

デジタルカメラの画像圧縮と高画質化

石川 安則

解 説

デジタルカメラの画像圧縮と高画質化

石川 安則*

(1999.10.15 受理)

Image Compression and Quality Enhancement for Digital Still Camera

Yasunori ISHIKAWA*

1. はじめに

デジタルカメラ（以下DSCとする）の画像圧縮技術には、カラー静止画圧縮符号化国際標準方式であるJPEG（Joint Photographic Expert Group）方式が利用されており、また標準ファイルフォーマットである

Exif（EXchangeable Image File format）規格もJPEGのビットストリームがそのまま用いられている。このように、DSCにおける画像データ記録技術はJPEGに依存していると言って良い。DSCの解像度は、民生向け機種も200万画素クラスから250万画素を越えるものが登場しており、銀塩カメラ相当のプリント画質

Table 1 DSCの圧縮仕様

メーカー	型番	使用 CCD	圧 縮 仕 様				
			モード	枚数(*1)	FileSize(*2)	画素サイズ	圧縮率(*3)
リコー	RDC5000	1/2inch 230 万画素 (有効 219 万)	Fine	9	910KB	1,792×1,200	1/6.9
			Normal	19	431KB		1/14.6
			Economy	38	215KB		1/29.3
ニコン	COOLPIX 950/700	1/2inch 211 万画素 (有効不明)	Fine	8	1,024KB	1,600×1,200	1/5.5
			Normal	16	512KB		1/11.0
			Basic	32	256KB		1/22.0
エプソン	CP-800	1/2inch 214 万画素 (有効 204 万)	★★★	12	683KB	1,600×1,200	1/8.2
			★★	24	341KB		1/16.5
			★★★★H	10	865KB	1,984×1,488	1/10.6
オリンパス	C-2000	1/2inch 211 万画素 (有効不明)	SHQ	7	1,170KB	1,600×1,200	1/4.8
			HQ	15	546KB		1/10.3
			SQ(XGA)	38	216KB	1,024×768	1/10.7
富士 フィルム	FinePix 2000	1/2inch 230 万画素 (有効不明)	Fine	8	1,024KB	1,800×1,200	1/6.2
			Normal	17	482KB		1/13.1
			Basic	35	234KB		1/27.0
ソニー	DSC-F55K	1/2inch 211 万画素 (有効 202 万)	ファイン	5~8	585KB/7 枚	1,600×1,200	1/9.6
			スタンダード	10~15	315KB/13 枚		1/17.9
			ファイン(XGA)	14~27	201KB/20 枚	1,024×768	1/11.7

(*1)使用メディア容量：4MB(DSC-F55K), 8MB(その他)

(*2) 1枚当たりのサイズ、ヘッダ含む

(*3) FileSize/画素サイズ

* 株式会社リコーソフトウェア研究所
〒222-8350 横浜市港北区新横浜 3-2-3

* RICOH COMPANY, LTD., Software Research Center
3-2-3 Shin-yokohama, Kohoku-ku, Yokohama, 222-8530 Japan



Fig. 1(a) SCID N5 Uncompressed Image
(Image Size: 510 pel × 488 pel)



Fig. 1(b) JPEG 1/12 Compressed Image

への期待が求められつつある。本稿では、高画質化要求の観点から、DSCにおける画像圧縮技術の現状をまとめ、次いで高画質化技術および新しい画像圧縮標準と将来展望について述べる。

2. DSCにおける画像圧縮技術の現状と画質

民生用DSCの撮像素子にはCCD (Charge Coupled Device) が使われているが、解像度は200万画素以上を有する機種が主力商品となっている。代表的な機種における圧縮仕様をTable 1にまとめた。高画質モードでの出力画素サイズは、横1,600~1,800画素、縦1,200画素程度である。圧縮率に従って高画質から並画質の3段階程度で画質を指定できるものが多い。圧縮率は1/5~1/35程度である。Fig. 1, Fig. 2にJPEG方式により圧縮再生したサンプル画像を示す。Fig. 1のように、自然画像においては1/12の圧縮率では歪みは小さいが、1/24の圧縮率ではブロック歪みやモスキート歪みといったJPEG方式に顕著な歪みが見られるようになる。一方、Fig. 2では1/12の圧縮率でも歪みが大きく、線画などの人工的画像ではJPEG方式は圧縮効率が下がることが分かる。

実際のDSC製品では、被写体は自然画像が中心でありまた光学系のローパスフィルタ特性やフォーカス精度によるMTF特性の低下があり、JPEG方式による圧縮効率は良くなる傾向にあるといえる。また通常は圧縮処理前後の画像処理で圧縮率毎に画質補償を行い、JPEG圧縮による歪みを抑制する画質設計がされている。

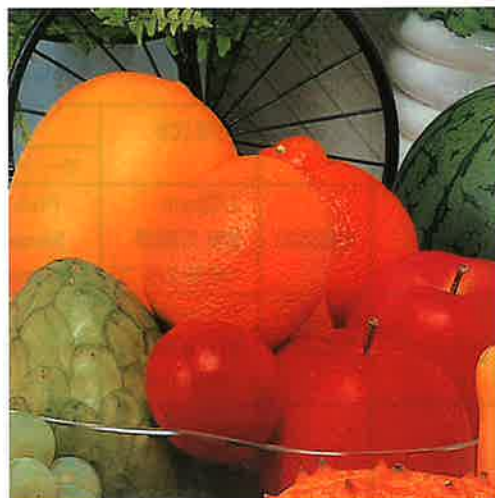


Fig. 1(c) JPEG 1/24 Compressed Image

3. 高画質化技術

前項で示したように、JPEG圧縮によって復元画像に現れる典型的な歪みとしては、ブロック歪み・モスキート歪みなどの他、擬似輪郭などが挙げられる¹⁾。これらは人工的歪み (artifact) とも呼ばれ、ランダムノイズに比べて視覚的妨害度が大きい。こうした歪みの抑制手法のうち、圧縮画像復元後の後処理による画質改善法として、いわゆるポストフィルタ処理がある。

次に述べる方式は、空間領域において非線型フィルタ処理を行うものである。ブロック歪み除去とモスキート歪み除去の2つのフィルタを用いる。方式の概略を以下に説明する²⁾。



Fig. 2(a) Line Image (Uncompressed)
(Image Size : 140 pel×110 pel)



Fig. 2(b) JPEG 1/12 Compressed



(a) Compression Rate: 1/24
without Noise Reduction



(b) Compression Rate: 1/24
with Noise Reduction



(c) Compression Rate: 1/40
without Noise Reduction



(d) Compression Rate: 1/40
with Noise Reduction

Fig. 3 Effect of Noise Reduction Filter
(Image Size : 768 pel×488 pel)

＜ブロック歪み除去フィルタ＞

- (1) 復元画像の8×8画素ブロックの4つの角点と隣接する周囲ブロックの角点の階調レベル値の差により、ブロック歪みによる不連続点を検出し4つの角点原画素値を推定する。
- (2) 上記算出した角点推定値と復元画像の角点値との

誤差から、ブロック内の全画素値の補正値を線形補間により求める。

＜モスキート歪み除去フィルタ＞

- (1) 注目画素を含む3×3画素窓内で、注目画素を中心とした辺縁画素間の階調レベル差の絶対値の平均と、ブロック内の最大階調レベル差との比率か

ら局所平坦度を求める。

(2) 上記局所平坦度が、ある閾値以上のときにのみ帯域除去フィルタ処理を行う。

Fig. 3 に本方式による画質改善の例を示す。(b) では、空の部分のブロック歪みが完全に除去されている。(d) では、花卉の輪郭部のモスキート歪みがほとんど見えなくなっている。

また文献(3)では、比較的平坦な部分で顕著に現れ目障りな擬似輪郭の低減処理方式が提案されている。提案方式は以下のような手順に従う。

(Step 1) 復元画像の8×8画素ブロック内で、出現する画素値の幅と平均値との比率から擬似輪郭ブロック領域を判定する。ただし、孤立ブロックや領域の範囲が小さい場合は擬似輪郭領域でないと判定する。

(Step 2) 切り出された擬似輪郭領域内からサンプリング点を決め、スムージング処理に用いる3次元曲面関数のパラメータを最小二乗法により決定する。

(Step 3) 擬似輪郭領域には上記3次元曲面関数によるスムージング処理を行い、スムージング処理を行わない非擬似輪郭領域と合わせて復元画像を得る。

本方式により、SCID 画像(N2, カフェテリア)において PNSR が 5 dB 向上し、また CG 画像のような人工画像でも効果的に擬似輪郭が除去できることが示されている。

4. JPEG 2000 の動向⁴⁾と将来展望

JPEG 方式は、特に自然画像の圧縮特性に優れ国際標準方式として DSC 以外の用途にも広く利用されている。しかし前述の復元画像における人工的歪みを含め、応用側からの問題点がいくつか指摘されている。これらの問題を解決し、現 JPEG 規格制定後の最新技術を取り入れた新しいカラー静止画圧縮符号化方式として JPEG 2000 規格が提案され、現在国際標準化に向けて審議中である。要求仕様としては、JPEG 方式の問題点を踏まえて Table 2 のような内容となっている⁵⁾。その

他に技術論ではないが、すべての採用技術について知的財産権フリー宣言が要求されている。現状では標準化スケジュールからの遅れが危惧されており、名称通りの 2000 年の標準化に向けて審議の加速が望まれる。

技術審議は、VM (Verification Model) と呼ばれる参照ソフトウェア上で提案技術をシミュレーションにより検証し、効果測定を行って技術の採否を決める。JPEG 2000 の基本アーキテクチャは、Fig. 4 に示すような構成となっている。変換部は、現 JPEG で採用された離散コサイン変換 (DCT) より低ビットレート (高圧縮) 時の画質が優れるとされる離散ウェーブレット変換 (DWT) の採用が決まっている。量子化部は、当初の画質評価で最上位の評価を得た TCQ (Trellis Coded Quantization) に代わり実装コスト上優位なスカラ量子化を中心に審議が行われているが、TCQ との決着は付いていない。エントロピ符号化は、最も議論の伯仲している部分である。現 JPEG と同様に、符号化方式としてはハフマン符号化と算術符号化が採用されているが、符号化の前処理に当たるコンテキストモデルの決定など細部は多数の提案があり評価に手間取っている。スケーラビリティは、空間解像度および画素解像度 (階調数) を段階的に変化させ画質を制御する技術であるが、DWT は本質的に空間解像度スケーラブルな方式

Table 2 JPEG 2000 の要求仕様

- (1) 超低ビットレートにおける画質改善
- (2) 連続階調画像と 2 値画像の圧縮が同じアーキテクチャで可能
- (3) 非可逆圧縮と可逆圧縮が同じアーキテクチャで可能
- (4) ビット精度および解像度によるプログレッシブ再生が可能
- (5) 固定レート・固定サイズ圧縮が可能、低ワークメモリ (要求)
- (6) 符号化データでのランダムアクセスと処理が可能
- (7) エラー耐性
- (8) オープンアーキテクチャ
- (9) 現 JPEG との互換性
- (10) 著作権保護機構
- (11) MPEG-4 との共通インターフェイス
- (12) サイド情報の透明性

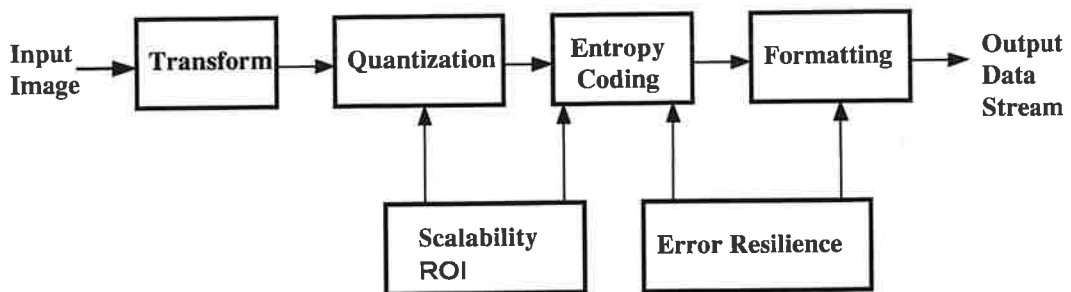


Fig. 4 Block Structure of JPEG 2000 Encoder



Fig. 5(a) JPEG 1/48 Compressed



Fig. 5(b) DWT Coding 1/48 Compressed

で実装は容易である。ROI (Region of Interest) とは、特定の注目領域のみ高画質に符号化を行えるような要求機能であり、例えば線画部分を抽出して量子化パラメータを変えるようなことが可能となる。エラー耐性については、現 JPEG と同様な再同期用マークコードを挿入する方式を中心に議論されている。

JPEG 2000 の技術方式は、以上のようにまだ流動的であり圧縮復元画質についても今後の審議結果を待たねばならない。Fig. 5(b) は、JPEG 2000 の要求仕様に良く合致した提案方式の 1 つを用いて圧縮復元した画像サンプルを示す。Fig. 5(a) に示す同じビットレートにおける JPEG 方式のサンプルと比較して、ブロック歪みが全く現れない。本方式は、DWT を採用しており高圧縮時における DWT 方式の優位性を示唆している。

JPEG 2000 は、知的財産権やファイルフォーマット標準化の問題への解の 1 つとしても DSC 業界からの期待が大きい。さらに、PC (Personal Computer) と DSC の親和性も今後の技術開発における注目点の 1 つである。PC 側はすでに USB (Universal Serial Bus) のサポートが標準的となっており、USB ポートを有する DSC との直結が可能である。最新の PC 用 OS (Operating System) では、USB ポートに接続される DSC の機種検索サービスがサポートされており、またファイル構造表示機能 (ファイルディレクトリ) では画像ファイルは自動的にサムネイル (見出し) 表示される仕様となっており、DSC が画像入力デバイスの主力機能として認知されつつあることがうかがい知れる。

5. ま と め

DSC の急速な普及率向上につれ、キーデバイスである撮像素子も急激な高解像度化の傾向を示している。200 万画素以上の解像度では、サービス版サイズのプリントでは銀塩フィルム相当の画質を保持しているとされる。今後も DSC 専用にさらに高解像度の撮像素子開発が予想され、高画像品質化の流れは変わらないであろう。こうした動向に対応して、画像圧縮技術も、より能率良かつ高機能なシステムが要求される。JPEG 2000 の要求機能や新しい PC 用 OS である Windows 2000 のサービス機能は、DSC の高画質化要求に呼応して現れた結果とも言えよう。プリント画像品質の観点からも、今後の技術動向が注目される。

参 考 文 献

- 1) 石川安則：画像データ圧縮技術と画質”，O Plus E 誌，No. 214 (1997)。
- 2) 石川雅朗：“DCT 符号化におけるノイズ除去”，画像電子研究会 90-06-01 (1990)。
- 3) 正道寺勉，飯嶋規男，北久保茂，星野坦之：“偽輪郭スムージングによる JPEG 復号化画像の画質改善”，画像学会誌，Vol. 38，No. 2 (1999)。
- 4) 佐藤真，梶原浩：“JPEG 2000 の最新動向”，画像電子誌，Vol. 28，No. 3 (1999)。
- 5) ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 N 1105 R：“Requirements and Profiles ver. 4.0” (1998)。



石川 安則

昭52 東大・工学部・計数工学科卒，昭57(株)リコー入社，ワークステーション，カラーファクシミリ，カラー複写機の開発，画像処理・画像符号化の研究・開発に従事。画像電子学会，電子情報通信学会，映像情報メディア学会会員。
