

6-7 静止画像符号化の動向

小野文孝

東京工芸大学

1. 概要

1.1 標準化動向

符号化技術の最大アプリケーションは画像通信であるため、製品への符号化技術の採用に当たっては他社製品との交信可能性が重要な要素となる。従って、符号化技術は標準化に採択されることが肝要であり、逆に符号化方式は標準として採用されない限りどんなに優れていても陽の目を見ないことがある。また、仮に標準化に採用されても広く普及するには様々な要素の影響を受ける。

画像は静止画と動画に分かれ、静止画はカラー多値画像と、2値画像とに分かれる。国際標準化における符号化技術の流れは本年報記事のSC 29の動向で紹介されているが、カラー多値画像の符号化ではロッキー(JPEG: ISO/IEC 10918)、ロスレス(JPEG-LS: ISO/IEC 14495)、ロシードットロスレス(JPEG 2000: ISO/IEC 15444)と機能別の標準がISOとITU-Tの共通規格として順に策定されてきた。現在はJPEG 2000の応用パートに加え、いわばJPEGとJPEG 2000の中間的性能をもつJPEG XRが検討の中心となっているが、同時に次世代符号化をテーマとしたAIC(Advanced Image Coding)についても検討が行われている。一方、2値画像ではランレングス符号化を基本とするITU-T勧告のMH/MR/MMR標準に始まり、ISOとITU-Tの共通規格としてマルコフモデル符号化を基本とするJBIG(ISO/IEC 11544)、同じくパターンマッチングを採用したJBIG 2(ISO/IEC 14492)と、順に圧縮機能の高度化を実現する形で標準化が行われてきている。

1.2 符号化方式の評価

符号化方式はいわゆる符号化圧縮性能と、それ以外の各種機能とで評価される。符号化性能とは、符号化画質対符号量比で評価されるもので、符号器の装置コストも何らかの基準で考慮に入れる必要がある。このため、符号化性能を高めるには、符号化画質対符号量比を向上させるほか、その比をなるべく保って装置コストや処理速度を向上させることも検討に含まれる。また、符号化性能以外の機能にはプログレッシブ表現能力や符号量の制御精度、符号化データ系列上での高速アクセス機能など

がある。

符号化システムの送信側処理は大きく前処理・符号化モデル・エントロピー符号化に分かれ、受信側はその逆処理となる。前処理/後処理としては画像の縮小/拡大、ハーフトーン化/逆ハーフトーン化、文字と写真の領域分離/合成、色変換/逆変換などがある。符号化モデルはエントロピーを削減する各種変換である。また、エントロピー符号化と符号化モデルとは密接に関連し、特に2値算術符号化を適用する上ではコンテキストモデリングにおいて情報源の2値化変換表現が必要となる。

対象となる画像の種類には2値画、自然画像の他にCG画像、2値画と多値画の混在するcompound画像があり、更には3D画像も検討が必要である。従って符号化方式の分類はこれらの要素も含めた表記になる。

2. 2値画像および文書処理

2値画像の最新標準であるJBIG 2においては、AMD 2により、浮動参照画素数の最大がこれまでの4から12に拡張され、AM変調型の網点画像では確実な圧縮率の向上をみているが、誤差拡散やFM変調型の網点についてはまだ、決定的な手法が開発されていない。これに関しては2値化結果を受信側で確実に再現できる多値画像の中からエントロピーが最小となる画像を求めるロスレス符号化の試み¹⁾や、各画素の多値情報符号化とブロック内黒画素数符号化とのロッキー符号化での比較結果の報告がある²⁾。

一般的な2値画像に対しては、そのキーとなる構造を記憶し、細部は輪郭のスムーズさを基準に再現することで効率的ロッキー符号化を行う提案³⁾が行われている。また、Compound画像の高効率符号化に対する関心も高いがCompound画像を文字やグラフと、画像とに分類し、H.264のイントラ符号化を用いる手法⁴⁾⁵⁾も提案されている。

3. 多値画像符号化技術

3.1 符号化標準関連技術

各種論文で提案される符号化方式の評価基準には国際標準方式が使われることが多い。静止画符号化標準とし

て最も普及しているのは依然 JPEG であるが、論文での評価基準となる方式はほぼ JPEG 2000 に移ってきているといえる。本節では標準に関連した技術、および標準の改良技術について紹介する。

JPEG 2000 と同様に Wavelet 変換を基本とするサブバンド符号化において Non-linear 変換である Peak Transform を用いる提案⁶⁾があり JPEG 2000 より 2-3 dB 改善されたという報告がある。また、Weighted Adaptive Lifting based Wavelet により従来の Lifting based Wavelet 変換より SNR で 3 dB 改善されたという報告⁷⁾もある。JPEG 2000 の改良としては上位 bit-plane 情報を利用して下位 bit-plane の係数を推定することで大幅な画質改良が得られたとする報告⁸⁾がある。また、同ビットレートで有する JPEG 2000 符号系列の中で最大誤差を最小化する方式提案⁹⁾もある。更に、既に符号化済みの符号化系列に対して quality scalability を最適化する試み¹⁰⁾も報告されている。

Motion JPEG 2000 関連では動きベクトルと JPEG 2000 データの選択ブロックを送信し、フレーム差分を送らない方式でも高い性能を実現したという報告¹¹⁾がある。また、AT-3 DSPIHT と称する hyper spectral image 用の高効率符号化の提案¹²⁾もあり、2 DSPIHT や JPEG 2000-MC をしのぐ性能が確認されている。

次に JPEG の改良としては Lifting based の DCT 風 transform の提案により、従来の DCT より 2 dB の改良をみたという報告¹³⁾がある。また、近隣 DCT block の相関を利用し DCT 係数の予測を行うことで、JPEG との code syntax を守って 4.5%程度符号長を短縮できたという報告¹⁴⁾もある。やはり JPEG ベースライン規格の code syntax を守ってハフマン符号、量子化テーブル、ランサイズペアの最適化を実現する soft decision quantizer の設計を行う方式¹⁵⁾も提案されている。さらに Motion JPEG 関連では後処理により ringing artifact を軽減する提案¹⁶⁾もある。

3.2 コンテキストモデリングとエントロピー符号化

任意精度を持つ画像を符号化する方式として、data re-organization を行う提案¹⁷⁾があり既存の JPEG などの符号化と組み合わせて open EXR より高い性能をあげたという報告がされている。

また、lapped transform, block level source splitting, inter-description などと予測誤差符号化を組み合わせた multiple description coding の提案により高い性能を達成したという報告¹⁸⁾もある。Graph theory を用いた digital curve の tracing による高効率データ圧縮の提案¹⁹⁾などもある。

ロスレスを念頭に置いた方式としてはブロック適応で

色空間同士の相関を用い、その予測誤差をコンテキスト符号化するもの²⁰⁾、Bayer 型のセンサ配置にふさわしい符号化として予測に用いる画素をコンテキストマッチングで求める適応的色差推定方式²¹⁾が提案されている。また、biorthogonal filter banks (BOFBs) と効率的な lifting 分解によるロスレス符号化²²⁾も提案されている。

エントロピー符号化関連ではランレングス符号化の系列でトレリス符号化を行いニアロスレスで高い性能をもつ圧縮処理を実現する提案²³⁾、ハフマン符号の低電力クックアップテーブルの提案²⁴⁾などがある。

3.3 前処理・後処理関連技術

最近極めて盛んであるのが低解像度画像から高解像度画像を作り出す技術である。その中には処理を registration と restoration に分け前段階としてエッジやコーナーを見いだす方法を工夫するという提案²⁵⁾や、分類と内挿に基づく合成方法²⁶⁾、エッジ方向に基づき 6 通りの領域にわけ、領域ごとに最適な変換を行うことで拡大を行う方法²⁷⁾、Markov Random Field Model に基づくエッジ指向内挿方式で Simulated Annealing を用いる提案²⁸⁾、同じく Markov Random Field Model に基づき Iterated Conditional Modes アルゴリズムを用いる方法²⁹⁾、Wavelet 変換を用い Gaussian mixture model を使用した Hidden Markov Tree に基づく方法³⁰⁾、原画と縮小画の組み合わせにおいて Least Mean Square 基準により拡大の重み付け係数を最適化する提案³¹⁾などが提案されている。有理数の変換比率の場合に巡回 operation に置き換える提案³²⁾や、Shape from Focus 法により 3D 画像から奥行き情報を計算するのと同様に高解像度化を行う提案³³⁾などもある。

色情報に関してはモノクロ画像が与えられたときに YCbCr 空間上で色情報を復元する最尤事後推定法の提案³⁴⁾があるほか、カラーの banding artifacts を抑圧するための確率的 dithering の導入の提案³⁵⁾があり、このとき banding artifacts の無い部分には影響を与えないことが報告されている。

また、ノイズ除去では安定した熱方程式の逆処理によるノイズ画像の復元の提案³⁶⁾がある。

画質評価については PSNR を基準とすると一定量子化がほぼ最適であるが perception rules を基準とすれば適量量子化が必要であることを示し、新しい Perceptual Weighted Error (PWE) を用いた tuning の報告³⁷⁾などが行われている。

3.4 セキュリティ技術

画像のセキュリティに関する研究は近年ますます注目を浴びている。具体的には Color palette 符号化の色情報を grey-level image に埋め込む提案³⁸⁾や、DCT 係

6-7 静止画像符号化の動向

数の奇数-偶数ベースでメタデータを埋め込んだ場合に steganography の容量を求めたもの³⁹⁾, JPEG 画像で DCT 係数の対称性に着目した steganography 法の提案⁴⁰⁾, 適応的 watermarking で soft-decision 方式を採用する方式⁴¹⁾, watermarking で 1 bit の反転に伴い結果的なレベル変化を最小にする変換の提案⁴²⁾などが行われている。これらの提案の多くが, セキュリティ処理を独立に行うのではなく, 符号化と関連付けるところにそのメリットを見いだしているといえよう。

4. む す び

静止画符号化技術の過去2年の動向について概観した。紙面の制約もあり今回も主として ICIP 2007 から発表論文を選択したにとどまり, その他の発表内容については殆ど紹介できなかったことをお詫びしたい。本サーベイによりこの2年間の画像符号化に関する潮流の変化を感じとることができるが, 同時に古典的, 汎用的課題についても解明が進むことを期待したい。

参考文献

- 1) F. Ono and M. Kitamura: "Lossless Compression of Error Diffused Images by Coding Multi-level Images Having Least Entropy" (T 13.2, PACRIM 2007).
- 2) F. Ono and M. Kitamura: "Lossy Coding of Error Diffused Images—Comparison of Multi-Level Image Based Method and Bi-Level Image Based Method" (ThSP-O 6-03, TENCON 2007).
- 3) M. G. Reyes, X. Zhao, D. L. Neuhoff, and T. N. Pappas: "Lossy Compression of Bilevel Images Based on Markov Random Fields" (MP-P 4.12, ICIP 2007).
- 4) A. Zaghetto and R. L. de Queiroz: "Using H. 264/AVC-Intra for Segmentation-Driven Compound Document Coding" (MP-P 4.2, ICIP 2007).
- 5) W. Ding, Y. Lu, and F. Wu: "Enable Efficient Compound Image Compression in H. 264/AVC Intra Coding" (MP-P 4.3, ICIP 2007).
- 6) Z. He: "Peak Transform—A Nonlinear Transform for Efficient image Representation and Coding" (TA-L 6.5, ICIP 2007).
- 7) Y. Liu and K. N. Ngan: "Weighted Adaptive Lifting-Based Wavelet Transform" (TA-L 6.8, ICIP 2007).
- 8) A. Aminlou, N. Hajari, H. Badakhshamoory, M. R. Hashemi, and O. Fatemi: "Pattern-Based Error Recovery of Low Resolution Subbands in JPEG 2000" (TP-P 2.9, ICIP 2007).
- 9) A. Lucero, S. Cabrera, and E. Vidal: "On the Use of JPEG 2000 to Achieve Minimum L-Infinity Error When Specifying a Compression Ratio" (MP-P 4.9, ICIP 2007).
- 10) F. Auli-Llinas, J. Serra-Sagrista, J. Bartrina-Rapesta, and J. L. Monteagudo-Pereira: "Enhanced Quality Scalability for JPEG 2000 Code-Streams by the Characterization of the Rate-Distortion Slope" (MP-P 4.10, ICIP 2007).
- 11) A. Naman and D. Taubman: "A Novel Paradigm for Optimized Scalable Video Transmission Based on JPEG 2000 with Motion" (WA-L 3.8, ICIP 2007).
- 12) G. Liu and F. Zhao: "An Efficient Compression Algorithm for Hyperspectral Images Based on Correlation Coefficients Adaptive Three Dimensional Wavelet Zerotree Coding" (MP-P 4.4, ICIP 2007).
- 13) H. Xu, J. Xu, and F. Wu: "Lifting-Based Directional DCT-Like Transform for Image Coding", (TA-L 6.7, ICIP 2007).
- 14) G. Lakhani: "DCT Coefficient Prediction for JPEG Image Coding" (TP-L 6.8, ICIP 2007).
- 15) E. Yang and L. Wang: "Joint Optimization of Run-Length Coding, Huffman Coding and Quantization Table with Complete Baseline JPEG Compatibility", (TA-L 6.6, ICIP 2007).
- 16) D. Vo and T. Nguyen: "Quality Enhancement for Motion JPEG Using Temporal Redundancies" (TP-P 5.3, ICIP 2007).
- 17) C. Manders, S. Mann, and F. Farbiz: "A Compression Method for Arbitrary Precision Floating-Point Images" (TP-L 6.2, ICIP 2007).
- 18) G. Sun, U. Samarawickrama, J. Liang, C. Tu, and T. Tran: "Multiple Description Image Coding with Prediction Compensation" (WP-P 7.9, ICIP 2007).
- 19) A. Hajdu and I. Pitas: "Compression Optimized tracing of Digital Curves using Graph Theory" (WP-P 6.6, ICIP 2007).
- 20) I. Matsuda, T. Kaneko, A. Minezawa, and S. Itoh: "Lossless Coding of Color Images using Block-Adaptive Inter-Color Prediction" (MP-P 4.1, ICIP 2007).
- 21) K. H. Chung, Y. H. Chan, C. H. Fu, and Y. L. Chan: "A High Performance Lossless Bayer Image Compression Scheme" (MP-P 4.7, ICIP 2007).
- 22) S. Iwamura, Y. Tanaka, and M. Ikehara: "An Efficient Lifting Structure of Biorthogonal Filter Banks for Lossless Image Coding" (WP-P 6.1, ICIP 2007).
- 23) E. Nasr-Esfahan, S. Samavi, N. Karimi, and S. Shirani: "Near-Lossless Image Compression Based on Maximization of Run Length Sequences" (TP-L 6.5, ICIP 2007).
- 24) J. McNeely and M. Bayoumi: "Low Power Lookup tables for Huffman Decoding" (WP-P 6.9, ICIP 2007).
- 25) L. Baboulaz and P. L. Dragotti: "Local Feature Extraction for Image Super-Resolution" (WA-P 5.6, ICIP 2007).
- 26) R. Yoakeim and D. Taubman: "Interpolation Specific Resolution Synthesis" (TP-P 1.3, ICIP 2007).
- 27) G. Jeon, J. Lee, W. Kim, and J. Jeong: "Edge Direction-Based Simple Resampling Algorithm" (WA-P 5.5, ICIP 2007).
- 28) M. Li, and T. Nguyen: "Markov Random Field Model-Based Edge-Directed Image Interpolation" (MP-L 3.8, ICIP 2007).
- 29) A. L. D. Martins, M. Homem, and N. Mascarenhas: "Super-Resolution Image Reconstruction using the ICM Algorithm" (TP-P 1.4, ICIP 2007).
- 30) A. Temizel: "Image Resolution Enhancement Using Wavelet Domain Hidden Markov Tree and Coefficient Sign Estimation" (WA-P 5.1, ICIP 2007).
- 31) L. Shao, H. Hu, and G. de Haan: "Coding Artifacts Robust Resolution Up-Conversion" (WA-P 5.8, ICIP 2007).
- 32) S. Pelletier and J. Cooperstock: "Fast Super-Resolution for Rational Magnification Factors" (MP-L 3.1, ICIP 2007).
- 33) R. Sahay and A. Rajagopalan: "High Resolution Image Reconstruction in Shape from Focus" (MP-L 3.2, ICIP 2007).
- 34) H. Noda, N. Takao, and M. Niimi: "Colorization in YCbCr Space and its Application to Improve Quality of JPEG Color Images" (TP-P 5.2, ICIP 2007).
- 35) S. Bhagavathy, J. Llach, and J. fu Zhai: "Multi-Scale Probabilistic Dithering for Suppressing Banding Artifacts in Digital Images" (TP-P 5.5, ICIP 2007).
- 36) V. Nambodiri and S. Chaudhuri: "Image Restoration

- Using Geometrically Stabilized Reverse Heat Equation” (TP-P 5.9, ICIP 2007).
- 37) S. de Waele and M. Verberne: “Coding Gain and Tuning for Parameterized Visual Quality Metrics” (WP-P 6.8, ICIP 2007).
- 38) M. Chaumont and W. Puech: “A Grey-level Image Embedding its Color Palette” (MA-P 5.2, ICIP 2007).
- 39) A. Sarkar and B.S. Manjunath: “Estimating Steganographic Capacity for Odd-Even Based Embedding and its Use in Individual Compensation” (MA-P 5.7, ICIP 2007).
- 40) Bin Li, F. Huang, and J. Huang: “Steganalysis of LSB Greedy Embedding Algorithm for JPEG Images Using Coefficient Symmetry” (MA-P 5.8, ICIP 2007).
- 41) M. Schlauweg, D. Pröfrock, and E. Müller: “Avoiding Hard Decisions in Adaptive Watermarking” (TP-P 6.7, ICIP 2007).
- 42) T. Kimoto: “Modified Level Transformation for Bit Inversion in Watermarking” (TP-P 6.8, ICIP 2007).