
JPEG2000標準化動向

International Standardization of JPEG2000

野水 泰之*

Yasuyuki NOMIZU

要 旨

現在のJPEGの欠点である低ビットレートでの画質劣化を少なくしたことに加え、実用的な新機能を多数備えている、新しいJPEG2000を開発した。JPEG2000は西暦2000年に勧告化されたカラー静止画像符号化の国際標準であり、ISOの一機関であるISO/IEC JTC1/SC29/WG1において活発な議論をもとに、誕生したものである。既にカラー静止画像符号化という技術分野においては、JPEGという方式がデジタルカメラやインターネットをはじめとして幅広い分野で普及しているが、JPEG2000は圧縮効率の高さや豊富な機能の面でJPEGに優る点が多く、今後注目されていくであろう。

ABSTRACT

JPEG2000 is newly developed for higher ability of reducing quality loss of image by the low bit rate, which is a weak point of current JPEG, as well as a lot of practical new functions. It is an international standard for still color image coding, which was born as a result of active argument in ISO/IEC JTC1/SC29/WG1. JPEG is widely spread in a field of color image coding such as digital camera and Internet. JPEG2000 will attract attention in future so that there are some merit superior to JPEG with higher compression efficiency and more functions.

* 画像システム事業本部 C&F第二事業部
4th Designing Department, C&F Business Division 2

1. 背景と目的

JPEG2000は新しいカラー静止画像符号化の国際標準であり、現在、インターネット等で幅広く利用されているJPEG(Joint Photographic Experts Group)方式に置き換わろうとしているものである。JPEG2000はJPEGの欠点である低ビットレート(高圧縮率)での画質劣化を少なくしたことに加え、実用的な新機能を多数備えており、今後注目されていくことは間違いない。

JPEG2000誕生にJPEG-LSが関係していることは、あまり知られていない。JPEG-LSは、多値ロスレス符号化を主目的とした新しい符号化方式で、本分野において初めて本格的に検討を行った標準方式である。JPEG-LSに提案された方式は9件あり、その内訳は、予測符号化に分類できる方式が7件、変換符号化に分類できる方式が2件であった。方式の評価としては圧縮率が最重要視され、テスト画像における圧縮率の高さで方式の優劣を判定した。その結果、全体的に変換符号化に比べて予測符号化の方が高圧縮率を示したため、予測符号化をベースとしてJPEG-LSが検討されることになった。しかし、変換符号化は圧縮率という点では予測符号化に劣っていたものの、機能的な面(とくに階層的符号化性能)で予測符号化に対して有利な点が多いことが認識された。加えて、ウェーブレット変換に対する技術的な期待も高かったため、このまま変換符号化を標準化から除いてしまうのは惜しいと考えられたのである。そこで、リコーを中心としてJPEG-LSとは異なった新しいJPEGということでJPEG2000を誕生させることになった。

本稿では、JPEG2000の基本方式を中心に、JPEG2000で採用されている技術について述べる。

2. 技術

2-1 JPEG2000の標準構成

2001年05月31日時点でのJPEG2000の標準構成をFig.1に示す。

基本方式の特徴としては、

- ・JPEG2000準拠の復号器(decoder)が必ず満たすべき条件を規定したもの

・搭載される技術は特許的にフリー宣言もしくはそれ相当の宣言がされているものである。基本方式でサポートされない技術、例えば特許的に有償である技術等は、拡張方式に含まれる。



Fig.1 Structure of JPEG2000 standard

2-2 符号化方式概要

符号化の基本的な流れをFig.2に示す。JPEG2000はJPEGと同様に変換符号化方式であるため、データの流れとしては、変換-量子化-符号化というステップになる。変換は離散ウェーブレット変換(DWT : Discrete Wavelet Transform)を用いる。量子化はスカラー量子化であるが、可逆符号化の場合には行わない。エントロピー符号化は新たに開発されたEBCOT(Embedded Block Coding with Optimized Truncation)と称する方式を用いる。EBCOTはJPEGで使用されているハフマン符号化に比べて高い符号化効率を持っているのが特徴である。

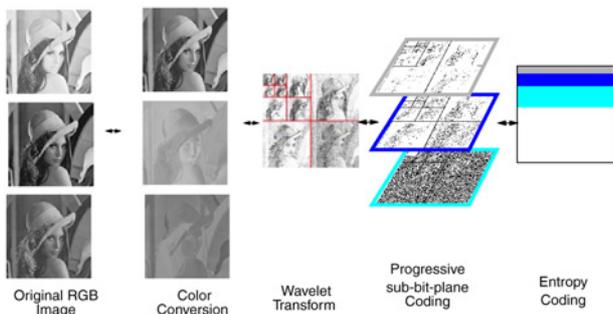


Fig.2 Outline of JPEG2000 encoding process

2-3 基本方式(Core Coding System)



Fig.3 Functional block diagram of JPEG2000 baseline

2-3-1 DCレベル変換

入力信号がRGB信号値のような正の数(符号無し整数)である場合には、順変換では各信号値から信号のダイナミックレンジの半分を減算するレベルシフトを、逆変換では各信号値に信号のダイナミックレンジの半分を加算するレベルシフトを行う。なお、入力信号が符号付き整数の場合(例：YCbCr信号のCbおよびCr)には適用しない。

2-3-2 カラー変換

変換にはRCT(Reversible multiple component transformation)と呼ばれる可逆変換と、ICT(Irreversible multiple component transformation)と呼ばれる非可逆変換の2つの方法が定義されている。前者は変換式の係数が整数値であり、後者は変換式の係数が実数値である点が特徴である。

2-3-3 ウェーブレット変換

DWTは大きく、変換係数が整数で構成される整数型と実数で構成される実数型とに分かれる。前者の大きなメリットとしては可逆変換が可能であること、回路構成が後者に比べ

て小さくできる点がある。一方、後者は整数型に比べて、非可逆変換時の同等圧縮率において画質が良いという大きなメリットがある。ただし、可逆変換ができないというデメリットもある。変換フィルタとしては参照画素数や係数が異なった数多くの変換方法があるが、基本方式では画質と回路構成を考慮して、整数型では5x3フィルタ、実数型では9x7フィルタが採用されている。変換は2次元変換であるが、これは上述した1次元のフィルタを、順変換では垂直方向、水平方向の順に、逆変換では水平方向、垂直方向の順に適用することで、2次元変換係数を算出する。変換単位はdecomposition levelと称され、大きくラインベースとブロックベースの2種類がある。前者はその名の通りライン単位で処理を行うもので、ウェーブレット変換で使用するメモリを少なくすることができる。一方、後者は画像を小さな矩形ブロック領域(セル)に分割した後に、その分割した単位で変換を行うものである。後者は前者に比べてメモリ量は多くなるが、ウェーブレット変換の効率が良いため結果的に高画質であり、JPEG2000の豊富な機能を利用することができる等の多くのメリットがある。基本方式におけるブロックベースの変換では、Fig.4に示す低周波数成分を再帰的に分割していくオクターブ分割方式のみ利用できる。

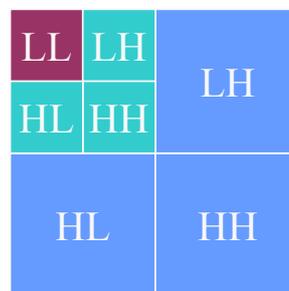


Fig.4 Decomposition level of JPEG2000 baseline

2-3-4 量子化

量子化はJPEGと同じように係数のダイナミックレンジを削減する方法で、基本方式ではスカラー量子化とポスト量子化(truncation)の2種類の量子化方法が定義されている。スカラー量子化には、各decomposition levelにおけるすべてのサブバンドの量子化方法を規定する方式と、最下位のdecomposition levelにおけるLLサブバンドのみ規定して、残りのサブバンドはあらかじめ定められている式を用いて規定

する方式の2種類がある。なお、可逆変換が行われた場合には、量子化は行わない。一方、ポスト量子化では、後述するエントロピー符号化がビットプレーン符号化であることを利用して、完成した符号列の下位ビットプレーンを切り捨てることによって量子化を行う。ポスト量子化の大きなメリットは、符号量の制御を1パスで実現可能である点で、これは現在のJPEGでは実現できない。しかし、ポスト量子化のステップ幅は2のべき乗となるため、量子化ステップ幅が大きくなった場合の再生画像の画質が細かく制御できないという問題もある。なお、ポスト量子化は基本的に可逆変換と組み合わせられて使用される機能である。

2-3-5 エントロピー符号化

エントロピー符号化で使われる方式は、EBCOTと呼ばれるブロックベースのビットプレーン符号化である。EBCOTの特徴としては、各サブバンドを同一サイズにブロック分割して符号化する点と、ポスト処理による符号量制御が可能な点である。Fig.5にEBCOTの処理の流れを示す。

符号化は、正負の符号を持った整数(あるいは実数表現された整数)であるWavelet係数をCode blockと称するブロック単位に分割し、決められた順序で走査しながら係数を絶対値表現して、上位ビットから下位ビットへと、ビットプレーン単位で処理を行う。ビットプレーン内の各ビットに対しては、significance propagation pass(有意な係数が周囲にある有意でない係数の符号化)、magnitude refinement pass(有意な係数の符号化)、cleanup pass(残りの係数情報の符号化)の3つの処理パスによって、significance coding, sign coding, magnitude refinement coding, cleanup codingの4種類の符号化を行う。

符号化にはエラー耐性用の付加処理、高速化を図るための処理がオプションとして存在する。エラー検出を行う方法として符号化の際に、4ビット('1010')のセグメンテーションシンボルを符号化して、符号列の最後に付加することができる。この方式によれば、復号側でセグメンテーションシンボルを正しく復号できない場合は、符号にエラーが生じていることがわかる。この他にも、算術符号化を行わずにビットデータそのものを符号列とする算術符号化のバイパス(Selective arithmetic coding bypass)機能がある。



Fig.5 EBCOT coding system

2-3-6 算術符号化

算術符号化にはMQ-Coderと呼ばれる符号化方式を用いる。MQ-Coderは新しい2値画像符号化方式で、JBIG2(Joint Bi-level Image Group)にも採用されている方式である。採用理由としては、係数の符号化がビットプレーン符号化であるため2値画像用の符号化方式が適していること、算術符号であるため符号化効率が高いこと、JBIG2と同じ方式を利用できることが主なものである。MQ-Coderと類似する方式として、JBIG1で定義されているQM-Coderがある。MQ-CoderとQM-Coderは共に算術符号で非常に類似しているが、主な違いとして、前者は後者に比べて確率推定テーブルが少なくなっている(113→47)点と、byte stuffingの代わりにbit stuffingが用いられている点がある。

2-3-7 符号順序制御

符号順序制御では、エントロピー符号化された符号列を元に、目的にあった最終符号列を生成する。ここでいう目的には、画質、解像度、画質と解像度に関するプログレッシブ順序、符号サイズ等が挙げられる。プログレッシブ順序に関しては、大きく、空間解像度を向上させていく方式とSNR画質を向上させていく方式とに分けられる。前者は低周波数サブバンドから順次符号を形成する方式で、徐々に解像度が高くなる。後者はビットプレーン符号化を利用した方法で、解像度を一定にして徐々に画質向上が行われる。JPEGでも拡張機能として解像度と係数のプログレッシブ機能はあるが、空間解像度のプログレッシブを行うためには解像度変換等の処理が必要になるため、その都度DCT変換が必要になる。なお、両者のプログレッシブ順序は、符号の並べ替えを行うことで相互変換できる点が大きな特徴である。プログレッシブ順序の例をFig.6に示す。なお、プログレッシブ順序としては5つの方法が定義されている。

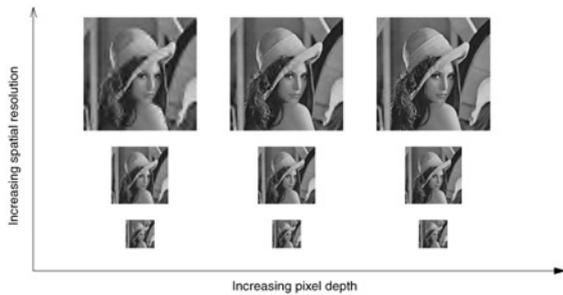


Fig.6 Sample of progressive image

2-3-8 選択的領域画質向上(ROI)

ROI(Region of Interest)は、画像の選択された部分のみ画質を向上させることができる機能である。ROIを実現するためには符号化時に、それに対応した処理を行っておく必要がある。処理として考えられるのは、注目領域を他の部分に比べて細かい量子化ステップで量子化を行って符号化する方法と、注目領域の係数に対して重み付けを行う方法(具体的にはビットシフトにより2のべき乗の重みを付ける)がある。両者にはそれぞれメリット・デメリットがあるが、基本方式としては後者の方式を採用することになった。ビットシフトは非ROI部分における係数の最大ビット数分行うので、その点から採用されたROI方式はMax Shift方式と呼ばれている。

2-4 拡張方式(Extensions)

拡張方式の狙いは大きく、高画質化、高機能化、多目的化である。高画質化のためのTCQ(Trellis Coded Quantization)、タイル境界の不連続性を緩和させるサンプルオーバーラップ処理がとくに注目される。

2-4-1 Trellis coded quantization

TCQは高画質化のための量子化方法である。TCQのTCはトレリス符号を指している。トレリス符号とはモデム等で使用されるトレリス符号変調のことで、トレリス線図(Fig.7)に従った状態遷移情報を符号化する方法である。トレリス線図は、入力される情報系列に従って、有限状態マシンである符号器が状態を変化させていく過程で生成する符号列を表すものであり、トレリス線図上で定義できる木符号をトレリス符号と呼ぶ。TCQはこの原理を利用して量子化器を適宜変化させていく方法であり、具体的には4つの異なる量子化器を持ち、これをトレリス線図にて時系列的に選択して量子化を

行う。これにより、符号化効率に最適な量子化が行えるので、高画質化が可能になる。

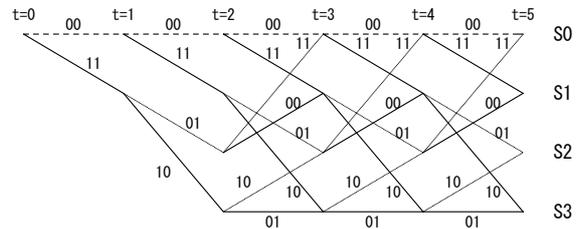


Fig.7 Trellis code diagram

2-4-2 1サンプルオーバーラップ変換

ブロックベースのウェーブレット変換において、セル境界の係数の不連続性を緩和させるために、セル境界の係数をお互い1サンプルオーバーラップして参照する方法である。セル境界のブロックノイズが軽減され、高画質化が実現できる。

2-4-3 その他

その他として以下に示す拡張がある。

- ・符号フォーマットの拡張
- ・可変DCオフセット
- ・可変量子化オフセット
- ・Visual masking
- ・Decompositionの拡張
- ・Wavelet変換の拡張
- ・色変換の拡張
- ・非線形変換
- ・ROIの拡張
- ・ファイルフォーマットの拡張

3. 成果

3-1 最新の標準化動向

最新のJPEG2000標準化結果および今後のスケジュールをTable 1に示す。

基本方式は2000年12月に勧告化された。拡張方式は2001年11月に勧告予定であり、拡張方式の勧告をもって

JPEG2000の技術が完成する。しかし、市場への応用において基本方式にいくつかの不都合な点があるため、基本方式に対する修正が既に始まっている。

Table 1 Schedule of JPEG2000 work

Part	Title	CFP	WD	CD	FCD	FDIS	IS
1	JPEG2000 Image Coding System: Core Coding System	97/03	99/03	99/12	00/03	00/10	00/12
2	JPEG2000 Image Coding System: Extensions	97/03	00/03	00/08	00/12	01/07	01/11
3	Motion JPEG2000	99/12	00/07	00/12	01/03	01/07	01/11
4	Conformance Testing	99/12	00/07	00/12	01/07	01/11	02/03
5	Reference Software	99/12	00/03	00/07	00/12	01/07	01/11
6	Compound Image File Format	97/03	00/12	01/03	01/07	01/11	02/03

CFP Call for proposal
 WD Working Draft
 CD Committee Draft
 FCD Final Committee Draft
 FDIS Final Draft International Standard
 IS International Standard

3-2 JPEG2000の市場

標準化されても使われないものであっても標準化した意味がない。そこで、JPEG2000の標準化においては、適合する市場を探索し、応用例を提示することで方式を普及させることを目的とした検討を行ってきた。これらはRequirements & Profiles Documentと称する文書にまとめられている。Requirements & Profiles Documentに記載されている主なアプリケーションを以下に示す。これらのうちのいくつかは、既に機器開発が始まっている。

- ・インターネット(WWW)
- ・ファクシミリ(白黒, カラー, インターネット)
- ・プリンタ
- ・スキャナ
- ・デジタル写真(デジタルカメラ)
- ・人工衛星画像
- ・モバイル機器(携帯電話)
- ・医療
- ・デジタルライブラリ(電子美術館)

4. 今後の展開

JPEG2000の最新動向として、各標準勧告について述べた。基本方式が既に決まったため、市場でもにわかに製品開発の動きが見られている。基本方式のメインターゲットはイン

ターネットであるため、JPEG2000の普及はインターネットでどれだけ利用されるかに左右される。現時点ではJPEGが広範囲に普及しているため、すぐにJPEG2000に置き換わることは無いと思われるが、圧縮性能、機能性の点から考えると、JPEG2000が次世代の画像フォーマットの標準となることは間違いない。

謝辞

最後に、本標準化活動に関わった方々、とくにJPEG2000の技術面でのサポートをいただいたRIIの方々に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 野水泰之：JPEG2000最新動向，画像電子学会誌 Vol.30, No.2, PP167-175, 2001
- 2) 野水泰之：次世代画像符号化方式，トリケップス(2001)
- 3) ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1890 “JPEG2000 Part1 Final Draft International Standard”, Sep. 2000
- 4) ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N2000 “JPEG2000 Part2 Final Committee Draft”, Dec. 2000
- 5) ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1803 “JPEG2000 requirements and profiles version6.3”, July 2000
- 6) ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1020 ” Report on CodEff22(revised) : EBCOT(Embedded Block Coding with Optimized Truncation)”, Nov. 1998
- 7) A.Bilgin, P.J.Sementilli and M.W.Marcellin : Progressive Image Coding using Trellis Coded Quantization, IEEE Trans. IP
- 8) S.G.Mallat : A Theory for Multiresolution Signal Decomposition : The Wavelet Representation, IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., 11, PP674-693, July 1989