

結合 JPEG2000 壓縮技術之數位浮水印技術

劉江龍 婁德權 高承柏 林志麟

國防大學中正理工學院電機系

jlliu@ccit.edu.tw

摘要

JPEG2000 為新一代的影像壓縮技術。本文提出一種結合 JPEG2000 影像壓縮技術的數位浮水印技術。本技術可依編碼端所欲達到的目標位元率將資訊嵌入在 JPEG2000 影像中，作為影像完整性驗證及達到著作權保護的目的。本方法的優點在於可完全從 JPEG2000 壓縮影像中取回嵌入資訊，此外本方法在對抗一般影像處理時亦具有不錯的強固性。

關鍵詞：數位浮水印、JPEG2000、著作權保護、完整性驗證。

1. 前言

隨著數位化時代的到來及網際網路之發達，加上各種新穎數位產品的推出，如行動電話、數位相機、個人數位助理(PDA)、DVD 及 MP3 錄放器等，多媒體資訊(如文字、影像及聲音)之創造、獲得、修改與散佈變得十分容易。尤其數位資料的複製更是較以往便利許多，因此電子媒體之智慧財產權問題日益受到重視，所以在資訊傳送的過程中，複雜的安全性與合法性問題均值得深究。

資訊隱藏技術除了用來傳遞秘密訊息外，也可用來提供著作權保護及合法使用者的驗證，其架構主要由掩護媒體(Cover Media)、嵌入資訊及加密金鑰所組成[6]。數位浮水印技術即為資訊隱藏技術的應用之一。

數位浮水印是原創者將標誌隱藏在數位資訊中，並能透過辨識以達到版權保護的目的，依不同目的而有不同之系統設計，並在影像品質與強固性(或容量)間做出取捨。其嵌入型態可以是隨機亂數或影像；嵌入方式以修改空間域像素或轉換域係數為主。數位浮水印的分類依強固性可分為脆弱型(Fragile)、半脆弱型(Semi-Fragile)及強固型(Robust)；另依萃取方式可分為非盲目式(Nonblind)、半盲目式(Semi-Blind)及盲目式(Blind)。一個良好的浮水印系統應具備下列特性[2][5]：

- (1)不可察覺性：當浮水印嵌入掩護媒體後，必須是人類感官所不易察覺，主要是避免破壞掩護媒體，同時可避免引起有心人士的注意及破壞。
- (2)強固性：能抵抗一般影像處理或幾何攻擊，如模糊、銳化、亮度改變、濾波、雜訊加入、壓縮、旋轉、裁切及縮放等方式。

- (3)清晰性：當浮水印萃取出來驗證時，須能精確的判斷，不應有模稜兩可的情形。

- (4)安全性：浮水印必須不易被破壞及移除，或可被統計和其他分析方法所取出，否則對其安全性不利。

- (5)開放性：浮水印的演算法應使用開放式架構及公認之標準或規範，未來應用才能被廣為接受。

一般浮水印依照嵌入方式可分為兩大類：空間域與轉換域。空間域技術利用人類感官效果修改像素，或是取代像素中最不重要的位元(LSB, Least Significant Bit)，現多輔以失真補償方式嵌入以提昇影像品質，優點是計算速度快，缺點是面對一般攻擊時強固性不高；轉換域技術則將原始影像透過函數轉換後再嵌入浮水印，如此可增加較多隱藏區域(如小波頻帶)，同時可將浮水印資料打散至整張圖像，對於一般影像處理或幾何攻擊有較佳強固性，但演算方法均較空間域來得複雜。數位浮水印應用區分為以下幾類[13]：

- (1)所有權保護：數位浮水印需具一定程度的強固性，即使遭受惡意或非惡意攻擊後仍能存在，以便能在所有權有爭議時，可確保合法擁用者之所有權。

- (2)鑑別或竄改偵測：數位浮水印需具備可鑑別性，以用來偵測出原始資料被竄改區域或辨識出遭受何種攻擊。

- (3)數位指紋或標記：原創者將不同數位浮水印分別藏在多份原始資料中，除需具備強固性外，還須抵抗非法使用者利用均化方式來移除數位浮水印的共謀攻擊(Collusion Attack)移除。

- (4)複製及存取控制：將數位浮水印之偵測功能整合至具複製及存取功能的系統中，用來控制非法的傳播(如 DVD 的複製)。

當前數位影像多以 JPEG 進行壓縮，但新一代 JPEG2000 影像壓縮標準問世後，在相同影像品質下，JPEG2000 的壓縮效能大約比 JPEG 提高 20% 左右；亦即相同壓縮率下，JPEG2000 之視覺品質明顯優於 JPEG。在 JPEG2000 裏所採用的新技術包括離散小波轉換(Discrete Wavelet Transformation；DWT)、最佳斷點內嵌區塊演算法(Embedded Block Coding with Optimized Truncation；EBCOT)及算術編碼法(Arithmetic Coding)。除了好的壓縮效率外，JPEG2000 還提供許多功能，例如感興趣的範圍(Region Of Interest；ROI)的編碼、依照影像品質或解析度做漸進式的傳輸、錯誤回復及隨機存取(Random Access)等功能[1][3]。

本文結合上述 JPEG2000 特性提出一個強固型數位浮水印，利用編碼技術壓縮欲嵌入之二值影像，以增加資料藏密度，並在 JPEG2000 編碼過程中執行資料的嵌入。本文其餘各節安排如下：第 2 節對 JPEG2000 壓縮技術作一簡介，並探討現有植基於 JPEG2000 的浮水印技術；第 3 節說明本文提出的方法；第 4 節以實驗結果證明本方法之強固性及高容量特性；最後，第 5 節中對本文提出之數位浮水印進行總結。

2. 相關文獻探討

2.1 JPEG2000 壓縮技術簡介

由於大多的數位影像資料量均非常龐大，因此如何降低影像的資料量，同時將影像品質控制在人類視覺所能接受的範圍，成為現代影像壓縮技術所追求的目標。JPEG 是傳統靜態影像最常用之壓縮技術，然而不可否認的是 JPEG 的壓縮效率並不高，在高壓縮率時會使影像品質嚴重惡化，一般 JPEG 的實用壓縮率極限值大約是 1/10 至 1/20 左右。而 JPEG2000 是繼 JPEG 後之國際標準化的靜態影像壓縮技術[14]，由於 JPEG2000 使用離散小波轉換及 EBCOT 編碼兩項先進技術，因此獲得極佳的壓縮效率，並逐漸取代 JPEG 成為新一代的靜態影像壓縮標準。

JPEG2000 在編碼時，首先將原始影像經過前置處理後，再做離散小波轉換，轉換後之係數經過量化器量化後送到 EBCOT 做編碼，最後形成編碼串流(Codestream)；解碼時只需將整個步驟反轉即可得到重建影像，對於失真及非失真性壓縮，可在相同架構下實現，如圖 1 所示。以下分就 JPEG2000 編碼過程做一概述[1][3]：

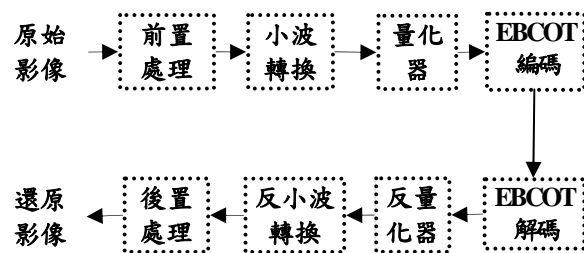


圖 1 JPEG2000 編解碼流程圖

(1)前置處理：首先將輸入圖像視需要切成(Tile)許多大小相同且不重疊之區塊以提高執行效率。為避免區塊與區塊間因小波轉換所產生失真，JPEG2000 使用空間區段小波轉換(Spatially Segmented Wavelet Transform; SSWT)將區塊擴大取樣與相鄰區塊重疊，重疊部份的大小等於小波濾波器核數(Taps)的一半，如此一來便與全影

像得到相同的小波係數，最大允許輸入圖像為 $2^{32} \times 2^{32}$ 大小。若輸入圖像像素值分佈在 $[0, 2^P - 1]$ ，則將其值減去 2^{P-1} ，使其分佈範圍改為 $[-2^{P-1}, 2^{P-1} - 1]$ 。若輸入為彩色圖像則需將色彩元素 RGB 轉成 $YCbCr$ ，此目的是降低色彩間的冗餘度，以達到較佳的壓縮效果。

- (2)離散小波轉換：在 JPEG2000 中的小波轉換是採用升級機制以提高轉換效率，小波濾波器可分為實數與整數兩種模式，實數模式採用(9,7)濾波器，由於輸出係數是實數故屬於不可逆轉換，可用於失真性壓縮；整數模式採用(5,3)濾波器，由於輸出係數是整數故屬於可逆轉換，可作為無失真壓縮用。
- (3)量化：原始圖像在經過小波轉換後，會分成數個人類視覺敏感度不同之子頻帶，量化器的設計對於不同頻帶有不同量化區間，在無失真壓縮時量化區間為 1。因為小波係數具有 Laplacian 機率分佈的特性，在 JPEG2000 第一部份標準中採用均勻量化器以獲得最佳量化品質，且在 0 附近的量化區間是其他區間的兩倍。此外在失真性壓縮時，當解量化時會加上偏移參數使得重建係數接近原來數值的機率較高。
- (4)EBCOT：JPEG2000 採用的 EBCOT 區塊壓縮技術是由 David Taubman 所提出[11][12]，此項技術對於小波轉換後的影像資料能提供優異的壓縮效率與影像品質，同時比其他壓縮方法具有更多優點，例如影像資料的可調性與任意存取，因此在 2000 年時入選成為 JPEG2000 位元編碼的核心。其中包含了三大部份：第一層編碼器、第二層編碼器與位元率控制(Rate Control)。第一層編碼器主要將量化後的編碼區塊進行位元平面編碼；第二層編碼器則依目標位元率及失真度做最佳化，並捨棄多餘資料，最後將剩餘編碼資料包裝起來形成封包。

2.2 現有技術之探討

從 JPEG2000 問世後，陸續有相當多結合其編碼流程所設計藏密及數位浮水印系統被提出，Meerwald 在 2001 年提出一種利用 QIM (Quantization Index Modulation)方式在 JPEG2000 量化階段藏入浮水印[9]，此方法在萃取時不需原圖的輔助，唯可藏匿的浮水印容量不高，且對於一般的影像處理的強固性較不足。

Su 和 Kuo 於 2003 年分析在離散小波轉換、量化或編碼三個階段進行藏密[10]。在離散小波階段可以利用各種 DWT 相關的浮水印演算法，但藏密度不能太高；在量化階段可以採用盲驗證的浮水印方法，但卻容易因失真性壓縮而破壞浮水印；如果將隱匿資料藏在 EBCOT 的第一層編碼器將與量化階段面對同樣問題，若將浮水印藏匿在 EBCOT 的第二層編碼器的位元串流之中，則可以確保浮水印的強固性且容易取回，但缺點是容量不大。

Li 和 Zhang 在 2003 年提出一項結合 JPEG2000 壓縮率的浮水印技術[8]，藉由觀察小波係數在壓縮前後的變化情形，製作出在不同壓縮率下對應不同的係數範圍作嵌入，並以反覆嵌入的方式增加浮水印的強固性，此法雖然可確保嵌入之資訊完整取回，但藏密容量卻不高。

Chen 等人在 2003 年提出一種簡單且易於實作的浮水印技術[4]，嵌入過程是先以環形自同構 (Torus Automorphisms) 技術將浮水印打散後，再於 JPEG2000 量化階段之後輔以失真補償技術嵌入，使影像品質的失真程度大幅降低。此方法在一般影像處理的攻擊下，仍可偵測出浮水印。

3. 本文提出之方法

目前結合 JPEG2000 編解碼器的資訊隱藏技術共分為兩大類，一種作為數位浮水印之用，為考量強固性，通常在小波轉換或量化階段嵌入；另一種為進行藏密之用，為考量能便於取回嵌入資訊，一般選擇在 EBCOT 編碼完成後嵌入。本文所提出的方法是結合 JPEG2000 壓縮技術的強固型浮水印系統，以二值影像做為嵌入資訊，並在小波轉換後嵌入，在取出時仍需部份原始浮水印的資訊，因此屬於半盲目的浮水印系統。本文所提出方法是構建在 JPEG2000 壓縮率之上，可依照傳送及接收端所欲達到之目標位元率，挑出適合的門檻位元平面做為小波係數位移中心點，將欲嵌入之係數進行調整，並可在預期的壓縮範圍內完全取回嵌入資訊，本方法具有以下特點：

- (1) 藉由事先觀察小波係數在壓縮前後的變化情形，可順利找出最適合嵌入之門檻位元平面，使浮水印能避開壓縮攻擊並完整取回。
- (2) 欲嵌入之浮水印採用二值化圖像，預先使用由上而下、由左而右的水平掃描方式取連續的兩個位元為一組，簡化為 00、01、10、11 四種型態，再轉成十進位索引值，以 0、1、2、3 來表示並做嵌入，如此一來可降低一半的資料量嵌入，大幅減少對影像品質的破壞。
- (3) 在浮水印嵌入時，考量大多數的二值化圖像在連續為黑或白的部份比例較高，而黑白相連的邊緣部份比例較低，因此 00 及 11 的索引值 0 和 3 個數較接近可歸納成一個群組；同樣的，01 及 10 的索引值 1 和 2 可歸成另一個群組，而在嵌入時亦分別放在兩個不同的頻帶，這樣的優點在於小波係數在做調整時，若上移與下移變化的個數愈相近，影像的失真愈小。

3.1 浮水印嵌入方式

- (1) 將原始圖像經過三階小波轉換後，依接收端所欲達到 JPEG2000 目標位元率及嵌入頻帶製作壓縮前後小波係數比較表，如表 1 所示。

表 1 小波係數比較表(以 Lena 為例)

原始係數	1 bpp		0.5 bpp		0.1 bpp	
	LH3	HL3	LH3	HL3	LH3	HL3
2	3	3	0	0	0	0
4	5	5	6	6	0	0
8	8	9	10	9	0	0
16	16	16	17	17	23	23
32	31	32	32	33	38	38
64	62	64	63	63	68	68

- (2) 挑選欲嵌入之頻帶後，由最低位元平面(2^0)開始觀察小波係數在壓縮前後的變化，並依序找出所屬係數在壓縮後均不為 0 之位元平面(2^n)，作為浮水印嵌入門檻測試值。
- (3) 將欲嵌入之二值化圖像，由上而下、由左而右依序取連續二個位元為一組，簡化為 00、01、10、11 四種型態，並轉成十進位索引值，以 0、1、2、3 來表示。接著將四組索引值個數之統計結果區分為二組，數值相近者為同一組 (通常分為 0、3 及 1、2 兩組)，並擬亂後嵌入同一頻帶。
- (4) 將步驟(2)所找出的位元平面(2^n)當作嵌入門檻值，將 $|2^n|+1$ 開始遞增之係數 (取絕對值) 移至門檻值之下，而 $|2^n|-1$ 開始遞減之係數移至門檻值之上，移動後係數調整為 $|2^n| \pm d$ ，直至滿足浮水印在壓縮後可完全取出之目標位元率，如式(1)所示。

$$|C_i| = \begin{cases} |2^n| - d & \text{if } |C_i| \geq |2^n| + 1 \& W_j = x \\ |2^n| + d & \text{if } |C_i| \geq |2^n| - 1 \& W_j = y \end{cases} \quad (1)$$

$x, y \in \{0, 1, 2, 3\} \quad x \neq y$

- 其中 C_i 為原始係數值、 C_i' 為嵌入後係數值、 W_j 為浮水印值、 x, y 為浮水印索引值群組、 d 為嵌入後係數與門檻值距離、 n 為門檻位元平面值，而 n 也可視為浮水印強度值， n 值愈大，浮水印愈強固。
- (5) 將各子頻帶門檻位元平面及係數位置存成密鑰以供萃取時使用。

3.2 浮水印萃取方式

- (1) 將待測圖像經過三階小波轉換後，依嵌入頻帶之門檻位元平面及係數位置依序取出，若係數絕對值小於門檻位元平面則屬於 x 群組；若係數絕對值大於門檻位元平面則屬於 y 群組，如式(2)所示。

$$|W_j| = \begin{cases} x & \text{if } |C_i'| < |2^n| \\ y & \text{if } |C_i'| > |2^n| \end{cases} \quad (2)$$

$x, y \in \{0, 1, 2, 3\} \quad x \neq y$

- (2) 將 x 及 y 所對應的索引值反擬亂後轉成二進位值並還原浮水印圖像。

4. 實驗結果

本實驗共使用三張 512×512 大小的 8 位元灰階圖像，分別為Lena、Fishing Boat及Goldhill，浮水印則採用 32×32 的二值化圖騰、目標位元率訂為 0.1 bpp(Bit /Pixel)，嵌入頻帶選擇 LH3 及 HL3、JPEG2000 壓縮工具採用JJ2000 4.1 版[15]、影像處理工具使用PhotoImpact 8.0 版，位元正確率(BCR)的計算方式為正確位元數除以全部位元數。

首先將三張圖像在相同的藏密量(1024 bit)下與 Chen 的方法做一比較，如表 2 所示。在 JJ2000 內定的壓縮參數下，使用本文方法的 PSNR 值較 Chen 的方法高 2 dB 至 5dB。另外經過 JPEG2000 壓縮 0.25 bpp 及 0.1 bpp 後比較，如表 3 所示，在影像品質相近的情況下，Chen 的方法在 0.25 bpp 可完整取出浮水印，使用本文方法更可達到 0.1 bpp，實驗情形如圖 2 所示。最後以 Lena 圖像在 1 bpp 壓縮率下，分就雜訊加入、JPEG 壓縮及裁切等三項攻擊做一比較，如表 4 所示，使用本文方法取回浮水印的正確率均較 Chen 的方法為高，其中在影像裁切四分之一後，浮水印取回的正確率更高達 90%，實驗情形如圖 3 所示。此外，本文亦針對模糊、銳化、強調邊緣及均化等四項攻擊做一實驗，如圖 4 所示。經實驗結果發現，整體 BCR 值仍能維持在 77% 以上（如表 5 所示）。因此本文所提出方法在對抗一般性的影像處理時也能獲致不錯的效果。

表 2 圖像品質比較表

	藏密量 (bit)		PSNR(dB)	
	本文	Chen	本文	Chen
Lena	1024	1024	45.14	42.18
Fishing Boat	1024	1024	44.94	41.49
Goldhill	1024	1024	46.99	41.67

表 3 JPEG2000 壓縮比較表

		Lena		Fishing Boat		Goldhill	
壓縮率(bpp)		0.25	0.1	0.25	0.1	0.25	0.1
PSNR(dB)	本文	33.68	29.69	31.47	27.74	31.63	28.69
	Chen	34.75	30.27	29.82	26.36	30.26	27.59
BCR(%)	本文	100	100	100	100	100	100
	Chen	100	93.07	100	86.72	100	93.55

表 4 一般攻擊比較表

Lena	1 bpp 壓縮率下取回浮水印之 BCR(%)		
	加入 8% 均勻雜點	JPEG 壓縮 (20:1)	裁切四分之一影像
本文	83.01	91.6	90.23
Chen	70.11	87.79	79.39

表 5 一般影像處理後 BCR 值

Lena	1 bpp 壓縮率下取回浮水印之 BCR(%)			
	模糊	銳化	強調邊緣	均化
本文方法	83.59	91.21	79.49	77.34



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖 2 JPEG2000 壓縮圖像(a)0.25 bpp;(b)0.1 bpp; (c)0.25 bpp;(d)0.1 bpp;(e)0.25 bpp;(f)0.1 bpp

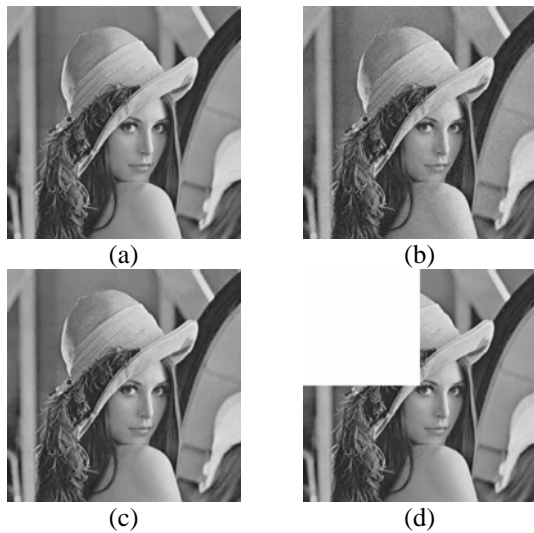


圖 3 一般攻擊後之圖像(a)原始圖像;(b)加上 8%均勻雜訊(83.01%);(c)JPEG 壓縮(91.6%);(d)切割四分之一(90.23%)

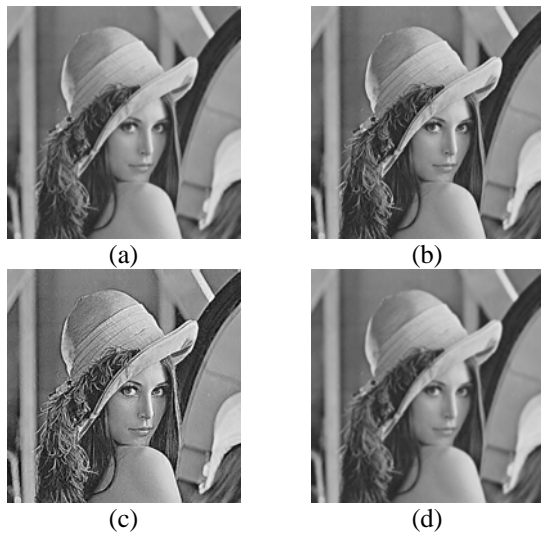


圖 4 一般影像處理後之圖像(a)模糊(83.59%);(b)清晰(91.21%);(c)強調邊緣(79.49%);(d)均化(77.34%)

5. 結論

目前大多數的數位浮水印系統實作，無論在空間域或轉換域，都是面對未經任何處理的原始影像，然而在實際的日常生活或網路環境中，我們所接觸的絕大多數都是經過壓縮過的動態或靜態圖像，因此將數位浮水印系統結合影像壓縮技術將能提高實用性，尤其在對抗失真性壓縮時效果更為明顯，本文所提出的方法即是採用此一策略。

本方法之優點在於以預先分析的方式，比較壓縮前後之小波係數，並能找出完全不受壓縮影響的門檻位元平面供作為嵌入，同時將數位浮水印預先轉換成索引值來降低嵌入量，可減少對影像品質的影響，因此能確保在預訂的壓縮範圍內完整取回浮水印資訊。從實驗結果中可發現，本文方法在抵抗 0.1 bpp 的 JPEG2000 壓縮率，除能在視覺上維持不錯的影像品質外，同時可確保數位浮水印的完整性；另在對抗一般影像處理方面，如模糊化、清晰化、均化及加雜訊之破壞下，數位浮水印資訊取出的 BCR 值仍能維持在 77% 以上；其餘在 JPEG 壓縮(20:1)及圖像裁切 25% 的攻擊下，BCR 值亦高達 90% 以上，因此本文所提出的方法具備不錯之強固性。

參考文獻

- [1] 吳炳飛，胡益強，瞿忠正，蘇崇彥，JPEG2000 影像壓縮技術，全華科技圖書股份有限公司，台北，2003。
- [2] 陳同孝、張真誠、黃國峰，數位影像處理技術，旗標出版股份有限公司，台北，2003。
- [3] 戴顯權，陳政一，JPEG2000，紳藍出版社，高雄，2002。
- [4] Chen, T. S., Chen, J., and Chen, J. G., "A Simple and Efficient Watermarking Technique Based on JPEG2000 Codec," Proceedings of IEEE Fifth International Symposium on Multimedia Software Engineering, pp. 80-82 Dec., 2003.
- [5] Cox, I. J., Miller, M. L., and Bloom, J. A., Digital Watermarking, Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [6] Johnson, N. F., Duric, Z., and Jajodia, S., Information Hiding : Steganography and Watermarking-Attacks and Countermeasures, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [7] Katzenbeisser, S. and Petitcolas, F. A. P., Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking, Artech House, Boston, 2000.
- [8] Li, K. and Zhang, X. P., "Reliable Adaptive Watermarking Scheme Integrated with JPEG2000," Proceedings of IEEE 3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, Vol. 1, pp. 18-20, Sept., 2003.
- [9] Meerwald, P., "Quantization Watermarking in the JPEG2000 Coding Pipeline," Communications and Multimedia Security Issues of The New Century, IFIP TC6/TC11 Fifth Joint Working Conference on Communications and Multimedia Security, pp. 69-79, May, 2001.
- [10] Su, P. C. and Kuo, C. C., "Steganography in JPEG2000 Compressed Images," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 49,

No. 4, pp. 824-832, Nov., 2003.

[11] Taubman, D. and Marcellin, M. W., JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice, Kluwer Academic Publishers, 2001.

[12] Taubman, D., "High Performance Scalable Image Compression," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 9, No. 7, pp. 1158-1170, July, 2000.

[13] Wu, M. and Liu, B., Multimedia Data Hiding, Springer-Verlag, New York, 2002.

[14] ISO/IEC 15444-1: Information Technology- JPEG2000 Image Coding System Part 1: Core Coding System, 2000.

[15] <http://jj2000.epfl.ch/>.