國立臺灣師範大學圖文傳播學系

碩士論文

利用紅外線浮水印技術設計不同顯示效果之擴增實境辨識圖案

Using Infrared Watermark Technology to Design AR Marker with Different Hiding Effects

研 究 生：王俊賢

指導教授：王希俊 博士

中 華 民 國 一O三年六月

中文摘要

現今 AR（augmented reality，擴增實境）在各領域的應用案例十分廣泛，如以教學為例，利用 AR 可提昇教學過程中的趣味性與多元性，增強學習興趣。但由於擴增實境辨識圖案於人眼閱讀並無意義，且會占據圖文版面影響閱讀效果，但假使將辨識圖案完全隱藏則可能產生使用者不知道有隱藏資訊存在之隱憂。

因此，本研究欲結合數位半色調技術與紅外線浮水印技術配合濃度匹配導表，製作不同顯示效果之擴增實境辨識圖案，使其能結合應用於產品中，使產品具有提示效果的隱藏浮水印，既能保持圖文版面的完整又能提示隱藏紅外線資訊之存在。

本研究主要使用數位半色調技術製作青(C)、洋紅(M)、黃(Y)三色墨與黑(K)墨匹配之濃度導表及紅外線浮水印，並可根據此導表製作出不影響閱讀行為又具提示隱藏資訊作用的半隱藏式擴增實境辨識圖案浮水印，使用者於觀看圖文版面時同時發現浮水印，即可得知存在隱藏資訊，並以紅外線偵測解碼可獲得擴增實境辨識圖案之隱藏資訊。

將此技術應用於擴增實境產品後，本研究將測試在不同的浮水印顯示效果之下，其偵測及觸發虛擬物件的效果是否會受到影響。經本研究成果證實，根據 C、M、Y、K 四色墨的匹配導表，可製作不同顯示效果的紅外線擴增實境辨識圖案浮水印，本研究之紅外線浮水印完全隱藏之匹配參數約為 K 墨 20%、C 墨 31%、M 墨 35%、Y 墨 33%，半隱藏式則有兩種不同顯示效果範例，黑色突顯辨識圖案及辨識圖案反白，其濃度參數分別為比全隱藏之匹配濃度低的 K 墨 20%、C 墨 31%、M 墨 31%、Y 墨 31%及比全隱藏之匹配濃度高的 K 墨 20%、C 墨 36%、M 墨 36%、Y 墨 36%。而且本研究之不同顯示效果的紅外線擴增實境辨識圖案浮水印經紅外線儀器偵測解碼後皆可成功呈現擴增實境虛擬物件，可驗證紅外線浮水印的不同顯示效果並不影響其偵測成功率。

關鍵字: 紅外線浮水印、擴增實境、數位半色調

Abstract

Nowadays, AR (Augmented reality) is widely used in education and other areas. For example, using AR in teaching can improve the interest and learning effect. However, the AR Markers are meaningless to human and will occupy the graphic space and interfere the reading effect. On the other hands, the users might not realize the existence of AR markers if the AR markers are totally hidden. Therefore, this study is to combine infrared watermark technology with density matching tables of cyan (C), magenta (M), yellow (Y). black (K) inks. It makes the amplification effect of different hidden markers. The proposed product has prompted the effect of hidden watermarks, not only keep the graphic layout completely, but also can indicate the presence of a hidden infrared information. Finally, this study will test the AR triggering effects of infrared watermarks with different hiding effects. The result shows that the infrared watermark with different hiding effects can be detected and decoded successfully by infrared detection. And it also proves that the different hiding effects of infrared watermark do not affect the IR detecting ability.

Keywords: Infrared watermark; Augmented reality; Digital halftoning;

目錄

目錄

中文摘要 I

ABSTRACT II

目錄 III

表目錄 V

圖目錄 VI

第一章 緒論 1

第一節 研究背景與動機 1

第二節 研究目的 2

第三節 研究問題 3

第四節 名詞釋義 3

第二章 文獻探討 4

第一節 數位半色調 4

第二節 紅外線浮水印 12

第三節 擴增實境 17

第四節 文獻小結 28

第三章 研究方法 30

第一節 研究流程 30

第二節 研究設備及工具 31

第三節 實驗設計 31

第四章 研究結果與討論 38

第一節 紅外線擴增實境浮水印的可偵測之效果範圍 38

第二節 設計並輸出紅外線浮水印匹配導表 39

第三節 輸出不同顯示效果的擴增實境辨識圖案 41

第四節 偵測不同顯示效果的紅外線浮水印 43

第五章 結論與建議 48

第一節 研究結論 48

第二節 研究建議 49

參考文獻 50

表目錄

表 2-1-1 半色調方法比較表..... 8

表 3-2-1 研究所使用的軟硬體工具..... 31

圖目錄

圖 2-1-1 傳統半色調過網示意圖 4

圖 2-1-2 不同網屏角度的調幅網點範例圖 6

圖 2-1-3 誤差擴散法流程圖 7

圖 2-1-4 調頻網點示意圖 8

圖 2-1-5 PATCHWORK 加密方式示意圖 10

圖 2-1-6 經過網的加密灰階影像，左斜與右斜分別代表 0 或 1 11

圖 2-1-7 使用 AM 和 FM 混合網點製作之浮水印 11

圖 2-1-8 傳統調幅網點與改良式調幅網點不同著墨比例之示意圖。 12

圖 2-2-1 光譜示意圖 13

圖 2-2-2 C、M、Y、K 墨水在不同波長下的透射光譜圖 14

圖 2-2-3 IMAGESWITCH® 技術之網點結構示意圖 14

圖 2-2-4 IMAGESWITCH® 技術之範例圖 15

圖 2-2-5 臺灣仟元鈔票 (A)可見光下 (B)紅外光源下 15

圖 2-2-6 (A)紅外線浮水印名片於一般光源的效果 (B)為紅外線浮水印名片攝於紅外線光源下的效果 . 16

圖 2-2-7 (A)音樂節目單於一般光源的效果 (B)音樂節目單於紅外線光源下的效果 16

圖 2-2-8 具紅外線隱藏訊息之郵票 17

圖 2-3-1 虛實結合的混合實境 18

圖 2-3-2 MAGICBOOK 的使用情形 19

圖 2-3-3 以擴增實境模擬人體構造 20

圖 2-3-4 以螺旋模型強化學習成效 20

圖 2-3-5 使用 SESIL 的系統增進學習效率 21

圖 2-3-6 利用擴增實境進行化學實驗 22

圖 2-3-7 利用擴增實境系統進行電磁學教學實驗 23

圖 2-3-8 MAGIC CARDS 24

圖 2-3-9 MAGIC CARDS 與虛擬物件 24

圖 2-3-10 利用手指作為擴增實境辨識特徵 25

圖 2-3-11 以 RFID 進行影像擴增系統示意圖 26

圖 2-3-12 以半色調技術製作擴增實境辨識圖案（A）正常觀看效果（B）紅外線模式觀看結果。 27

圖 2-3-13 紅外線擴增實境辨識圖案的顯像方法。 28

圖 3-1-1 研究流程圖 30

圖 3-3-1 實驗流程圖 32

圖 3-3-2 濃度匹配導表 33

圖 3-3-3 顯微鏡下的調幅網點（黑墨，K）和調頻網點（C、M 與 Y 墨） 34

圖 3-3-4 紅外線浮水印結構示意圖 34

圖 3-3-5 原有的擴增實境辨識圖案 35

圖 3-3-6 紅外線擴增實境辨識圖浮水印。 35

圖 3-3-7 CMY 三色墨所組成的版面。 36

圖 3-3-8 於一般室外下偵測紅外線浮水印。 37

圖 3-3-9 實驗環境示意圖。 37

圖 4-1-1 不同濃度的擴增實境辨識圖案(5%~45%)。 38

圖 4-1-2 於紅外線光源下可成功觸發虛擬物件的擴增實境辨識圖(20%) 39

圖 4-2-1 CMY 濃度 31%~36%匹配導表(紅圈處為最匹配濃度)。 40

圖 4-3-1 結合紅外線浮水印技術的不同顯示效果擴增實境辨識圖案(正常光源下)。 42

圖 4-3-2 於紅外線顯示器下的不同顯示效果之紅外線擴增實境浮水印 43

圖 4-4-1 原有的擴增實境辨識圖案 44

圖 4-4-2 半隱藏式紅外線擴增實境浮水印(以黑色突顯辨識圖案) 44

圖 4-4-3 半隱藏式紅外線擴增實境浮水印(辨識圖案反白) 45

圖 4-4-4 全隱藏式紅外線擴增實境浮水印 45

圖 4-4-5 可見光下為相同圖文版面，紅外線光源下可呈現不同虛擬物件 46

圖 4-4-6 具有相同紅外線浮水印的不同圖文版面圖案。 47

圖 4-4-7 具有相同紅外線浮水印的不同圖文版面在紅外線光源下呈現相同的虛擬物件。 47

第一章 緒論

本研究擬在 AR 的介面設計上結合紅外線浮水印技術之應用，旨在改善目前僅供機器判讀之辨識圖案，及其辨識圖案完全隱藏後之資訊忽略困擾，提供更符合人性化之 AR 使用介面。本章將就研究背景與動機、研究目的、研究問題、名詞釋義，分別敘述如下。

第一節 研究背景與動機

隨著數位科技的快速發展，擴增實境大量應用於生活之各種領域中，舉凡教育、醫療、藝術、工程等領域皆有應用擴增實境的案例。而研究學者們於擴增實境的快速發展過程也提出了不少改良擴增實境系統的方法，尤其在擴增實境辨識圖案方面，由於辨識圖案本身對於人眼並無意義，因此有學者便使用圖形識別（Pattern recognition）的方式來取代擴增實境辨識圖案（Gervautz & Schmalstieg, 2012），然而由於圖形識別需要較高階的運算設備且辨識速度不如傳統辨識圖案，且在同一系統之下，相同的圖像只能呈現相同的虛擬物件，使用情境稍受限制；此外有學者將傳統辨識圖案隱藏，並利用紅外線方式進行讀取（Wang, Liu, Chang, & Chen, 2008），此種方法可以維持圖文版面的完整與擴增實境的識別速度，但可能讓使用者無法察覺到隱藏資訊存在是其使用時較為困擾之處。

本研究以使擴增實境系統更接近、與適合人們使用及閱讀習慣之想法為出發點，結合紅外線浮水印技術，從傳統印製於紙張的擴增實境辨識圖案出發，以實體紙張上的不同顯示效果之擴增實境辨識圖案，使擴增實境的使用方式更能符合人眼閱讀習慣。本研究將以調幅（Amplitude Modulation, AM）與調頻（Frequency Modulation, FM）混合網點加密浮水印結合紅外線浮水印的隱藏技術，製作出不同顯示效果之擴增實境辨識圖案，改善過去辨識圖案所佔的圖文空間影響整體設計及干擾閱讀；或在辨識圖案完全隱藏後，

使用者反而無法認知隱藏資訊的存在造成使用上的困擾。紅外線浮水印紙張載體設計成在可見光下，讓肉眼看到正常文字或圖像的內容，並藉由浮水印提示隱藏之資訊；而在紅外線下，電腦可辨識嵌入的隱藏、半隱藏資訊，以現代科技把複雜的資訊內容透過傳統紙張展現，使之可以承載 3D 立體圖、圖片、聲音、文字等多樣訊息並且可與使用者進行同步互動，賦予紙張新的意義及提高附加價值，亦使擴增實境系統更接近人們閱讀習慣。

因此，本研究欲應用紅外線數位浮水印技術製作具不同隱藏性的擴增實境辨識圖案並與圖文整合，使用者可依自己喜好與需求選擇不同的顯示效果做為辨識圖案，在紅外線光源照射下，因墨水光學特性分別偵測到含碳黑墨浮水印的擴增實境辨識圖案，以紙張為載體，利用此光學特性，讓人可在視覺不被干擾的情況下，進行一般紙張載體之閱讀，同時亦可經過紅外線攝影機之讀取，進行虛擬物件顯示及資訊互動，此外與現有的圖形識別方式擴增實境系統相比，結合紅外線浮水印的擴增實境辨識圖案在可見光呈現相同的圖像，但在經紅外線儀器偵測解碼後可呈現不同的虛擬物件，這是目前的圖像辨識型擴增實境系統所無法達成的，未來可將之結合在所有擴增實境相關應用上，以提升其應用之附加價值。

第二節 研究目的

由以上研究之背景可得知，本研究的主要目的為製作不同顯示效果的半隱藏浮水印，並測試應用於擴增實境軟體中，且不同顯示效果之浮水印可根據圖文版面的需求及濃度匹配導表進行合適的輸出。此外，本研究在輸出之後也將測試不同顯示效果的紅外線浮水印擴增實境圖案其偵測效果是否有所差異，綜以上所述，本研究的研究目的可分為下列幾項:

（一）製作紅外線浮水印之濃度匹配導表。

（二）依據濃度匹配導表及圖文版面輸出不同顯示效果的紅外線浮水印。

（三）測試不同顯示效果的紅外線浮水印擴增實境偵測效果。

第三節 研究問題

根據以上的研究目的，歸納出本研究之研究問題如下所列:

（一）探討擴增實境辨識圖案浮水印的顯示效果調整依據為何?

（二）探討辨識圖案浮水印的有效隱藏效果範圍為何?

（三）探討不同顯示效果的紅外線擴增實境浮水印的偵測效果為何?

第四節 名詞釋義

一、紅外線：

在電磁波譜中，通常將波長範圍為 0.76μm～1000μm的區域稱為紅外光譜區。為便於對不同波長的紅外光進行研究，一般將紅外輻射分為近紅外線區、中紅外線區、中遠紅外線區、遠紅外線區等四個區域。所謂遠或近，是指紅外輻射在電磁波譜中距離可見光的遠、近所區分的，靠近可見光為近紅外線區，距離較遠的則為遠紅外線區。

二、數位浮水印：

數位浮水印（Watermarking）是將特定的圖案及資訊藏入影像中，目的為使影像在人眼觀察時不易發覺，且能加密於其中，並達到宣示所有權的功能。運用在印刷品上，則防止未授權複製及變造。

三、擴增實境（Augmented Reality, AR）

Azuma（1997）為最早替「擴增實境」（Augmented Reality）提出定義的學者，他在研究中指出，擴增實境的定義是一種虛擬實境的變化，並有三項必需的屬性：

1.真實與虛擬空間在同一介面空間結合。

2.為即時性的互動。

3.具有空間性（必須在三度空間內呈現，且與使用者互動）。

第二章 文獻探討

本研究主要為結合半色調技術及色墨在紅外線下的光學特性製作不同顯示效果之擴增實境辨識圖案，因此本章節將針對數位半色調技術、紅外線浮水印，及擴增實境的發展應用等相關文獻進行探討與分析。最後，透過文獻探討小結進行本研究與相關文獻的資料整理與歸納，以做為本研究之理論依據。

第一節 數位半色調

一、半色調技術

半色調（Halftoning）為一種傳統印刷技術，是由美國康乃爾大學攝影實驗室的弗德芮克・艾伍茲（Frederic E. Ives）所提出，此技術主要應用於印刷過程中來模擬影像階調變化，由於印表機僅能控制「著墨」與「不著墨」來輸出圖像，而無法表現影像的連續調，因此艾伍茲將連續調影像轉換成微小的印刷網點，透過不同形式、面積大小的墨點，將兩階影像模擬出連續調影像的層次，其輸出的圖像在一定的觀察距離時，由於人類的視覺系統會如同通過低頻濾波器（Low-pass filter）將鄰近墨點積分（Ulichney, 1987），藉此達到模擬連續調的效果。半色調的發明對於印刷術而言是一個極重要的里程碑，由於此技術使得報刊雜誌可以印出照片的半色調影像，取代了原本費時且昂貴的雕刻圖案製程。隨著電腦科技的發展，以程式演算的數位半色調技術（Digital halftoning）也開始逐漸受到重視，並取代類比式的半色調方法。

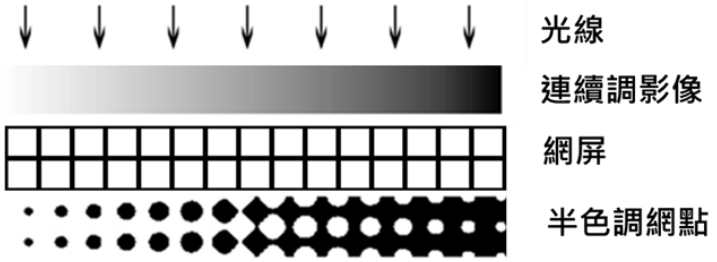


圖 2-1-1 傳統半色調過網示意圖

資料來源:鄭雅文（民102）

二、數位半色調技術

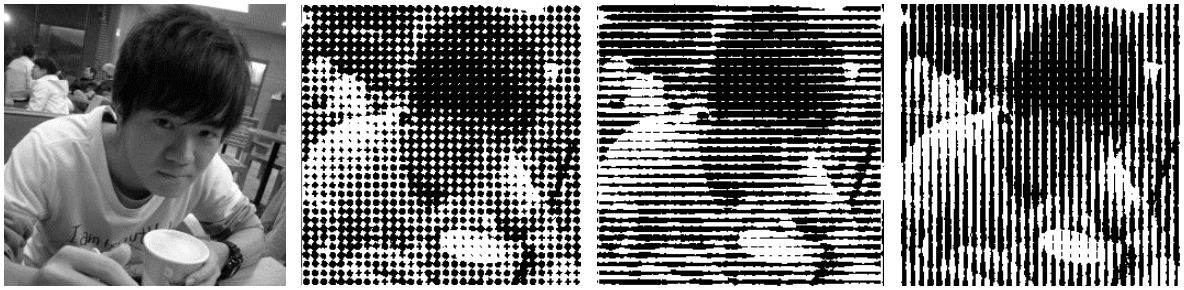
隨著電腦科技的快速發展，傳統的過網技術也結合數位科技，成為數位過網技術，即數位半色調（Digital halftoning）。數位半色調為利用半色調演算法，將連續調影像經由電腦計算轉換成數位的半色調影像。數位半色調技術依據網點呈現方式不同，主要分為以下幾種:

（一）調幅網點（Amplitude Modulation, AM）

調幅網點形成的半色調影像主要為利用網點面積大小的不同來表現影像的階調，所以細節部分表現較差，暗部表現較好。而其網點中心至另一個網點中心的距離一樣，即點與點之間的距離固定，所以AM網點形成的半色調影像主要的特徵就是網點頻率固定，但利用振幅(網點大小)改變來呈現影像階調。

調幅網點主要的演算法為點陣調色法（Ordered Dithering) (Ulichney, 1987)，主要為透過連續調原稿與臨界值矩陣的比對，決定個別像素點成為1或0的訊號值，對於數位印刷機來說，點矩陣調色法就是指引機器如何去著墨的方式。點陣調色法就是依臨界值矩陣將影像劃分成不重疊的連續子區塊，再利用所設計之含不同數值的臨界值矩陣，所生成的網點排列方式與形狀受到矩陣內的數值影響，不一樣的臨界值矩陣可形成不同網點排列結果。

其運算方式若採用臨界值矩陣大小 $M \times N$ 來運算處理一灰階影像 $P(i, j)$，透過方程式（1）將原連續調影像灰階值轉換成臨界值矩陣階調數 $Q(i, j)$。而原連續調影像之階調，透過方程式（2）之計算，判別影像之階調值大於所設定的臨界值時，便以 1 表示；若影像之灰階值小於所設定的臨界值時，則以 0 表示，藉由此演算法的方式，即可產生以 0 與 1 表示的半色調影像。



(a) (b) (c) (d)

圖 2-1-2 不同網屏角度的調幅網點範例圖 (a)灰階影像 (b)零度網屏調幅網點 (c)水平角度調幅網點 (d)垂直角度調幅網點

資料來源:研究者製作

$$Q(i,j) = M \times N \times \left(1 - \frac{P(i,j)}{255}\right) \quad (1)$$

P（i,j）：原始灰階影像
Q（i,j）：透過臨界值矩陣轉換的階調數
M × N ：臨界值矩陣大小

$$L(i,j) = \begin{cases} 1, & Q(i,j) \geq T(m,n) \\ 0, & Q(i,j) < T(m,n) \end{cases} \quad (2)$$

L（i,j）：轉換後之半色調影像階調數
T（m,n）：臨界值數值=$\mathbf{T(i + K_1 \times M, i + K_2 \times N)}$，為整數

（二）調頻網點 （Frequency Modulation, FM）

調頻網點主要為網點基本單位大小相同，但點與點之間的距離不同，也就是頻率改變，但振幅固定，因此形成的半色調影像因利用網點疏密來表現階調，對於影像中亮部表現佳，暗部則易因網點擴張，造成暗部階調表現較差。

調頻網點的演算法最典型的乃為Floyd與Steinberg學者於1976年所提出之Floyd-Steinberg Error Diffusion（FSED），其流程如圖2-1-3所示（梁鳳儒，民99），透過一固定的臨界值T（方程式3），將誤差擴散於原始灰階影像G（i, j）中鄰近其他未二階化的像素時，誤差擴散濾波器（error filter）（方程式4）之矩陣來分配誤差擴散的比重，

如果誤差擴散濾波器的輸出值大於0，則表示目前輸出像素鄰域的灰階平均值與原始影像相比過亮，反之則過暗，為了彌補差距，FSED 將誤差擴散到鄰近像素，讓下一個欲兩階化像素之灰階值減去誤差，使原始灰階值依誤差值調暗或調亮後再去量化，輸出的二階影像B整體灰階值與原始影像G整體灰階影像近似。圖2-1-4為經 FSED 處理後之半色調影像，由於誤差擴散法所形成的網點是以像素為基本單位，故解析度比點陣調色法以臨界值矩陣大小為基本單位會高出許多。點陣調色法與誤差擴散法之優缺點比較如表2-1-1所示。

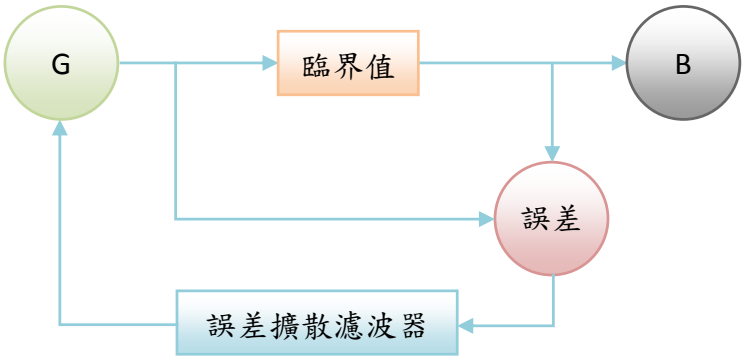


圖 2-1-3 誤差擴散法流程圖
資料來源:梁鳳儒（民99）

$$B(i,j)=\begin{cases}1, & G(i,j)\geq T\\ 0, & G(i,j)<T\end{cases} \quad (3)$$

G（i, j）：原始灰階影像
B（i, j）：轉換後之半色調階調數
T：臨界值數值

$$\frac{1}{16}\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & -16 & 7\\ 3 & 5 & 1\end{bmatrix} \quad (4)$$

(a) (b)

圖 2-1-4 調頻網點示意圖。(a)為原灰階影像圖 (b)為經 FSED 處理後的半色調圖

資料來源:研究者製作

表 2-1-1

半色調方法比較表

	點陣調色法	**誤差擴散法**
階調表現方法	網點大小	網點疏密
特殊紋理	週期性之紋理	蠕蟲痕紋
網點擴張	低	高
網點大小	變化	固定
網點距離	固定	變化
網屏角度	有	無
網屏線數	有	無
錯網	有	無
干擾紋(網花)	有	無
影像解析度	低	高
影像細部損失	會	不會

資料來源:改自張家龍（民97）& 梁鳳儒（民99）

(三)數位半色調影像加密技術

隨著電腦科技及網路的快速發展，整個世界透過網路連繫在一起，網際網路也成為絕佳傳播、宣傳的媒介，幾乎所有的企業都將其傳統的商業活動轉變為電子化並擴展至網路上，透過網路提供相當多的資訊與服務，例如電子商務、電子文件交換、隨選視訊、線上影音及即時互動廣告等各式商機。但在享受網路世界的便利性同時，網路上的影像、聲音、影片等具有價值性的數位資訊卻有相當的隱憂存在。電子檔案比起傳統檔案在取得以及重製上相對容易的多，如何能夠保護檔案所有人的智慧財產所有權及著作權，在數位化的資訊環境中就顯得特別重要。而數位浮水印便是用來解決此一問題的有效技術之一。

因應數位環境中對文件安全需求不同，各式各樣的數位浮水印方法逐一問世。如由麻省理工學院媒體實驗室(MIT Media Lab)Bender等人於1996年所提出Patchwork技術，其原理是在影像中某一區域以隨機亂數的方式取出多個像素，並將這些像素採兩兩一組計算取得相差值，最後分別加減同一個灰階值，得到每個像素配對之差值，並利用統計的特性隱藏一個bit的資料，如圖2-1-5。但由於Patchwork技術所能隱藏的資料量太少，截取者收集到多張相同大小，並以相同key值產生隨機加密的圖形，就很容易偵測到是否有加密，且Patchwork技術加密之方法對於裁切較無抵抗能力。此加密方法雖可在列印與掃描的處理程序中保留加密資訊，但由於隱藏訊息量有限，因此需調整區塊之大小才能運用於實體影像。

圖 2-1-5 Patchwork 加密方式示意圖

資料來源：Bender, Gruhl, Morimoto, & Lu (1996)

而為解決印刷和影印對數位浮水印保全的問題，有學者便利用網點的特性來做加密；如Xerox Palo Alto Research Center的Hecht於1994年提出的Glyph Code，是利用不同網點變形角度隱藏資料的技術，其原理是在影像在進行點陣調色法二階化的過程中，將欲隱藏的資訊藉由網點角度藏入資訊，形成左斜和右斜的橢圓形網點—左斜向網點「／」表示1，右斜向網點「＼」表示0(圖2-1-6)。且在編碼的過程加入錯誤修正碼(Error Correction Code, ECC）來抵抗輸出的影像受到刮傷、塗改或不同印刷條件時，進行辨認時所造成的錯誤。

2004年由王希俊、蕭佩琪、連啟明所提出的混合網點技術製作可供輸出用的浮水印（蕭佩琪、王希俊、連啟明，民93），使用經校正過的AM及FM網點，利用不同大小及不同疏密的網點以混合網點的方式來隱藏浮水印圖案，並藉由印墨在紙張上著墨特性的不同，製作在一定距離外視覺不可見的浮水印，但複印時，由於兩種尺寸的網點所需的取樣頻率不同，而複印設備無法滿足其中之一的取樣需求時，即能顯示隱藏之浮水印，以防止複印機或掃描列印影像的偽造（圖2-1-7）。

圖 2-1-6 經過網的加密灰階影像，左斜與右斜分別代表 0 或 1

資料來源: Hecht (2001).

（a） （b） （c）

圖2-1-7 使用AM和FM混合網點製作之浮水印。 (a)為浮水印原稿；(b)浮水印之網點微結構，其中左方及上方之網點為AM調幅網點，而右下角較細小之網點則為FM調頻網點；(c)為浮水印複印後之效果示意圖。

資料來源: 蕭佩琪、王希俊、連啟明（民93）

2013年，由王希俊、鄭雅文所提出的改良式混合網點浮水印可有效降低傳統混合網點輸出時的網點擴張所帶來的影響(鄭雅文，民102)，改良式混合網點利用填入不著墨白點的方式分散AM網點顯微結構，使其與FM網點具有相同之顯微結構，藉此平衡兩者網點擴張率(圖2-1-8)。並利用兩種網點不同的微結構及排列特性，形成複印機及掃瞄機取樣能力的差異，達到浮水印圖像於複印後顯現之效果。利用此技術可讓浮水印的隱藏效果更佳。

（a）　　（b）　　（c）　　（d）

圖2-1-8 傳統調幅網點與改良式調幅網點不同著墨比例之示意圖。（a）傳統實心調幅網點；（b）四分之三著墨調幅網點；（c）二分之一著墨調幅網點；（d）四分之一著墨調幅網點

資料來源:鄭雅文（民102）

第二節 紅外線浮水印

一、　紅外線光譜資訊

一般而言，可見光的波長範圍為0.45μm 到0.76μm，而紅外線位於電磁輻射中可見光與微波間的區域，其感應光譜範圍為0.76~1000μm，如圖2-2-1所示，超過可見光範圍以外的光譜能量，對於人類一般肉眼下是無法察覺的。因此，紅外線為人類無法用肉眼感知的光源,必須以特殊的紅外線偵測儀器,將可偵測的範圍延伸至可見光區域的兩端，才可使無法在肉眼下辨識的紅外線光源透過儀器擷取而感測。其中紅外線可根據電磁波中距離可見光波長遠近的不同，又分為以下四個區域：

1. 近紅外線區 （Near-Infrared region）：波長從0.76 ~ 3 μm 的範圍。
2. 中紅外線區 （Middle-Infrared region）：波長從3 ~ 6 μm 的範圍。
3. 中遠紅外線區(Long- Infrared region）: 波長從6 ~ 20 μm 的範圍。
4. 遠紅外線區 （Far-Infrared region）：波長從20 ~ 1000 μm 的範圍。

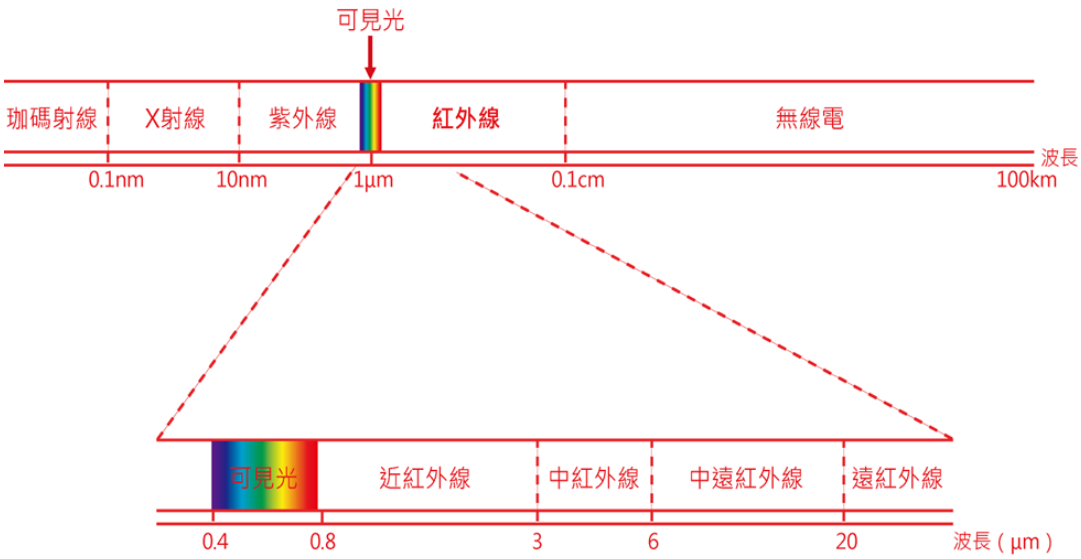


圖 2-2-1 光譜示意圖

資料來源:陳永甫（民 93）

二、紅外線對色墨的光學特性

由於紅外線本身為一個能量波段,當此波段穿越介質時,也同時將能量傳遞給介質。也因此當波穿過介質時，振幅會逐漸下降，當被介質吸收的能量僅有小部分的時候，則視此介質對該輻射作用為透明的；如果吸收所有的能量，則稱此介質對該輻射作用為不透明（梁鳳儒，民99）。因介質對於光源吸收為有選擇性的，因此會吸收特定波長的輻射。以墨水而言，黑色（Black，簡稱K）的墨水，因為能吸收光線中所有各色的光波，而幾乎無反射作用，故其墨色乃呈黑色。因此，不透明物質的顏色，乃決定於其物質本身所能反射之光波的色澤如何而定，在印刷製程中，因為青（Cyan，C）、黃（Yellow，Y）、洋紅（Magenta，M）三色顏料混合上的明暗度對比不足，因此經常加入具有碳黑成分的K墨來加強色彩暗度對比值。由於在紅外線光源下，黑墨也具有一定程度的吸收率，因此碳黑於紅外線下呈現不透明的特性；相對於青、黃、洋紅三色油墨並不吸收紅外輻射，在紅外線光源下呈現透明(如圖2-2-2所示)。因此本研究利用色墨在紅外線光源下的光學特性來製作具有隱藏資訊效果之浮水印。

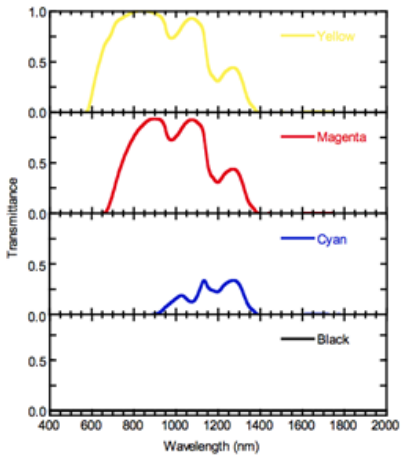


圖 2-2-2　C、M、Y、K 墨水在不同波長下的透射光譜圖

資料來源:台師大物理系劉祥麟教授實驗室提供

根據以上的色墨光學性質，日本國立印刷局於 2004 發表了 ImageSwitch®，利用半色調網點技術，採用不規則網點運算（如圖 2-2-3）將圖片隱藏進欲輸出的圖像中，在紅外線光源環境之下，由於紅外線會穿透 CMY 油墨，僅有 K 墨會被吸收，因而顯示出隱藏的圖片（如圖 2-2-4）。

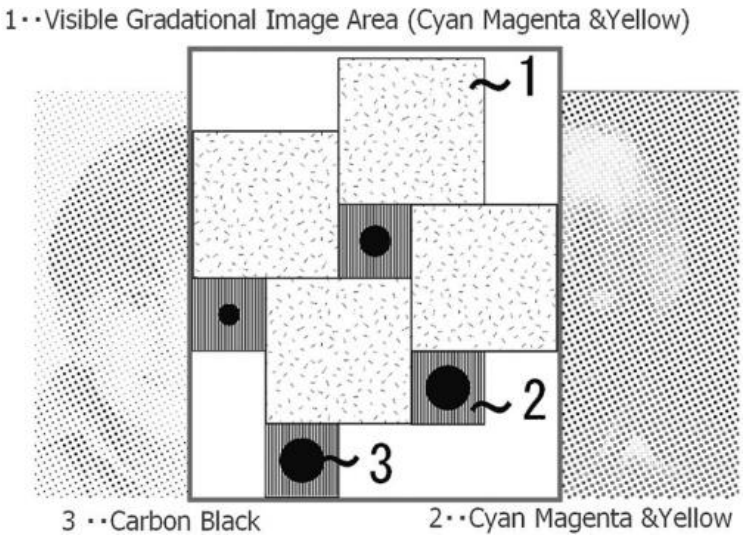
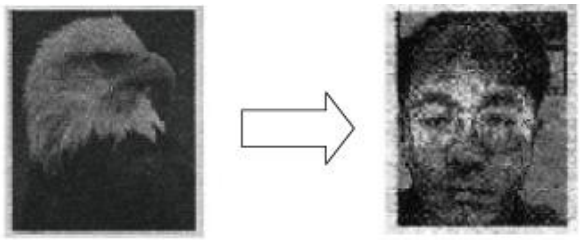


圖 2-2-3　ImageSwitch® 技術之網點結構示意圖

資料來源: Nagashima & Saito (2004)



Original **Under IR**

圖 2-2-4　ImageSwitch®技術之範例圖

資料來源: Nagashima & Saito (2004)

三、紅外線浮水印相關研究

在現今複製設備容易取得的情況下，實體文件使用多重加密的保護功能相當常見，應用碳黑成分於紅外線下的防偽機制也用於防偽印刷品上，例如台灣本國的鈔票及身分證都有運用紅外線防偽油墨（如圖 2-2-5）。但此方式是運用特殊油墨印製的方式達到效果，無論價格與取得方便性皆比較複雜。

2008 年，張家龍與王希俊提出利用數位半色調技術製作出具有實體影像浮水印之名片，透過紅外線光源照射下，人眼可以藉由儀器偵測清楚看到碳黑墨水組成的隱藏浮水印（如圖 2-2-6），藉由紅外線的光學特性以及數位半色調原理延伸應用，建立文件安全性的機制，達成有效防偽的功能，降低成本並簡化製程，有助於大量生產。

(a)　　(b)

圖 2-2-5 臺灣仟元鈔票 (a)可見光下 (b)紅外光源下

資料來源:研究者攝影

(a) (b)

圖 2-2-6 (a)紅外線浮水印名片於一般光源的效果 (b)為紅外線浮水印名片攝於紅外線光源下的效果。

資料來源:張家龍（民97）

2010 年由梁鳳儒與王希俊、李文彬提出將音訊編碼成二維條碼，運用紅外線浮水印效果隱藏音訊二維條碼於音樂會節目單之中，藉由色墨的光學特性，在紅外線儀器照射下將條碼解密因而產生音訊，使用者可藉由翻頁來變換曲目進而達成互動的效果。此研究有效擴展了紅外線浮水印的應用範圍，對於互動藝術展演、數位學習研發有創新性的突破。

(a) (b)

圖 2-2-7 (a)音樂節目單於一般光源的效果 (b)音樂節目單於紅外線光源下的效果。

資料來源:梁鳳儒（民99）

2012年，克羅埃西亞學者Maja Rudolf, Tajana Koren, Jana Žiljak-Vujić提出一種新的

隱藏方法並將其應用於郵票之中，使圖文能同時包含可見光資訊與紅外光隱藏資訊。此隱藏方法主要利用C、M、Y、K色墨的紅外線光學特性與分色處理，並透過圖文版面的設計，將K墨所構成的圖文與C、M、Y三色所構成的圖文適當配置，使在可見光與紅外光源下，得到兩者相互關聯卻不相同的資訊。但這樣的技術需建基於特別設計過的圖文版面，才能徹底隱藏資訊，無法大量應用在各種圖文之中。而本研究的紅外線浮水印則有事先經過濃度的整體階調匹配，因此紅外線浮水印呈現大致呈現一片淡色灰階，對於圖文版面的搭配彈性相對較大，較無版面圖案設計搭配限制。

(a) (b)

圖2-2-8 具紅外線隱藏訊息之郵票 (a) 於可見光下的郵票設計 (b) 在紅外線光下顯示的隱藏圖文。

資料來源: Rudolf, Koren, & Žiljak-Vujić. (2012)

第三節 擴增實境

一、 擴增實境介紹

擴增實境（Augmented Reality）在1968年由Sutherland 發明，並在1997年由Azuma為其性質作出定義，由於電腦科技及網路通訊技術的發達，擴增實境的應用日趨多元及普及化（劉文心，民98）。擴增實境為將虛擬物件增添於人眼所見的真實世界中，主要

方法為透過攝影機擷取辨識特徵並經由軟體解碼辨識，找尋儲存資料庫中的對應物件並顯示在顯示儀器上（Elbasiouny, Medhat, Sarhan, & Eltobely, 2011）。與虛擬實境（Virtual Reality） 的不同之處在於擴增實境必須在人眼所見的現實世界中呈現數位所構成的物件，需要大量的電腦即時運算資訊且強調虛實整合的複合式互動方式。

Milgram 和 Kishino於1994年提出「真實－虛擬連續性（Reality-Virtuality Continuum）」之理論來定義虛擬環境，如圖2-3-1所示。左右兩端分別代表著真實環境和虛擬環境，而介於中間則可稱為「混合實境」（Mixed Reality），在混合實境之中，真實與虛擬之間，若是比較靠近「真實環境」端者，即「真實」物件成份比例高於「虛擬」者，則稱之「擴增實境」（Augmented Reality），反之，如果是「虛擬物件」之比例較高時，則稱之為「擴增虛境」（Augmented Virtuality）。

Lee、Rincon、Meyer、Höllerer 與 Bowman （2013） 認為，以現今的混合實境技術而言，其視覺真實效果逐漸提高，使用者將越難分辨真實環境與虛擬物件的界限。擴增實境與虛擬實境最大的不同，乃是擴增實境架構於真實場景，並運用電腦來即時運算，以提昇真實世界中相關任務的執行效果，並強調真實與虛擬的複合互動 （Azuma, 2001）。

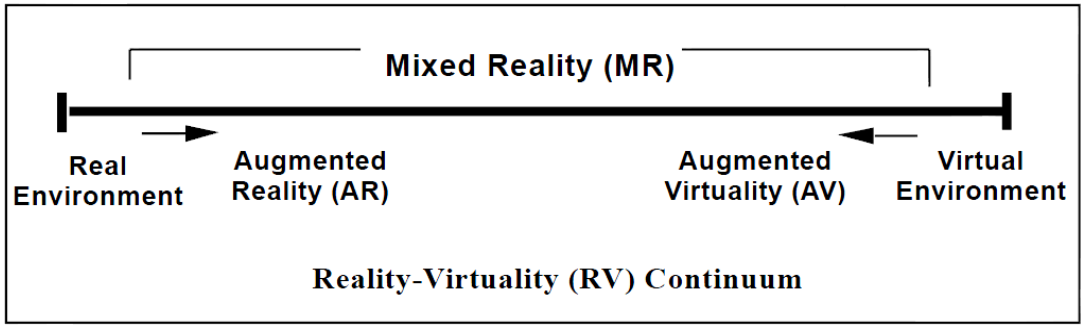


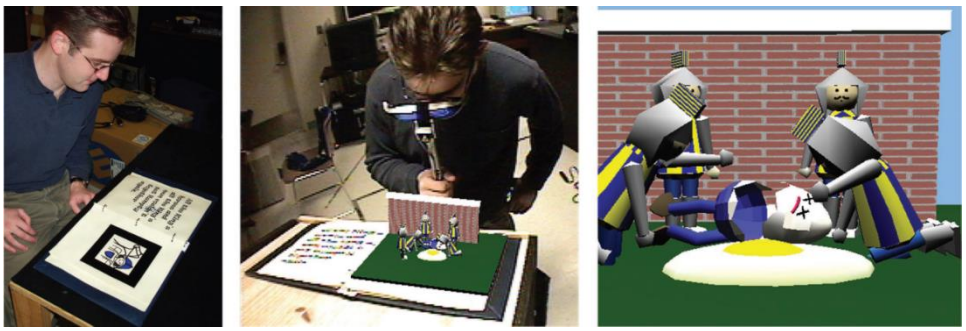
圖 2-3-1 虛實結合的混合實境

資料來源：Milgram & Kishino (1994)

二、 擴增實境相關應用

紐西蘭Canterbury大學裡的HIT Lab研發的MagicBook，是擴增實境的研究領域中一個十分重要的應用實品。MagicBook 的主要構成為一本紙本的書、擴增實境的顯示設備

以及電腦偵測解碼設備，在人類肉眼的觀察下為一本與一般書無異的紙本書；在擴增實境觀測下，書本上增添了虛擬物件的呈現；在虛擬實境的觀測中，畫面會經由電腦運算產生虛擬3D物件的模組。MagicBook 的使用情形如圖2-3-2所示: 圖2-3-2 （a）在人眼閱讀下，此書看來與一般的紙本書籍無異，讀者可用閱讀一般書籍時的方式閱讀MagicBook （但具備擴增實境辨識圖案，以方便進行偵測呈現虛擬物件）。圖2-3-2（b）在戴上擴增實境的顯示裝置後，3D的虛擬圖案會顯示於實體書本上，此一景象是由人眼正常的視覺再結合透過電腦處理過後的3D模組，達到擴增實境的效果。圖2-3-2（c）則開啟虛擬實境的功能，讓人眼的視覺全部由電腦處理過後的3D模組所取代，即改變視角，進入虛擬世界。（Billinghurst, Kato, & Poupyrev, 2001）



（a） （b） （c）

圖 2-3-2 MagicBook 的使用情形

資料來源：Billinghurst, Kato, & Poupyrev (2001)

另外，擴增實境也被應用於醫學領域之中，德國慕尼黑大學的研究團隊即針對現有的擴增實境醫學系統進行討論。他們的研究指出，外科醫師要非常清楚解剖、移植、以及手術工具的操作，才能成功的執行外科手術，這些要求不僅需要相當大的時間成本及專注力，更會使病人長期暴露在X光的輻射環境下。而利用擴增實境系統可與X光結合，醫生能藉由擴增實境影像確認X光是否與患部定位準確，且擴增實境的標記功能，能避免校準誤差導致的手術失誤，如此便能縮短手術的時間、降低手術風險，也能使病人不用長期暴露在輻射環境之中。此外，擴增實境也可用來模擬體內的構造，圖2-3-3說明了使用者可藉由不同的手勢選擇欲互動的身體部位，綠色的線條標示出目前被選擇的身

體部位（Navab, Blum, Wang, Okur, & Wendler, 2012）。

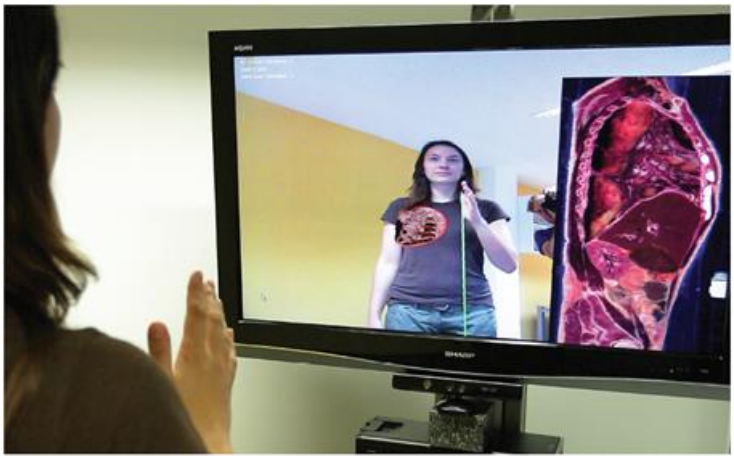


圖 2-3-3 以擴增實境模擬人體構造
資料來源: Navab, Blum, Wang, Okur, & Wendler (2012)

擴增實境亦是一種能同時達到娛樂性與教育性的高效能媒介，能讓學生針對特定的學科進行3D模型的建構，在這段過程中學生必須要深入的了解主題，才能發展出適切的3D模型，最後透過Build AR系統整合，展示擴增實境的功能，如圖2-3-4。研究結果顯示，擴增實境是相當有價值的課堂教學工具，將其應用於教育之中有非常正面的效果，儘管此文是針對兒童學習為主軸，但實際上擴增實境的教育面向可涵蓋所有的年齡層，AR的高互動性也可用於強化學習成效、增進學習興趣（Billinghurst & Duenser, 2012）。

圖 2-3-4 以螺旋模型強化學習成效
資料來源：Billinghurst & Duenser (2012)

2013年，Margetis等學者提出一個名為SESIL的擴增資訊智能學習環境(如圖2-3-5)，可提供學習者使用一般的筆與系統進行互動式的書寫、做答的動作，在SESIL的系統運作之下，使用此系統的學習者手中所握的筆會經過系統追蹤並精準計算書寫動作與筆尖落點，以便在適當位置提供作答資訊與互動，此系統亦可搭配其他學習智能環境，提高學生的學習效率與興趣。

(a) (b) (c)

圖2-3-5 使用SESIL的系統增進學習效率。 (a)於一般肉眼觀察模式 (b)於SESIL之實際操作情形 (c)SESIL模式下的頁碼辨識

資料來源: Margetis, Zabulis, Koutlemanis, Antona, & Stephanidis (2013)

波蘭的兩位學者Wojciechowski 和 Cellary 於2013年亦提出一個名為ARIES的擴增實境教學系統(如圖2-3-6)，並應用於中學的科學教育，學習者可利用ARIES中的虛擬物件來進行化學實驗並探討學習態度，例如在酸鹼中和的實驗之中，實驗用具與實驗溶液皆為虛擬物件，並且在調配實驗溶劑時，滴管附近會顯示出建議學習者加入的溶液量，有助於實驗的進行與學習，而使用此套擴增實境學習系統亦可確保化學實驗進行的安全性與增加學生的學習興趣。

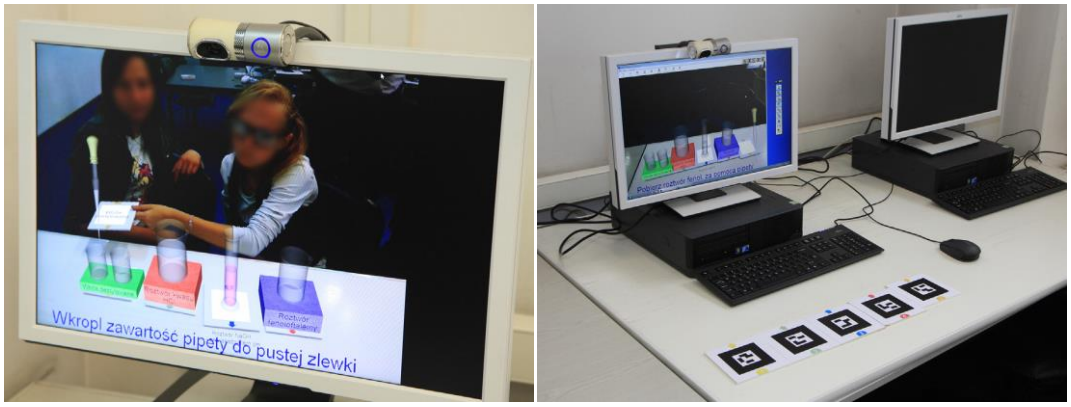
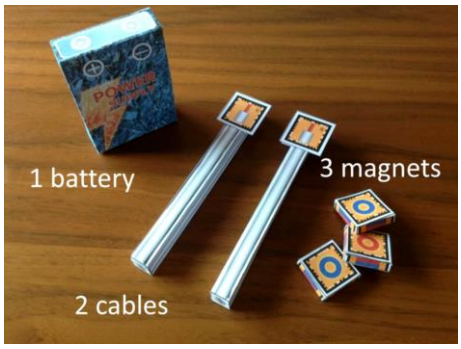


圖 2-3-6 利用擴增實境進行化學實驗
資料來源: Wojciechowski & Cellary (2013)

西班牙的學者Ibáñez、Serio、Villarán 與 Kloos 則利用擴增實境來進行電磁學的教學實驗，學生可透過各式不同的元件於擴增實境系統下進行電磁學相關實驗，見圖2-3-7，文中實驗結果證明，利用擴增實境進行的教學能更有效地促進學生對電磁概念和現象的知識，並且從實驗的數據分析顯示擴增實境教學法比起利用網頁的應用程式教學，更能提高學習使用者的體驗流暢度。此外，利用擴增實境教學電磁學相關知識亦能提高實驗的安全性與互動性。



(a)

(b)

圖2-3-7 利用擴增實境系統進行電磁學教學實驗。(a) 擴增實境辨識元件 (b) 使用擴增實境進行電磁實驗情形。

資料來源: Ibáñez, Serio, Villarán, & Kloos （2014）

三、 擴增實境的改良

Demuynck 和 Menéndez（2013）認為，擴增實境需要在終端設備上置入 3D 模型，其編碼過程過於繁雜，不易於一般使用者去創造所需的虛擬物件。因此，他們開發了新型的擴增實境辨識圖案 Magic Cards 將色彩資訊以及虛擬物件的外形編碼於此辨識圖案之中，使 Magic Cards 的外觀有別於傳統黑白方框式的擴增實境辨識圖案，主要以圓形呈現辨識圖形，並且在其中加入許多色彩的資訊，如圖 2-3-8。軟體可藉由 Magic Cards

上色彩的資訊及圖案的形狀，解碼並塑造出圓形的虛擬物件，即使是在戶外的光源下依然能有良好的偵測與虛擬物件呈現效果，如圖 2-3-9。

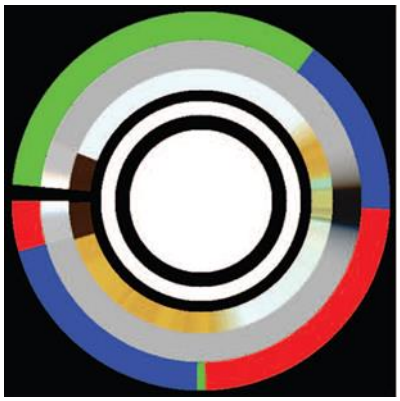


圖 2-3-8 Magic Cards
資料來源：Demuynck & Menéndez (2013)

圖 2-3-9 Magic Cards 與虛擬物件
資料來源：Demuynck & Menéndez (2013)

然而，除了上述的虛擬物件編碼過於繁複外，目前擴增實境在使用上仍具有一些限制，例如：為了強化機器偵測效果與穩定度，而設計給機器追蹤的辨識圖案。這些辨識圖案對於人眼並無任何作用，且造成視覺上的突兀與障礙，影響了圖文版面設計的整體美感。因此，如何不透過辨識圖案即可帶出擴增實境則成為未來的發展趨勢。目前的研

究已可透過一些方法來隱藏辨識圖案，主要可分為兩類型：第一種為無標誌型（Marker-less）擴增實境，透過影像特徵點擷取來作為辨識方式；第二種則為隱藏式辨識圖案（Invisible Marker），透過特殊方式將辨識圖案隱藏於視覺環境中（徐仲萱，民102）。

1. 無辨識圖案型（Marker-less）擴增實境

日本的學者提出了一種 Marker-less 的擴增實境辨識系統，其演算法是利用人體的的五隻手指作為辨識的特徵。他們將人體的手掌定義為皮膚區域（Skin Region），透過五隻手指的指間頂端當作定位，在手掌張開的時候，手指的間距處則稱為非皮膚區域（Non-skin Region），運用此方法在手掌固定的姿勢下，即可建立起擴增實境的辨識特徵，最後結合智慧型手機來帶出擴增實境之效果 （Kato & Kato, 2011），見圖 2-3-10。此方法相當具創新性，且不需額外的製作流程及昂貴的設備，然而使用者需要將手維持在一定的姿勢，令使用者費時且費力，故此技術雖然新奇，但普遍推廣的可能性不大。

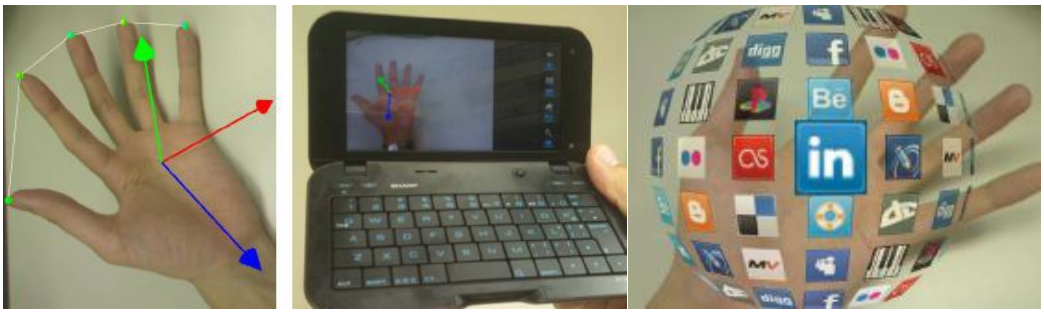


圖 2-3-10 利用手指作為擴增實境辨識特徵
資料來源：Kato & Kato (2011)

Sakuma 、 Yamabe 與 Nakajima （ 2012 ） 則 使 用 無 線 射 頻 辨 識 技 術（Radio Frequency IDentification, RFID）來執行擴增實境。他們認為紙牌類型的遊戲，往往由於規則過於複雜而使得初學者難以上手，因此他們將RFID晶片置入於紙牌中，並在電腦終端設定讀取點，透過能相互對應的晶片，分別設計出提供使用者操作提示的虛擬物件，再藉由投影機將虛擬影像投影到牌桌上，如圖2-3-11。此技術能指導初學者更

快地進入遊戲，透過擴增實境的方式也能為傳統的紙牌遊戲增添趣味。但RFID晶片取得不易且較為昂貴，手動加裝於紙牌上也相當費時費力，難以被廣泛的應用。

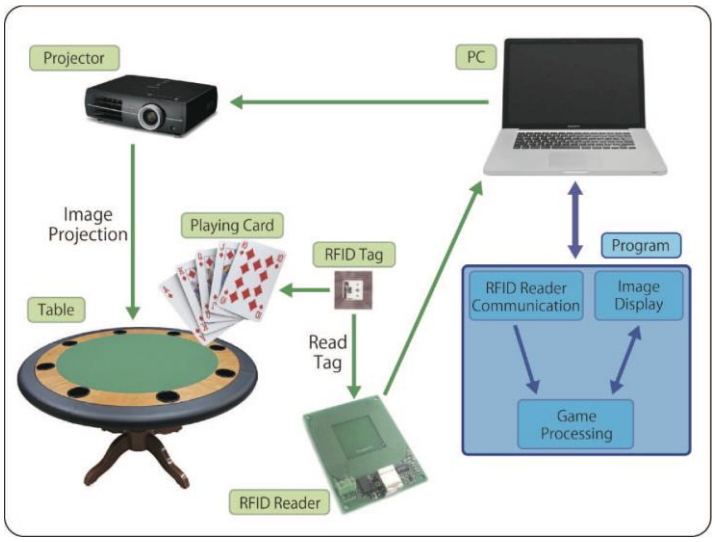
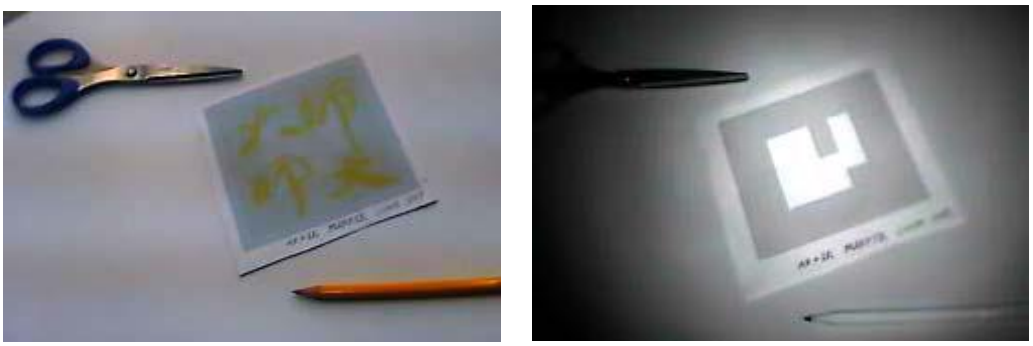


圖 2-3-11 以 RFID 進行影像擴增系統示意圖
資料來源：Sakuma, Yamabe, & Nakajima (2012)

2. 隱藏式擴增實境辨識圖案（Invisible Marker）

有學者曾利用半色調方式製作擴增實境辨識圖案，其方法是以混合網點數位浮水印隱藏技術，將擴增實境辨識圖案以純色的黑墨輸出，但是人眼無法看見此辨識圖案。而在同一塊區域上，則印上只用青、洋紅、黃，此三色墨輸出的具有意義之圖文。因此，在人眼的觀察下，僅會看到設計好的圖文印紋，而在紅外線鏡頭的模式下，則會穿透表面印紋，並能夠偵測到隱藏的擴增實境辨識圖案，如圖2-3-12，最後便能成功的呈現擴增實境虛擬物件（Wang, Liu, Chang, & Chen, 2008）。此方法雖然能將擴增實境辨識圖案完全的隱藏起來，但是卻也讓使用者忽略了擴增實境的功能，因為使用者並不知道擴增實境辨識圖案的存在。



（a）　　（b）

圖 2-3-12 以半色調技術製作擴增實境辨識圖案（a）正常觀看效果（b）紅外線模式觀看結果。

資料來源：Wang, Liu, Chang, & Chen (2008)

Park 和 Park（2010） 也共同提出了一種以紅外線特殊油墨來隱藏擴增實境辨識圖案的技術，該技術運用紅外線筆繪製成一般肉眼無法看見的擴增實境辨識圖案（IR-based AR Marker），透過一面冷鏡片（Cold-mirror），將配有色彩校正（Color Correction）濾鏡的攝影機與紅外線攝影機，分別設在冷鏡片的兩側拍攝影像，透過色彩校正的攝影機，可以拍攝出正常光源下的景象，而紅外線攝影機則可以捕捉到隱藏的擴增實境辨識圖案。兩個影像最後會在終端結合，即可呈現出擴增實境的效果，如圖2-3-13。但是紅外線特殊油墨在市面上的流通量並不高，以致於取得不易。另外，此種特殊油墨價格昂貴，若要以此製作成產品，成本將大幅提高，商品的單價亦必須因此走高，影響購買意願；再者，此方法之辨識圖案需由人工繪製，不符合印刷大量生產的製程，不易達到量產的目標。

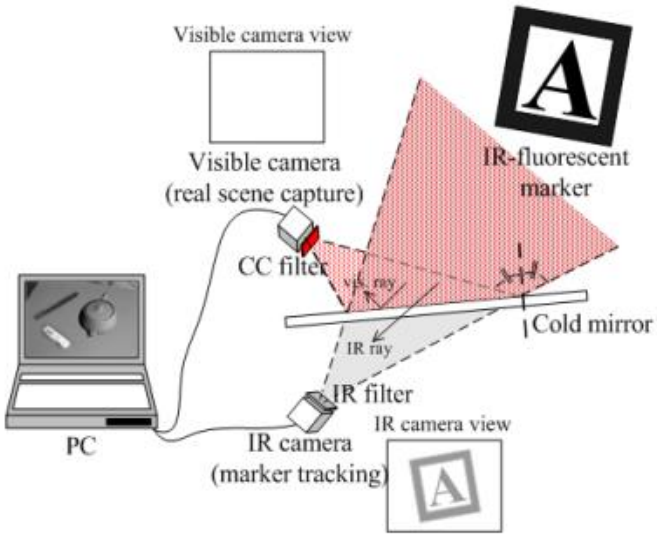


圖 2-3-13 紅外線擴增實境辨識圖案的顯像方法。
資料來源：Park & Park (2010)

第四節 文獻小結

隨著數位科技的日益進步,擴增實境更為廣泛地應用於各種領域之中,舉凡故事書、醫療領域、遊戲、工業、教育方面等，而特別在教育方面，結合擴增實境進行輔助教學的案例更是豐富且多元，利用擴增實境進行教學往往能夠提升教學的趣味性，進而引起學習者的興趣與學習動力，達到提升教學效率的效果。

根據以上的文獻可以發現,許多研究皆對於擴增實境系統提出了各式各樣的改良方法，特別是擴增實境辨識圖案部分，由於擴增實境辨識圖案對於人眼並無任何意義，因此為了改善這項缺點、使整體系統更易於人們使用,學者們大致發展出了兩種改良方向:無辨識圖案型(Marker-less)的擴增實境與隱藏式擴增實境辨識圖案(Invisible Marker)。無辨識圖案形的擴增實境系統主要為捨棄傳統的擴增實境辨識圖案，而改用圖形識別（pattern recognition）的方式進行擴增實境系統的使用，其優點為消除了傳統辨識圖案對於人眼無意義的缺點，而以有意義的圖案作為辨識對象，增進整體系統版面的美觀。但圖形識別的辨識速度不若傳統辨識圖案快速且作為辨識對象的圖案僅能配合單一虛擬物件，無法隨意變化調動，即相同圖案在同一擴增實境系統下僅能呈現單一的虛擬物

件，此為使用情境上較為侷限之處。而使用隱藏式擴增實境辨識圖案便沒有此困擾，隱藏式擴增實境辨識圖案多以紅外線偵測為發展方向，使辨識圖案於可見光下呈現不可視的狀態，且可覆蓋各式的圖文版面於上方；而在紅外線儀器偵測之下，便可進行讀取並呈現虛擬物件。然而由於紅外線特殊油墨並不容易取得且價錢昂貴，不易量產，而利用色墨之光學特性及半色調技術製作的紅外線隱藏式辨識圖案成本低廉且隱藏效果良好，不需任何特殊油墨及特殊設備，適合進行大量輸出與量產。然而由於隱藏效果良好亦產生了可能讓使用者無法察覺有隱藏資訊存在的隱憂。

因此，由以上相關研究與敘述可發現，擴增實境辨識圖案的明顯存在與完全隱藏皆有其不便之處。而本研究使用紅外線浮水印技術製作不同顯示效果之辨識圖案，在可見光下，人眼可看見圖文版面與具提示作用的浮水印；而在紅外線光源下，則可透過儀器偵測呈現擴增實境的虛擬物件，且與現有的無辨識圖案型擴增實境系統相比，本研究之技術可達到在一般光源下呈現相同圖案，但經紅外線儀器偵測後可呈現不同虛擬物件的效果，此為目前一般擴增實境系統所無法達成的。希望未來可將本技術擴展應用於各式擴增實境的產品中，冀望能為擴增實境系統的進步及使其更方便人們使用有所貢獻。

第三章 研究方法

本研究之目的為結合紅外線浮水印技術設計具不同顯示效果之擴增實境辨識圖案，讓使用者透過淡色浮水印，可察知隱藏資訊存在，並可以紅外線偵測裝置進行掃描解碼，以獲得擴增實境資訊，並測試不同顯示效果是否會影響紅外線擴增實境浮水印的讀取。本章節將根據研究架構、研究工具及實驗設計，來論述本研究實驗之過程。

第一節 研究流程

本研究之流程主要包含確認研究方向、相關文獻蒐集、選擇欲改良之AR產品、紅外線浮水印設計、匹配導表製作、輸出不同顯示效果的紅外線浮水印、偵測效果、結果分析與評估，最後再進行論文撰寫。(如圖3-1-1)

圖 3-1-1 研究流程圖

資料來源:研究者自製

第二節　研究設備及工具

本研究所使用的硬體及軟體工具如表3-2-1所列，硬體部分主要為利用桌上型電腦進行數位處理，並利用Versa UV LEF-20 噴墨印表機以解析度720dpi進行輸出，以X-Loupe G可攜式顯微鏡相機檢視網點結構，並透過紅外線網路攝影機進行偵測驗證效果；軟體部分則使用MATLAB及Adobe Photoshop進行印前的圖像處理，擴增實境則使用擴增實境教學系統呈現虛擬物件。

表 3-2-1

研究所使用的軟硬體工具

硬體	**桌上型電腦**
	Versa UV LEF-20 噴墨印表機
	紅外線網路攝影機(波長約850nm)
	X-Loupe G可攜式顯微鏡相機
軟體	**Matlab R2012a （程式語言軟體）**
	AR教學軟體
	Adobe Photoshop （影像軟體）

第三節　實驗設計

一、實驗流程

本研究之實驗流程如圖3-3-1所示，採實驗法，以半色調技術製作紅外線浮水印，利用印表機墨水特性製作混合網點，C、M、Y三色墨與K墨分別為不同網點組成，並利用色墨於紅外線下的特性，使原稿經紅外線光源下觀察時，可以透過偵測器清楚看到碳黑墨水組成的隱藏圖形，並透過擴增實境軟體系統驗證是否可成功啟動虛擬物件。

圖 3-3-1 實驗流程圖

資料來源:研究者自製

二、紅外線浮水印

本研究採用Versa UV LEF-20 噴墨印表機以解析度720 dpi 輸出，底紋部分使用16x16臨界值矩陣來進行AM半色調過網，其餘部分由C、M、Y三色混合之中性灰構成，由於本研究主要之目的為製作出具有淡色浮水印做為提示隱藏資訊之用途，因此本實驗利用濃度匹配導表進行調整，為使紅外線浮水印隱藏效果最佳化並減少網點擴張所帶來的影響，本研究使用王希俊、鄭雅文所提出的改良式混合網點(鄭雅文，民102)製作濃度匹配導表（圖3-3-2），選出在K20%網點和一定範圍階調之C、M、Y三色所組成之中性灰作匹配，並將輸出之導表置於光學顯微鏡下觀察，導表網點結構如(圖3-3-3)所示。與過去尋找最佳隱藏效果之研究不同，本研究欲尋找在適當濃度匹配之下，具有可被觀看之提示用浮水印之效果範圍，亦即最符合半隱藏式浮水印設計的標準濃度範圍。

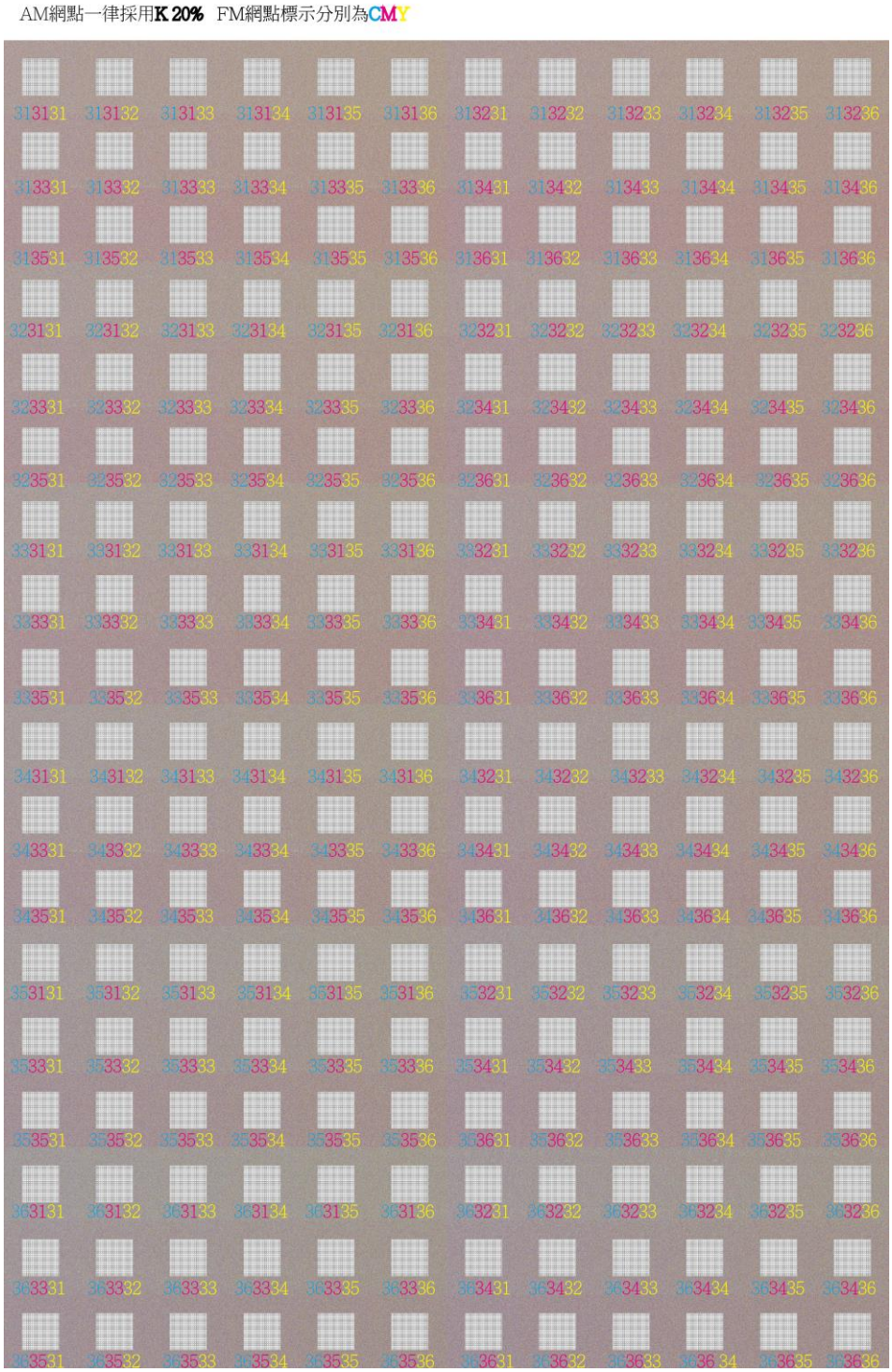


圖 3-3-2 濃度匹配導表

資料來源:研究者製作

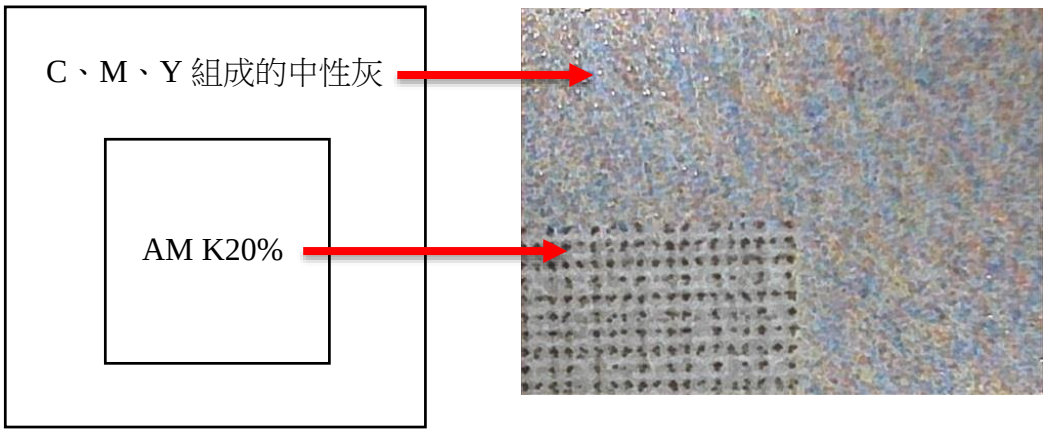


圖 3-3-3 顯微鏡下的調幅網點（黑墨，K）和調頻網點（C、M 與 Y 墨）
資料來源:研究者拍攝

本研究使用AM與FM混合網點的概念使浮水印達到隱藏與半隱藏的效果，圖3-3-4為紅外線浮水印結構示意圖，由K墨組成的AM網點（D_1）經遮罩M處理後與C、M、Y三色墨所組成的FM網點（D_2）經遮罩M'處理後，組成AM與FM紅外線混合網點浮水印（Da），其所組成的浮水印可使用方程式（5）所得到。

$$Da(i,j) = (D_1(i,j) \cap M(i,j)) \cup (D_2(i,j) \cap M'(i,j)) \quad (5)$$

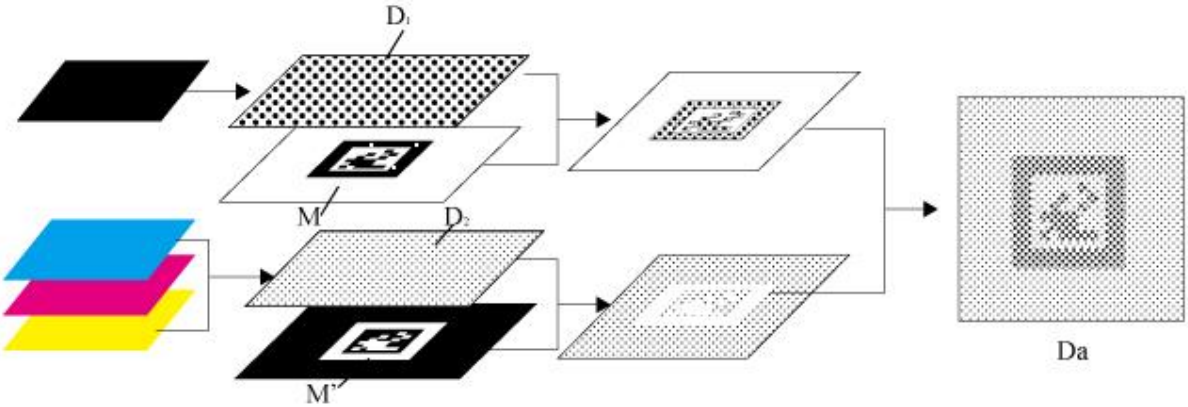


圖 3-3-4 紅外線浮水印結構示意圖
資料來源:研究者製作

三、與圖文版面整合

本實驗選擇擴增實境教學產品進行浮水印的技術應用研究，由於原有的擴增實境辨識圖案於人眼幾乎無任何意義，假使能隱藏，並在上方覆蓋有意義之圖文版面，則可以

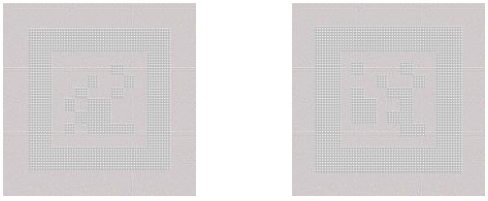
增加視覺的美觀性與資訊的額外承載量，本研究所採用的擴增實境虛擬物件在其系統中扮演小助手的角色，因此取 Assistant 中的「A」做為本次研究的圖文版面範例，然而由於假使完全隱藏辨識圖案則可能讓使用者無法察覺隱藏資訊存在，因此，本研究欲使用不同隱藏效果之紅外線浮水印結合應用於擴增實境系統中。

原始的擴增實境辨識圖案如圖 3-3-5，本研究使用以 K 墨組成 AM 網點及 C、M、Y 墨組成的 FM 網點，將兩者合成的擴增實境辨識圖浮水印（圖 3-3-6)，與 C、M、Y 所組成的大寫「A」圖文版面（圖 3-3-7)並配合濃度匹配導表之色墨參數，組合成不同隱藏效果浮水印進行輸出，結合紅外線浮水印技術後的不同顯示效果擴增實境辨識圖案浮水印與原有辨識圖案相比，多出了表示對於人眼具有意義的大寫「A」，取代原本對人眼幾無任何意義的擴增實境辨識圖案，且覆蓋其上的圖文版面可依據使用者需要任意更改，圖文版面所承載的資訊可讓使用者獲得更多資訊，增進擴增實境的使用效果。

(a) (b)

圖 3-3-5 原有的擴增實境辨識圖案。

資料來源:研究者拍攝



(a) (b)

圖 3-3-6 紅外線擴增實境辨識圖浮水印。

資料來源:研究者製作。

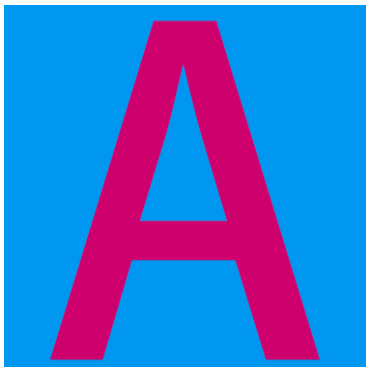


圖 3-3-7 CMY 三色墨所組成的版面。
資料來源:研究者製作。

四、偵測不同顯示效果的紅外線浮水印

紅外線浮水印的偵測於一般日常光源下經搭配紅外線濾鏡的攝影機即可偵測隱藏於圖文版面下的浮水印，如圖 3-3-8 所示。但由於本研究在配合濃度匹配導表輸出不同顯示效果的紅外線擴增實境浮水印後，欲探討不同顯示效果對於紅外線浮水印的擴增實境偵測效果是否有所影響，因此希望在一相同且固定的測試環境及測試條件下，分別偵測不同顯示效果的紅外線擴增實境浮水印，驗證其觸發虛擬物件的功能，並比較不同顯示效果間的紅外線浮水印對於偵測效果是否有異。偵測環境示意圖如 3-3-9 所示，紅外線浮水印與偵測儀器間的距離固定為 13 公分，為避免室內日光燈干擾測試結果，在此實驗環境中將關閉室內燈光，僅以紅外線偵測儀器中的紅外燈照射並偵測讀取。

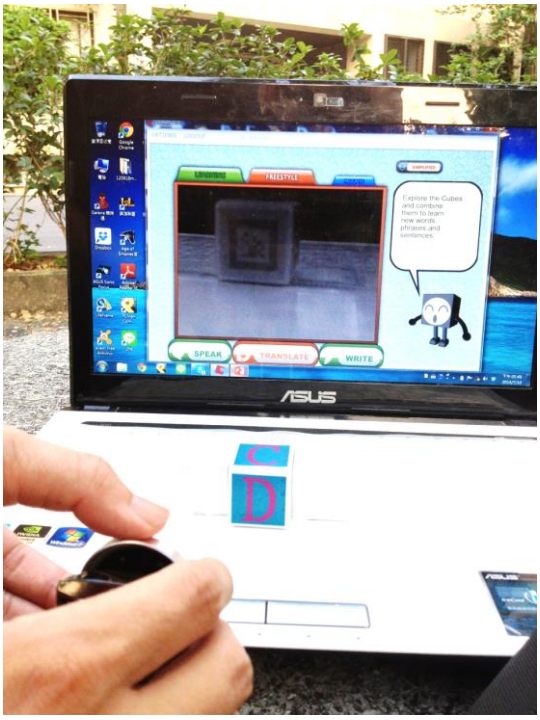


圖 3-3-8 於一般室外光源下偵測紅外線浮水印。

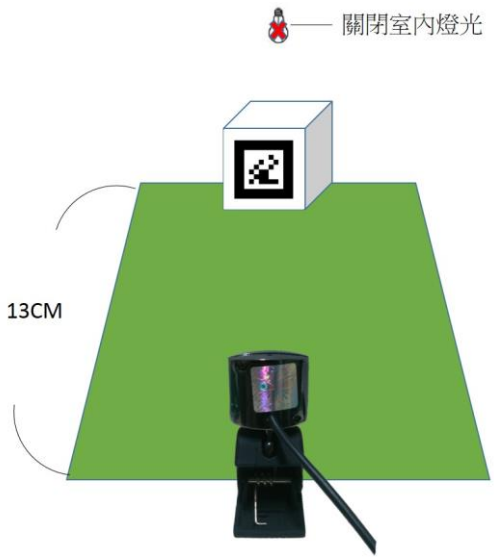


圖 3-3-9 實驗環境示意圖。

第四章 研究結果與討論

本章將針對第一節紅外線擴增實境浮水印的偵測範圍、第二節紅外線浮水印濃度匹配導表、第三節不同顯示效果的擴增實境辨識圖案以及第四節不同顯示效果的紅外線浮水印，進行分析與整理，以驗證所提方法之可行性及作討論。

第一節　紅外線擴增實境浮水印的可偵測之效果範圍

本研究的擴增實境圖案主要以結合紅外線浮水印的辨識圖案為主，但其最終結果都必須與傳統辨識圖案相同，即能成功觸發三維虛擬物件。因此以下將測試紅外線擴增實境浮水印的有效偵測範圍。

經本實驗測試，以 K 墨濃度 5%為間隔，在 K5%至 K45%間進行測試，如圖 4-1-1，量測本次實驗的擴增實境系統的紅外線擴增實境浮水印可被偵測並成功觸發虛擬物件的最低濃度，結果如圖 4-1-2 所示。顯示本次實驗的擴增實境系統可被偵測並成功觸發的範圍至少需於 K 墨濃度約 20%以上，並依此數據製作濃度匹配導表，做為調整不同顯示效果的依據。

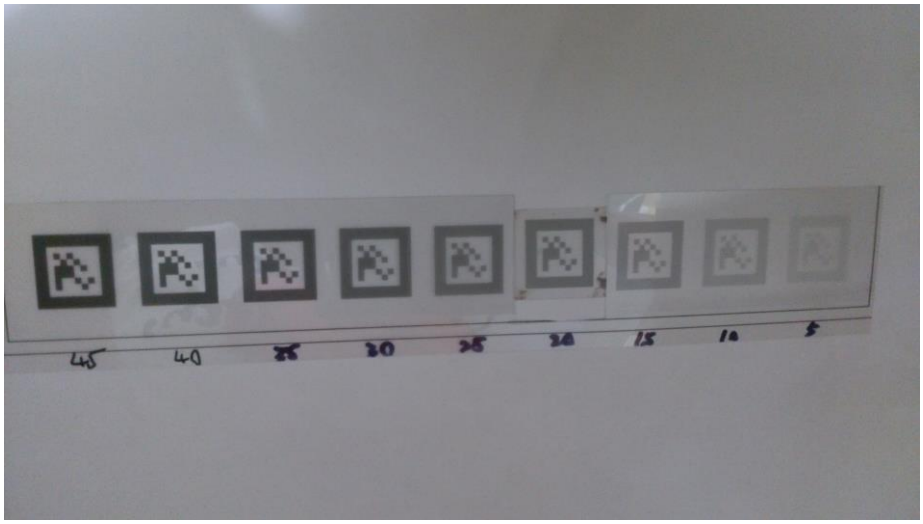


圖 4-1-1 不同濃度的擴增實境辨識圖案(5%~45%)。

圖 4-1-2 於紅外線光源下可成功觸發虛擬物件的擴增實境辨識圖(20%)。

第二節　設計並輸出紅外線浮水印匹配導表

以往的紅外線浮水印以 AM 網點 K5%為主，但由於本實驗所採用的擴增實境系統至少必須於 K 墨濃度 20%左右才能成功觸發虛擬物件，因此本研究的紅外線浮水印濃度匹配導表則以 AM 網點 K 墨濃度 20%為主，尋找 C、M、Y 色墨與 K 墨能達到平衡匹配之導表範圍。

本研究以 C、M、Y 三色墨濃度 13%~40%間進行匹配測試，C、M、Y 三色墨濃度各取 6 個參數進行匹配，設計 6*6*6 共 216 格的濃度匹配導表，以 12*18 的長型呈現，共輸出八張導表進行濃度匹配測試，分別為 13%~18%、17%~22%、22%~27%、27%~32%、31%~36%、35%~40%、40%~45%、45%~50%等分別進行測試。

最後在濃度 31%~36%的濃度匹配導表中尋找到合適的匹配參數(如圖 4-2-1)，匹配參數約為 K 墨 20%、C 墨 31%、M 墨 35%、Y 墨 33%左右，並以此當作本研究紅外線浮水印的顯示效果調整之依據。

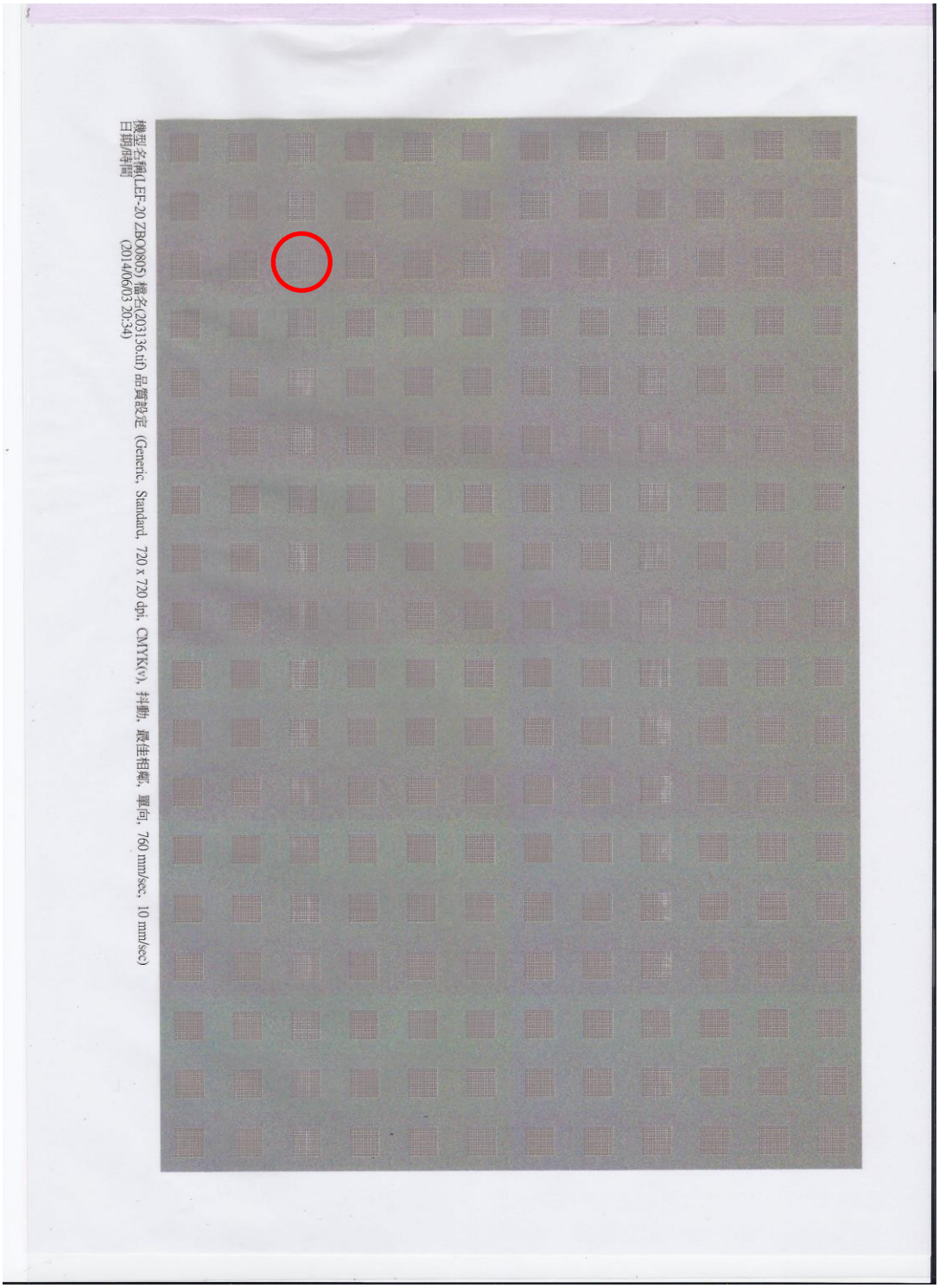


圖 4-2-1 CMY 濃度 31%~36%匹配導表(紅圈處為最匹配濃度)。

第三節　輸出不同顯示效果的擴增實境辨識圖案

傳統的擴增實境辨識圖案雖然有辨識速度快速的優點，但由於其圖案本身主要為設計給電腦判讀使用，對於人眼而言幾無任何意義，無法從其中判斷圖案與呈現出的虛擬物件中的關聯性。而使用紅外線浮水印技術隱藏的辨識圖案，則改進了傳統辨識圖案的缺點，使得傳統圖案上可以增加與虛擬物件有關的訊息或圖案，藉以強化擴增實境辨識圖案與虛擬物件的關聯性，並且可在紅外線下觸發虛擬物件，達到與使用者互動的效果。

但由於完全地隱藏辨識圖案可能造成使用者無法查覺隱藏資訊的存在，因此本研究亦增加了半隱藏效果的辨識圖案，利用半隱藏的浮水印提示使用者隱藏資訊的存在，讓使用者可以進行 AR 偵測，以獲取其中的虛擬物件或額外資訊。

本研究根據以上的濃度匹配導表輸出了不同顯示效果的紅外線擴增實境辨識圖案(如圖 4-3-1)，圖 4-3-1(a)為半隱藏式浮水印圖案，參數為 K 墨 20%、C 墨 31%、M 墨 31%、Y 墨 31%，辨識圖案以黑色突顯於圖文版面之中，藉以提示使用者隱藏資訊的存在。4-3-1(b)則是以辨識圖案反白的方式提醒使用者隱藏資訊，色墨參數為 K 墨 20%、C 墨 36%、M 墨 36%、Y 墨 36%，此兩種呈現方式可配合圖文版面及使用者的需求進行調整使用。而 4-3-1(c)則是幾近完全隱藏式的紅外線擴增實境浮水印，匹配參數約為 K 墨 20%、C 墨 31%、M 墨 35%、Y 墨 33%左右。圖 4-3-2 為不同顯示效果的紅外線擴增實境辨識圖案，於紅外線偵測下的所得之影像。

(a)

(b)

(c)

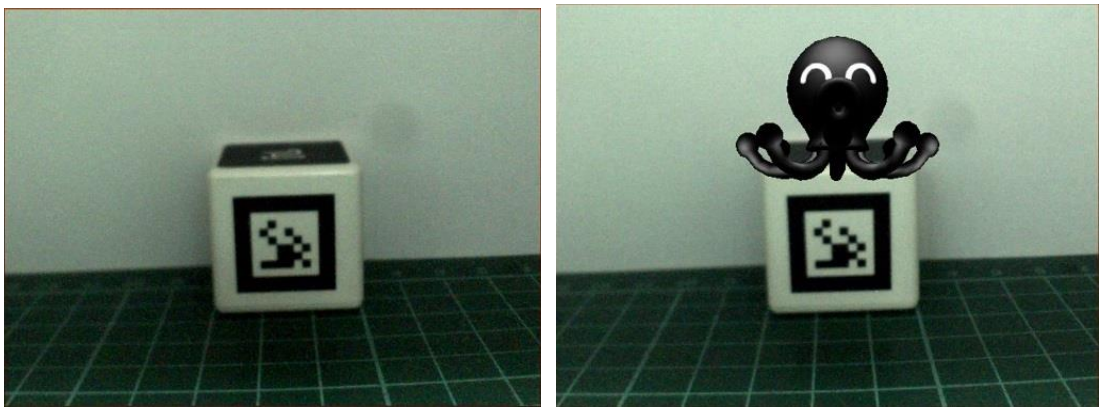
圖 4-3-1 結合紅外線浮水印技術的不同顯示效果擴增實境辨識圖案(正常光源下)。(a)半隱藏式紅外線浮水印辨識圖案(以黑色突顯辨識圖案)。(b)半隱藏式紅外線浮水印辨識圖案(辨識圖案反白)。(c)全隱藏式紅外線浮水印辨識圖案)。

圖 4-3-2 於紅外線顯示器下的不同顯示效果之紅外線擴增實境浮水印。

第四節　偵測不同顯示效果的紅外線浮水印

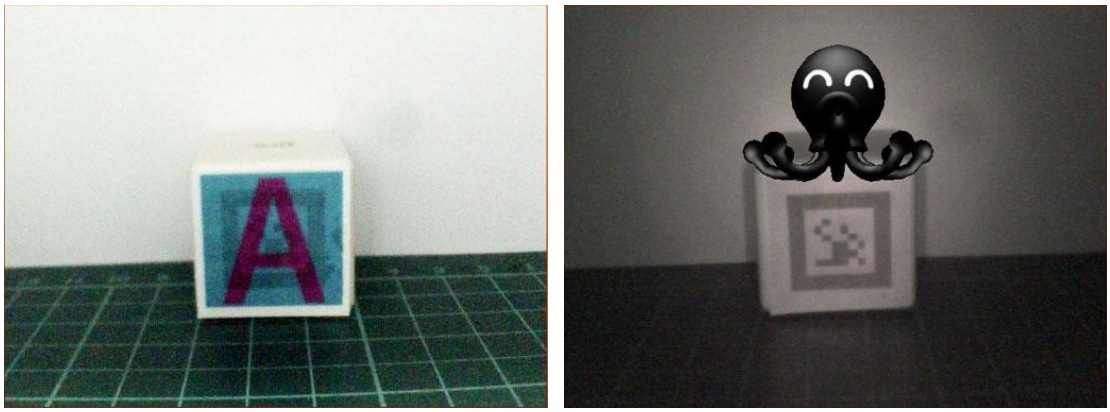
本研究的擴增實境圖案主要以結合紅外線浮水印的擴增實境辨識圖案為主，並具有不同顯示效果，但需皆能成功觸發虛擬物件才是最主要的關鍵，此外本研究亦將測試不同顯示效果是否會影響其偵測效果，因此以下本研究將針對不同顯示效果的紅外線擴增實境浮水印觸發虛擬物件的情形進行測試與探討。

不同顯示效果的紅外線浮水印測試環境皆相同，在紅外線光源下的實驗環境為隔絕可見光的封閉環境，紅外線偵測儀器距離紅外線擴增實境浮水印固定為 13 公分，測試角度亦為固定。 圖 4-4-1 為原始的擴增實境辨識圖案及其觸發虛擬物件的情形。



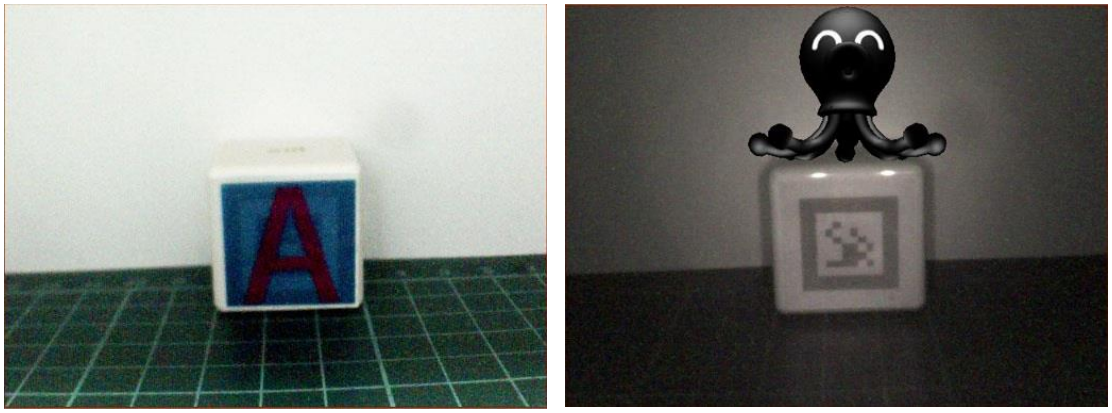
(a) (b)

圖 4-4-1 原有的擴增實境辨識圖案。(a) 為原有擴增實境辨識圖案。 (b) 為原有擴增實境辨識圖案觸發虛擬物件的情形。



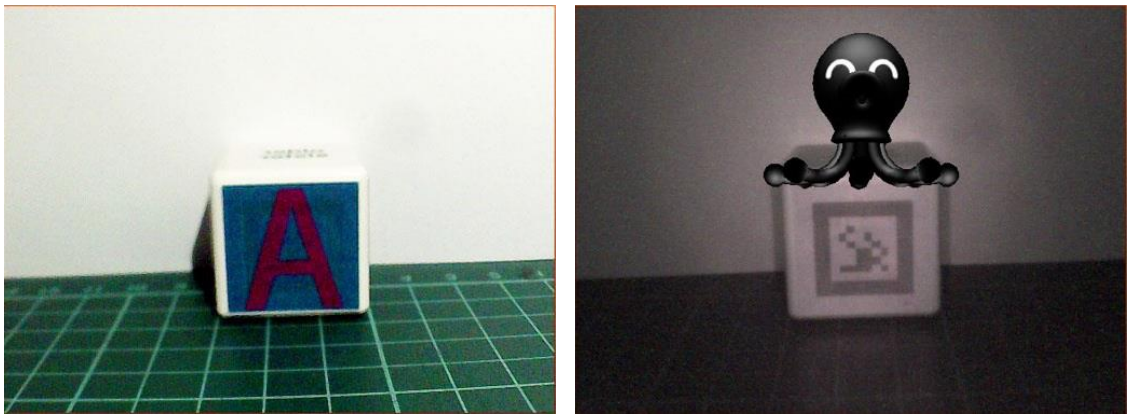
(a) (b)

圖4-4-2 半隱藏式紅外線擴增實境浮水印(以黑色突顯辨識圖案)。(a)在可見光下情形。(b)為在紅外線光源下成功觸發虛擬物件之情形。



(a) (b)

圖4-4-3 半隱藏式紅外線擴增實境浮水印(辨識圖案反白)。(a)在可見光下情形。(b)為在紅外線光源下成功觸發虛擬物件之情形。

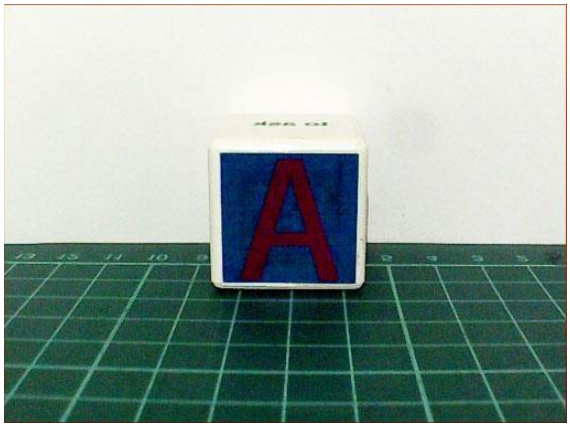


(a) (b)

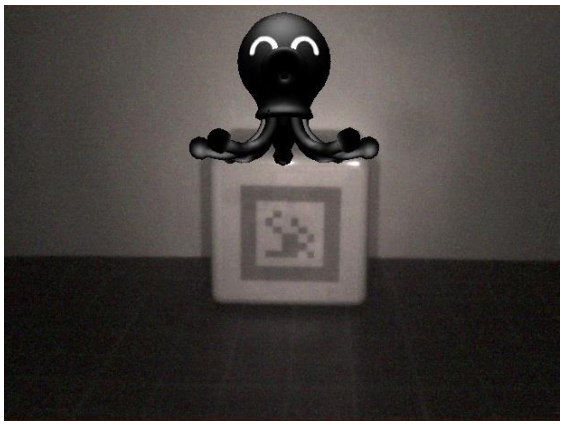
圖4-4-4 全隱藏式紅外線擴增實境浮水印。(a)在可見光下情形。(b)為在紅外線光源下成功觸發虛擬物件之情形。

由以上圖4-4-2、圖4-4-3及圖4-4-4所示，可以發現在可見光源下呈現不同顯示效果紅外線擴增實境浮水印，在紅外線光源下以機器偵測解讀時，皆可如原有的擴增實境辨識圖案一樣，成功觸發虛擬物件，證實不同顯示效果並不影響其辨識圖案的讀取效果。

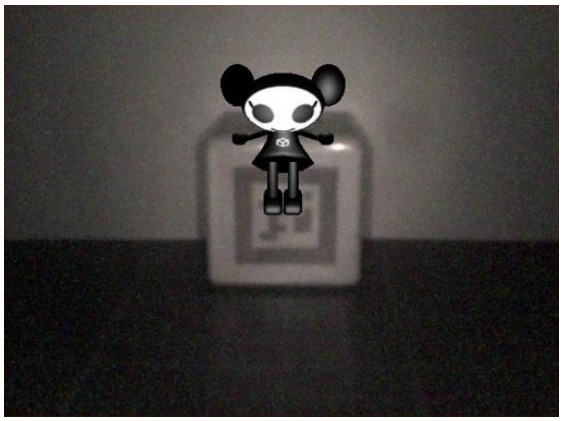
(a)



(b)



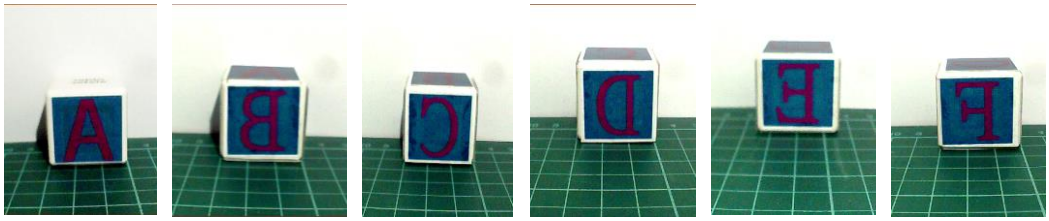
(c)



(d)

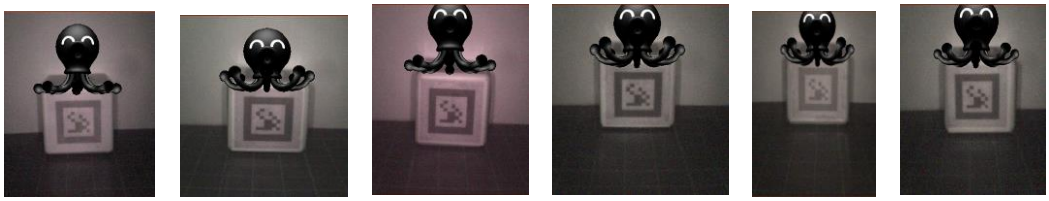
圖 4-4-5 可見光下為相同圖文版面，紅外線光源下可呈現不同虛擬物件。(a)(b)為在可見光下的圖文版面，(c)(d)為(a)(b)在紅外線下觸發虛擬物件的情形

由圖 4-4-5 可發現本研究紅外線浮水印技術可應用於製作在可見光下觀看是相同的圖文版面，但在紅外線光源下經機器偵測讀取後可成功觸發並呈現不同的虛擬物件的擴增實境辨識圖案浮水印，此為目前主流的圖像辨識型擴增實境系統所無法達成的效果。



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

圖 4-4-6 具有相同紅外線浮水印的不同圖文版面圖案。



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

圖 4-4-7 具有相同紅外線浮水印的不同圖文版面在紅外線光源下呈現相同的虛擬物件。

由圖 4-4-6 與圖 4-4-7 可發現本研究之紅外線浮水印技術亦可應用於製作在可見光下觀看為不同的圖文版面，但在紅外線光源下經機器偵測讀取後可成功觸發並呈現相同的虛擬物件的擴增實境辨識圖案浮水印，與圖 4-4-5 相同，此效果亦為目前主流的圖像辨識型擴增實境系統所無法達成的效果。

綜合以上結果圖與所述可發現，本研究之紅外線浮水印技術應用於擴增實境系統可達到在可見光下呈現相同圖文版面，但紅外線光源下呈現不同虛擬物件，及可見光下呈現不同圖文版面，但在紅外線光源下呈現相同虛擬物件的效果，利用紅外線浮水印結合應用於擴增實境系統，可讓擴增實境辨識圖案浮水印與圖文版面的組合更為彈性，應用範圍也更加廣泛。

第五章 結論與建議

本章為對本研究進行結論與未來建議，針對本研究之設計出發點:「利用紅外線浮水印技術，使擴增實境系統更貼近於各式使用者情境」，進行最後的總結。第一節為本研究的結論，第二節則提出研究建議，供後續研究者做為未來參考方向。

第一節 研究結論

一、改善傳統擴增實境辨識圖案的缺點，增加訊息承載量。

本研究為了改善傳統擴增實境辨識圖案的缺點，利用紅外線浮水印技術製作擴增實境辨識圖案，能將無意義的辨識圖案隱藏並可與有意義的圖文版面結合，增加訊息的承載量；而讓使用者能查覺隱藏資訊的存在，紅外線浮水印可根據濃度匹配導表調整色墨的匹配濃度，使得浮水印可為人眼所察覺亦可辨識圖文版面之意義，經電腦讀取後可成功觸發隱藏之虛擬物件。

二、證實紅外線浮水印的不同顯示效果並不影響擴增實境偵測效果。

如第四章結果所示，證實本研究之紅外線浮水印之資訊隱藏性可改善過去辨識圖案佔據版面空間影響視覺效果的缺點，且隱藏效果之可調性亦能避免使用者忽略隱藏之訊存在之隱憂，而在紅外線儀器的偵測之下，不同隱藏效果的紅外線擴增實境浮水印皆能成功觸發虛擬物件，此項結果亦證實了不同隱藏效果並不影響紅外線浮水印的偵測效果及帶出擴增實境之虛擬物件，使紅外線浮水印技術的應用限制減少，可望有效廣泛應用於各領域之中。

三、可於肉眼觀測下呈現相同圖文版面，但在紅外線偵測後呈現不同虛擬物件，及可肉眼觀測下為不同圖文版面，但經紅外線偵測後可呈現相同虛擬物件。與現今之擴增實境環境所使用之圖像辨識系統相比，圖像辨識方式為主的擴增實境系統於同一圖

案僅可呈現特定單一虛擬物件；而結合紅外線浮水印技術的擴增實境辨識圖案浮水印則可使在可見光下外觀看起來皆一樣的圖像，在紅外線儀器偵測之下可各自呈現出不同的虛擬物件。此外亦可呈現於可見光下外觀看起來不一樣的圖像，在紅外線儀器偵測之下可呈現出相同的虛擬物件。而此兩項特點為目前圖像辨識方式為主的擴增實境系統所無法達成的效果，本研究期待此特點能使擴增實境系統有新的應用方向。

第二節 研究建議

對於未來研究而言，本研究歸納出以下幾點供後續研究者參考與改進，分別是偵測部分與比較不同擴增實境系統，希望能提供後續研究者進行更完整、更全面的研究與應用。

一、以影像強化的方式加強偵測讀取效果。

目前成功的紅外線浮水印擴增實境辨識圖案乃是以 K 20%為基準的浮水印，但由於 K 20%濃度對於版面圖案而言可能有加深色彩之隱憂，因此建議未來研究方向將可朝向盡量降低K墨濃度並以影像強化的方式提高偵測讀取成功率的方向進行未來後續相關之研究。

二、與多種不同的擴增實境系統比較，增加紅外線技術與擴增實境軟體整合的多樣性與完整性。

由於本研究採用的為一特定擴增實境教學軟體，各種不同的擴增實境軟體中的偵測讀取條件可能有所不同，採用不同的擴增實境系統進行測試比較，可提高紅外線浮水印技術應用於擴增實境系統的全面性與完整性，未來期望可找尋一套可廣泛應用於各擴增實境軟體的使用模式。

參考文獻

中文文獻

徐仲萱（民 102）。**運用點矩陣全像片呈現擴增實境之研究**(未出版之碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。

陳永甫（民 93）。**紅外輻射紅外器件與典型應用**。北京：電子工業出版社，1-2。

張家龍（民 97，4 月）。紅外線數位浮水印結合資訊加密之防偽設計。**2008 資訊科技國際研討會論文集**，台中市：朝陽科技大學資訊工程系。

梁鳳儒（民 99)。**紅外線浮水印應用於音樂節目單之音訊互動研究**(未出版之碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。

劉文心（民 97)。**以紅外線浮水印為基礎之擴增實境創新研究**(未出版之碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。

鄭雅文（民 102)。**改良式混合網點應用於數位浮水印之研究**(未出版之碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北市。

蕭佩琪、王希俊、連啟明（民 93)。文件底紋之混合網點數位浮水印技術。**第三屆數位典藏技術研討會論文集**，223-230，台北市。

英文文獻

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Teleoperators and Virtual Environments, 6*(4), 355-385.

Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N., & Lu, A. (1996). Techniques for data hiding. *IBM System Journal*, *35*(3&4), 313-336.

Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer, 45*(7), 56-63. doi: 10.1109/MC.2012.111

Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2001). The MagicBook—Moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Computer Graphics and Applications, 21*(3), 6-8. doi: 10.1109/38.920621

Demuynck, O., & Menéndez, J. M. (2013). Magic Cards: A new augmented-reality approach. *IEEE Computer Graphics and Applications, 33*(1), 12-19. doi: 10.1109/MCG.2012.94

Elbasiouny, E. M., Medhat, T., Sarhan, A., & Eltobely, T. E. (2011). Stepping into augmented reality. *International Journal of Networked Computing and Advanced Information Management, 1*(1), 40-47.

Gervautz, M., & Schmalstieg, D. (2012). Anywhere interfaces using handheld augmented reality. *Computer, 45*(7) 26-31. doi: 10.1109/MC.2012.72

Hecht, D.L. (1994). Embedded data glyph technology for hardcopy digital documents. *SPIE Color Hard Copy and Graphic Arts III*, 341-352.

Hecht, D.L. (2001). Printed embedded data graphical user interfaces. *Computer, 34*(3), 47–55.

Ibáñez, M. B., Serio, Á. D., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality:Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education, 71*(1), 1–13. doi: 10.1016/j.compedu.2013.09.004

Kato, H., & Kato, T. (2011, Jan.). A marker-less augmented reality based on fast fingertip detection for smart phones. *Paper presented at the meeting of IEEE Consumer Electronics 2011, Las Vegas, NV.* doi: 10.1109/ICCE.2011.5722498

Lee, C., Rincon, G. A., Meyer, G., Höllerer, T., & Bowman, D. A. (2013). The effect of visual realism on search tasks in mixed reality simulation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 19*(4), 547-556. doi: 10.1109/TVCG.2013.41

Margetis, G., Zabulis, X., Koutlemanis, P., Antona, M., & Stephanidis, C. (2013). Augmented interaction with physical books in an Ambient Intelligence learning environment. *Multimedia Tools and Applications, 67*(2), 473-495.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems, E77-D*(12), 1321-1329.

Nagashima, H., & Saito, K. (2004). New Security System for ID Certificates in IT Society, *Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV, Proc. of SPIE*, 5310, 142-150.

Navab, N., Blum, T., Wang, L., Okur, A., & Wendler, T. (2012). First deployments of augmented reality in operating rooms. *Computer, 45*(7), 48-55. doi: 10.1109/MC.2012.75

Park, H., & Park, J. I. (2010). Invisible marker-based augmented reality. *International Journal of Human-Computer Interaction, 26*(9), 829-848. doi: 10.1080/10447318.2010.496335

Rudolf, M., Koren, T., & Žiljak-Vujić, J. (2012). New postage stamp design with tone gradation in infrared design technology. *ACTA Graphica Revija Za Graficku Tehnologiju Inzinjerstvo I Dizajn Journal*, *23*(3-4), 57-64.

Sakuma, H., Yamabe, T., & Nakajima, T. (2012, Sep.). Enhancing traditional games with augmented reality technologies. *Paper presented at the 2012 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 9th International Conference on Autonomic and Trusted Computing, Fukuoka, Japan*. doi: 10.1109/UIC-ATC.2012.95

Ulichney, R. (1987). Digital Halftoning, *MIT Press, Cambridge*, MA.

Wang, H. C., Liu, W. H., Chang, C. L., & Chen, Y. H. (2008, Dec.). Design of halftone-based AR markers under infrared detection. *Paper presented at the meeting of Computer Science and Software Engineering, Wuhan, Hubei.* doi: 10.1109/CSSE.2008.1391

Wang, H.C., Lee, W.P.H., Liang, F.J. (2010). An interactive concert program based on infrared watermark and audio synthesis. *ArtsIT 2009, Lecture Notes in Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering (LNICST)*, 30, 48–55.

Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education, 68*(1), 570-585. doi: 10.1016/j.compedu.2013.02.014

Yamabe, T., & Nakajima, T. (2013). Playful training with augmented reality games-case studies towards reality-oriented system design. Multimedia Tools and Applications, 62(1), 259-286. doi: 10.1007/s11042-011-0979-7