

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

全像片的資料隱藏與輸出防偽功能設計

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2516-S-003-011-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣師範大學圖文傳播系(所)

計畫主持人：王希俊

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 11 月 3 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

(全像片的資料隱藏與輸出防偽功能設計)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2516-S-003-011

執行期間：93年 08月 01日至 94年 07月 31日

計畫主持人：王希俊

共同主持人：陳仙舟

計畫參與人員：江東彥、王威強

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣師範大學科技學院圖文傳播學系

中華民國九十四年十月三十一日

## 摘要

本研究的目的是以數位過網的技術為基礎在數位點矩陣全像片中隱藏資訊，而經實驗證明加密後的數位點矩陣全像片能夠達到多重防偽的功能。全像術包涵了全像攝影、立體全像片等，而全像片屬實體影像，可應用於各類的文件及物品防偽以及藝術創作。近年隨網路與電腦科技之快速發展，使得智慧財產權與版權保護成為重要課題，另應用於有價值或具保護性的資料內容時需要具備防偽的機制。全像片本身不僅具有防偽之功能，而在多樣可視覺設計功能之外，本研究利用網點加密的技術針對全像片微小的光柵點做融入圖像的精密設計，使之能具有較高的多重防偽功能，經由獨立取像及解密使其提高辨識率，進而將全像片設計、輸出、偵測與大量複製之技術整合，以進一步提高全像片對文件或器物之防偽與加值功能。

**關鍵字：**點矩陣全像片，資料隱藏，數位過網，數位浮水印

## Abstract

With the rapid innovation of information technique, the concerns of copyrights for digital media such as audio, image, video and graphics have attracted many researchers' studies on data hiding or watermarking of the digital media. However, little works have been done on the analog form of the media contents. In this proposal, the data hiding or watermarking techniques are applied to hologram. The objective of this 1-year research proposal is to hide information inside a hologram in a digital way. The methods we use are: 1) To develop the encoding algorithm for watermarking a hologram. 2) To output the encoded hologram in a printed format instead of digital format. 3) To detect the hidden data from the encoded hologram remotely. 4) To design the mass production workflow for the encoded hologram. The results show that the encrypted hologram can provide advanced ability to copyright protection and counterfeit deterrence.

**Keyword:** dot matrix hologram; data hiding; digital halftoning; watermarking;

## 壹、前言

全像術起源於 1948 年 Dennis Gabor 所提出的波前重建術(wavefront reconstruction) [1]，其基本的原理是經由光的干涉把物體光的振幅及相位記錄下來，然後重建之，而全像術最主要的兩個步驟是光波的干涉與記錄及光波的重建，而 Gabor 當初提出全像技術並沒有被廣泛的使用，主要是因為全像的記錄需要一個好的同調光源(Coherent light Source)，直到 1960 年雷射光發明之後才解決了這個問題，而目前全像的技術多半運用在非破壞性及微流體的檢測上，也有人同時用它來記錄藝術的創作，也就是在 2D 平面上呈現 3D 的立體效果。

而數位點矩陣全像的發明是在 1980 年期間由 Frank S. Davis 所提出，其基本的原理首先將雷射光分為兩道光束，然後再將光源重疊創造出極小的干涉圖形於記錄的材料上，透過改變相交的雷射光的角度和定位可以改變干涉的圖形，而點矩陣全像片的產生是由很小的單位(點)所組成，而每個點實際上由不同間距及方向的干涉條紋所組成[2]，類似光柵的原理，也就是在單一光源及正確的觀察角度下利用干涉條紋的不同角度及節距將單色光繞射至不同方向而形成不同的亮度及色彩，產生的這些繞射的光點記錄在光阻基版上，稱之

為母版，然後在複製的過程中母版再經過電鑄等多重處理最後形成全像之印版。藉由全像片上這些微小光柵點的排列可以產生放大、縮小、轉動、景深…等各式各樣特殊效果的影像。

而在全像的應用上，目前大部分點矩陣全像生產的系統多半用於生產防偽標籤或全像包裝材料，而實際上可以證明複雜的點矩陣設計有助於文件的認證並且可以進一步達到防止偽造的效果[2,8]，另外，對於數位浮水印的技術來說，在實體影像中加密和數位檔案中加密有所不同，實體影像加密後需要一套獨立的取像設備來擷取影像及解密，就是將加密後的影像輸出後再透過相機或掃描器掃描回數位檔案以進行解密，其間必須經過偵測、定位、特定的解碼方法，才可以取得密碼，另外，在取像的過程中必須考慮到取樣定理，也就是說取樣頻率必須大於原始訊號兩倍以上，原始訊號才能被完全重建[3]，而加密後的實體影像是能夠有效保護文件的安全。

## 貳、研究目的

目前全像的技術已相當的成熟，但在點矩陣全像片中作資料隱藏的數位浮水印研究並不多，而本研究主要的目的在將全像片經由光柵點對文字或影像做編碼、輸出、偵測及大量複製四大主軸，藉由對全像片繞射後光柵點加密防偽的方法，分析其優缺點研發出適合全像片的編碼方式，經輸出後透過獨立的取像系統對光柵點進行偵測解密，最後進行大量複製的工作。

本研究目的有四：

- (1) 全像片隱藏資訊編碼方法之設計。
- (2) 隱藏資訊之全像片之輸出技術。
- (3) 偵測全像片中之隱藏資訊。
- (4) 隱藏資訊之全像片大量複製。

## 參、文獻探討

### 3.1 數位點矩陣全像

數位點矩陣全像片的設計方式和一般大家所熟知的平面設計的方式不同，主要藉由控制光柵點尺寸(spot size)、光柵間距(grating pitch)和光柵角度(grating angle)來完成全像片的製作。其主要的功能分別為：

- 1.光柵點尺寸(spot size)：用來控制全像片輸出的解析度。藉由控制一對透鏡之間光源匯集的角度在光阻基版上形成不同的光柵點尺寸。
- 2.光柵間距(grating pitch)：用來控制全像片的顏色變化。當兩道光源所夾的角度越大，光柵的間距就越小，其關係如公式(1)。

$$d = \lambda / 2 \sin(\theta / 2) \quad (1)$$

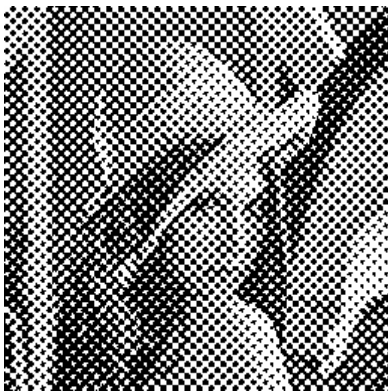
- 3.光柵角度(grating angle)：用來控制全像片觀看的角度。藉由改變兩道光源相對的位置形成不同方向的光柵條紋。

數位點矩陣全像片的設計主要分為兩個檔案，一個檔案用來控制全像片表現的顏色，另一個檔案用來控制全像片觀察的角度，而在顏色的使用上主要利用紅(red)、綠(green)、藍(blue)、青(cyan)、洋紅(magenta)、黃(yellow)、黑(black)等七種顏色來表現全彩影像，其中黑色又代表不顯示顏色，而角度的設定使用灰階值 0~255 來表現，相當於人眼 0~180 度，因此灰階值設定的越大就表示實際輸出的全像片可觀看的角度也就跟著越大。

而一般點矩陣全像標籤的輸出需經由設計、打版、電鑄、滾壓、背膠、裁切等過程，有別於傳統光學全像片製作的過程，以 roll to roll 的方式大量的複製可降低成本，因此今日廣泛的應用於安全防偽、包裝等市場。

### 3.2 數位過網

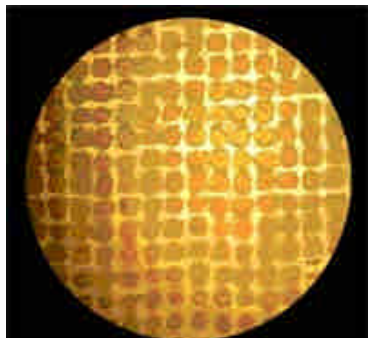
在實體影像(printed image)之數位浮水印技術中，數位過網扮演著關鍵角色，過網是從傳統印刷發展而來的技術，印刷機或印表機列印圖像只能決定在一定面積上著墨與否，並無法直接表現影像的連續調，因為無法控制墨點的濃淡，所以研究出一種替代連續調適合列印輸出的方法—Halftoning (半色調技術) [9, 10, 11]。而 Halftoning 的技術主要藉由控制網點的大小和形狀來模擬出自然界豐富的階調，由於在一定的距離觀察兩階影像時，人眼會對影像做模糊化積分，二階的影像就能表現出連續調的感覺。而隨電腦科技快速發展，以電腦演算網點的數位過網技術受到影像輸出界的重視，數位過網主要可分為兩類：調幅網點(Amplitude Modulation)及調頻網點(Frequency Modulation)，又稱為 AM 網點及 FM 網點，其中 AM 網點的結構是由大小不同但相同距離的網點所組成如圖一，而 FM 網點則是有相同大小但是不同距離的點所組成如圖二，而就數位點矩陣全像片而言，其光柵點相當類似印刷上的網點結構如圖三所示，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四，因此當光源在不同角度下可用來表現不同視覺效果的全像影像如圖五。



圖一：AM 網點的結構圖



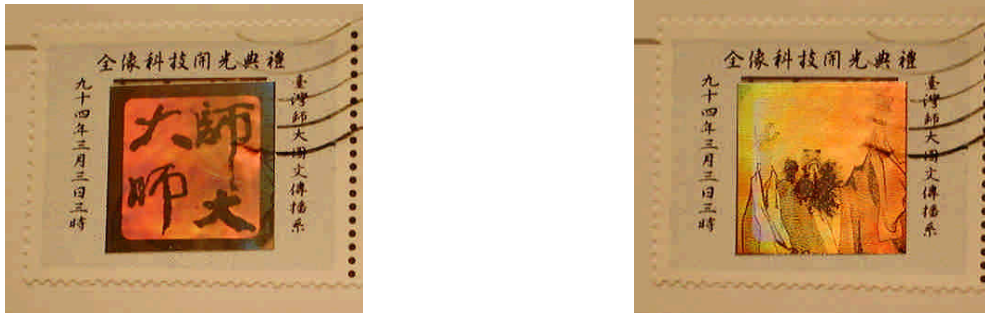
圖二：FM 網點的結構



圖三：在 20 倍光學顯微鏡下的光柵點



圖四：在 100 倍光學顯微鏡下光柵的方向



圖五：利用不同光柵方向將「師大大師」圖案與部份畫作主題結合的變圖效果全像片

### 3.3 半色調影像數位浮水印技術

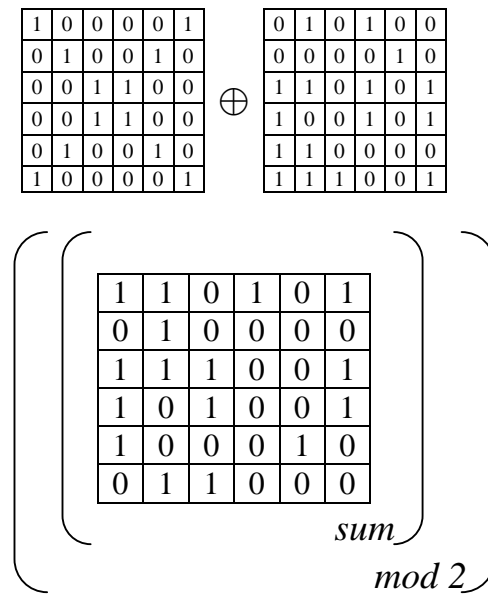
隨電腦科技的快速發展，數位化的聲音、影像、視訊等多媒體內容保護[7]已是全世界所矚目的重要課題，然而大多數的相關研究皆關注於電子檔案的保護，較少數的力量著重於印列品、有價證券、全像片、蝕刻圖案等「實體影像」中[4,8,12]。Fu&Au 於 2004 年提出的 Correlation-Based Watermarking For Halftone Images 演算法首先將欲加入浮水印影像灰階值(0~255)轉換成黑度值(0~1)， $G(i,j)$ 是原使灰階影像的灰階值， $b(i,j)$ 為計算出灰階影像的黑度值，其關係如式(2)。

$$b(i,j)=1-G(i,j)/255 \quad (2)$$

另選擇適當的假亂數兩階影像(mask)使影像經加密及兩階化後能進行邏輯運算，mask 內容必須是兩階影像，本研究以一 pseudo-random number 形成 mask 內的值，由於 mask 是做為加密及解密的依據，但過大或過小的 mask 均不適宜，過大尺寸的 mask 在有雜訊時，於解密後的影像會依 mask 的大小可能形成黑或白的叢聚點；另若尺寸過小則易被破解，所以在選擇 mask 的維度是要特別作考量的。

將已加密影像區域轉換後的兩階影像取和 mask 相同大小做 XOR，故 mask 與對應之兩階影像(data)的維度必須是要一樣的[4]，在做判斷時，由於加密的資訊是以 mask 內像素的相關性做決定，在起始區域為方便處理，故不足的 mask 維度(n-by-n)，對加密影像(N-by-N)的上方邊界 n-by-N 及左方邊界 N-by-n，可先以 Error Diffusion 處理得到兩階影像。因 mask 尺寸為 n-by-n，則欲加密之影像應由  $b(n+1,n+1)$  開始進行過網加密。其加密方式是以欲過網及加密的  $b(i,j)$  位置，將兩階化的假亂術形成兩階圖形(mask)及對應之兩階影像(data)進行 XOR 運算求出一 n-by-n 的矩陣  $x(i,j)$ ，將  $x(i,j)$  內的 1 與 0 求出總和(SUM)以 mod2 求出餘數 r 為 1 或 0 並配合浮水印來決定新的兩階隱藏影像  $g(i,j)$  的值為 0 或 1,  $g(i,j)$  為過網及加密後之兩階化影像。可參考圖六及計算方程式如式(3)。

$$r = \left[ \sum_j^N \sum_i^N [mask(i,j) \oplus cod(i,j)] \right] \bmod 2 \quad (3)$$



圖六：過網加密演算法

經過 mod 2 後的 r 與 watermark(i,j)做比較，本研究是以師大 logo 的兩階影像為 watermark，當 r=watermark(i,j)則 g(i,j)=1 不變，反之亦可如式(4)所示：

$$g(i,j) = \begin{cases} 1, & r = \text{watermark}(i,j) \\ 0, & r \neq \text{watermark}(i,j) \end{cases} \quad (4)$$

當決定 g(i,j)後則將不足或多餘的值利用 FSED 平均擴散至鄰近的像素。如此及完成該影像 G(i,j)的過網及加密。另外，若加密的影像較大時，利用 error diffusion 必定累積至後面且數值可能會非常大，所以在加密的過程中要再設定一門檻植 Threshold(T)，在過網過程中小於 Threshold 則做值入浮水印及 error diffusion 的動作，如式(5)所示，大於則不做。如此才不會影響加密後的影像品質。

$$\begin{cases} \text{True}, & |\text{error}| \leq T \\ \text{Fales}, & |\text{error}| > T \end{cases} \quad (5)$$

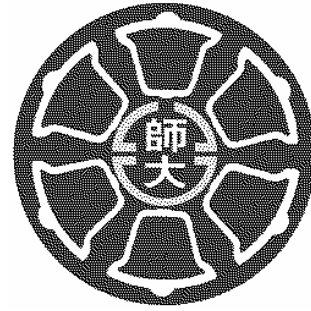
本研究所述之兩階影像浮水印技術可有效的抵抗雜訊、裁切及抽取行列之破壞攻擊。

#### 肆、研究方法與結果

本為主要以 Fu&Au 於 2004 所提出的 Correlation-Based Watermarking For Halftone Images 演算法為基礎，修改影像形成適合 Dot matrix hologram 的加密方式，如圖七為 256\*256pixel 原始灰階 Lena 影像，圖八為相同尺寸欲藏入的兩階師大影像，而本研究選定之 mask 大小為 6\*6，Threshold(T)為 1，經 Correlation-Based Watermarking 計算後形成具有浮水印的兩階影像，如圖九。



圖七：原始灰階 Lena 影像



圖八：預藏入的兩階師大浮水印影像

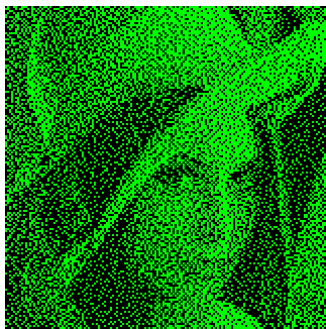


圖九：經 Correlation-Based Watermarking 加密後的影像

本節依編碼、輸出、偵測和大量複製四個部分做詳細的說明：

#### 4.1 編碼

編碼後將加密的兩階影像轉成單色的彩色影像以配合點矩陣全像片實際顏色使用的情形，另外為了降低解密時定位所產生的錯誤率，將加密後的影像每一個像素以相同的四個像素表示，使整體影像大小變為原先的 4 倍，如圖十為解析度 400dpi，尺寸 320\*320pixel 加密後經放大及裁切的顏色檔案，而圖十一為對應灰階值為 127 的角度檔案。



圖十：經加密後的顏色檔案



圖十一：相同灰階值的角度檔案

#### 4.2 輸出

全像片一般輸出的過程可經由全像輸出機以打版的過程預先觀看全像影像表現的效果，如圖十二為欲先輸出在玻璃基版上的加密影像，左上方的黑色區塊為影像遭攻擊過後的結果；另一相同圖案影像經電鑄、翻版、滾壓等過程大量複製，如圖十三是經壓印輸出在鋁箔片上的加密全像影像。





圖十二、輸出在玻璃版上的全像影像  
遭受攻擊的情形



圖十三、經壓印輸出在鋁箔片上的  
加密全像影像

### 4.3 偵測

偵測的過程主要透過單眼數位相機搭配 Micro 的鏡頭進行取像，由於加密後的影像是由一個一個的點所組成，因此必須搭配 Micro 的鏡頭才能將所有的點完全清楚的記錄下來，另外，輸出的全像影像本身在觀察的過程中，需要在一特定的觀測角度才能清楚的看到，因此相機和光源本身擺放的位置也就相對的非常重要，整體而言取像的好壞會影響到之後解密的過程。

而解密的過程要如何透過相對應的控制點求得轉換關係，可由線性代數的方法透過二次轉換矩陣公式 6 求得[6]，

$$\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 & v_5 & v_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ b_0 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 \\ x_1^2 & x_2^2 & x_3^2 & x_4^2 & x_5^2 & x_6^2 \\ x_1y_1 & x_2y_2 & x_3y_3 & x_4y_4 & x_5y_5 & x_6y_6 \\ y_1^2 & y_2^2 & y_3^2 & y_4^2 & y_5^2 & y_6^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中(x, y)為原始影像上的坐標系 (以 X 表示)，(u, v)則為經幾何轉換後的對應點坐標系 (以 U 表示)，轉換矩陣之係數  $a_i$  及  $b_i$  ( $i=0, 1, \dots, 5$ ) (以 A 表示)，矩陣 X 與 U 為已知控制點坐標矩陣，A 為未知，則方程式可簡寫成公式(7) [6]：

$$U=AX \quad (7)$$

如欲求 A 矩陣之係數，依照線性代數的原理，至少需要六組以上的控制點才能將 A 解出，其解為公式(8)[6]：

$$A=UX^T(XX^T)^{-1} \quad (8)$$

值得一提在定位的過程要盡量確保錯誤率在合理的範圍內，因為往往定位過程發生錯誤點的地方解密的影像中會有區塊性的雜點，如圖十四，是將圖十二解密後的影像，明顯的在圖形的左上方有黑色的區塊，是因為加密影像在輸出後所遭受到的攻擊，不過本研究加密後的影像可以有效的抵抗雜訊、裁切、及抽取某些行後的攻擊，最後可以將先前隱藏的密碼給解出來。而圖十五為圖十三的鋁箔影像中解密後的情形。



圖十四、玻璃版遭受攻擊後解密的師大影像      圖十五、鋁箔片解密後的師大影像

#### 4.4 大量複製

全像片的輸出需經由製版和壓印的過程，圖十六為經電鑄後製作的全像母版，透過 roll-to-roll 方式大量複製（圖十七）可有效的降低全像片製作的成本，而目前數位點矩陣全像片的輸出解析度可到達10000dpi以上。



圖十六：全像母版



圖十七：以 roll-to-roll 方式大量複製

### 伍、結論與建議

綜合以上的成果可以看出數位點矩陣全像片能有效的嵌入並還原數位浮水印影像，且加密後的全像片影像能有效的抵抗雜訊的攻擊，另外，全像片輸出的過程雷射光記錄光柵點的位置不像傳統印刷輸出會造成網點擴大的情形，因此能夠有效的提高資訊的隱藏量。而未來的工作，由於網點解密的過程需注意鏡頭實際拍攝的距離和相機中成像的大小，以本實驗所使用 60mm 的 mirco 鏡頭為例，實際拍攝的全像片和鏡頭之間距離有限，容易造成打光不均勻的現象影響解密的結果，建議未來的研究可以使用 200mm 的 mirco 鏡頭來改善取像的問題，而在加密的研究上可以加入全像片的特性在各個不同角度下嵌入不同的浮水印影像以達到多重防偽的功能。

### 陸、誌謝

本研究感謝國科會專題研究計劃編號NSC93-2516-S-003-011 的支持，另和華錦光電科技股份有限公司對本研究之技術支援亦在此言謝。

## 參考文獻

- [1] R.J. Collier, C.B. Burckhardt, L.H. Lin, *Optical Holography*, Academic Press, New York 1983.
- [2] A. Rhody, F. Ross, "Holography Market Place", 8th Ed, Ross Books, 1999.
- [3] A.V. Oppenheim, R.W. Schafer, *Discrete-time signal processing*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1989.
- [4] M.S. Fu, O.C. Au, "Correlation-based watermarking for halftone images", IEEE International symposium on circuits and systems conference, Vancouver Canada, May 2004.
- [5] C. K. Lee, *et al.*, "Optical Configuration and Color Representation Range of a Variable Pitch Dot Matrix Holographic Printer," *Applied Optics*, Vol. 39, No. 1, pp. 40-53, January 1, 2000.
- [6] W.K. Pratt, *Digital image processing*, 2nd Ed, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [7] W. Bender *et al.*, Techniques for data hiding, *IBM System Journal*, vol 35, Nos 3&4, pp 313-336, 1996.
- [8] R.L. van Renesse, *Optical Document Security*, 3rd Ed., Artech House, London, 2005.
- [9] R.W. Floyd and L. Steinberg, An adaptive algorithm for spatial greyscale, *proceedings of Society for Information Display*, Vol 17(2), pp75-77, 1976.
- [10] R. Ulichney, *Digital Halftoning*, MIT Press, Cambridge, MA, 1987.
- [11] T.N. Pappas, J.P. Allebach, D.L. Neuhoff, "Model-Based Digital Halftoning", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.14-27, July 2003.
- [12] M.S. Fu and O.C. Au, "Data Hiding Watermarking for Halftone Images," *IEEE Transactions on Image Processing*, 11(4)477-484, 2002.

## 計畫成果自評

本研究內容依計畫目標分編碼、輸出、偵測、大量複製四個步驟，而計畫執行期間除按照既定的目標進行外，成果都能達到預期的目標，而研究成果於計畫執行期間在國內外已發表了兩篇論文，其中一篇收錄於 SCI expanded 和 EI 資料庫。另在實作應用方面，所研發之數位點矩陣全像片加密技術，正與師大圖書館及國家數位典藏單位合作，製作以典藏品內容為主題之加密全像片，而輸出後的全像片除了可以達到防偽的功能外，同時可以進行數位內容之加值應用。

在本研究成果之教育推廣方面，於研究進行期間藉由新儀器到來舉辦全像科技開光儀式及數位全像作品展示，以擴大推廣成效；另於大學部新開設全像科技課程，與研究所防偽科技課程中加重數位全像之原理探討與實作能力，以進一步厚植實力及向下紮根。

在未來願景方面，一個好的數位點矩陣全像片作品，需要兼具美觀、多重防偽功能、與有深度的內容故事，本系亦自我期許為全國最適發展此領域之基地，並朝向建立「具特色內容之數位全像片防偽設計」的全球重鎮而努力。

以下為計畫執行間發表的相關論文：

- [1] H.C. Wang, W.C. Wang (2005), Data hiding in a hologram by modified digital halftoning techniques, IHH-MSP05, Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 3683, pp.1086-1092, September, 2005. [SCI-expanded, EI]
- [2] 王威強，王希俊(2005)，「數位點矩陣全像片的設計與加值應用」，深耕台灣 放眼國際 -- 台灣數位創作研討會論文集，台灣台北，2005年5月。