

JPEG 2000 符号化の最新動向

Current Status of JPEG 2000 Coding Systems

原 潤一
Junichi Hara
jun@src.ricoh.co.jp

(株)リコー ソフトウェア研究開発本部 画像アプライアンス研究所
Image Appliance Lab. Software R&D Group, RICOH Company. Ltd.

概要: 2001年1月に JPEG 2000 Part 1 が国際標準に、そしてそれに続く各 Part が国際標準となってきたおり、JPEG 2000 の普及に大きな期待が寄せられている。本チュートリアルでは、JPEG 2000 の基本構成を概説し、JPEG 2000 の各パートの関連性とその概要を解説する。また、第 31 回 WG1 国際会合で提案された新活動開催要求についても概説する。

ABSTRACT: The JPEG 2000 Part 1 coding system was standardized as an International Standard, and other JPEG 2000 parts are also being standardized. JPEG 2000 coding systems are expected to be widely used. This tutorial outlines the JPEG 2000 coding system, and presents the relationship to and the technology of JPEG 2000 coding systems. It also presents new activities proposed at the 31st WG1 international meeting.

1. はじめに

2000 年末に国際標準として認定された JPEG 2000 基本方式(Part 1)^[1]を基本とする JPEG 2000 は、Wavelet と算術符号化を用いることにより効率的に符号化を行う画像圧縮技術であり、可逆と非可逆圧縮をシームレスに実現し解像度と画質のスケラビリティを実現している。これらの性質のため、JPEG 2000 の普及に大きな期待が寄せられており、産業界での広い応用も期待されている。

この JPEG 2000 ファミリーは、2001 年に拡張方式(Part 2)^[2]と JPEG 2000 動画符号化(Part 3)^[3]

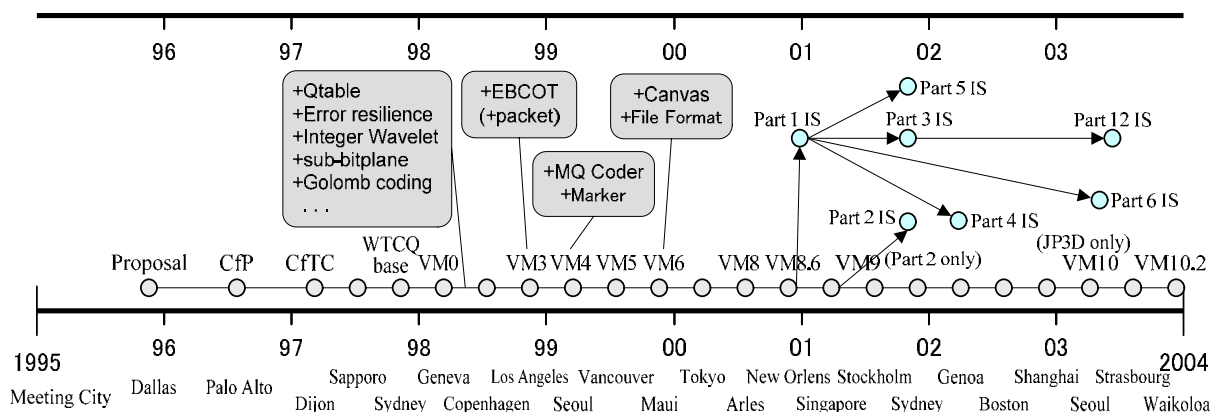
と参照ソフトウェア(Part 5)^[5]が、2002 年に互換性テスト(Part 4)^[4]が、2003 年に複合画像フォーマット(Part 6)^[6]と ISO ベース共通メディアフォーマット(Part 12)^[7]が、それぞれ国際標準として認定されてきた。表 1 に ISO と ITU-T (以前の名称は CCITT) の両機関から発行された JPEG 2000 の各パートの出版番号とその出版年月をそれぞれ示す。

2004 年 2 月現在、JPEG 2000 の新たなパート (Part 8~Part 11)^[8,9,10,11]の審議がなされており、これらの新パートも順次国際標準として認定される予定になっている。新たな活動の兆しとして、2003 年 12 月に開催された Waikoloa 会合中、Ebrahimi は、新たな 3 つの標準化活動開催を提案し、これらの標準化活動の重要性を訴えた^[12]。この新標準化活動の是非は、2004 年 3 月に開催される Madrid 会合にて審議がなされ、認定された場合に新たな標準化活動が開始されることとなる。

本稿では、JPEG 2000 標準化の推移を概説し、その符号化方式の説明を行う。また、JPEG 2000 の各パート技術と 2003 年末に提案された新活動内容について概説を行う。

Table 1. Published JPEG 2000 Parts

Part	ISO published		ITU-T published	
	number	date	number	date
1	15444-1	Jul. 2002	T.800	Aug. 2002
2	15444-2	not yet	T.801	Aug. 2002
3	15444-3	Sep. 2002	T.802	not yet
4	15444-4	Jun. 2003	T.803	Nov. 2002
5	15444-5	Nov. 2003	T.804	Aug. 2002
6	15444-6	Oct. 2003		
12	15444-12	Jan. 2004		



Note: CFP=Call for Proposal, CFTC=Call for Technical Contribution, VM=Verification Model
 Figure 1. Timeline of process of JPEG 2000 Standard

2. JPEG 2000 符号化

JPEG 2000 符号化方式は Wavelet 変換と算術符号化を用いたスケーラブルな画像符号化方式である。Wavelet を用いた符号化システムの構築は 1980 年代半ばより研究されており、1993 年に Shapiro により EZW 符号化方式^[17]が発表され、Said と Perlman により SPIHT 符号化方式^[18]が発表された。これらの符号化方式は Wavelet 変換後に bit-plane 単位で符号化を行っており、そのため画質スケーラブルな性質を持つことが特徴となるが、コードストリーム中の途中の符号の削除（切捨て）は不可能であった。

1994 年に Zandi と Boliek らにより CREW 符号化方式^[19]が開発された。この CREW 符号化方式は、EZW と SPIHT と同様なシステム構成を持つが、画質と解像度スケーラブルな性質と高度なシンタックスを持つことが特徴となっている。そのため、コードストリームの途中の符号の削除が可能になり、復号時に出力機器に最適な解像度や画質を選ぶことが可能になった。

この CREW 技術の登場により JPEG 2000 符号化方式提案の下準備が整うこととなる。

2.1. JPEG 2000 標準化の推移

図 1 に JPEG 2000 標準化活動の推移を示す。1995 年 12 月に Boliek より CREW の利便性をそなえた JPEG 2000 符号化方式の標準化活動開催の提案^[15]がなされた。その際、CREW がその実施例の一つとして提示された。提案当初は、JPEG-LS 標準化作業の最中のため注目を集めなかったが、画質・解像度スケーラブルによる利便性と“JPEG 2000”という名称から次第に注目

を集めることとなり、1996 年 7 月に正式に標準化活動が認められ^[16]、符号化方式の提案を募集することになった。応募された 24 方式の中には Wavelet を使用した方式や DCT を用いた方式等、CREW を含めて色々な方式が提案されたが、1997 年末の Sydney 会合での画質評価コンテストの結果、SAIC 社と米アリゾナ大学が提案した WTCQ 符号化方式^[2, 20]ベースの新符号化方式を開発することになる。

新提案技術を検証するための基本モデルとして JPEG 2000 VM (Verification Model)を作成し、Part 1 と Part 2 技術のコア実験を進めた。VM の開発と管理は WTCQ ベースの絡みから SAIC とアリゾナ大学が行うことになった。この VM に 1998 年中旬まで色々な方式が提案され組み込まれることになるが、1999 年以降は搭載技術の優劣を競い VM 搭載技術の取捨選択がなされた。

提案当初に実施例として示された CREW は、色変換と符号シンタックスが JPEG 2000 に残ることになる。WTCQ はその実装の複雑性から拡張方式に移動され、JPEG 2000 のコア技術の MQ-Coder とキャンバス座標系がそれぞれ 1999 年と 2000 年末に VM に導入され、徐々に現在の JPEG 2000 が形成された。そして遂に、2000 年末（投票集計結果提示は 2001 年 1 月）に JPEG 2000 基本符号化方式が国際標準となった。

JPEG 2000 標準化の推移について更に詳しく知りたい方は参考文献[21, 22]を参照のこと。

2.2. JPEG 2000 符号化方式

冒頭で述べたように、JPEG 2000 は Wavelet 変換と算術符号器を用いた符号化方式である。以

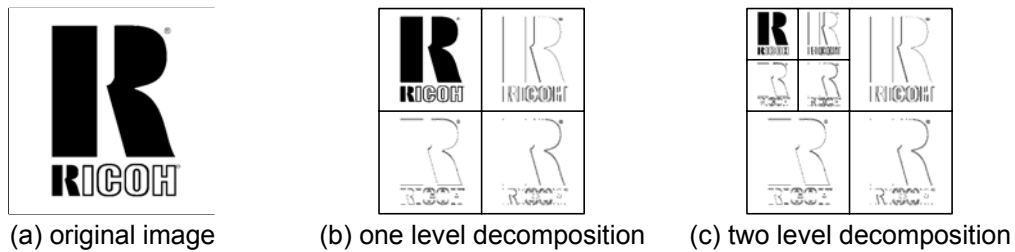


Figure 2. Example of wavelet decompositions

下に、この Part 1 方式を符号化処理順に概説する。

a. Level Shift

入力された画像は、そのダイナミックレンジの中央値が 0 となるように補正される。

b. Color Transform

入力された画像がカラー画像の場合、a で処理された画素は輝度色差変換処理される。後段が 5/3 Wavelet 変換の場合可逆色変換が用いられる。

c. Wavelet Transform

b の処理後、Wavelet 変換処理がなされる。Part 1 では整数型(5/3)と実数型(9/7)の二種類、Part 2 では任意の Wavelet 定義が可能である。図 2 にオクターブ変換例を示す。

d. Quantization

c の処理が実数 Wavelet の場合、量子化処理が成される。Part 2 では TCQ^[20]も選択可能である。

e. Bit Scanning and Context Modeling

d 処理後の係数は、各 subband 中の Code-block と呼ばれる小領域内を bit-plane 符号化する。つまり、この Code-block 符号がコードストリーム構成の最小単位となる。一回の bit-plane 符号化処理中に、significance、refinement、および clean-up の三回の処理パスがある。各処理パスでは、符号対象ビットの近傍にあるビット情報をその処理パス特有の context 値として算出し、後処理にこの context 値と符号対象ビットを送る。

f. MQ-Coder

e から送られてきた context 値と符号対象ビットは MQ-Coder と呼ばれる算術符号器で符号化され、その符号は Code-block 処理単位でまとめられ、Packet としてコードストリームを形成される。この算術符号器は演算処理を固定小数点演算とし、さらに演算処理を単純化することによって処理速度の向上が図られている。この MQ-Coder は、JPEG 2000 Part 1 および Part 2 符号化中で唯一の符号化エンジンである。

g. Codestream Truncation

符号量制御や作成した符号の再圧縮のために、f で作成されたコードストリームの切捨て処理を行う。切捨てる単位は Packet 中の Code-block 単位で可能だが、通常は Packet 単位で削除される。可逆符号化を行う場合は、この処理はバイパスされる。

h. File Format

QuickTime^[23]の Atom をベースとした Box を用いファイルフォーマットを形成する。

以上、符号化処理について概説した。このように JPEG 2000 は JPEG (ITU-T Rec. T.81)^[13] より遙かに複雑な処理を用いている。そのため、処理時間の増加が懸念されるが、符号化時間は JPEG の約 3 倍、復号時間は JPEG の約 2 倍となり、処理時間増大の心配はない。(表 2 参照)

Table 2. Processing time of JPEG and JPEG 2000 coding of a lena image

coding	CPU ⁽²⁾	lossy ⁽¹⁾			lossless	
		coding time		JPEG2000/JPEG	coding time JPEG 2000 ⁽³⁾	JPEG2000/JPEG
		JPEG 2000 ⁽³⁾	JPEG			
encode	P3	0.240 sec	0.060 sec	x 4.0	0.530 sec	x 8.8
	PM	0.336 sec	0.135 sec	x 2.5	0.482 sec	x 3.6
decode	P3	0.100 sec	0.040 sec	x 2.5	0.490 sec	x 12.3
	PM	0.181 sec	0.125 sec	x 1.5	0.446 sec	x 3.6

Note (1): lena (512, 512) color image was used and compression ratio was 0.1464 bit / pel.

Note (2): The 'P3' denotes an Intel Pentium III 866MHz processor on Linux, and the 'PM' denotes an Intel Pentium-M 1300MHz processor on Windows XP.

Note (3): The kakadu [24] software ver.4.1 ware used as JPEG 2000 coder.

Table 3. Timeline of JPEG 2000 Work Plan

JPEG 2000 Part	CfP	WD	CD	FCD	FDIS	IS
1 Core coding system: JP2	97/03	99/03	99/12	00/03	00/10	00/12
2 Extensions: JPX	97/03	00/03	00/08	00/12	01/07	01/11
3 Motion JPEG 2000: MJ2	99/12	00/07	00/12	01/03	01/07	01/11
4 Compliance Testing	99/12	00/07	00/12	01/07	02/02	02/05
5 Reference Software	99/12	00/03	00/07	00/12	01/08	01/11
6 Compound Image: JPM	97/03	00/12	01/03	01/11	02/11	03/04
7 TR: Minimum Part 1	00/07	00/08	PDTR:01/03	DTR:01/06	TR:01/10	withdraw→Part 4
8 Security: JPSEC	02/03	02/10	04/04	04/07	04/11	05/02
9 Protocols & API: JPIP	02/03	02/12	03/03	03/07	04/04	04/07
10 3D & Floating data: JP3D	02/03	02/10	04/04	04/07	04/11	05/02
11 Wireless: JPWL	02/07	03/07	04/04	04/07	04/11	05/02
12 ISO Base Media File Format	02/10	→	→	02/10	03/03	03/05
13 Entry Level J2K Encoder	03/12	04/04	04/07	04/11	05/03	05/07

Note: CfP=Call for Proposals, WD=Working Draft, CD=Committee Draft, FCD=Final Committee Draft, FDIS=Final Draft International Standard, IS=International Standard.

3. JPEG 2000 の各パートの概要

JPEG 2000 の 12 パートは、符号化方式、ファイルフォーマット、およびツールを提供する。表 3 に進行状況を、図 3 にこれらの各パートと QuickTime^[23] および MPEG 4 との関係を示す。

3.1. 標準化されたパート

Part 1. Core Coding System: JP2

JPEG 2000 基本方式を規定する標準。JPEG とは違い、符号マーカ以外に符号を包む形で QuickTime ベースのファイルフォーマットが定義された。

Part 2. Extension: JPX

Part 1 で定義された方式以外に、任意レベルシフト、ROI 任意シフト、precinct のオフセット、TCQ^[20]等の拡張がなされた方式。詳しくは参考文献[2]を参照のこと。

Part 3. Motion JPEG 2000: MJ2

Motion JPEG のように動画シーケンスを 1 フレーム毎に JPEG 2000 符号化を行う動画像符号化方法。動画像を一枚毎の静止画像として扱うため、符号化効率は MPEG よりも悪いが、ビデオ編集で任意のフレームを扱うことが可能である。そのため、編集を伴う分野での応用が期待されている。現在、実装ガイドラインの技術追加が審議されている。

Part 4. Conformance Testing

JPEG 2000 符号器の互換性テストを検証するためのツール。本標準はテスト内容を記述した標準書以外にテスト画像データが付属する。

Part 5. Reference Software

JPEG 2000 実装実施例を添付してあり、Java 言語版の JJ2000^[25]と、C 言語版の Jasper^[26]の二種類の実装例がある。

Part 6. Compound Image File Format: JPM

一枚の画像を複数のレイヤーに分け、レイヤー毎に画像部品の位置や符号化方法を変更することが可能である。ページ概念がある。

Part 12. ISO Base Media File Format

Motion JPEG 2000 と MPEG 4 の共通部分を定義したファイルフォーマット規格。MPEG 4 での番号は、ISO/IEC 14496-12 となる。

3.2. 審議中のパート

Part 8. Secure JPEG 2000: JPSEC

JPSEC は、JPEG 2000 符号の暗号化定義の標準化であり、暗号化やスクランブル等の技術応用が考えられている。この標準の使用例として、

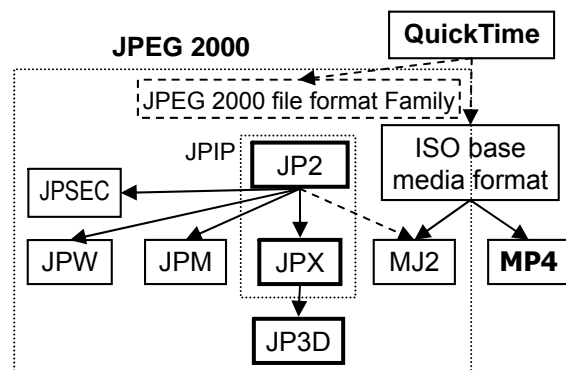


Figure 3. Relationship between JPEG 2000, MPEG4, and QuickTime.

Medialive 社の提案方式^[27]を図4に示す。この方式では、暗号化された画像に対し、グレー画像用の暗号鍵やサムネイル用暗号鍵などのように鍵を複数持つことが可能になっている。また、複数の鍵に関連性を持たせ上位階層の鍵があれば下位階層の鍵を必要としない方式^[28]も提案されている。これらの方式を組み合わせることにより、画像配信においてサムネイル動画像のみ閲覧可能とし、フルサイズ再生には鍵の購入が必要となる配信システムを構築することが可能となる。本標準は純粋な暗号化技術方式の構築ではなく、暗号化方式登録方法の確立を目指す。JPSECにはコア実験環境が無い。これは、本活動が各種提案方式実施可能な符号マーカ定義作業のみであり、また暗号技術の輸出規制等の問題も絡むためでもある。最終的な実装例として、参照ソフトウェアの必要性も議論されているが色々な問題がある。現在、提案方式のコア実験中であり、中間会合も盛んに行われ、2005年初旬の標準化を目指す。

Part 9. Interactivity Tools, APIs and Protocols: JPIP

JPIPはJPEG 2000符号の送信方式に関する標準化であり、表示要求に応じて必要な画像データのみを送信することが可能となっている。このJPIPの通信方式は、タイル単位とprecinct単位の二種類の送信方式があり、JPEG画像として送信することも可能である。JPIPにおいてもJPSECと同様に共通なコア実験環境がなく、参照ソフトウェアの必要性が議論されている。2004年3月のMadrid会合でFDISの完成を目指す。

Part 10. 3-D and Floating Point Data: JP3D

JP3Dは可視化人体画像データプロジェクト(Visible Human Project)で用いられている3-Dボリューム画像や流体シミュレーション結果の浮動小数点データ画像の符号化を目的としており、二次元画像の動画像表現としての三次元画像

は対象としていない。コア実験環境はVMをJP3D用に改良したVM10を使用している。JP3Dは2005年初旬の標準化を目指し活動を続けているが、提案方式のVMへの実装作業とコア実験数の多さのため、標準化作業は少なくとも1年は遅れると予測される。

Part 11. Wireless: JPWL

JPWLは無線通信を行うためのJPEG 2000符号マーカの拡張作業である。コア実験共通基盤として、参照ソフトウェア(Part 5)で用いられているJasper^[26]を改良したものを使用している。本活動の出席者の殆どが欧州系のため、欧州以外での本会合開催時には、欧州で中間会合を開催し、本会合でその結果を公表するという会議スタイルを用いている。2005年初旬の標準化を目指す。

Part 13. An Entry Level of JPEG 2000 Encoder

JPEG特許問題の教訓から、特許料無償のJPEG 2000符号器実現を目指し、JPEG 2000普及促進を促すことが本パートの目的である。米国からPart 5ベースで検討を進めるべきとの提案があったが、「Part 5は参考情報であり、規定ではないので特許声明は求められない」ということから2003年12月に活動開始^[29]を認められた。2005年中旬の標準化を目指す。

3.3. 新たな活動の兆し

Advanced Image Coding: AIC

新符号化方式、2010年頃の完成を目指す。

Still Image Search: SIS

検索技術そのものではなく、画像検索エンジン開発用に、共通な検索ツールを提供することが目的である。

Image Based Authentication: IBA

画像を用いた認証処理技術の構築を目指す。

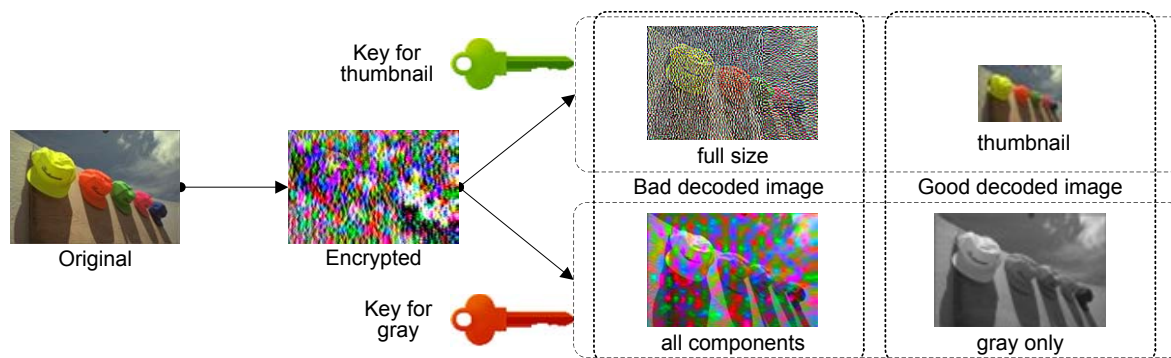


Figure 4. Example of Secure JPEG 2000 (by Medialive Inc.)

4. おわりに

JPEG 2000 標準化の歴史的推移を概説し、その符号化処理の説明を行い、JPEG 2000 と JPEG の速度比較も行なった。更に、JPEG 2000 の各パート技術と新活動提案の内容について概説し、現在どのようなパートが審議されているかを述べた。本稿が、JPEG 2000 符号化技術の理解に役立てば幸いである。

参考文献

- [1] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 1: Core coding system,” ITU-T Rec. T.800 | ISO/IEC 15444-1, Aug. 2002.
- [2] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 2: Extensions,” ITU-T Rec. T.801, Aug. 2002.
- [3] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 3: Motion-JPEG 2000,” ISO/IEC 15444-3, Sep. 2002.
- [4] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 4: Compliance Testing,” ITU-T Rec. T.803 | ISO/IEC 15444-4, Nov. 2002.
- [5] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 5: Reference Software,” ITU-T Rec. T.804 | ISO/IEC 15444-5, Aug. 2002.
- [6] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 6: Compliance Testing,” ISO/IEC 15444-6, Oct. 2002.
- [7] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 12: ISO base Media File Format,” ISO/IEC 15444-12, Jan. 2004.
- [8] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 8: Secure JPEG 2000 WD V3.6,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N3171, Dec. 2003.
- [9] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 9: Interactivity Tools, APIs and Protocols FCD V2.0,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N3172, Dec. 2003.
- [10] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 10: 3-D and Floating Point Data WD V2.0,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N3016, Jul. 2003.
- [11] “Information Technology – JPEG 2000 image coding system – Part 11: Wireless WD V2.0,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N3111, Nov. 2003.
- [12] Touradj Ebrahimi, “JPEG 2000 new activities and explorations,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N3170, Dec. 2003.
- [13] “Information technology - Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines,” ITU-T Rec. T.81 | ISO/IEC 10918-1:1994.
- [14] Touradj Ebrahimi, “JPEG 2000 new activities and explorations,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N3170, Dec. 2003.
- [15] Martin P. Boliek, “New Work Item Proposal: JPEG 2000 image coding system,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N390, Jun. 1996.
- [16] Martin P. Boliek, “New Work Item: JPEG 2000 image coding system,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N390R, Mar. 1997.
- [17] Jerome M. Shapiro, “Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients,” IEEE trans. on Signal Processing, Vol. 41, No 12, Dec. 1993.
- [18] Amir Said and William A. Pearlman, “A New Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees,” IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 6, Jun. 1996.
- [19] Ahmad Zandi, James D. Allen, Edward L. Schwartz, and Martin P. Boliek, “CREW: Compression with Reversible Embedded Wavelets,” DCC Data Compression Conference, IEEE, Mar. 1995.
- [20] Michael W. Marcellin, Margaret A. Lepley, Ali Bilgin, Thomas J. Flohr, Troy T. Chinen, and James H. Kasner, “An Overview of Quantization in JPEG 2000,” Signal Processing Image Comm. 17, pp.73-84, 2002.
- [21] Michael W. Marcellin, Michael J. Gormish, and Martin P. Boliek, “An Overview of JPEG 2000,” IEEE Data Compression Conference, pp.523-541, 2000.
- [22] Majid Rabbani, and Rajan Joshi, “An Overview of the JPEG 2000 still image,” Signal Processing: Image Comm. 17, 2002.
- [23] “QuickTime File Format Specification, May 1996” <http://www.apple.com/quicktime/resources/qtfileformat.pdf>, Apple Developer Press, May 1996
- [24] David S. Taubman, “Kakadu Software,” <http://www.kakadusoftware.com/downloads.html>
- [25] “JJ2000 version 4.1 (Sep. 2001) Download Page,” http://jj2000.epfl.ch/jj_download/index.html, Sept. 2001.
- [26] Michael D. Adams, “JasPer version 1.700.5,” <http://www.ece.uvic.ca/~mdadams/jasper/software/jasper-1.700.5.zip>, Oct. 2003.
- [27] Jérôme Caporossi, “Medialiving: a new concept to protect JPEG 2000 Data,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N3030, Jul. 2003
- [28] Junichi Hayashi, “Key management for JPSEC,” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N2742, Oct. 2002.
- [29] Yasuyuki Nomizu and Kats Ishii, “Request of Subdivision of JPEG 2000 (JTC 1.29.14.101),” ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N3175, Dec. 2003.