

植基於影像內插與像素差值之可適應性高動態範圍影像資訊隱藏演算法

蔡淵裕¹、林若筑²、張嘉君³

亞洲大學行動商務與多媒體應用學系

¹yytsai@asia.edu.tw、²jwu945@gmail.com、³ru8rmpgj9@gmail.com

摘要

本文提出一套植基於影像內插與像素差值之可適應性高動態範圍影像資訊隱藏演算法。首先，我們利用先前研提之取樣方法取得參考像素，並藉由最低有效位元取代技術的協助，將訊息嵌入至參考像素中以有效提升訊息嵌入量，並依據門檻值將每一區塊分成低複雜度與高複雜度兩類。低複雜度區塊內的每一像素，我們採用最低有效位元取代技術將訊息嵌入於其中，使得每一像素能保有基本的訊息嵌入量。高複雜度區塊則先使用影像內插技術取得內插影像，接著計算出內插影像與輸入影像的差值來估算訊息嵌入量，最後藉由另一門檻值的協助決定該像素的訊息嵌入方式，以避免失真程度過大。實驗結果顯示，相較於先前演算法，本文所提技術能擁有更高的訊息嵌入量，且偽裝影像有令人滿意的影像品質，使得可適應性資訊隱藏技術在高動態範圍影像上有進一步的發展。

關鍵詞：高動態範圍影像、可適應性資訊隱藏、影像內插、像素差值、最低有效位元取代

An Adaptive Information Hiding Algorithm for HDR Images Based on Image Interpolation and Pixel-value Differencing

Yuan-Yu Tsai¹, Ruo-Jhu Lin², Chia-Chun Chang³

Department of M-Commerce and Multimedia Applications,

Asia University, Taichung, Taiwan

¹yytsai@asia.edu.tw, ²jwu945@gmail.com, ³ru8rmpgj9@gmail.com

Abstract

This study proposes an adaptive information-hiding algorithm for high-dynamic-range images based on image interpolation and pixel-value differencing. First, we obtain the reference pixels from the input image and embed the secret message into them based on least-significant-bit substitution method. Thereafter, a threshold is used to determine the block complexity and different embedding strategies are adopted for data embedding, either LSB substitution or pixel-value differencing. The embedding capacity for each pixel in complex block is obtained

adaptively based on the difference between original and interpolated pixel value. Experimental results show that the proposed algorithm can have more embedding capacity accompanying with satisfactory image quality than previous algorithm.

Keywords: High Dynamic Range Images, Adaptive Information Hiding, Image Interpolation, Pixel-value Differencing, Least-significant-bit Substitution

壹、前言

資訊隱藏(Information Hiding)技術[4][8][10]係透過掩護媒體(Cover Media)的掩飾，將訊息藏匿於其中，使之成為帶有秘密訊息的偽裝媒體(Stego Media)，並當成傳送方與接收方溝通的橋樑。僅有合法的接收方才能得知此偽裝媒體帶有秘密訊息，一般網路使用者或是非法攔截者會誤認為雙方僅在傳遞正常的媒體，使得秘密訊息的傳送能夠更加的安全及隱密。

資訊隱藏技術依照掩護媒體中每一個組成元素(像素或頂點)所能承載的訊息量，分為非適應性(Non-adaptive)與可適應性(Adaptive)兩種。非適應性資訊隱藏演算法在掩護媒體的每一個組成元素中嵌入相同數量的秘密訊息；而可適應性資訊隱藏演算法則根據每一組成元素周遭的複雜度動態決定其訊息嵌入量。可適應性資訊隱藏演算法不論是在灰階影像、彩色影像或是三維模型皆有學者廣泛而深入地進行研究。然而，據我們所知，目前僅有 Cheng 與 Wang 兩學者[3]針對 Radiance RGBE 格式的高動態範圍影像提出可適應性的資訊隱藏技術。該作法利用每一像素與相鄰像素 E 頻道的相似性將高動態範圍影像分成區塊(Block Area)與邊界(Edge Area)兩區域。在區塊區域中，作者使用雙邊的邊緣參考(Two-sided Side Match)演算法計算每一像素的訊息嵌入量後將秘密訊息嵌入；在邊界區域中，由於兩相鄰像素之 E 值相異，因此先使用同質表示式(Homogenous Representation)[15]轉換公式，先使得相鄰像素的 E 值相同後，並將 RGB 三頻道的數值截斷至 255，再使用雙邊的邊緣參考演算法進行訊息的嵌入動作。

Cheng 與 Wang 兩學者所提技術雖然可以達到可適應性，但仍有下列幾項議題可以探討。首先，邊界像素在調整相鄰像素之 E 值時，若 RGB 三頻道的數值大於 255，作者直接把它截斷至 255，造成訊息嵌入量的估算不準確。此外，部分區塊像素因無法滿足嵌入條件無法承載秘密訊息，造成可嵌入訊息的像素嵌入量過低，且可能發生溢位(Overflow)或欠位(Underflow)的情況需要適當的調整訊息嵌入量，上述因素皆會影響該演算法的效能。因此在本文中，我們提出植基於影像內插與像素差值之可適應性高動態範圍影像資訊隱藏演算法。首先，利用先前研提之取樣方法取得參考像素(Reference Pixels)，藉由最低有效位元取代(Least-significant-bit Substitution)技術將訊息嵌入於其中，並依據門檻值將區塊分成低複雜度區塊與高複雜度區塊兩類。低複雜度區塊內的每一像

素，我們採用最低有效位元取代技術將訊息嵌入於其中，以增加訊息嵌入量。高複雜度區塊則先使用影像內插技術取得內插影像，接著計算出內插影像與輸入影像的差值，再藉由另一門檻值的協助決定該像素的訊息嵌入方式，以避免失真程度過大。實驗結果顯示，相較於先前演算法，本文所提技術能擁有更高的訊息嵌入量，且偽裝影像有令人滿意的影像品質，使得可適應性資訊隱藏技術能在高動態範圍影像上有進一步的發展。

本文其餘部分安排如下：第貳章回顧植基於影像內插之資訊隱藏技術的相關概念。此外，也會介紹像素差值及高動態範圍影像中 RGBE 的表示方式；第參章詳述我們所提出的方法；第肆章展示實驗結果及討論；最後，第伍章提出結論和未來的研究方向。

貳、文獻探討

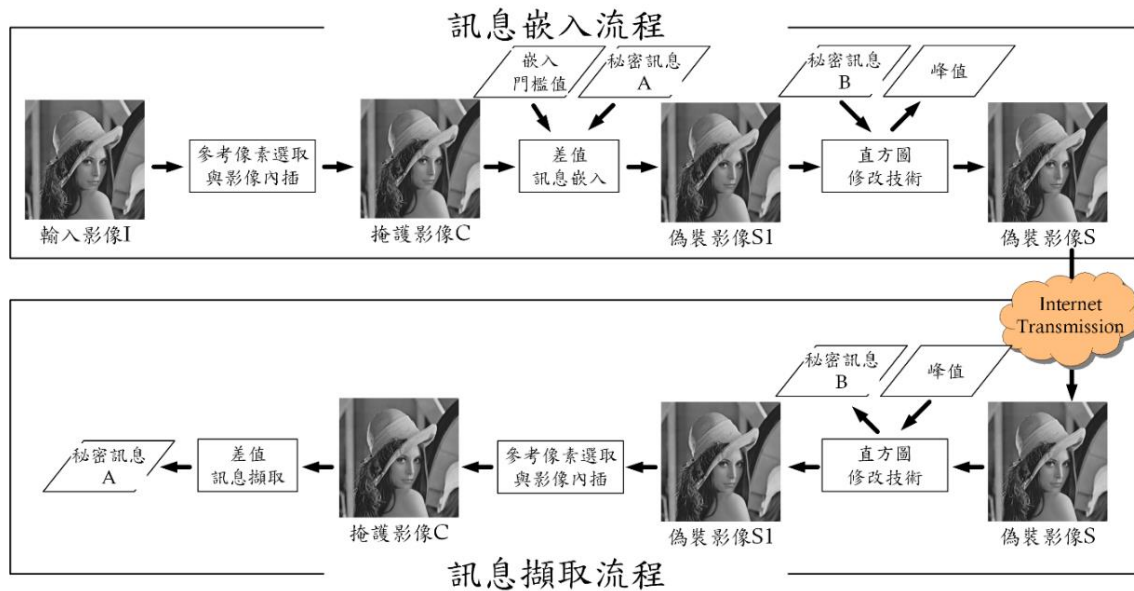
在此章節中，我們將回顧植基於影像內插的資訊隱藏技術，同時也會介紹像素差值技術的運作方式，最後再介紹高動態範圍影像中 Radiance RGBE 的表示方式。

2.1 植基於影像內插技術之資訊隱藏演算法

影像處理技術結合內插技巧可以產生各式各樣如影像轉換、影像縮放、影像壓縮與影像生成的應用。Jung 與 Yoo 兩學者[5]提出第一套將影像內插技術應用至可回復式資訊隱藏的演算法。可回復式資訊隱藏演算法意旨在秘密訊息被取出後，掩護影像能夠以無失真的方式還原回來。然而，該技術的嵌入量較低且內插品質欠佳而影響整個演算法的效能。Lee 與 Huang 兩學者[7]利用相鄰像素內插法(Neighboring Pixels Interpolation)提升其嵌入量及影像品質。之後 Tsai 等學者[11]則更改先前演算法所使用的像素對應方式，並利用常見的雙線性內插(Bilinear Interpolation)技術，將掩護影像的空白像素填滿，完成影像內插的操作，以適用至任意解析度的放大影像。另外，又修改先前學者計算訊息嵌入量時參考像素的選取方式，再次提升偽裝影像所能承載的訊息量。最後，採用最佳像素調整程序(Optimal Pixel Adjustment Procedure) [1]大幅提升偽裝影像的視覺效果。

Chang 等學者[2]則結合影像內插與直方圖修改(Histogram Modification)技術[9]提出一套兩階段的資訊隱藏演算法(如圖一所示)。給定一張輸入影像，作者從影像中取出部分像素當成樣本像素，並利用此類像素產生與輸入影像相同大小的掩護影像。接著，利用修改輸入影像與掩護影像的差值，將秘密訊息嵌入而得到偽裝影像。最後，作者再使用直方圖修改技術將訊息嵌入以提升訊息嵌入量。為了再次提升上述技術之效能，Tsai 等學者[12]修改嵌入量的計算公式，並有效調整樣本像素的位置。接著，使用嵌入門檻值決定每一區塊的複雜度，並根據其複雜度動態調整區塊內每一像素的訊息嵌入量，最後再利用最低有效位元取代搭配最佳調整程序將訊息嵌入。實驗結果顯示，與先前技術相比，Tsai 等學者所提技術除了可提供較佳的訊息嵌入量外，偽裝影像之影像品質也可

大幅提升。



圖一：植基於影像內插與直方圖修改技術之資訊隱藏演算法

2.2 植基於像素差值技術之可適應性資訊隱藏演算法

Wu 和 Tsai 兩學者[13]提出植基於像素差值的可適應性資訊隱藏技術，其概念在於利用兩連續像素之間的差值，定義出兩像素所在區域的複雜度，並用來決定其所能承載的訊息量。若兩像素間的差值越大，代表兩像素位於邊緣區域，可嵌入較多的訊息量；反之，若兩像素間的差值越小，則代表其位於平滑區域，僅能承載較少的秘密訊息量，以免引起他人的注意。

首先，作者將兩像素的絕對差值範圍(0 至 255)分割成六個層級 $R_k = [l_k, u_k]$ ，其中 $1 \leq k \leq 6$ ，稱之為範圍層級劃分表(Range Table)，各層級內包含上界 u_k 與下界 l_k ，而層級的寬度 $w_k = u_k - l_k + 1$ ，可決定其嵌入量的位元數 $t_k = \lfloor \log_2 w_k \rfloor$ ，作者採用的範圍層級劃分表如表一所示。

表一：Wu 與 Tsai 兩學者所使用的範圍層級劃分表

$R_1 = [0, 7]$	$R_2 = [8, 15]$	$R_3 = [16, 31]$	$R_4 = [32, 63]$	$R_5 = [64, 127]$	$R_6 = [128, 255]$
$t_1 = 3$	$t_2 = 3$	$t_3 = 4$	$t_4 = 5$	$t_5 = 6$	$t_6 = 7$

接著，以反向 S 的像素掃瞄方式，將掩護影像切割成不重疊的影像區塊，內含連續兩個掩護像素 P_i 與 P_{i+1} ，在計算出兩像素的差值 $d = |P_i - P_{i+1}|$ 後，將 d 對應至範圍層級

劃分表內(其中 $l_k \leq d \leq u_k$)，以得到可嵌入位元數 t_k ，並從秘密訊息中取出 t_k 個位元的秘密訊息轉至十進制求得其轉換結果 S 。最後，求得帶有秘密訊息的新差值 $d' = l_k + S$ ，再利用方程式(1)將差值的變化 $m = d' - d$ 平均分配至兩像素上，得到帶有秘密訊息的偽裝像素 P'_i 與 P'_{i+1} 。

$$(P'_i, P'_{i+1}) = \begin{cases} P_i - \lfloor m/2 \rfloor, P_{i+1} + \lfloor m/2 \rfloor & \text{if } d \in \text{odd number} \\ P_i - \lceil m/2 \rceil, P_{i+1} + \lceil m/2 \rceil & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

接收方收到偽裝影像後，同樣利用反向 S 的像素掃描方式將影像劃分成許多影像區塊。在計算出區塊內兩像素的差值後，便可得知該差值所屬範圍層級，並得到可嵌入位元數，最後再將差值與所屬層級下界值的距離轉換至二進制的表示式，即完成訊息的擷取動作。

雖然 Wu 和 Tsai 兩學者可以支援可適應性，但嵌入量不足是一大問題，因此許多學者紛紛提出解決方案來提升其嵌入量。Wu 等學者[14]為了提升平滑區域內影像區塊的訊息嵌入量，整合最低有效位元取代法與像素差值技術提出改進的方法。作者首先將範圍層級劃分表又分成低階與高階兩種層級(如表二所示)，若影像區塊內兩像素的差值落於低階層級，則採用最低有效位元取代法將訊息嵌入，否則採用像素差值技術完成嵌入訊息的動作。利用最低有效位元取代法完成訊息嵌入後，須檢查訊息嵌入後的新差值 $d' = |P'_i - P'_{i+1}|$ 是否仍位於低階層級的層級內。若新像素差值 d'_i 屬於高階層級，則需利用方程式(2)調整偽裝像素的數值。

$$(P'_i, P'_{i+1}) = \begin{cases} (P'_i - 8, P'_{i+1} + 8) & \text{if } P'_i \geq P'_{i+1} \\ (P'_i + 8, P'_{i+1} - 8) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

表二: Wu 等學者所使用的範圍層級劃分表

低階層級		高階層級			
$R_1 = [0, 7]$	$R_2 = [8, 15]$	$R_3 = [16, 31]$	$R_4 = [32, 63]$	$R_5 = [64, 127]$	$R_6 = [128, 255]$

為了再次提升訊息嵌入量，Khodaei 與 Faez 兩學者[6]改變影像區塊的產生方式，使用光柵式掃描法的像素掃描方式，以不重疊的三個連續像素為一組，將掩護影像劃分成若干個影像區塊，假設區塊內的三個像素分別為 p_1 、 p_2 與 p_3 。作者首先利用最低有效位元取代法與最佳像素調整程序將秘密訊息嵌入至中間像素 p_2 中，並求得偽裝像素 p'_2 。區塊內的其餘兩像素 p_1 和 p_3 ，則依序跟已嵌入訊息的中間像素 p'_2 計算差值，得到差值 d_1 和 d_3 。根據差值所在的範圍層級決定其可嵌入訊息量，再利用如方程式(3)的像素差值技術將訊息嵌入，得到新差值 d'_1 與 d'_3 。值得注意的是，為了考量偽裝影像品質與訊息嵌入量，作者將範圍層級劃分表分成兩種類別，其中表三為考慮偽裝影像品質的劃分方式，表四為考慮訊息嵌入量的劃分方式。

$$p'_k = \begin{cases} p''_k & \text{if } |p_k - p''_k| < |p_k - p'''_k| \text{ and } 0 \leq p''_k \leq 255 \\ p'''_k & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3)$$

$$\text{where } \begin{cases} p''_k = p'_2 + d'_k \\ p'''_k = p'_2 - d'_k \end{cases}, k = 1, 3$$

表三:考慮偽裝影像品質的範圍層級劃分表

低階層級			高階層級	
$R_1 = [0, 7]$	$R_2 = [8, 15]$	$R_3 = [16, 31]$	$R_4 = [32, 63]$	$R_5 = [64, 255]$
$t_1 = 3$	$t_2 = 3$	$t_3 = 3$	$t_4 = 4$	$t_5 = 4$

表四:考慮訊息嵌入量的範圍層級劃分表

低階層級				高階層級
$R_1 = [0, 7]$	$R_2 = [8, 15]$	$R_3 = [16, 31]$	$R_4 = [32, 63]$	$R_5 = [64, 255]$
$t_1 = 3$	$t_2 = 3$	$t_3 = 4$	$t_4 = 5$	$t_5 = 6$

2.3 高動態範圍影像 Radiance RGBE 的表示方式

Greg Ward於1991年提出第一套高動態範圍影像的編碼方式,稱為Radiance RGBE。其編碼方式係利用指數與尾數替換的方式,將原本需要96個位元的儲存空間(R_w, G_w, B_w),利用變動長度編碼(Run-length Encoding)的方式進行壓縮動作,產生出僅需32個位元(R、G、B、E)的表示方式,四個數值皆為介於0至255之間的整數值,其轉換方式如方程式(4)、(5)與(6)所示。雖然此格式的表示範圍可達 10^{76} 種,但也因共用相同的指數E,使得影像色彩的失真度較大。Radiance RGBE影像格式的高動態範圍影像中,由於公式轉換的關係,各像素的R、G、B頻道之數值至少會有一個數值大於等於128,且透過頻道E數值的調整,可以使不同R、G、B數值的像素可以擁有近似相同運算結果,Yu等學者將此現象稱之為該像素的同質表示式。例如像素值A(40、180、32、128)、像素值B(20、90、16、129)與像素值C(10、45、8、130)不同數值的三個像素,經過方程式Eq. 6運算後,可得到近似相同的 R_w, G_w, B_w 數值,此格式是目前資訊隱藏技術中最常用的格式。

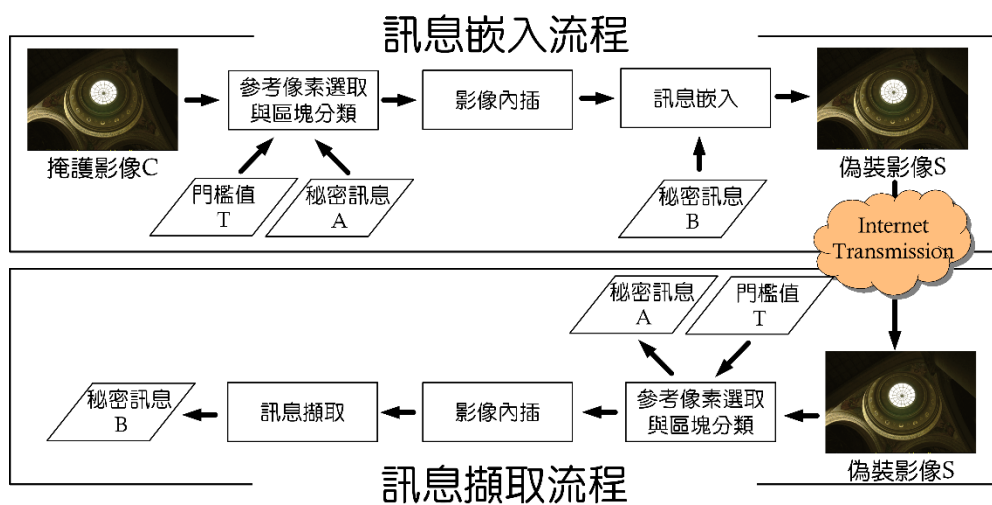
$$E = \lceil \log_2(\max(R_w, G_w, B_w)) + 128 \rceil \quad (4)$$

$$\begin{cases} R = \lfloor 256 \times R_w / 2^{E-128} \rfloor \\ G = \lfloor 256 \times G_w / 2^{E-128} \rfloor \\ B = \lfloor 256 \times B_w / 2^{E-128} \rfloor \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} R_w = \frac{R + 0.5}{256} \times 2^{E-128} \\ G_w = \frac{G + 0.5}{256} \times 2^{E-128} \\ B_w = \frac{B + 0.5}{256} \times 2^{E-128} \end{cases} \quad (6)$$

參、本文所提之資訊隱藏技術

本文延伸先前研提之技術至高動態範圍影像上。首先，我們利用先前研提之取樣方法取得參考像素，藉由最低有效位元取代技術將訊息嵌入於其中，並導入一門檻值將區塊分成低複雜度區塊與高複雜度區塊兩類。低複雜度區塊內的每一像素，我們採用最低有效位元取代技術將訊息嵌入於其中，以增加訊息嵌入量。高複雜度區塊則先使用影像內插技術取得內插影像，接著計算出內插影像與輸入影像的差值來估算訊息嵌入量，最後藉由另一門檻值的協助決定該像素的訊息嵌入方式，以避免失真程度過大。實驗結果顯示，相較於先前演算法，本論文所提技術能擁有更高的訊息嵌入量，且偽裝影像有令人滿意的影像品質。以下我們將依序詳述本論文的整體研究方法及步驟(如圖二所示)。



圖二:植基於影像內插與像素差值之可適應性高動態範圍影像資訊隱藏演算法

	1		2		3	3	
1	1	2	2	3	3	3	3
	4		5		6	6	
4	4	5	5	6	6	6	6
	7		8		9	9	
7	7	8	8	9	9	9	9
7	7	8	8	9	9	9	9
	7		8		9	9	

圖三:參考像素及區塊的分布狀況

- 參考像素選取與區塊分類步驟

在此步驟中，我們設定各參考像素值的距離為 2，並適時調整位於影像右方及下方邊界參考像素的位置，避免位於影像邊界之像素無參考像素可用。以圖三解析度為 8×8 的影像為例，參考像素的分布如橘色區域所示，並產生 9 個區塊，各區塊所包含像素如編號 1 到 9 所示。接著，針對每一個區塊，我們取得鄰近四個參考像素的 E 頻道數值，計算出最大與最小 E 頻道數值的差異後，利用門檻值 T 將每一區塊分成低複雜與高複雜區塊兩類。最後，我們利用 3 個位元的最低有效位元取代技術將部分秘密訊息嵌入至參考像素及低複雜度區塊內的每一個像素中，以增進訊息嵌入量並能保有可接受的失真效果。

- 影像內插步驟

針對高複雜度區塊內的每一個像素，先找出該區塊所對應的四個參考像素，並利用雙線性內插技術求得該像素的內插結果。值得注意的是，由於高動態範圍影像像素間的差異較大，造成四個參考像素不一定有相同的 E 值，因此在進行影像內插操作以前，須先將 E 值統一後，再執行內插的動作，此時應有部分像素的 RGB 數值大於 255，我們使用高動態範圍影像中特有的同質表示式，藉由調整 E 頻道的數值再次將該像素 RGB 三頻道之數值縮小至 255 內。

- 訊息嵌入步驟

在此步驟中，我們開始執行訊息嵌入的操作。對於欲嵌入訊息的像素，我們先找到其經影像內插技術所得結果，並計算兩像素各頻道之差異值後，利用像素差值計算將訊息嵌入至像素內。同樣地，在計算差值之前須先利用同質表示式使得兩像素之 E 值有相同數值後再進行計算。接著，根據計算出的差值，利用範圍層級劃分表決定出該差值之嵌入量後進行訊息的嵌入動作。然而，不同於傳統低動態範圍影像中兩像素絕對差值的數值會介於 0 與 255 之間，高動態範圍影像的絕對差值會根據

E 值數值的差異有大幅度的變動。為了避免造成過大的影像失真及訊息擷取錯誤，我們先將內插及輸入兩像素的 E 頻道值調整成較大的數值，可使得兩像素的 RGB 三頻道數值的差異會落於 0 跟 255 之間。本文所使用的範圍層級劃分表如先前技術相同，每一區間 R_k 的上界 u_k 與下界 l_k 定為 $R_k = [l_k, u_k] = [2^k, 2^{k+1} - 1], k \geq 0$ ，而其嵌入量 t_k 定為 $t_k = \lfloor \log_2(u_k - l_k + 1) \rfloor$ 。

當接收方收到偽裝影像後，便可依照圖二的運作方式將訊息取出。首先，利用取樣技術求得參考像素，並利用門檻值將各區塊分類，而部分秘密訊息則可先從參考像素中擷取出來。針對低複雜度區塊內的每一個像素，可從其最低有效位元中取出部分訊息，而高複雜度區塊內的每一像素，則先利用另一門檻值得知其嵌入方式，便可搭配對應的訊息擷取方式將剩下的秘密訊息取出。

肆、研究結果與討論

本章節將介紹我們研提技術之實驗結果以評估該方法的可行性。本實驗所採用的高動態範圍影像的影像名稱及經過 Mantiuk 學者 2008 年所提出的色調映射技術後的視覺效果如圖四所示，解析度皆為 720×480 。本技術在搭載 Intel Core i7 3.40 GHz 處理器和 32 GB 記憶體的个人電腦上使用 C 程式語言進行實作，並使用峰值信噪比來測量輸入影像與偽裝影像的失真度，其定義詳見方程式(7)與(8)， $C_{i,j}$ 和 $S_{i,j}$ 分別代表著位於輸入影像與偽裝影像第 i 行、第 j 列像素的數值。

$$PRNR = 10 \log_{10}(255^2 / MSE) \quad (7)$$

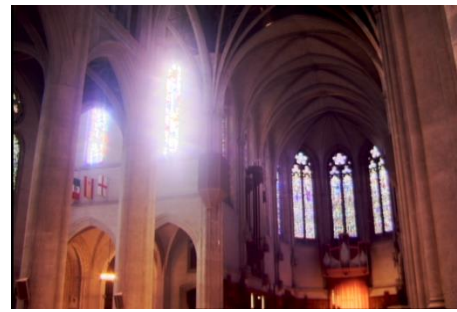
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |C_{i,j} - S_{i,j}|^2}{MN} \quad (8)$$

本節首先展示本技術之實驗結果，包含訊息嵌入量與影像品質，同時我們也展示各張測試影像在不同門檻值下低複雜度區塊與高複雜度區塊的比例，並展示在不同門檻值下的訊息嵌入量。最後透過與 Cheng 與 Wang 兩學者所提技術的比較，證明我們所提技術的可行性。

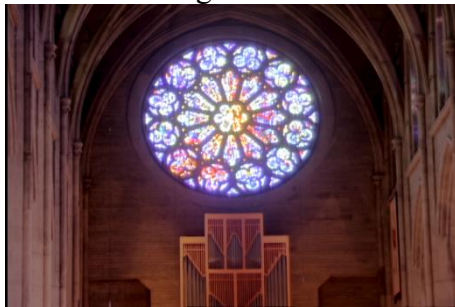
圖五為本技術所產生之偽裝影像經過色調映射後的視覺效果，所採用的門檻值 T 數值的設定為 1，與輸入影像經過色調映射後的峰值信噪比為 35.30dB 以上，表示此技術可產生令人接受的影像品質，而平均每個像素的訊息嵌入量為 9.02 至 9.54 位元，證明所提技術是有效的。



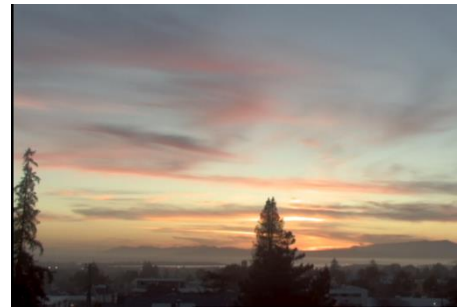
grove



nave



rosette

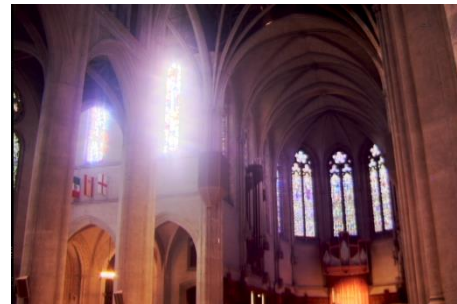


vinesunset

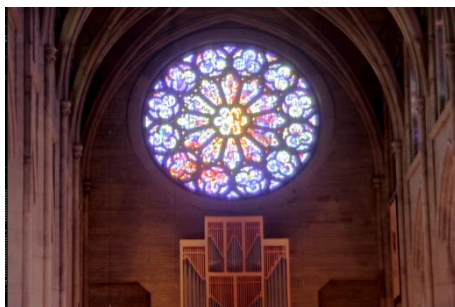
圖四：實驗蒐集所使用的測試影像



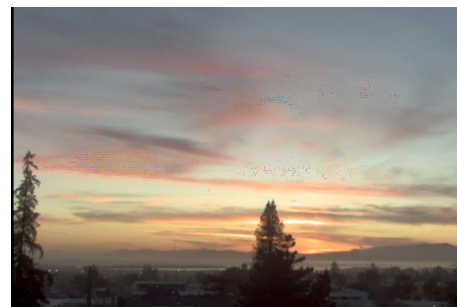
嵌入量：9.11 位元/像素
PSNR 數值：43.75dB



嵌入量：9.02 位元/像素
PSNR 數值：44.48dB



嵌入量：9.03 位元/像素
PSNR 數值：35.30dB



嵌入量：9.54 位元/像素
PSNR 數值：36.18dB

圖五：本論文實驗所得到的偽裝影像

表五展示了各測試影像在不同門檻值下，被歸類在不同複雜度區塊之像素所佔的比例。隨著門檻值數值的增加，被分類到低複雜度區塊的像素個數變少，此項比例也代表

著影像各像素所採用的嵌入技術的比例也會不同。如前面所述，位於低複雜度區塊的像素是採用最低有效位元取代的方式將訊息嵌入，位於高複雜度區塊的像素則會採取像素差值技術將訊息嵌入。因此，隨著屬於高複雜度區塊的像素變多，使用最低有效位元取代技術嵌入訊息的像素也隨著減少，整體的訊息嵌入量會變高。表六展示了各影像在不同門檻值下的訊息嵌入量。隨著門檻值數值的增加，整體訊息嵌入量的數值也隨之增加，但影像品質的效果也跟著變低，在高門檻值設定時，甚至產生會令人起疑的失真，代表訊息嵌入量過高，已違背資訊隱藏技術的初衷。

表五:不同門檻值下低複雜區塊像素所佔的比例

Image Name	門檻值 T_1					
	0	1	3	5	10	20
grove	100.00%	85.80%	23.11%	8.65%	0.34%	0.00%
nave	100.00%	92.90%	43.21%	14.79%	3.09%	0.00%
rosette	100.00%	91.70%	39.97%	24.13%	7.8%	0.00%
sunset	100.00%	52.31%	8.10%	2.83%	0.00%	0.00%

表六:不同門檻值下訊息嵌入量

Image Name	門檻值 T_1					
	0	1	3	5	10	20
grove	9.00	9.44	11.52	11.99	12.16	12.17
nave	9.00	9.17	10.42	11.18	11.37	11.40
rosette	9.00	9.21	10.48	10.83	11.02	11.08
sunset	9.00	10.10	11.18	11.35	11.44	11.44

表七:本文與先前技術訊息嵌入量與影像品質之比較

影像名稱	[3]		本篇論文	
	訊息嵌入量	PSNR 數值	訊息嵌入量	PSNR 數值
Grove	3,228,773	31.88	3,149,242	43.75
Nave	2,176,107	32.75	3,118,989	44.48
Rosette	2,599,567	30.40	3,120,612	35.30
sunset	1,742,734	39.38	3,298,132	36.18

最後，表七展示我們技術與 Cheng 和 Wang 兩學者所提技術之訊息嵌入量與影像品質之比較。藉由最低有效位元取代技術的協助，我們的方法在低複雜度區域的像素仍可擁有 9 個位元的秘密訊息，然而從下表實驗結果得知部分影像最後總訊息嵌入量並沒有提升太多，主因在於區塊使用的四個參考像素之估算，會因為高動態範圍影像數值高變動的特性，造成估算的結果與預期的結果不同，也造成門檻值設定的困難。但相較於 Cheng 和 Wang 兩學者所提技術，我們的技術能擁有較高的訊息嵌入量，而影像失真程

度也較高，證明本論文所提出的演算法在可適應高動態範圍影像資訊隱藏領域中是可行的。

伍、結論與未來工作

本文提出一套植基於影像內插與像素差值之可適應性高動態範圍影像資訊隱藏技術。藉由影像內插技術的協助，求得輸入影像的內插結果，並以此當成估算訊息嵌入量的方式。同時，我們利用門檻值將像素分類，針對低複雜度區塊內的像素，利用最低有效位元取代技術保有一定的訊息嵌入量。針對高複雜度區塊內的像素，則利用像素差值技術以有效提升訊息嵌入量，並保有一定的影像品質，實驗結果證明本文所提技術是可行的。

未來我們將針對高動態範圍影像高變動的特性，尋求有效門檻值設定的方法。此外，我們也將修正影像品質判定的機制，以免偽裝影像在經過色調映射後使得其數值不能精確代表影像真實的失真程度。最後，如何將目前應用於低動態範圍影像的資訊隱藏機制延伸至高動態範圍影像也是值得探討的議題。

[誌謝]

本研究承蒙科技部大專學生研究計畫-「應用影像內插與像素差值技術於可適應性高動態範圍影像資訊隱藏技術之探討 (MOST 105-2815-C-468-084-E)」經費補助，特此致上感謝之意。

參考文獻

- [1] C. K. Chan and L. M. Cheng, "Hiding data in images by simple LSB substitution," *Pattern Recognition*, vol. 37, no. 3, pp. 469-474, 2004.
- [2] Y. T. Chang, C. T. Huang, C. F. Lee and S. J. Wang, "Image interpolating based data hiding in conjunction with pixel-shifting of histogram," *The Journal of Supercomputing*, vol. 66, no. 2, pp. 1093-1110, 2013.
- [3] Y. M. Cheng and C. M. Wang, "A novel approach to steganography in high-dynamic-range images," *IEEE Multimedia*, vol. 16, no. 3, pp. 70-80, 2009.

-
- [4] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, J. Fridrich and T. Kalker, *Digital watermarking and steganography*, Second Edition, Morgan Kaufmann, Burlington, 2008.
- [5] K. H. Jung and K. Y. Yoo, "Data hiding method using image interpolation," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 31, no. 2, pp. 465-470, 2009.
- [6] M. Khodaei and K. Faez, "New adaptive steganographic method using least-significant-bit substitution and pixel-value differencing," *IET Image Processing*, vol. 6, no. 6, pp. 677-686, 2012.
- [7] C. F. Lee and Y. L. Huang, "An efficient image interpolation increasing payload in reversible data hiding," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 8, pp. 6712-6719, 2012.
- [8] Y. T. Lin, C. M. Wang, W. S. Chen, F. P. Lin and W. Lin, "A novel data hiding algorithm for high dynamic range images," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 19, no. 1, pp. 196-211, 2017.
- [9] Z. Ni, Y. Q. Shi, N. Ansari and W. Su, "Reversible data hiding," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 354-362, 2006.
- [10] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson and M. G. Kuhn, "Information hiding – a survey," *Proceedings of IEEE Special Issue on Protection of Multimedia Content*, vol. 87, no. 7, pp. 1062-1078, 1999.
- [11] Y. Y. Tsai, J. T. Chen, Y. C. Kuo and C. S. Chan, "A generalized image interpolation-based reversible data hiding scheme with high embedding capacity and image quality," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 8, no. 9, pp. 3286-3301, 2014.
- [12] Y. Y. Tsai, Y. H. Huang, R. J. Lin and C. S. Chan, "An adjustable interpolation-based data hiding algorithm based on LSB substitution and histogram shifting," *International Journal of Digital Crime and Forensics*, vol. 8, no. 2, article 5, pp. 1-14, 2015.
- [13] D. C. Wu and W. H. Tsai, "A steganographic method for images by pixel-value differencing," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, no. 9-10, pp. 1613-1626, 2003.
- [14] H. C. Wu, N. I. Wu, C. S. Tsai and M. S. Hwang, "Image steganographic scheme based on pixel-value differencing and LSB replacement methods," *IEE Proceedings of Vision, Image and Signal Processing*, vol. 152, no. 5, pp. 611-615, 2005.
- [15] C. M. Yu, K. C. Wu and C. M. Wang, "A distortion-free data hiding scheme for high dynamic range images," *Displays*, vol. 32, no. 5, pp. 225-236, 2011.