

疊紋技術應用於軍事地圖加密防偽

吳文和¹ 郭明貴² 李興緯³ 張冀青^{4*}

¹國防大學理工學院國防科學研究所應用物理組

²國防大學理工學院電機電子工程學系

³國防大學理工學院環境資訊及工程學系

⁴明道大學應用科學院光電暨能源工程學系

摘要

本文提出使用疊紋技術將加密的資訊加入軍事地圖使成為有防偽功能，加密的資訊是使用圓柱透鏡陣列特定參數經過疊紋數學公式計算出來。實驗使用三種商業規格的圓柱透鏡陣列和經過加密處理的印刷圖像，只要選擇正確的圓柱透鏡陣列便可以將加密資訊從軍事地圖顯示出來。所以，使用疊紋技術加密的機密資訊由一個未被批准的人是容易被察覺。

關鍵詞：疊紋，防偽，加密，圓柱透鏡陣列

Anti-counterfeiting Encryption for Military Map Using Moirè Technique

Wen-Ho Wu¹, Ming-Kuei Kuo², Hsing-Wei Lee³, and Chi-Ching Chang^{4*}

¹*School of Defense Science, National Defense University*

²*Department of Electronic & Electrical Engineering, National Defense University*

³*Department of Environmental Information & Engineering, National Defense University*

⁴*Department of Electro-Optical & Energy Engineering, Ming Dao University*

**chichang@mdu.edu.tw*

ABSTRACT

This paper presents the use of Moirè technique to encrypt information into the military map for anti-counterfeiting. In the encryption, the information could be encoded using lenticular lens array with particular parameters calculated via Moirè mathematical formula. Experiments have been conducted using three kinds of commercial lenticular lens array and various encrypted printing images. In decryption, information could be decrypted from a military map by a lenticular lens array as a correct key. Therefore, the confidential information encrypted using Moirè technique is not easily accessible by an unauthorized person.

Keywords: Moirè, anti-counterfeiting, encryption, lenticular lens array

一、前言

軍事地圖為一種特殊印刷品，它在國家安全上扮演重要的角色。有鑑於此，政府對軍事地圖的繪編及印刷相當重視。現今軍事地圖印刷是建立在物理光學、色彩學、化學、材料學、電子學，以及資訊科學等學科基礎上。隨著現代科學技術的發展，軍事地圖應用了許多新製程及新材料。電子技術也被廣泛應用於地圖測繪，因此出現了數位地圖(digital map)和地圖數據庫(map database)，進而衍生出地圖印刷複製的新課題 [1]。近年來曾經陸續發生國軍部隊軍事地圖被竊等案件，由於目前的軍事地圖製作大部份未做有效的加密防偽，導致重要軍事機密被破解後外洩。如何將先進加密防偽技術有效地應用在軍事地圖上，是未來確保軍事地圖重要資訊的安全的重要課題。

現今加密技術被廣泛應用在鈔票、股票、支票、所有權狀、債券等有價證券的防偽上，隨著科學技術的進步，加密防偽技術也應用在日常生活各種領域如：包裝、網路活動，以及身份辨識等。包裝防偽技術主要應用的產品有：食品、藥品、化妝品、煙品、酒類、運動類，以及服飾等；網路活動則應用在網路購物、資料網路傳輸、金融交易，以及軟體使用等；身份辨識應用在：護照、身份證、健保卡、駕照，以及畢業證書等。防偽技術可分為物理防偽技術、化學防偽油墨技術、生物防偽技術、材料防偽技術、電腦與網路防偽技術、防偽印刷技術，以及防偽包裝技術等[2]。在諸多防偽技術中，以光學加密為主的技術種類繁多[3]，但針對軍事地圖加密防偽研究，郭玉麟等學者於 2000 年提出以全像光學膜轉貼在軍事地圖上方式，可辨識軍圖真偽及防止軍圖被非法複製[4]。為了保護國軍在軍事地圖的資訊安全，除了以全像光學應用在軍事地圖安全防護外，目前鮮少有與軍事地圖加密防偽相關研究被提出。

本研究提出應用疊紋(Moirè)技術於軍事地圖印製，此技術不影響現有軍事地圖印製方法，如此不但可辨識軍事地圖真偽，亦可將重要資訊隱藏在軍事地圖中，可防止機密資料被非法盜取。但只要合法持有鑰匙(key)或解密工具-柱狀透鏡陣列(lenticular lens array)，並使用正確的參數，就可以將隱藏在軍事地圖中重要資料解密並顯示出來。

二、理論背景

疊紋現象在中國古代就被發現，並且應用在手工藝術織品上，同樣法國絲綢工人也觀察到這種現象[5]，疊紋在法文的原意是表示水波紋或波狀的花樣，在我們日常生活中可以常見到疊紋，將兩塊絲綢疊合在一起，並將其經緯線交錯時，在光線照射下有時會產生美麗的花紋，絲綢相對移動，花紋也會產生變化，此花紋在中國稱之為莫爾，台灣稱為疊紋。在印刷術上則稱疊紋為網花，一般是不好的網紋，要儘量避免或最小化網花的產生。疊紋產生的原理主要是將空間頻率(spatial frequency)相近的兩線條組疊在一起時，在一定的條件下可產生另一組不同的疊加紋路。現在疊紋已被廣泛用來表示兩個或多個相同週期幾何圖形重疊產生的條紋，任何兩組或多組的幾何線條族其疊加均能產生新規律分佈條紋。疊紋技術日新月異且廣泛應用在各領域，早期疊紋僅用在裝飾上，近年來開始利用疊紋技術進行長度、角度、振動、壓力、變力和形狀等精密量測[6]。另有將疊紋技術應用在加密(encryption)技術中，並以柱狀透鏡陣列或 Lonchi ruling grating 來做解密(decryption)工具[7]。1874 年 Rayleigh 提出以數學模式，來說明疊紋現象。

1920 年 Herbert Ives 等科學家開始對 1908 年由 Lippmann 將微透鏡陣列(microlens array)應用在堆疊立體法(integral photography)與柱狀透鏡陣列的關連性做研究，1928 年 Kodak 公司用柱狀透鏡陣列製作立體動畫效果[8]。1960 年後柱狀透鏡陣列應用非常快速，尤其是立體印刷上，1963 年 Brown 先生提出以「球狀及柱狀透鏡陣列」作光學加密[9]，1972 年 Meltzer 公開發表身分證件使用之「影像之光學加密」(optical encoding of images) [10]，以「柱狀陣列鏡片」(array of cylindrical lenses)製作「破碎簽字」(scrambled signature)。1975 年 Ikegami 先生，發表以「透鏡板」(lenticular plates)製作破碎影像之方法[11]，並進一步說明不同破碎影像組合後可成為複合式破碎影像。1976 年 Alasia 先生發表以透鏡網屏製作光學性破碎影像之技術[12]，亦即後來的 scrambled indicia 技術。近來以瑞士 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) 研究團隊將柱狀透鏡陣列結合疊紋技術應用在防偽上最為先進與完整，發表非常多篇文章與

專利[13-19]並將技術應用實際產品上並授權給廠商使用。在國內提出用網版印刷製微光學元件，並以疊紋技術應用在光學加密及立體成像方面[20]。

光學上，疊紋的產生是光經過光柵時產生繞射或干涉的結果。本研究使用的解密(decryption)工具：圓柱透鏡陣列是屬於透射正弦式光柵，可在塑膠材質 PET 上刻製光柵(以開模具輥壓成型)，其折射率 n 介於 1.52~1.65，平均值為 1.57，其 pitch 值遠大於光波的波長。基於上述的條件，使用非相干光源(自然光源)照射，可以幾何光學原理，利用光柵柵線之間的遮光效應來解釋疊紋的形成，並藉由幾何關係推導出光柵結構參數與疊紋幾何圖形之間數學關係式[21]。

以相同(或相近)兩組柵線疊加用以說明疊紋產生，並以幾何關係推導出疊紋公式，圖 1 說明兩組柵線相交並旋轉些微角度產生新的疊紋形狀，其公式推導如下：

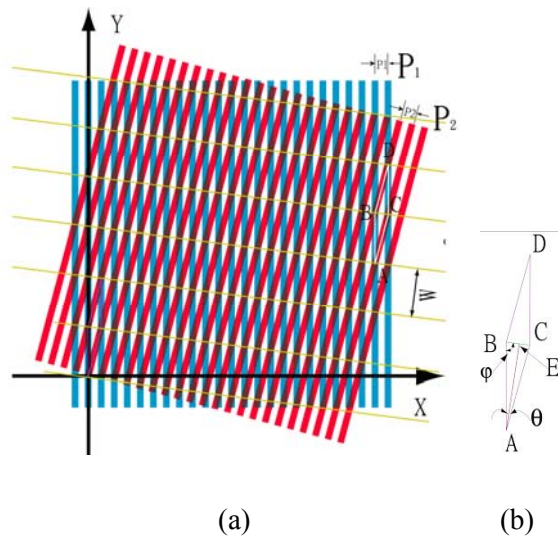


圖 1. (a) 兩組光柵交錯示意圖; (b) 為單一疊紋放大圖

由圖 1(a)得知，令三角形面積 ABC 等於 S ，利用三邊及 P_1 、 P_2 、 W 、 θ 的關係(P_1 、 P_2 是不同光柵週期， W 是產生疊紋的大小， θ 是光柵夾角)，可求出

$$\overline{AB} \times P_1 = \overline{AC} \times P_2 = \overline{BC} \times W = 2S$$

$$(\overline{BC})^2 = (\overline{AB})^2 + (\overline{AC})^2 - 2\overline{AB} \times \overline{AC} \cos \theta \quad (1)$$

經整理後，可以求出方程式(2)

$$W = \frac{P_1 P_2}{\sqrt{P_1^2 + P_2^2 - 2P_1 P_2 \cos \theta}} \quad (2)$$

當兩組柵線週期相同，即 $P_1 = P_2$ ，可以求出方程式(3)，

$$W = \frac{P}{\sqrt{2(1 - \cos \theta)}} = \frac{P}{2 \sin(\theta/2)} \quad (3)$$

本研究以疊紋公式正確計算加密的數值(加密影像的週期)，配合柱狀透鏡陣列的週期大小，完成正確加密及解密工作。在加密過程中我們將影像數位化，並配合疊紋原理製作成加密影像，以不同的輸出方式(平面顯示或印刷)完成加密圖像，最後以正確的角度將柱狀透鏡陣列板與加密影像疊加在一起，便可以清楚顯現被加密的原始信息(圖案或文字)。

本研究以柱狀透鏡陣列當解密的工具-鑰匙，經透鏡者公式可計算求出柱狀透鏡陣列正確的焦距 f (等於圓柱透鏡陣列厚度)，如方程式(4)。

$$f = \frac{rn}{n-1} \quad (4)$$

其中 n 為材料折射率， r 為透鏡的曲率半徑。

利用疊紋原理並利用方程式(5)來製作所要加密的檔案，方程式(5)可以精確求出我們預定的疊紋成像(解密後的圖像大小)。其中 P_0 代表柱狀透鏡陣列的週期寬度； P_1 代表另一個我們製做加密圖像的週期寬度； P 則代表疊加後所產生的疊紋週期寬度，即解密後的圖像大小； α 代表柱狀透鏡陣列與疊紋之間的夾角； ϕ 代表圓柱透鏡陣列與另一個圖案之間的夾角(圖 2)。

$$P = \frac{P_0 P_1}{\sqrt{P_0^2 + P_1^2 - 2P_0 P_1 \cos \alpha}} \quad (5)$$

產生疊紋大小(解密圖像)可以依疊紋放大原理公式得到加密圖像經柱狀透鏡陣列後放大多少倍，疊紋放大原理公式如方程式(6)，其中 m 代表疊紋放大比率， p_i 代表疊紋大小， p_2 代表加密圖像大小，

$$m = \frac{P_i}{P_2} \quad (6)$$

疊紋放大比例會影響產生疊紋圖像的清晰度，當疊紋放大比例越大時疊紋圖像清晰度越差[22]，一般我們會依據柱狀透鏡的規格以能清楚產生疊紋大小的數據，並經方程式(5)去推導加密圖像大小，這是在我們實驗過程中非常重要的理論基礎。

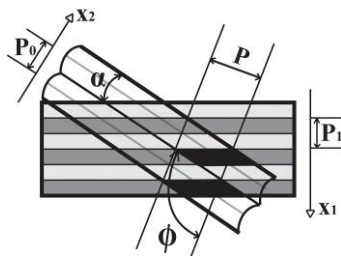


圖 2. 圓柱透鏡陣列與加密圖像交錯示意圖

三、研究方法

本研究的整體實驗計畫過程與實際做法說明如下：首先，確定柱狀透鏡陣列材料的規格，同時考量疊紋被放大後成像的品質，做初步的成像測試判定，找出所要放大的比例。其次，選定實驗所用的地圖及欲加密的圖像，以疊紋公式計算出加密圖像的參數，完成含有加密防偽的圖像，經印刷製程完成最佳的地圖成品輸出或顯示。最後，以正確規格的柱狀透鏡陣列來解密並顯現(還原)被加密的原始圖像。

本研究選用 3 種目前商規的柱狀透鏡陣列，其 Pitch 的規格分別為 101 LPI (Lenticular Per Inch) (厚度為 0.35mm)、75 LPI (厚度為 0.46mm)、62 LPI (厚度為 0.68mm)，表 1 為 3 種柱狀透鏡陣列的參數。

表 1. 柱狀透鏡陣列參數

Pitch 大小 (LPI)	101	75	62
厚度(mm)	0.356	0.457	0.685
曲率半鏡(mm)	0.160	0.203	0.305
寬度 (mm)	0.251	0.337	0.408
視角(度)	42	49	44

我們選用 1951 USAF 解析靶(1951 USAF resolution target)來鑑定疊紋放大後的成像品質(圖 3)，以及選用臺灣地形圖為被加密之原始圖像(圖 4)。實驗選用加密圖像為「中正理

工」、「 \oplus 」，以及「CCIT」等三種設計圖形(圖 5)，將柱狀透鏡陣列大小代入疊紋公式，求出製作加密之參數，將「中正理工」、「 \oplus 」，以及「CCIT」三種設計圖形經影像軟體處理後產生加密圖像(如圖 6)。

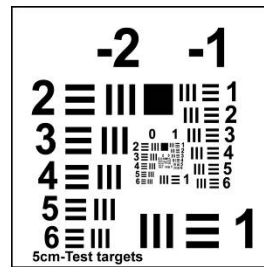


圖 3. USAF 解析靶

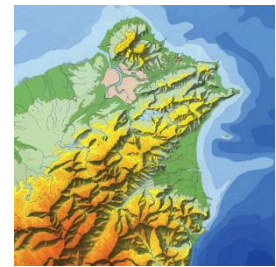


圖 4. 臺灣局部地形圖

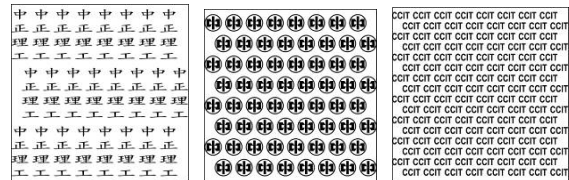


圖 5. 三種設計圖

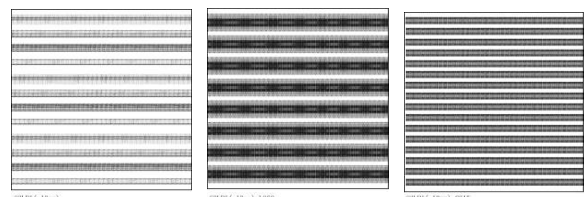


圖 6. 經處理過的三種加密圖像

最後，將三種經處理後的加密圖像分別與所選用的地圖做結合，由於目前的軍事地圖都是以彩色(CMYK)印刷為主，所以將加密圖像選定一個色版做合成，一般是配合所選定的軍事地圖被加密位置與顏色來決定，本實驗我們選用青版(cyan)做為加密圖像的顏色，圖 7 為已經處理後的加密圖像與原來的圖像(圖 4)已有差異。理想的加密圖像置入後要讓人在視覺上沒有明顯差異，當把正確的柱狀透鏡陣列置放在軍事地圖上即可看到所要的資訊。事實上，在軍事地圖所採用加密圖像要考慮在印刷過程中因有圖像印紋會擴大的現象，造成圖像模糊不清，所以本研究採用的柱狀透鏡陣列也會因大小不同而造成擴大比例不同，進而影響解密後的圖像品質。

四、結果與分析

首先，針對疊紋放大後對成像品質的判

定，我們將三種不同規格參數的柱狀透鏡陣列代入疊紋公式，同時設定四種不同放大比例，求出疊紋的製作參數(表 2)。我們將 USAF 解析靶(圖 3)以表中的數值，依疊紋公式導出加密圖像數經影像軟體處理會產生加密圖像(圖 8)，圖 8 為用 62LPI 柱狀透鏡陣列的參數製作 5mm、10mm、20mm 及 30mm 四種不同疊紋大小，將影像輸出成底片後，再分別將不同的柱狀透鏡陣列置放於不同數據加密圖像上面，便可以產生 5mm、10mm、20mm 及 30mm 四種不同疊紋大小(圖 9)，我們可依產生分辨率測試圖的疊紋大小來判定成像品質。經觀察判定整理出如表 3 的結果，我們選用其中較佳的一組參數，代入地圖加密防偽實驗。



圖 7. 經加密圖像處理後之地圖

表 2. 三種柱狀透鏡陣列與四種疊紋的製作參數

透鏡大小(LPI) \ 加密圖像大小(mm) \ 疊紋大小(mm)	101	75	62
5	0.238	0.315	0.376
10	0.244	0.325	0.391
20	0.244	0.330	0.399
30	0.248	0.332	0.401

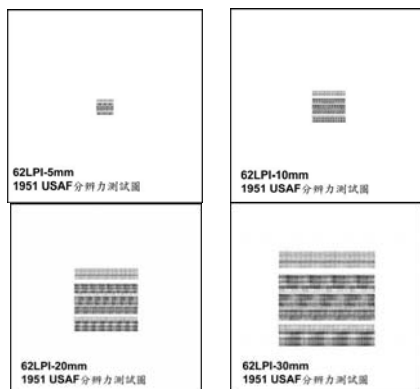


圖 8. 處理過的解析靶圖像

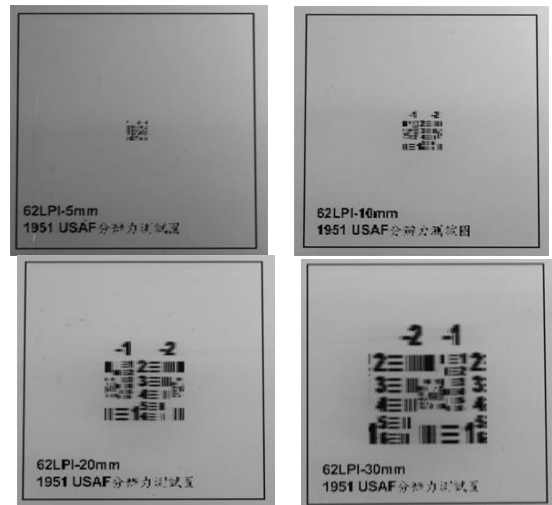


圖 9. 經柱狀透鏡陣列置放後的解析靶圖像

表 3. 為解析靶圖像判定結果

透鏡大小(LPI) \ 疊紋大小(mm)	101	75	62
5	O	O	O
10	O	O	O
20	X	X	O
30	X	X	X

X 表解析靶圖像分辨效果差; O 表解析靶圖像分辨效果佳

其次，以三種不同規格的柱狀透鏡陣列及 10mm 疊紋大小的參數處理後先以底片輸出，接著分別把解密鑰匙-柱狀透鏡陣列放在底片上面並旋轉至正確角度，經觀察各解密鑰匙均能解出所加密的圖像。但是，解密出的圖像有清晰度不同的差異，經判定以 62LPI 柱狀透鏡陣列效果較佳。圖 10 分別以 101LPI、75LPI、62LPI 所解出^④的原始圖像。

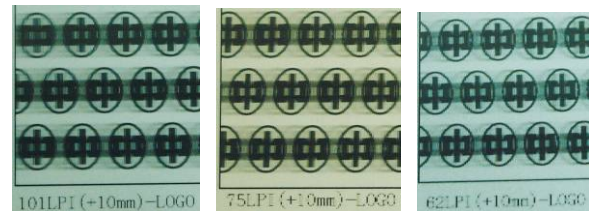


圖 10. 以 101LPI、75LPI、62LPI 的柱狀透鏡陣列所解出的原始圖像

本研究主要是以平版印刷來製作加密防偽，但因平版印刷屬於間接印刷，會有網點擴大問題發生，一般網點擴大比例是介於 15%~20%之間。因此，在製作疊紋加密防偽的圖像時，需要考慮因網點擴大而造成圖像的模糊。從圖 11 我們可以清楚看出原始加密的圖像，圖 12 為製作輸出到最後印刷影像的品

質會因平版間接印刷關係使成像的清晰度有降低的現象。

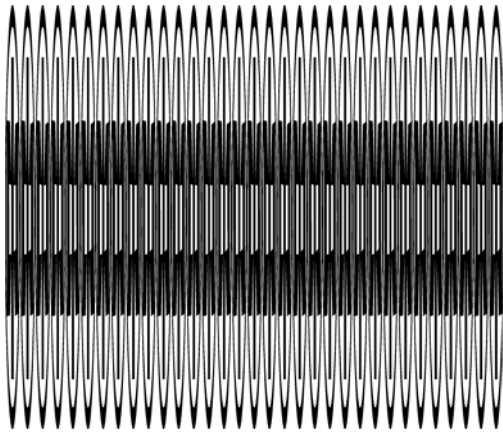


圖 11. 原加密圖像

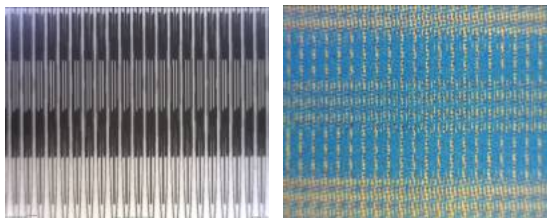


圖 12. 製作輸出到最後印刷影像




最後，實驗選用會產生 10mm 疊紋大小及 62LPI 柱狀透鏡陣列等參數(表 4)，與表 2 中參數有些微差異，是因考量整體視覺效果所做的修正，數據是依疊紋公式求得。分別製作中正理工、，以及 CCIT 三種設計圖形與台灣地圖結合成為具有防偽加密圖像，將含有不同加密參數的軍事地圖檔案經印刷完成，圖 13 為隱藏有中正理工的加密軍圖。圖 14 為使用正確規格的柱狀透鏡陣列置放在加密軍圖上，解密出含有中正理工加密圖像。圖 15 為隱藏有 CCIT 的加密軍圖。圖 16 為使用正確規格的柱狀透鏡陣列置放在加密軍圖上，解密出含有 CCIT 加密圖像。圖 17 為隱藏有的加密軍圖，圖 18 為正確柱狀透鏡陣列置放在加密地圖中顯示出加密圖像。用不同規格的柱狀透鏡陣列置放上在軍事地圖上，一般只要柱狀透鏡陣列與加密軍事地圖兩者相配才能正確顯示加密圖像，而顯出的加密圖像大小可依疊紋公式計算就可以完成，但根據疊紋放大比例會影響最後解密的圖像清晰度，所以在製作加密圖像就要考慮所使用的解密鑰匙的最佳疊紋放大效果，才能製作出良好的軍事地圖加密防偽成品。

表 4. 三種透鏡製作參數

透鏡大小 (LPI)	101	75	62
加密圖像大小(mm)			
疊紋大小 (mm)			
10	0.202	0.270	0.324

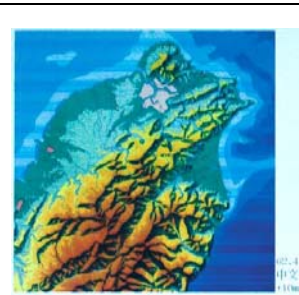


圖 13. 含有中正理工的加密軍圖



圖 14. 顯示出中正理工解密圖像

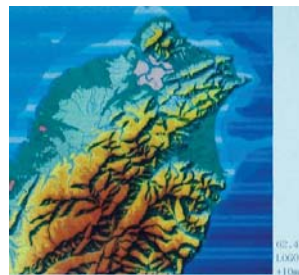


圖 15. 含有 CCIT 的加密軍圖

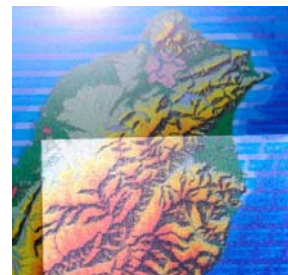


圖 16. 顯示出 CCIT 的解密軍圖

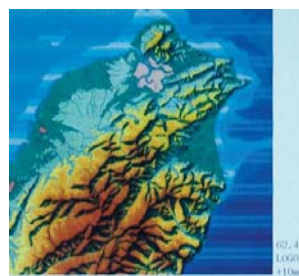



圖 17. 含有中字的加密軍圖

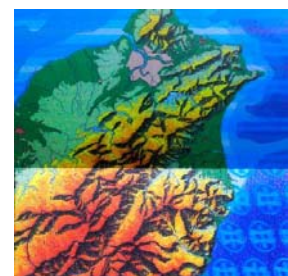



圖 18. 顯示出中字的解密軍圖

五、結論與未來方向

雖然目前科技已進步到全面數位化時代，電子地圖也因衛星導航而普及化，相對軍事地圖用傳統的印製方法可能會被電子化軍事地圖所取代。但在高科技未來戰爭中，有時候還是要依賴傳統紙本軍事地圖做為不備之需。本研究將疊紋技術應用在軍事地圖上，確

實可以做到將重要資料藏入軍事地圖中，再用柱狀透鏡陣列來做解密工具將隱藏資訊解密出來。針對本研究實驗過程與實驗結果整理及歸納一些心得，除了供後續研究參考，也提出一些改善建議，如下：

- (1) 本研究所採用現有商規三種規格的柱狀透鏡陣列，若要加強其加密功能性，應考慮用自製不同於常用柱狀透鏡陣列規格。後續可以研究將不同的規格的柱狀透鏡陣列製作在一片材料，同時也可以製作多種不同類型的微透鏡陣列(如柱狀透鏡陣列及微透鏡陣列等)混合一起應用，可加強軍事地圖防偽加密的功能性，也可以將此技術應用在軍事相關的機密文件。
- (2) 不同規格柱狀透鏡陣列對疊紋放大比例有一定的限制，若超過範圍在解密時成像會不清楚造成不好效果。
- (3) 針對實驗以 1951 USAF 解析靶做判定成像品質好壞無法有明確的數據做依據，僅以肉眼做判定，後續應有些很大改善空間或其他判定方法。
- (4) 加密圖像雖經處理但容易被知道理論基礎者所破解而降低防偽的功能性，可以考慮以破碎原理加疊紋原理做雙重的防偽功能，應該可以加強防偽的功能，此構想可做為後續研究。
- (5) 因本文所使用之方法目視原稿仍有條紋；未來可以類似連續調微小字的方式處理，以兼具原稿美觀及加密防偽功能。

總結，從實驗結果證明使用疊紋技術應用於軍事地圖加密防偽確實可行，同時可以不必變更目前的印刷製程，只要針對圖像做加密即可，同時選用正確的鑰匙即可輕易解開在軍事地圖加密的資訊，同時再入一些新的技術應可以更加完備。

誌 謝

感謝山水彩色印刷提供實驗材料與設備。

參考文獻

- [1] 張樹棟、龐多益、鄭如斯等著，李興才審定，中華印刷通史，財團法人印刷傳播與才文教基金會出版，台北，1998。

- [2] 張逸新，現代印刷防偽技術，中國輕工業出版社，北京，第 1-4 頁，2007。
- [3] van Renesse, R. L. (Ed.), Optical Document Security, Artech House, Boston, 2005.
- [4] 郭玉麟，軍圖之全像光學安全防護研究，中正理工學院軍事工程研究所碩士論文，桃園，1999。
- [5] 陳廣學，地圖出版視覺化中的數位加網技術研究，中國人民解放軍信息工程大學博士論文，河南，2006。
- [6] 蘇顯渝、李繼陶，信息光學，科學出版社，北京，第 196-206 頁，2003。
- [7] Livnat, A. and Kafri, O., "Moiré pattern of a linear grid with a lenticular grating," *Opt. Lett.* Vol. 6, pp. 7-9, 1982.
- [8] Roberts, D. E., "History of lenticular and related auto-stereoscopic method," <http://www.microlens.com/HistoryofLenticular.pdf>, 2003.
- [9] Brown, L. R., "Coding apparatus," patent number US 3,084,453, April 9, 1963.
- [10] Meltzer, R. J., "Optical coding of images for ID security," SPIE, New York, pp.149-153, September 1972.
- [11] Ikegami, O. and Miyauchi, A., "Information storage and retrieval," patent number US 3,922,074, November 25, 1975.
- [12] Alasia, A.V., "Process of coding indicia and product produced thereby," patent number US 3,937,565, February 10, 1976.
- [13] Amidror, I., The Theory of the Moiré Phenomenon, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.
- [14] Amidror, I. and Hersch, R. D., "Authentication of documents and valuable particles by using Moiré intensity profiles," U.S. Patent No. 6,819,775, November 16, 2004.
- [15] Hersch, R. D., Chosson, S., and Amidror, I., "Diffractive moiré features for optically variable devices," *Proceedings of SPIE* Vol.6075, 60750v1-60750v12, 2006.
- [16] Ostromoukhov, V. N., Rudaz, N., Amidror, I., Emmel, P., and Hersch, R. D., "Anti-counterfeiting features of artistic screening," Berlin, SPIE Vol. 2951, pp.126-133,1996.
- [17] Ostromoukhov, V. and Hersch, R. D., "Artistic screening," *Proceedings of SIGGRAPH'95*, In ACM Computer

- Graphics, Annual Conference Series, pp. 219-228, 1995.
- [18] Rudaz, N. and Hersch, R. D., "Protecting identity documents by microstructure color differences," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 13, No. 2, pp.315-323, 2004.
- [19] Amidror, I. and Hersch, R. D., "Method and apparatus for authentication of documents by using the intensity profile of Moirè patterns," U.S. Patent No. 6,249,588, June 19, 2001.
- [20] Wu, W. H., Yang, W. K., Cheng, S. H., Kuo, M. K., Lee, H. W., Chang, C. C., Jeng, G. R., and Liu, C. P., "Optical security and anti-counterfeiting using 3D screen printing," *Proc. SPIE* Vol. 6558, 65580N, 2007.
- [21] 蘇大圖, 光學測試技術, 北京理工大學出版社, 北京, 第 196-197 頁, 2001。
- [22] 黃亞杰、王希俊、吳文和, "利用疊紋放大原理應用光柵立體印刷套準之研究", *中華印刷科技年報*, 台北, 第 1-10 頁, 2011。