3

SC 29/WG 1 標準化動向

石川 孝明[†], 福原 隆浩^{††}

キーワード JPEG, JPEG 2000, デジタルシネマ, JPXML, AIC, JPEG XT

1 ま え が き

静止画像符号化方式を標準化するISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 (JPEG) は, JPEG 2000 Part1の標準化作業を2000年に完了し, その後, 3つの新しいプロジェクトを立ち上げている. メタデータに基づく画像検索システムを想定した, データフォーマットおよびインタフェースを規定するJPSearch (ISO/IEC 24800シリーズ), JPEGにないビット深度をサポートし, JPEG 2000よりも低負荷な処理による符号化を実現するJPEG XR Image Coding System (ISO/IEC 29199シリーズ), そして, JPEG 2000を超える次世代の符号化方式の確立を目標とするAdvanced Image Coding and Evaluation Methodologies (ISO/IEC 29170シリーズ)である. JPSearchおよびJPEG XRは, 現在までに規格を構成する各パートの標準化を完了し, AMD (Amendment: 追補)を策定している. また, Advanced Image Coding (AIC)は, 新しい符号化方式の議論に進む前段階として, コーデック評価のガイドラインを審議している.

本稿では, まず, JPEG 2000符号化方式の処理負荷の低減を目的としたLazyモードの拡張について述べる. 次に, JPEG 2000 Part1の拡張規格について述べる. 高精細な静止画像を各フレームとして持つ動画像もしくは映像アーカイブ向けのプロファイルを規定している. 続いて, JPEG 2000の新パートであるJPXMLと, PDTR投票が完了したAICを概説し, 最後にJPEG (ISO/IEC 10918-1)との互換性を重視する拡張として新たに審議が開始されたJPEG XT (ISO/IEC 18477シリーズ)と最新の動向について述べる.

2 JPEG 2000の高速符号化

2.1 JPEG 2000の処理速度の高速化

JPEG 2000は, JPEGに比べてエンコード・デコードに要する計算量が非常に大きく, 中でもJPEG 2000 Lossless

は, 特に負荷が大きいことが普及の障害になっていた. そのため, 高速化の要求が高かったにもかかわらず, 顕著な高速化が実現されていない. 2009年10月に西安で開催されたWG1会合において, JPEG 2000のアルゴリズムの範囲内で高速化する技術提案とその標準化策定の開始について, 日本から提案を行った. これはJPEG 2000 Part1で定義されたLazyモード (Selective Arithmetic Coding Bypass)を最下位bitplane LSB (Least Significant Bit)の方向に対して拡張することで, 圧縮率を犠牲にせずに大幅な高速化を実現する技術である.

2.2 Lazyモードとその拡張方式

JPEG 2000ではDWT (Discrete Wavelet Transform)変換係数をCodeblock単位にEBCOT (Embedded Block Coding with Optimized Truncation)でEntropy符号化する. Codeblockの係数値は, 図1のように, 2値データから成るbitplaneに展開される. EBCOTでは最上位bitplane (MSB)から最下位bitplane (LSB)の方向に, bitplane単位に3つのCodingpass (SP-pass, MR-pass, CP-pass)によってエンコードを行う. JPEG 2000では, 目標のビットレート以降のCodingpassを切り捨てる (Truncation)ことで, 容易にレート制御が可能である.

JPEG 2000 Part1では, 途中のbitplaneでエンコードを打ち切り, 後続のbitplaneはRAW (エンコードしない)の

図1 Subband and Codeblock

[†] 早稲田大学^{††} ソニー株式会社

"Current Status of SC 29/WG 1" by Takaaki Ishikawa (Waseda University, Tokyo) and Takahiro Fukuhara (Sony Corporation, Tokyo)

表1 Selective Arithmetir Coding Bypass (2nd BPまで)

Bit-plane Number	Pass Type	Coding Operations
1	CP	Arithmetic Coding (AC)
2	SP	AC
2	MR	AC
2	CP	AC, Terminate
3	SP	Raw
3	MR	Raw, Terminate
3	CP	AC, Terminate
...	...	...
Final	SP	Raw
Final	MR	Raw, Terminate
Final	CP	AC, Terminate

表2 Experimental Conditions

Test Images (resolution, Color Format, Bit-depth)	1. BW (4,096×3,112, YUV4:4:4, 10bits) 2. M.I. (4,096×2,160, YUV4:4:4, 10bits) 3. Panda (3,840×2,160, YUV4:4:4, 10bits) 4. Seq (4,096×3,112, YUV4:4:4, 10bits) 5. StEM (4,096×2,160, YUV4:4:4, 12bits)
Coding	JPEG 2000 Lossless
BP Number	1, 2, 3, 4 (Normal Lazy)

まま符号化するモード（通称Lazyモード）が定義されている。これは、LSB方向のbitplaneほど、White Noiseが多く圧縮効果が小さいまたはほとんどないという特性を利用している¹⁾。通常のLazyモードでは、上位から4番目のbitplaneまでは通常のエンコードを行い、5番目以降は算術符号化 (Arithmetic Coding) の代わりにRAWデータのままで符号化するが、表1の例では、上位から2番目のbitplaneまで算術符号化を行い、後続はRAW符号化することを示している。

2.3 実験方法と結果

Coding-passの算術符号化をbypassすることによる圧縮率低下のデメリットと、RAW符号化によるエンコードの高速化のメリットについて、両者の関係を分析した。実験に用いたテスト画像の種類とエンコード条件を表2に示す。

表3、表4にLosslessでの速度および圧縮率比較 (Lazyなしを100とする) を示す。圧縮率を犠牲にすることなく（最大3.3%の圧縮率低下）、最大44 %の高速化を達成した。

2.4 標準化策定

本方式は、当初JPEG 2000のベースライン規格であるPart1に組込む予定であったが、本方式によってエンコードされたCodestreamは、標準のPart1デコーダでデコードできないことから、拡張仕様であるPart2で標準化を行うことになった。2009年10月の西安会合で最初に提案を行ってから、毎回の国際会合で検証結果を提出し、各国の支持を得ることで、2012年6月の最終投票で国際標準方式 (JPEG 2000 Part2 Amendment-4 : Block Coder Extension)

表3 Lossless Compression Time [%]

	No.Lazy	Lazy	3rd BP	2nd BP	1st BP
BW	100	88.34	75.54	62.76	59.19
MI	100	76.06	66.92	60.34	58.6
Panda	100	80.37	69.03	59.69	57.51
Seq	100	88.99	76.04	63.16	59.78
StEM	100	76.82	66.93	58.36	56.1

表4 Lossless Compression Ratio [%]

	No.Lazy	Lazy	3rd BP	2nd BP	1st BP
BW	100	99.61	99.78	101.64	103.24
MI	100	99.48	100.19	101.56	102.42
Panda	100	99.31	99.36	100.44	101.4
Seq	100	99.67	99.93	101.83	103.3
StEM	100	99.04	99.04	100.04	100.98

が完了した。

3 JPEG 2000 Part1 のAMD

3.1 JPEG 2000 とデジタルシネマ

JPEG 2000符号化方式の中心的な技術を規定したPart1は、ウェーブレット変換とEBCOT²⁾を用いる符号化システムを規定している。JPEG 2000 Part1は、従来のJPEG (ISO/IEC 10918-1) と比較して約2倍の符号化効率を実現し、品質や解像度に対するスケーラビリティを有し、ロッキーおよびロスレス符号化を統一的なシステムで構成するなどの特徴を持つ。

一方、デジタルシネマでは、解像度スケーラビリティの機能が重視されている。これは、マスタデータを提供するスタジオ側では、4K解像度で映画を符号化しておくだけで、4K解像度のスクリーンを持つ劇場と2K解像度のスクリーンを持つ劇場の双方に対応可能なためである。これにより、各劇場において、デジタルシネマ対応のスクリーンを導入するコストが最適化され、アナログフィルムによる映画配信からデジタルシネマへの移行が本格化した。

3.2 JPEG 2000 Part1 のプロファイル

JPEG 2000 Part1がデジタルシネマの画像圧縮方式として採用された2005年以降、WG1はPart1の動画像用途のプロファイルを継続的に審議している。プロファイルとは、主に符号化器が生成するビットストリームに対する制約条件を定めたものである。これまでにデジタルシネマ用途、放送用途、そしてアーカイブ用途など複数のプロファイルを規定しており、それらはAMD (Amendment : 追補) としてPart1の新しいバージョンに順次組み入れられている。すでに標準化作業を完了したJPEG 2000 Part1の

表5 Part1のAMD(標準化作業完了済み)

AMD 1	Profiles for digital cinema applications
AMD 2	Extended profiles for cinema and video production and archival applications
AMD 3	Profiles for broadcast applications
AMD 4	Guidelines for digital cinema applications
AMD 5	Enhancements for digital cinema and archive profiles (additional frame rates)

表6 プロファイル番号と名称

Rsiz	Profile
3	2K digital cinema profile
4	4K digital cinema profile
5	Scalable 2k digital cinema profile
6	Scalable 4k digital cinema profile
7	Long-term storage profile

AMDを表5に示す。2006年1月にAMD1, 2009年12月にAMD2, そして2010年12月にAMD3を出版している。AMD4は2011年4月にFDAM投票を完了し, AMD5は2011年5月にFDAM投票を終えて, それぞれ出版待ちの状態である。加えて現在は, AMD7としてHigh Frame Rate (HFR) Profile for Digital Cinemaを策定中である。なお, AMD6としてUpdated ICC Profile Support, Bit Depth and Resolution Clarificationsを審議しているが, デジタルシネマとは直接関係はない。

3.3 デジタルシネマ用プロファイルの拡張

AMD1に規定したプロファイルは, DCI (Digital Cinema Initiatives LLC) 要求仕様で採用されている³⁾。DCI要求仕様は, ハリウッドの映画産業がデジタルシネマを実現するために策定した仕様である。なお, WG1は動画像のフォーマットとしてMotion JPEG 2000 (ISO/IEC 15444-3)を策定していたが, DCI仕様書ではJPEG 2000 Part1を用いて各フレームを独立に符号化し, SMPTEの規格でパッケージングする方式が取られている。これはPart1が, ロイヤリティフリーで提供されていることが一つの要因である。

拡張された各プロファイルの名称を表6に示す。表中のRsizは, プロファイルの番号を表すパラメータである。なお, 放送用のプロファイルは, AMD3に記載されている。IPベースの放送を想定した3つのプロファイルと最大ビットレートが異なる7つのレベルを規定している。

AMD1のプロファイルが, デジタルシネマの配信を中心にしていることに対し, AMD2のプロファイルは, マスタとなるアーカイブデータと配信用データの中間的な位置づけにある画像データを対象としている。そのため, プロファイル5および6では, 2段階の品質レイヤの設定が認められており, 最大ビットレートが2倍に拡張されている。

表7 空間解像度の比較

	2K (Rsiz=3,5)	4K (Rsiz=4,6)	Long-term (Rsiz=7)
Xsiz	2048	4096	16384
Ysiz	1080	2160	8640

なお, プロファイル7では8段階までの品質レイヤを設定でき, ロスレスをサポートするために最大ビットレートに対する制約がない。

各プロファイルで規定された画像の空間解像度は, 2K, 4Kおよび8K用のそれぞれについて, 表7に示す数値が設定されている。また, デジタルシネマ用の各プロファイルのビット深度は12ビットである。

スタジオから劇場を経由してエンドユーザへ映像を配信するストリーミング手段や, デジタルシネマに最適なVisual Frequency Weighting (視覚特性を考慮したサブバンドレベルごとの重み付け) の設定などに関する議論は, AMD4にガイドラインとしてまとめられている。また, AMD5では, AMD1で規定したデジタルシネマ用のフレームレートに, 新たに2K用に60fps, 4K用に30fpsが加えられている。

4 JPXML

JPEG 2000 Part14 (XML Representation and Reference) は, ファイルフォーマットやビットストリームに関する情報をXML形式で表現するための規格である。2012年5月にFDIS投票を完了し, IS出版待ちの状態にある。

Part14が規定するのは, 新しい画像フォーマットではなく, XMLで記述される中間的な画像記述表現である。これにより, 画像ファイルの内部データへのロバストなアクセスが可能になる。画像からXML文書を作成する処理器をForward Converterと表し, 逆処理をInverse Converterと呼ぶ。画像データに対応するビットストリーム部分は, BASE64変換で文字列化されるため, 逆処理により元のJPEG 2000データに戻すこともできる。JPXMLで表現可能な3つのレベルを表8にまとめる。画像データに対応するビットストリームまでを保持する場合"fat"レベルに対応し, この場合のXML文書は, 元の画像データよりも容量が増えることになる。

JPXMLで作成されるXML文書は, JPXML要素, JPXML要素の属性および値によって構成されており, XMLの文書構造が画像の構造を表現している。JPEG 2000ファイルフォーマットに対応するJPXMLの一例を図2に

表8 JPXMLの表現レベル

skeleton	画像の基本構造をJPXMLで表現
fat-skeleton	画像の基本構造と基本的なパラメータをJPXMLで表現
fat	すべての画像情報をJPXMLで包含

図2 JPXMLによる画像のXML表現の例

示す。JPXML要素には、コンテナ要素とコンテンツ要素の2種類が存在する。コンテナ要素はbox情報やマーカセグメントを表現し、コンテンツ要素はコンテナの特性や包含するbox情報について記述する。なお、ルート要素は"jpxml"で表される。各JPXML要素は、"length"と"type"属性を持ち、データ長とデータの種別情報を保持している。

5 AIC

Advanced Image Coding and Evaluation Methodologies (ISO/IEC29170シリーズ)は、次世代の画像符号化方式に関する新たな市場の要求に答えるために検討を開始した標準である。2005年11月(シンガポール会合)に具体的な議論を開始し、当初は規格の名称をAdvanced Image Coding (AIC)としていた。しかし、実質的には、画像符号化方式の評価手法と圧縮技術の確立の双方をスコープとしていることから、2008年7月の新プロジェクト承認時に、現在の名称に変更した。略称はAICである。AICは、さまざまなアプリケーションをサポートする幅広い要求仕様に対応することを目標としており、今後提案される新しい符号化アルゴリズムの性能を公平に比較するために、統一的な評価尺度を定義することから活動を開始した。

AICではこれまでに、カメラセンサ情報に関する圧縮技術、医用画像の符号化、客観評価尺度の確立、多視点符号化、セキュリティアプリケーション、ビデオ監視など複数の応用分野に関する符号化技術について検討している。しかし、具体的な符号化方式を策定するまでには至っていない。なお、新しい符号化技術を募集する過程でHD Photoが提案されたが、AICではなくJPEG XRとして標準化している。

現在AICでは、新たなコーデックを評価するためのテスト画像や評価尺度などについて、過去数年にわたる議論を総括する形でガイドラインを作成している。同ガイドラインには、ベンチマークとして13項目が定められている。主

要な評価軸を以下にまとめる。

- ・コーデックの実行時間
- ・ピーク時のメモリサイズ
- ・キャッシュヒット率
- ・並列化による改善効果
- ・実装の複雑さ
- ・反復圧縮による画質劣化

このように、ガイドラインに示された画像圧縮アルゴリズムを評価するためのフレームワークを利用すれば、コーデックの性能を多角的に評価できる。AICでは、新しい画像符号化技術の提案募集を継続しており、特に医用画像、セキュリティ関連技術、カメラセンサ情報に関連する技術について専門家の参加を広く呼びかけている。

6 審議中のプロジェクト

WG1で審議中の主要な議題について述べる。

6.1 JPEG XT (ISO/IEC 18477)

6.1.1 標準化経緯

デジタルカメラを代表とする近年の画像入力機器は、8ビットを超えるビット深度の信号表現を広くサポートしつつある。これに対し、多くの機器で採用されているベースラインJPEGでは、一つのチャンネルごとに8ビットの情報しか扱えない。そのため、撮影時に得られる高精細な情報を保存するためには、JPEG以外の形式を利用する必要がある。規格としては、JPEG 2000やJPEG XRが高いビット深度の画像をサポートしているが、現時点では一般的なデジタルカメラでは採用されておらず、RAW形式で保存しているのが現状である。そこでWG1では、これまでのJPEGとの互換性を維持しつつ、高いビット深度の画像、すなわち、High Dynamic Range (HDR) 画像に対応する新しい規格を策定することになった。

2012年7月のパリ会合で提案されたJPEGのHDR拡張は、8カ国からのサポートを受けて、新しいプロジェクトとして標準化が開始された。当初の議論では、ベースラインJPEGの拡張としてAMDを作成する予定であった。しかし、HDR画像への対応に限定せず、JPEG互換の新しい技術について広く議論するべきとの意見が強く、最終的に新しいプロジェクトとして独立することになった。パリ会合後に発行された提案募集に対し、2012年11月の上海会合において5件の方式提案がなされた。現在はそれらを基にWD (Working Draft) を作成している。

審議中の各パートの名称を表9に示す。なお、当初の名称はJPEG Extensionsであったが、JPEG (ISO/IEC 10918シリーズ)には、すでにExtensions (ISO/IEC 10918-3)の名称で拡張規格が存在しているため、混乱を避けるためにXTが使われている。規格の正式名称は、Scalable Compression and Coding of Continuous-Tone Still Imagesである。

表9 JPEG XT (ISO/IEC 18477)の各パート

Part 1	Core Coding System
Part 2	Coding of High Dynamic Range Images
Part 3	Lossless Coding
Part 4	Conformance Testing
Part 5	Reference Software

図3 JPEG互換HDRの概念図

6.1.2 規格概要

JPEG XTのHDR画像符号化方式について、現時点でのWDを基に、復号器の処理フローを述べる。HDR画像とLDR (Low Dynamic Range) 画像の関係性を図3に示す。HDR画像のビットストリームは、JPEG (ISO/IEC 10918-1)で復号可能な部分と差分信号から構成される。差分信号も利用して復号することで、8ビットより高いビット深度のHDR画像を再生可能になる。この点で、ビット深度に対するスケーラブル機能を持つと解釈できる。また、差分信号をJPEGのアプリケーションマーカを利用して制御するため、HDR画像のビットストリーム全体を既存の復号器に入力しても、差分信号が読み飛ばされ復号処理が止まることのないように設計されている。

6.2 その他の審議項目

Display Stream Compressionとの名称で、高解像度映像信号を低遅延でディスプレイに伝送するための画像圧縮方式について審議している。本規格は、2012年7月(パリ会合)で提案募集を行い、VESA⁴⁾の標準化スケジュールに合わせる形で審議を進めている。

WG 1とSC 29/WG 11との合同会合では、静止画プロファイルを策定する動きがある。これは、JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding)⁵⁾において、2013年1月に標準化作業を完了したHEVC (ISO/IEC 23008-2)のイントラ符号化を用いるものである。動画像の各フレームを静止画像として利用するだけでなく、メタデータの共通化なども標準化対象としてあげられており、符号化効率の性能評価も含めた審議が今後も継続される予定である。

上記で述べた規格以外にも、新しいトピックとして、JPEGの規格群を横断的に扱うためのシステムレイヤ、拡張現実感 (JPEG AR)、プライバシー保護技術 (JPEG Privacy)などを審議している。

7 む す び

本稿では、静止画像符号化方式を標準化するWG1の最新動向について述べた。WG1は、次世代の画像符号化方式 (AIC)、メタデータなどの補助情報を利用したシステムレベルでの利便性の向上 (JPEG Systems)、広く普及したJPEGとの互換性を重視した拡張 (JPEG XT) などについて継続的に審議しており、関連分野に属する専門家の積極的な参加が望まれる。

(2013年4月4日受付)

〔文 献〕

- 1) 岩橋, 貴家: “混合ARモデルとそのロスレス符号化における一検討”, 信学技報, 110, 440, SIP2010-140, pp.131 (Mar. 2011)
- 2) D. Taubman: "High performance scalable image compression with EBCOT", Image Proc., IEEE Trans. on, 9, 7, pp.1158-1170 (July 2000)
- 3) Digital Cinema Initiatives, LLC: <http://www.dcinemovies.com/>
- 4) VESA, <http://www.vesa.org/>
- 5) JCT-VC, <http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com16/video/Pages/jctvc>

石川 孝明 いしかわ たかあき 2005年、早稲田大学大学院国際情報通信研究科修士課程修了。2007年、同大学国際情報通信研究センター助手。2010年、同センター招聘研究員となり、現在に至る。画像符号化の研究に従事。ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/Video小委員会およびWG1小委員会各委員。

福原 隆浩 ふくはら たかひろ 1988年、早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。現在、ソニー(株)に勤務。JPEG2000 Part-1 AMD-1, AMD-2, AMD-5, JPEG2000 Part-2 AMD-4, JPEG2000 Part-3 (Motion-JPEG2000)の議長およびEditorを歴任。著書に「次世代動画像方式 Motion JPEG2000」トリケプス, 「JPEG2000詳細解説」CQ出版社、博士(工学)。