的觀看角度，主要是藉由旋轉光學頭(optical head)的方向來控制，如圖 2-4(b)所示。

#### 3. 光柵間距(grating pitch)：

用來控制全像片的顏色變化，主要利用圖 2-4(c)中兩菱鏡的升降來調整兩道雷射光所夾之角度，其所夾的角度越大，光柵的間距就越小。

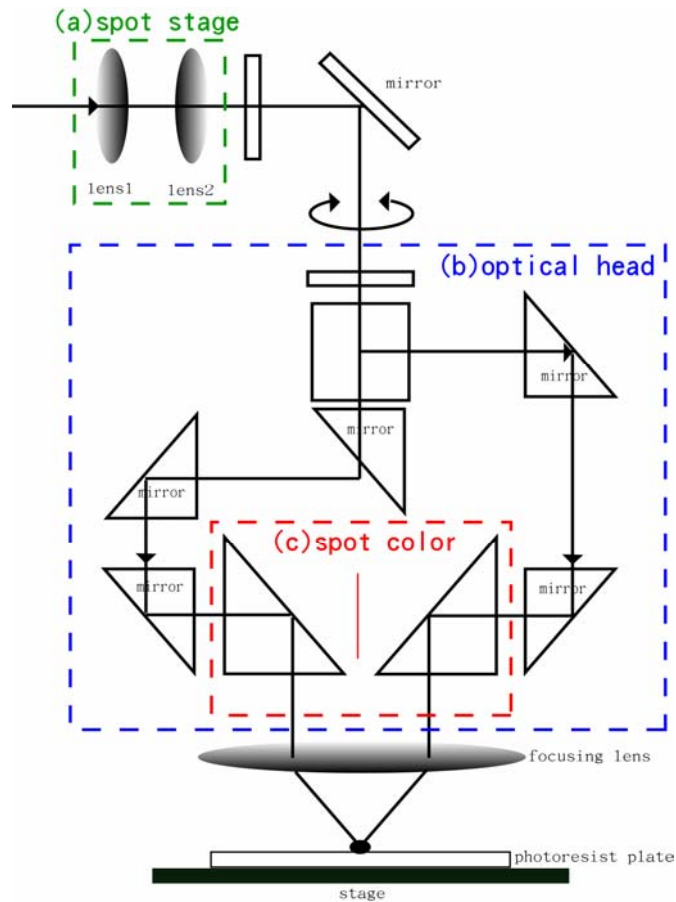


圖 2-4 Sparkle 全像製版機架構圖[34]

點矩陣全像片的設計上，主要透過彩色檔及灰階檔來對其色彩及角度的參數進行控制。彩色檔部分，sparkle 系統定義為使用紅(red)、綠(green)、藍(blue)、青(cyan)、洋紅(magenta)、黃(yellow)、黑(black)等七種純色來表現色彩，其中黑色則代表不顯示顏色；而角度部份主要是藉由灰階值 0~255 來表現相當於正負 90 度之光柵角度，進而影響人眼所觀看的角度。其對應關係如方程式(2-2 及圖 2-5 所示：

$$\text{光柵角度} = (\text{灰階值} / 255) \times 180 - 90 \text{ (單位：度)} \dots\dots\dots (2-2)$$

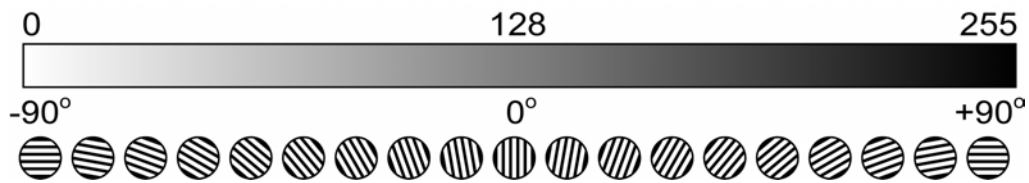


圖 2-5 灰階值與光柵角度對照圖

因此我們可以透過參數檔案的設計來進行全像片的製作，而經由雷射曝光的光阻經顯影後，可形成與印刷網點結構相似的光柵點，如圖 2-6(a)所示，但實際上每個光柵點是由不同的間距和方向的干涉條紋所構成如圖 2-6(b)，而藉由這些微小光柵點的適當排列可以產生縮放、流動、變圖、景深、立體等各種不同光影變化效果的影像。

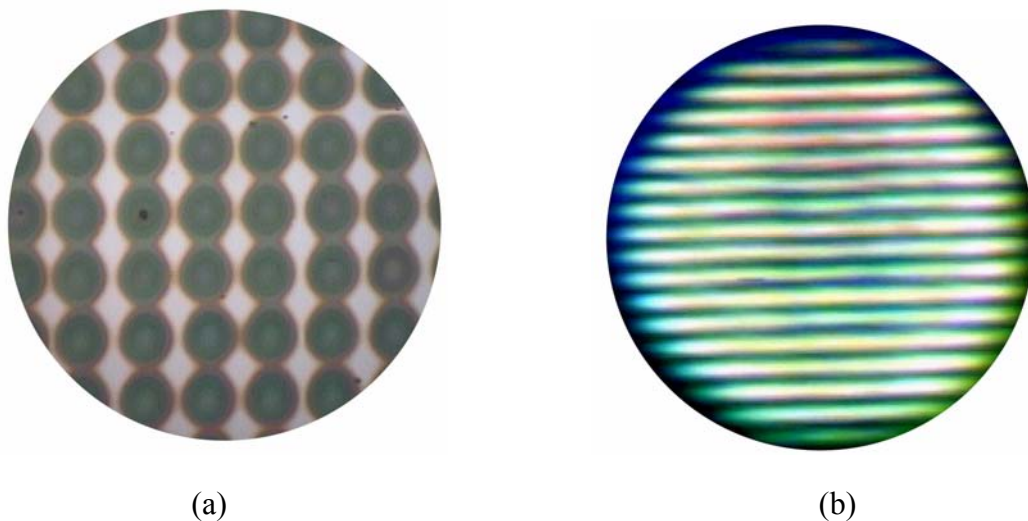


圖 2-6 (a) 光柵點結構(400 dpi)；(b)光柵點在光學顯微鏡下的走向(100 倍)

(華錦光電提供)

點矩陣全像片的製作需經由設計、打版、電鑄、滾壓、背膠、裁切等過程，將其整理如圖 2-7。

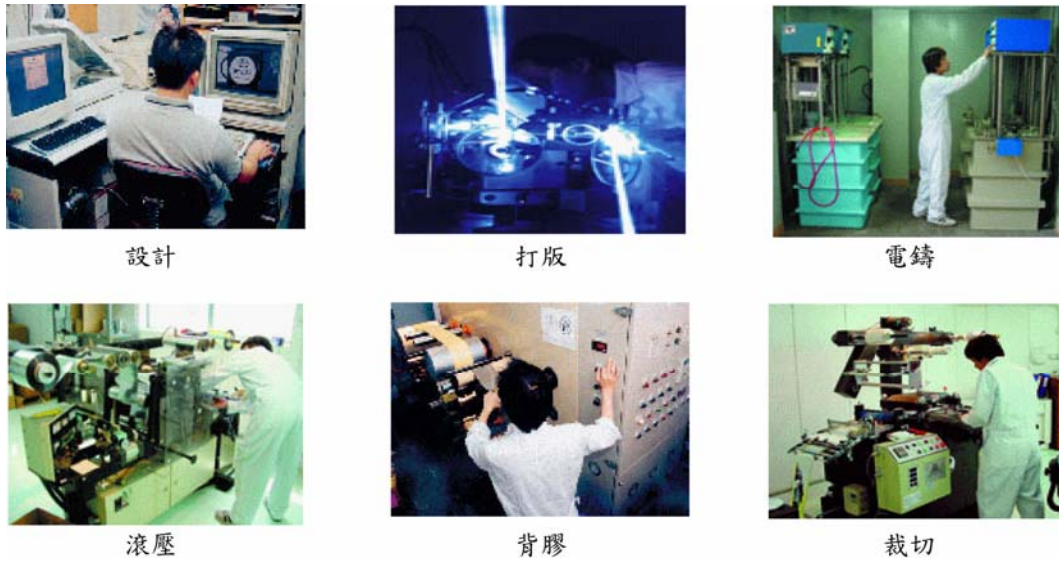


圖 2-7 全像製作過程 (華錦光電提供)

圖 2-8(a)為母版經電鑄後形成的印版(鍍版)，圖 2-8 (b)則是經滾壓裁切後之金屬薄膜與防偽標籤。點矩陣全像目前除了廣泛的應用於包裝印刷上外，近年來隨著光學可變裝置 (Optical Variable Device, OVD) 的發展，也與傳統印刷結合，應用於有價證券上。



圖 2-8 (a)全像印版 (工作版) (b)經滾壓後的全像片

另外，圖 2-9 為 CIE 1931 色度圖所定義之各種不同輸出設備色域範圍之比較，可以發現點矩陣全像片的方式輸出所能表現的色域範圍較傳統印刷和列印所能表現的色域範圍大[2]，再加上其製作門檻和成本較高，因此經由適當設計可

達到防偽之功能。

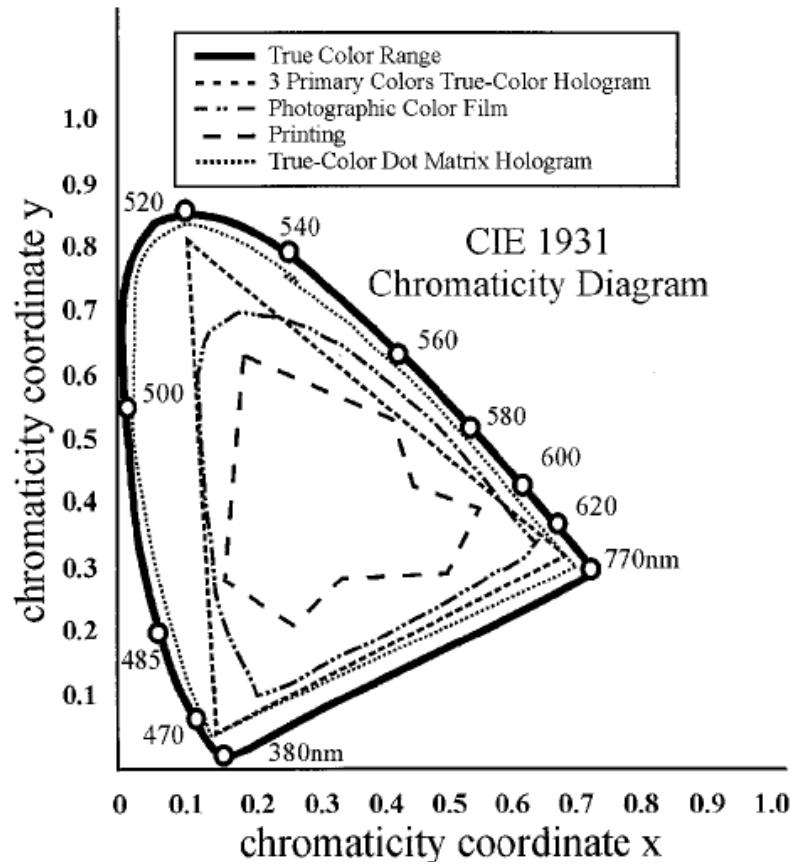


圖 2-9 點矩陣全像色域範圍之比較—CIE 1931 x-y 色度圖[2]

## 2.3 數位半色調過網技術

受限於印表機或印刷機等輸出設備只能控制噴墨點的有無，因此影像必須先經過半色調的過網程序將其轉換成兩階影像，利用網點排列大小及疏密的不同的表現階調。再藉由人眼視覺系統具有低頻濾波器的特性，在一定距離觀看半色調影像時，視覺會產生錯覺而對影像墨點有積分的效果，因此透過半色調的機制可以成功地模擬連續調影像。

傳統的印刷流程中，影像的輸出仍以人工為主，因此傳統半色調技術是利用網屏照相的方式對影像進行過網；然而隨著電腦直接製版(CTP)及數位印刷流程的成熟，現今大多利用數位半色調演算法將連續調影像透過電腦轉譯成半色調影像。數位半色調過網技術的種類很多，每種方法亦有其優缺點[16]，本節將對其原理及發展作一簡單介紹。

### 2.3.1 定階量化法 (Fixed-level Quantization)

定階量化法是最簡單的半色調技術，其概念為將一連續調影像  $G$  中的每一點像素 (pixel) 經由一個臨界值矩陣量化成兩階的半色調影像  $H$ ，只要大於臨界值，其像素值為 1，反之為 0。

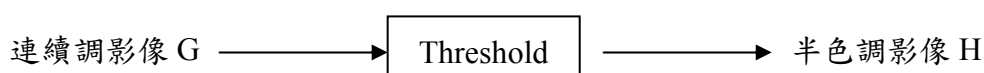


圖 2-10 定階量化法流程圖

其演算法可以透過方程式(2-3)來表示，而圖 2-11 為 Lena 經過臨界值為 0.5 所量化的結果。

$$H(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } G(x, y) > \text{threshold} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (2-3)$$

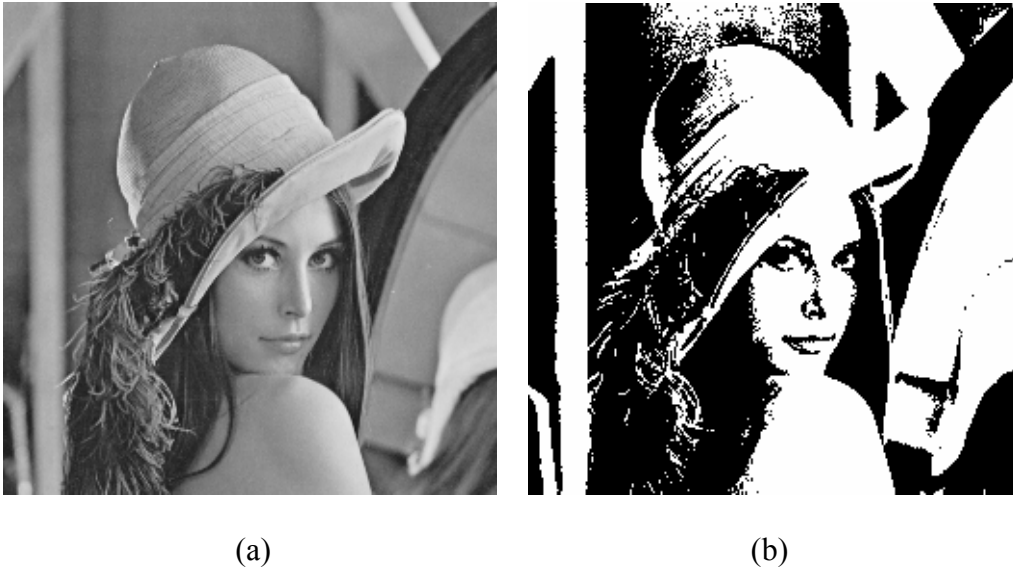


圖 2-11 定階量化法 (a)連續調影像 (b)半色調影像

定階量化法非常快速可將影像轉為半色調，但在影像中平滑階調部份會因為量化而使得誤差累積，造成高反差，因此幾乎無法表現影像層次。為了改善此一問題，爾後有學者提出以增加隨機雜訊的方式來對影像作調變，藉此降低影像的高相關性，以降低反差。流程如圖 2-12 所示，而圖 2-13 為 Lena 影像經此方法量化之結果。

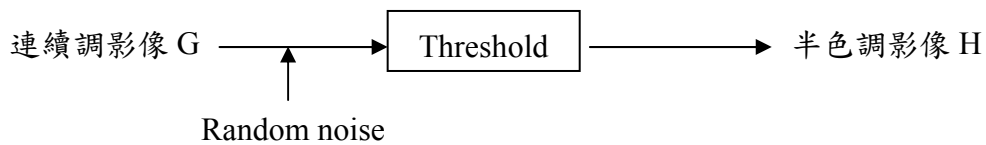


圖 2-12 影像加入隨機雜訊之定階量化法



圖 2-13 影像加入隨機雜訊量化後的結果

雖然影像在添加雜訊並經過量化後能減少高反差的情形，但卻會因為外加的隨機雜訊而使得影像出現顆粒狀，增加與原稿間的誤差。

### 2.3.2 點陣調色法 (Order Dithering)

點陣調色法的概念是將影像劃分成不重疊的連續區塊，再利用所設計之含不同階權重係數的臨界值矩陣，對區塊影像進行半色調處理，其依臨界值矩陣權重設計的方式不同可分為叢聚式(Clustered dithering)及分散式(dispersed dithering)兩種。

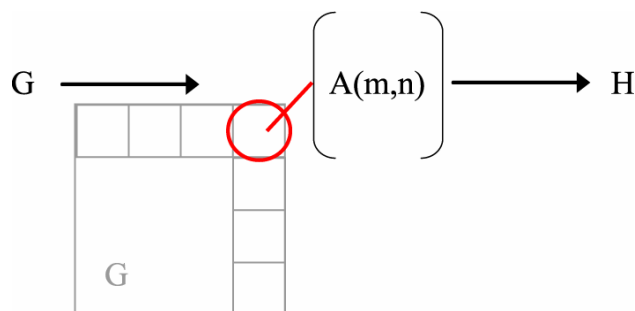


圖 2-14 點陣調色法流程圖

叢聚式的點陣調色法中，臨界值矩陣階權重的設計是由中間向外擴展，如圖 2-15 (a)所示，此種方式對於固定階調的影像表現效果較佳，缺點為所產生之半色調影像會造成部分空間解析度的喪失[13]；分散式主要針對影像高頻部份做設計，對影像邊界能保留較多的資訊，可產生較佳之影像品質，但是因為像點為獨立產生，因此較容易有網點擴大 (Dot Gain) 的情形，其臨界值矩陣如圖 2-15 (b)所示，藉由此兩種方式輸出之半色調影像如圖 2-16。

61	53	41	33	37	52	60	64
57	45	25	13	17	32	48	56
49	29	21	5	9	24	28	44
39	19	11	1	3	8	16	36
35	15	7	4	2	12	20	40
43	27	23	10	6	22	30	50
55	47	31	18	14	26	46	58
63	59	51	38	34	42	54	62

(a)

1	17	5	21	2	18	6	22
25	9	29	13	26	10	30	14
7	23	3	19	8	24	4	20
31	15	27	11	32	16	28	12
2	18	6	22	1	17	5	21
26	10	30	14	25	9	29	13
8	24	4	20	7	23	3	19
32	16	28	12	31	15	27	11

(b)

圖 2-15 點陣調色法之臨界值矩陣 (a)叢聚式 (b)分散式



(a)



(b)

圖 2-16 經點陣調色法輸出之半色調影像 (a)叢集式 (b)分散式

### 2.3.3 誤差擴散法 (Error Diffusion)

點陣調色法在運算時，是以區塊量化的方式進行半色調處理，此種方式會使得影像邊緣特徵不易保留，而失去銳利的影像。為了改善此一問題，1976 年 Floyd 和 Steinberg 提出了誤差擴散的方法[20]，以點為單位，將量化時與原影像所產生之誤差，平均擴散至鄰近像素，並企圖將階調的分布局部化，以保留連續調影像細部的資訊[14]。

根據以上所述，誤差擴散法的實施流程如圖 2-17 所示，原連續調影像  $G$  經過臨界值矩陣  $T$  進行量化後，可得到半色調影像  $H$  及誤差矩陣  $E$ ，將誤差矩陣  $E$  經過誤差濾鏡  $F$  加權運算後，將誤差擴散至後方鄰近像素，並計算其誤差值  $G^e$ ，以此類推，直到整張影像運算完畢。圖 2-18 為 Floyd-Steinberg 的誤差擴散濾鏡，而圖 2-19 為經誤差擴散法輸出之半色調影像。

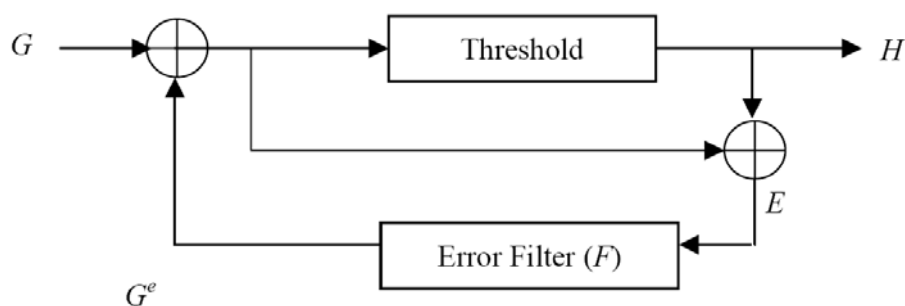


圖 2-17 誤差擴散法流程圖

Floyd 和 Steinberg 所提出之誤差擴散法，其量化的順序是固定的由左到右、由上到下，如此誤差會沿著影像後方像素擴散堆積，使得半色調影像出現具方向性的紋理，為了改善此一問題，陸續有學者提出新的方法，其中最直接的方式就是改變量化時的路徑，學者 Ulichney[20]便提出由左到右、再由右到左蛇行般的過網順序以獲得較佳的影像品質。

	$(x, y)$	7/16
3/16	5/16	1/16

圖 2-18 Floyd-Steinberg 誤差擴散濾鏡



圖 2-19 經誤差擴散法輸出之半色調影像

綜合以上所述，我們可以發現不同的半色調演算法皆有其優缺點，整理歸納如表 2-1。

表 2-1 不同半色調演算法之比較[13]

種類	定階量化法	添加雜訊法	點陣調色法		誤差擴散法
			叢聚式	分散式	
速度	較快	較快	較快	較快	較慢
品質	非常差	差	差	尚佳	佳
影像表現	階調完全喪失	嚴重顆粒狀	週期性的紋路		斑蟲紋路

## 2.4 半色調影像結合數位浮水印技術

隨著資訊科技的快速發展，文件複製門檻漸漸降低，使得資料安全和版權保護變的更加重要，因此如何將數位浮水印技術應用在半色調影像上，是近年來一項重要的研究議題。數位浮水印技術可大致上分成空間域及頻率域嵌入浮水印兩類。[32]

空間域浮水印嵌入主要是在影像位元的特性上作調整，再將浮水印隱藏至位元中，而其中最簡單及快速的方法為最低位元嵌入法 (Least Significant bit, LSB)，僅針對影像像素值的最後一個位元進行資料隱藏，雖然對影像的變動最小，但是抗攻擊破壞的能力相對較低。除了數位影像外，陸續也有學者針對半色調影像提出浮水印嵌入的相關技術，利用影像在半色調過程中或是演算後加入浮水印。

頻率域的部分主要是將浮水印資訊嵌入於影像頻域的係數值中，因此經過空間轉換後，浮水印的資訊會散佈至整張影像中，因此相較於空間域的嵌入方式，有更高的抗破壞能力，即影像強韌性高。而常見的方式為將影像經餘弦轉換 (Discrete Cosine Transform, DST) 或是傅立葉轉換 (Fourier Transform, FT) 後，再對頻率係數的部份作資料隱藏。

半色調影像結合數位浮水印的部份，2000年 M.S. Fu 和 O.C. Au 提出自行翻轉資料隱藏 (Data-Hiding-by-Self-Toggling, DHST)、配對翻轉資料隱藏 (Data-Hiding-by-Pair-Toggling, DHPT) 及改進式配對翻轉資料隱藏 (Data Hiding by Smart Pair-Toggling, DHSPT) 等三種資料隱藏方法[10]。

此三種方法皆利用擬隨機 (pseudo-random) 的方式來指定資料隱藏的位置，其中 DHST 僅單純的依照擬隨機亂數所產生的位置來嵌入浮水印，由於直接針對影像進行像素值的調整，容易使得影像出現區塊性雜點，即俗稱的 salt-and-pepper 情形，因此資料隱藏後的半色調影像品質不高；而 DHPT 的演算法與 DHST 大致相同，不同的地方在於 DHST 僅單純改變像素點的亮度值，因此區域濃度會與原來有明顯差異，而 DHPT 則考慮到區域影像整體灰度的維持，翻轉像素點 (master) 的同時在鄰近的 8 個位置 (slave) 中，選擇互補的像素點進行補償翻轉，以達區域影像灰度的平衡性。可降低 salt-and-pepper 的產生，影像品質較 DHST 來得好，但仍然無法完全避免區塊雜點的產生；為了有效改進區塊雜點的產生，DHSPT 將 DHPT 中隨機找互補點的方法改成以求  $\text{conafter}(m,n)$  值最小者，即選擇原影像影響最小的互補點來做補償，更加改善了資料隱藏後的影像品質，大幅減少區塊雜點的產生。

爾後，2002年Fu and Au又提出DHED與MDHED兩種以誤差擴散法為基礎的浮水印技術[11]，原理簡單敘述如下。

(1)誤差擴散資料隱藏法 (Data Hiding Error Diffusion, DHED)：

DHED是經由誤差擴散半色調演算過程中，將欲隱藏的資訊嵌入，並將嵌入浮水印後所產生的誤差擴散到鄰近的像素點中，可獲得較高的影像品質，然而由於此演算法的誤差皆由後方的像素承擔，導致於誤差均集中於後方，無法平均擴散。

(2)改進的誤差擴散資料隱藏法 (Modified Data Hiding Error Diffusion, MDHED)：

有鑒於DHED的缺點，Fu and Au再提出MDHED的方法加以改進，其中最大

的差別為設定一 $\alpha$ 值介於0~1之間，即將所計算出的誤差值的 $\alpha$ 倍依一定的kernel向前方的左上、上、右上、左邊的像素擴散，而在誤差往前擴散時，若前方的像素恰為資料隱藏的位置，則不將誤差擴散加重在此位置，以確保資料隱藏後的位置其顏色不受後續演算法的影響。當 $\alpha=0.5$ 時，MDHED與DHED相同，而此資料隱藏的方式大致可改善區塊性雜點的情形。

除此之外，S.G. Wang 和 K.T. Knox 於 2000 年提出，利用半色調網屏設計嵌入浮水印的方式，在人眼視覺無法探測共軛半色調網屏之間的相關性且不額外增添浮水印資訊的前提下進行資訊隱藏[22]；亦有運用網點排列的方向性進行資料隱藏的 DataGlyphy 技術[7]等等。

## 2.5 立體成像的原理

### 2.5.1 立體視覺原理

由於人類雙眼間有著 6.5mm 左右的距離[33]，使得左右眼視網膜能接收到不同的二維影像資訊，透過視神經傳輸至大腦判別後，進而對該物體產生遠近距離的深度感。除此之外，在觀看三度空間的物體時，人眼的光角（Convergence）與水晶體的調節（Accommodation）也扮演著重要的角色，當眼睛凝視著物體的固定一點時，其光線則會透過雙眼的水晶體，聚焦在雙眼的視網膜中心，因此成像於視網膜其他位置的影像，則會根據視網膜中心判斷其相對的位置關係。然而，並非所有異於固定點的光線都會聚焦在視網膜的正確相對位置，這種效應便會產生雙眼視差（Binocular Parallax）。[23]

如圖 2-20 所示，假設我們觀看的固定點為 M，雙眼水晶體的中心為  $O_A$  及  $O_B$ ，而直線  $MO_A$  與  $MO_B$  的延長線交點  $M_A$  與  $M_B$ ，分別為雙眼的視網膜中心，透過簡單的幾何概念可發現，空間中的 P 點落於視網膜上的位置為  $P_A$  及  $P_B$ ，則其正確相對位置關係滿足式(2-4)。

$$\angle P_A O_A M_A = \angle P_B O_B M_B \dots\dots\dots (2-4)$$

經簡單的幾何證明，可以得知 P、 $O_A$  及  $O_B$  可形成一個圓，而就影像 P 點而言，成像於上述的  $P_A$  和  $P_B$  的相對位置，雙眼感覺不到視差，因此可以發現只要落在圓上的點，皆不會有雙眼視差的產生，因此可將此軌跡定義為雙眼視界 (Horopter)[23]。然而對於不在軌跡上的點，如圖中的 Q 點，則不會聚焦於雙眼視網膜正確的相對位置，因此便能感受到雙眼視差所造成的深度及立體感。

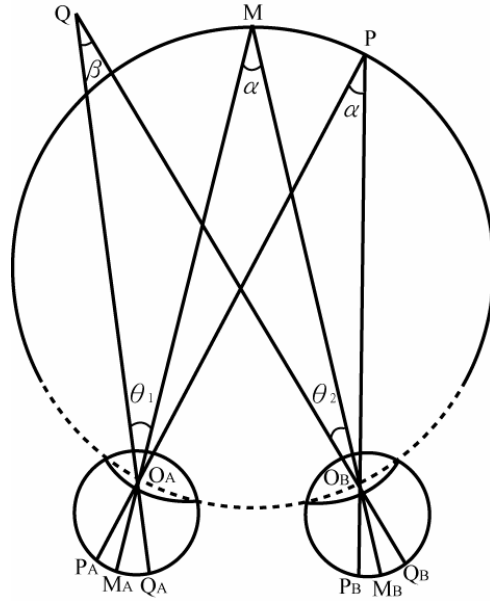


圖 2-20 雙眼視界(Horopter)[23]

以 P、Q 兩影像點為例，其中視線在雙眼視界上 P 點的交角為  $\alpha$ ，而對於不在軌跡上的 Q 點，其視線的交角為  $\beta$ ，則 P、Q 兩點視角的差異  $\delta$  如公式(2-5)所示：

$$\delta = \alpha - \beta = \theta_1 - \theta_2 \dots\dots\dots (2-5)$$

另外假設眼睛至 M 點與 Q 點的距離為  $d_M$  及  $d_Q$ ，則產生深度感的距離差異  $\tau$  定義如公式(2-6)所示：

$$\tau = d_Q - d_M \dots\dots\dots (2-6)$$

而一般情況而言，視角的差異  $\delta$  遠小於距離的差異  $\tau$ ，且  $d_M$  大約和  $d_Q$  距離相等，因此當兩眼距離設定為  $w$  時，可以獲得視差與角度和距離之間的關係，如下式(2-8)所示。

$$\delta = \alpha - \beta = w/d_M - w/d_Q \doteq w\tau/d^2 \dots\dots\dots (2-7)$$

$$\tau \doteq \delta d^2 / w \dots\dots\dots (2-8)$$

由上述關係式可知，所觀看物體的最小深度與觀看距離的平方成正比。而對於一般正常的眼睛而言，可以感受到的雙眼視差最小角度為 10''(約  $5 \times 10^{-5}$  rad)，舉例來說，若觀看的距離為一公尺，則能感受到物體深度的最小差量為 0.8 公厘。

雙眼視差雖然為造成深度感的重要因素，但是只限制於一定的距離範圍內，此限制是由於觀看物體時，眼睛的光角及眼調節也會同時作用，而造成觀看遠距離物體時，立體感會消失。圖 2-21 為雙眼觀看物體時，物體及參考平面與雙眼之距離關係圖。

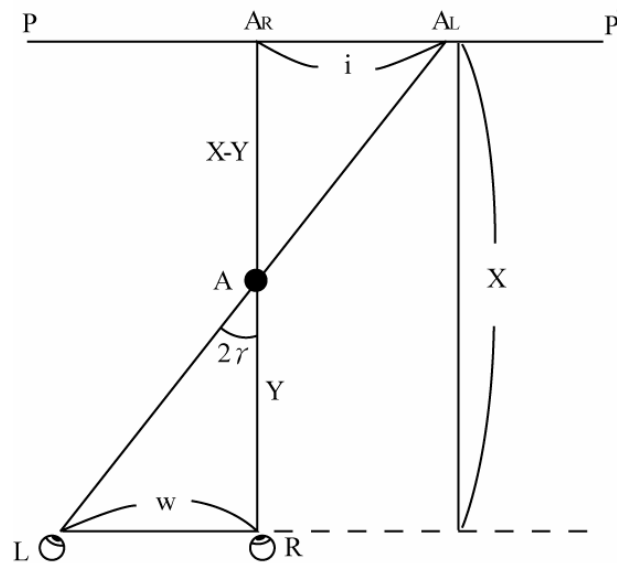


圖 2-21 雙眼觀看物體之關係

假設人眼所能判斷之最小角度為 1'，而雙眼的距離約為 6.5 cm，則可以求出物體 A 及平面 PP' 與雙眼間之距離 X 及 Y 的關係，如公式(2-9)所示。

$$Y = \frac{X}{1 + 0.005X} \dots\dots\dots (2-9)$$

透過公式(2-9)我們可以發現，當距離一物體 30 cm 時，我們可以感受到約 0.5mm 的景深，相當於銅板表面花紋的深度，換句話說，也就是超過 30cm 的距離則感覺不出銅板表面的立體花紋，如表 2-2 所示。因此，當雙眼距離參考平面 X(在本論文為全像片)及景深深度 X-Y 為已知，則可以透過設計符合左右眼觀看之影像點(距離 i)於參考面上來重建物體的立體感。

表 2-2 雙眼視差與觀看距離之比較

雙眼至參考面的距離 X(m)	產生雙眼視差的有效距離 Y(m)	參考面上兩投影點的距離 i(cm)	景深距離 (m)	深度感之距離比(%)
0.3	0.2995	0.0087	0.0005	99.8
1	0.995	0.029	0.005	99.5
5	4.87	0.146	0.13	97
10	9.52	0.291	0.48	95
50	40	1.455	10	80
100	67	2.91	33	67
500	143	14.55	357	29
1000	166	29.1	834	17
∞	200	∞	∞	0

## 2.5.2 點矩陣全像之立體表現

根據上節所述，我們可以進一步針對點矩陣全像片表現立體的部分加以探討。透過圖 2-20 所示，在此將兩眼距離  $w$  定義為 6.5cm，而雙眼距離參考平面  $X$  為 30cm，則藉由三角函數原理(如式 2-10)，可以求得兩眼之間角度為 12.36 度，即左右眼觀看相對於正視角度正負 6.18 度(定義為  $\gamma$ )的繞射光角度。

$$2\gamma = 2 \tan^{-1}\left(\frac{w/2}{X}\right) \text{ (單位：度)} \dots\dots\dots (2-10)$$

另外圖 2-22 為點矩陣全像片光柵角度與入射光、繞射光的關係示意圖，其中光柵位於  $x$ - $y$  平面，且間距為  $P$ ，而光柵角度則為  $\theta$ (與  $x$  軸之夾角)；當入射光延  $y$ - $z$  平面方向入射時，其入射角為  $\Phi$ (與  $z$  軸之夾角)，而所產生之繞射光於  $x$ - $z$  平面且與  $z$  軸所夾之繞射角為  $\gamma$ 。透過幾何關係的計算，可以求得光柵角度  $\theta$  與入射角  $\Phi$  及繞射角  $\gamma$  之間的關係，如公式(2-11)所示。

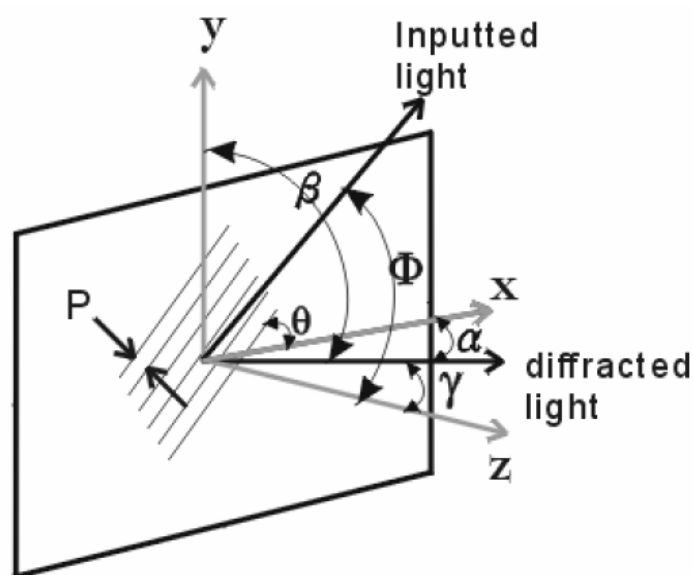


圖 2-22 點矩陣全像片光柵角度與入射光、繞射光的關係示意圖[2]

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\sin \gamma}{\sin \phi}\right) \dots\dots\dots (2-11)$$

由於點矩陣全像製版機所定義的入射光角度為 30 度( $\Phi=30^\circ$ )，而繞射光角度由前面求得為正負 6.18 度( $\gamma=\pm 6.18^\circ$ )，因此根據公式(2-11)，可以進一步獲得所對應的光柵角度約為 12.16 度。

接著在點矩陣全像檔案的設計上，再透過 2.2 節中對於灰階值與光柵角度間之換算，如公式(2-2)，可以分別將左右眼所對應之灰階值設定為 110 與 145，進而對點矩陣全像的角度參數加以設計，以期能夠在輸出的全像片上表現立體感。

## 2.6 立體影像技術的發展

十六世紀時，義大利畫家Jacopo Chimenti利用繪畫的技巧，經由繪製兩張不同觀看角度的圖形來表現雙眼所看到之不同的景象，此為立體影像概念的起源。隨著攝影技術發明後，立體影像技術也有了更進一步的發展，取代了傳統以繪畫的表現方式。

1838年，英國人Charles Wheatstone便提出了立體視鏡(stereoscope)的原理，將所拍攝不同角度的兩張相片並列，在透過兩個反射鏡分別讓兩張影像由不同的眼睛觀看，現今稱之為Wheatstone立體鏡。此種技術的興起立刻受到了重視，陸續紛紛有學者利用類似的原理來表現立體影像，如1849年的David Brewster便將反射鏡以稜鏡取代，發明了Brewster立體鏡。[25]



(a)



(b)

圖 2-23 (a)並列式立體相片 (b)立體相片觀賞器[33]

此種風潮隨然隨著 19 世紀中電影的問世之後有點衰退，然而隨著幻燈片和立體照相機的發明，觀賞者可以透過如 Viewmaster 的立體幻燈片觀賞器看到立體的彩色影像。爾後人們更思考著是否可由任意的角度來觀看立體影像，以增加其觀看的自由度，因此許多不同的表現技術陸續被發展出來，如上述 2.1 節所提

到的全像術直到最近所發明的 3D 立體電影等，皆是控制光的位置以呈現不同的像於兩眼，來達到立體感，如圖 2-24 便是藉由全像的藝術創作來表現立體感。



圖 2-24 全像術的立體表現[21]

依成像的原理，可以簡單分為偏光式、交錯式及分色式三種[26][30]。偏光式主要是使用偏光濾鏡，阻擋某一特定角度的光波通過，因此在觀看時需配帶偏光鏡，此時左右影像會藉由不同的光波角度進入人眼，表現較豐富的立體影像。然而在使用上需利用特殊的投影裝置及螢幕，價格較昂貴。

交錯式的原理主要利用電視或顯示器視訊的交錯掃描方式，使得奇數與偶數掃描線呈現不同角度之影像，觀看者須配帶同步式的電子液晶眼鏡，藉由影像變換時作一開一關的動作，來使雙眼看到不同的影像，在使用上可能會因為畫面更換頻率不足而造成畫面閃爍的問題。

分色式主要是利用光學濾鏡的透光原理，及某一顏色的濾鏡可以阻斷其互補色的光波，如紅藍眼鏡（如圖 2-25 所示），便是利用此原理來將不同角度的影像分別送至左右眼中，以呈現立體的影像，為最常使用的立體表現方式。



(a)



(b)

圖 2-25(a)紅藍立體相片模擬 (設計者：王希俊) (b)紅藍眼鏡[30]

## 2.7 國內外全像相關之防偽應用

由於全像片本身可以表現如變圖、縮放、流動、景深等光影效果，因此大多用於企業識別及防偽機制上，舉凡信用卡、產品標籤等，都是應用較廣的案例。近年來隨著數位化時代的快速發展，高解析度的取像及輸出裝置日漸普及（如印表機、掃瞄器等），雖然使得複製文件上更加便利，但是也造成如鈔券等有價證券非法複製的犯罪問題日趨嚴重，國際刑警組織有鑑於此，也紛紛建議各國（包括我國）在印製鈔券時加入以全像為基礎的光學可變裝置(Optical Variable Device, OVD)。如圖 2-26 所示，中央印製廠於 2005 年 7 月，在新版五百及千元鈔票上加入了全像為基礎的 OVD。



圖 2-26 利用全像表現特殊的光影效果[18]



圖 2-27 我國於 2005 年 7 月發行新版鈔券

根據 Van Renesse 在其最新版的「Optical Document Security」[19]書中提到，目前全像防偽技術的應用，以美國、法國、德國及英國為主，目前常見防偽全像片可分為以下幾種。

#### (1) Exelgram

由澳洲的 CSIRO 及德國的 KURZ 公司共同所開發，利用電子束平版的方式來表現高解析度（可達 1600dpi）之全像效果。其全像片具有表現半色調影像、線性或轉移的光影變化，以及變圖等效果。目前產品 logo 的設計大多以幾何圖案為主。



#### (4) High-security Passport

在護照中應用了法國 Hologram 公司所生產之零階 (DID) 及一階的高安全性 Optoseal 裝置，圖中右邊的人像是以第一階光繞射的方式而產生。



圖 2-30 具有高安全防偽裝置之護照[18]

#### (5) DIOVIS (diffractive interferential optically variable image structure)

DIVIOS 是由日本的 NHK Spring 公司所生產，利用 hologram 光繞射的特性，再加上特殊的辨識卡片(偏振原理)，可作為身分辨識的依據。



圖 2-31 日本的 NHK Spring 公司所生產的 DIVIOS 身分證[18]

## 2.8 小結

全像片的發展早期是以藝術表現和非破壞性檢測為主，然而隨著科技的進步，現今被廣泛的應用於各個面向，如防偽標籤、包裝印刷、光儲存元件等，其中印刷的部份，更著重在全像片與傳統印刷媒材的整合，以達到藝術表現及防偽功能等多重目的，而隨著全像片的普及化，其技術門檻也日漸下降，因此如何在兼具立體效果及美感的設計前提下，又能增強其防偽功能，是本研究希望研究的重點。