

1997年 月号 No. 別刷

題 名

著者名

株式会社 新技術コミュニケーションズ

画像データ圧縮技術と画質

株式会社リコー 研究開発本部*

石川 安則

1. はじめに

画像データ圧縮は、膨大な情報量をもつ画像データを効率よく処理するための技術インフラとして重要な役割を担う。特に、近年のインターネットの普及において、JPEG、MPEG等により画像データが容易にパソコンベースで扱えるようになった背景として、ハードウェア性能の急上昇に加え、こうした高能率な画像データ圧縮標準方式の確立によるところが大きい。一方パソコン本体の処理能力は飛躍的に向上したが、メモリーや伝送路などの媒体は、ユーザー数の急増やその結果も含んで処理データ量が急増している影響もあり、依然として資源は枯渇傾向である。こうした背景から、従来特殊領域であった画像データ圧縮技術が、ポピュラーな技術分野として脚光を浴びてきている。

本稿では、画像データ圧縮技術と画像品質について、特にDSC（デジタルスチルカメラ）への適用を考慮して静止画像データ圧縮を中心に述べる。またいくつかの画像データ圧縮方式と画質の関係、および圧縮復元画像の画質改善の方法についてはさらに詳しく言及する。

2. 画像データ圧縮

2.1 総論¹⁾

画像データ圧縮の基本原理は、画像データが有する多種多様な冗長成分を効果的に除去し、真の

情報量のみを抽出することである。例えば平坦な画像は隣接画素間の相関による空間的冗長度を有する。動画画は連続する1コマの静止画像（フレーム）で動きが表わされるが、動きの少ない動画画はフレーム間相関による時間的冗長度が大きい。画像データ符号化による符号の出現確率は、通常偏りをもっており、これは情報論的エントロピーの冗長度で表現される。また人間の視覚特性に起因する歪みの知覚限界により、原画像の情報量が物理的に完全に再現できない復元画像においても視覚的には歪みとして見えないことがある。これは視覚的冗長度と呼ばれる。視覚的冗長度を利用した画像データ圧縮は、復元画像に必ず歪みが混入し原画像を完全には再現できない非可逆圧縮方式となる。これに対して、情報論的エントロピーによる冗長度を利用する圧縮の場合は、原画像を完全に復元できる可逆圧縮方式である。

画像データ圧縮方式としては、各種の方式が提案されており、用途に応じていくつかの方式が並行して用いられているのが現状である。このことは、あらゆる画像データに万能の圧縮方式は存在しないことを示唆しており、一般には対象とする画像の性質により適応的に圧縮方式を選択して用いている。

用途に応じた圧縮アルゴリズムをまとめると、表1のようになる。動画画の圧縮方式としては、現在は利用される画像データのソースが、実際にはテレビあるいはビデオ信号のみと考えてよく、

* 〒224 神奈川県横浜市都築区新栄町16-1 ☎045-590-1867

特集：デジタルスチルカメラと画質

表1 用途別の適用圧縮アルゴリズム

画像データ	適用アルゴリズム
動画像	動き予測 フレーム間予測 変換符号化 (DCT) エントロピー符号化 (ハフマン符号化, 算術符号化)
静止画像 (自然画)	予測符号化 変換符号化 (DCT, Wavelet) エントロピー符号化 (ハフマン符号化, 算術符号化) ブロック符号化
静止画像 (2値・中間調)	ハフマン符号化 (HM 符号化, MR 符号化, MMR 符号化) 算術符号化 ブロック符号化

MPEG 方式として標準化されている方式あるいは類似の方式 (ITU-T H. 261 など) が主流である。これは表1に示すように、動き予測、フレーム間予測、DCT (離散コサイン変換: Discrete Cosine Transform)、ハフマン符号化などの基本アルゴリズムに適応処理や非線形量子化などのテクニックを組み合わせた非可逆圧縮方式である。これに対して静止画の圧縮方式は、多様な対象画像に応じた各種方式が利用される。パソコンのディスプレイとして一般的なCRTやLCDなどに表示するカラー自然画像に対してはJPEG方式が標準的に利用されるが、これはDCTとエントロピー符号化 (デフォルトはハフマン符号化) をベースとする非可逆圧縮方式である。カラー印刷などの高解像度画像では、JPEG方式では機能・性能的に適合しないことがあり、ブロック符号化のほか、近年ではDCT符号化の欠点を補うことができると言われているウェーブレット変換符号化が注目されている。またFAXなどのモノクロ2値画像では、ハフマン符号化や算術符号化などの可逆圧縮方式が用いられる。

2.2 JPEG方式²⁾

JPEG (Joint Photographic Expert Group) とは、国際標準化機関であるISOとITU-T (旧

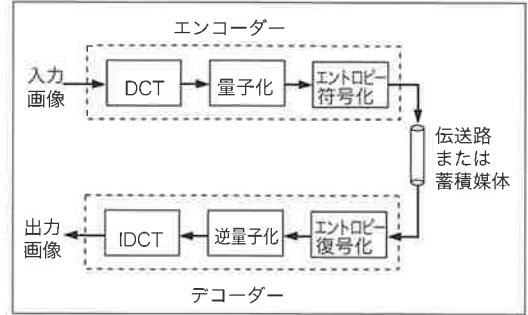


図1 JPEG方式の基本ブロック図

CCITT) が共同で設立したカラー静止画符号化標準方式検討グループの名称である。ここで作成された標準方式を一般にJPEG方式と呼んでいる。なお、ISOはDSCなどの蓄積メディアにおける圧縮、ITUは通信・放送などのビット列における圧縮を対象としているが、JPEG方式はこれらに共通の基本部分を規定している。JPEG方式はいくつかのモードを有するが、通常はBaseline Systemと呼ばれる基本モードが利用される。以下に、Baseline Systemのアルゴリズムについて説明する。

図1は、JPEG方式の概念図を示す。圧縮時には原画像を8×8画素ブロックに分割し、各ブロックにDCTをかけた後DCT係数を量子化する。量子化したDCT係数を1次元化してハフマン符号化を行う。なおハフマン符号は、一般に元のデータに対する圧縮率により符号長が変化する可変長符号である。復元時には、ハフマン復号化により1次元のDCT係数を求め、これに逆量子化を施し2次元のDCT係数ブロックを復元する。これに逆DCTをかけることにより復元画像を得る。図2に、JPEG Baseline Systemの詳しい符号化ブロック図を示す。圧縮される原画像は、8×8画素ブロックごとにDCTをかけられ、その結果8×8のDCT係数ブロックが得られる。DCTは空間領域から周波数領域への変換であり、DFT (Discrete Fourier Transform) の実数部と等価である。8×8のDCT係数は、変換前のブロックの画素値の平均を表わす1つの直流成分 (DC係数) と、低域から高域の周波数成分を表わす63

特集：デジタルスチルカメラと画質

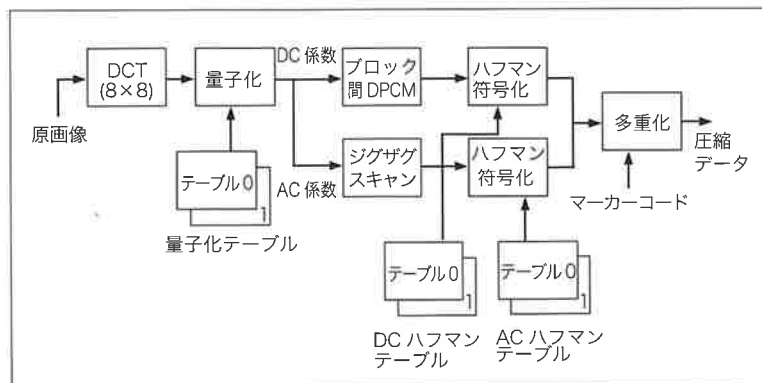


図2 JPEG Baseline System エンコーダーブロック図

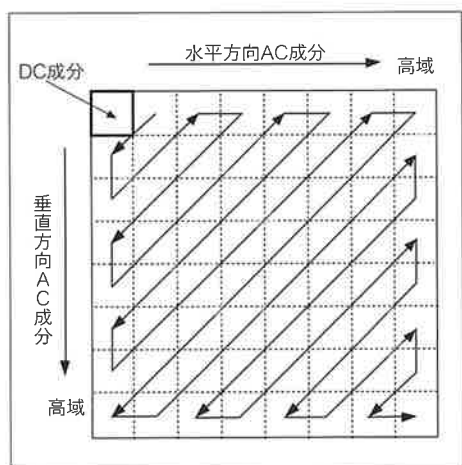


図3 DCT係数とジグザグスキャン

個の交流成分（AC係数）からなる（図3）。次にDCT係数ブロックに対して、8×8の量子化マトリックス（量子化テーブル）により線形量子化を行う。量子化された係数ブロックをエントロピー符号化する。DC係数は、隣のブロックとの差分予測符号化（DPCM）しこれをハフマン符号化する。AC係数は、ブロック内で低域係数から高域係数に向かって図3に示すようなジグザグスキャン方式により1次元化し、ゼロ係数の長さ（Run Length）と非ゼロ係数の組合わせでハフマン符号を割り当てる。あるAC係数より高域の係数がすべてゼロの場合は、そこで符号化を打ち切る符号（EOB: End of Block）を割り当てる。

JPEG方式においては、圧縮率の制御は量子化

部で行われる。通常、量子化テーブルはJPEG標準規格書に記載されている推奨テーブルを用い、テーブルの各成分（量子化係数）に一律なスケーリングを行い、復元画質を評価して最適なスケーリング係数を決定している。一般に、対象画像により最適なスケーリング係数は大きく異なる。

また量子化テーブルは圧縮

対象画像ごとの最適設計が可能であり、このためJPEG方式では符号化された圧縮データ列には量子化テーブルの添付を必須としているが、最適量子化テーブルの設計法として確立された手法は知られていない。

JPEG方式の特性は、DCT符号化によって特徴づけられると言ってよい。DCT符号化は、周波数領域への変換による低域への情報集中度が優れ、量子化特性を低域重視型として符号ビット配分を低域に集中させることで圧縮効率を高めることができる。特に自然画像では、一般に周波数分布が低域に集中する指数関数特性を示し、DCT符号化の特性が最大に発揮できる。

2.3 固定長圧縮³⁾

DSCでは、従来の銀塩写真におけるフィルム撮影可能枚数との機能的な共通性を図るため、メモリーカードへの記録枚数を保証する必要があるが、一般的に圧縮効率の良い画像データ圧縮方式は、可変長符号を用いており、通常1枚の撮影された画像の圧縮後のデータ量は一定とはならない。また、デジタル複写機等の出力装置では、回転・変倍・切り出し等の編集操作の高速処理のため、圧縮画像データの形態での処理が望ましく、固定長圧縮の要望は強い。

固定長圧縮方式としては、JPEG方式に基づく方法とその他の方法とがある。JPEG方式は、前述のように圧縮率は量子化テーブルに対するスケーリング係数により制御できるので、定められた

特集：デジタルスチルカメラと画質

圧縮率になるように係数の制御方法を工夫すればよい。いくつかの例を以下に示す。

2.3.1 符号量線形予測方式⁴⁾

ブロックごとに千鳥状に2つのグループに分け、それぞれを異なるスケーリング係数 Q_a と Q_b をもつ量子化テーブルで符号化する。これにより圧縮画像全体の符号量 M_a と M_b が求まるので、目標符号量 M_x から次式によりスケーリング係数 Q_x を求める。

$$Q_x = \frac{(Q_b - Q_a)M_x + (Q_aM_b - Q_bM_a)}{M_b - M_a} \quad (1)$$

原理的にはJPEG方式の量子化特性は線形性をもたないので、この方式により得られる符号量 M_x は精度的には十分とは言えないが、極めて簡便な計算式で実現可能であり製品仕様によっては実用に耐えうるものである。

2.3.2 アクティビティ予測方式⁵⁾

アクティビティとは画像の複雑度を表わす指標を言い、例えば絵柄の濃度が激しく変化する画像は、平坦な画像よりアクティビティが大きい。アクティビティの計算方法は種々あるが、分散を求める方法やバンドパスフィルターにより求める方法などが一般的である。この予測方式は、通常次の2つのステップにより行う。

[S1] 画素ブロック（通常8×8画素ブロック）

ごとにアクティビティを計算し、画像全体の総アクティビティを求める。同時にブロックごとの直流成分（DC係数）を符号化し総符号量を求める。目標符号量からDC係数の総符号量を減じ残りを交流成分（AC係数）全体の総符号量へのビット配分とする。また、総アクティビティから量子化テーブルのスケーリング係数を求める。

[S2] 再度ブロックごとのアクティビティを計算し、S1で求めた総アクティビティとの比からそのブロックのビット配分を決定する。同じくS1で求めたスケーリング係数でブロックのDCTを行い、AC係数を低周波数成分から符号化していく。AC係数の符号量がブロックのビット配分を越えたところで符

号化を中止し、以後のAC係数は符号化しないで捨て去る。なお、総アクティビティからスケーリング係数を求めるには、経験的な方法によっている。

JPEG方式以外による固定長圧縮方式の例を以下に示す。

2.3.3 RADC方式 (Run Adaptive Differential Coding)⁶⁾

差分予測符号化方式（DPCM: Differential Pulse Code Modulation）を基本とする方式で、予測誤差の大きさに従って3つのアルゴリズムを使い分ける。

[Algorithm1] 予測誤差の少ない（比較的平坦な絵柄）部分に適用される。差分予測値が同一の画素数（Run Length）を求める。誤差が累積しないように、直流成分に追従するように差分予測値を調整する。もつとも圧縮効率が良い。

[Algorithm2] 予測誤差が比較的大きい（やや複雑な絵柄）部分には、適応DPCM方式が用いられる。画像の複雑さ（予測誤差の分散）により、数種類のテーブルを切り替える。中程度の圧縮効率が得られる。

[Algorithm3] 上記2つのアルゴリズムでは予測誤差が大きい時に用いられ、予測誤差はほとんど圧縮されない。

上記のいずれかのアルゴリズムが適用された後、出力される圧縮情報と予測誤差データを Huffman 符号化する。得られた符号量を数ラインごとに蓄積してアルゴリズムの切替えなどのフィードバック制御を行うことにより、生成総符号量を制御する。

また、より簡単な方式として、4章の2節で説明するブロック符号化方式⁷⁾がある。これは4×4画素ブロック単位で一定の符号量になるようなアルゴリズムを採用している。いずれにしても、一般に固定長圧縮方式は可変長圧縮方式より圧縮効率は低下することが多く、適用に際しては注意が必要である。

特集：デジタルスチルカメラと画質

2.4 色空間と画像圧縮⁸⁾

カラー画像を扱う場合は、採用する色空間によって圧縮効率が変化する。一般に、RGB系のようなデバイス表色系に対して YC_bC_r のような輝度色差分分離表色系の方が分布がコンパクトになり圧縮効率がよい。ただし、通常はデバイス表色系からの変換処理が必要となる。特に他のシステムとのデータ交換などの目的でカラーマッチングを重視してCIELABなどデバイス非依存の表色系を用いようとする、非線形変換処理によるコストアップが生じる。DSCの場合は、CCDなどの撮像素子の出力特性はNTSC等の色特性との親和性が良く、 YC_bC_r のような簡単な線形変換による表色系でも良好な色再現が可能である。ただし、プリント出力の場合には、ディスプレイとプリンター特性とのマッチングが必要であり、これはプリンターのプロファイルに応じた圧縮画像色空間からの変換処理を行わなければならないが、これは通常プリンター側の負荷となる。

3. 画像品質と評価^{9),10)}

すでに述べたように画像データ圧縮方式は、完全に元の画像が復元できる可逆圧縮方式と、近似的に復元され復元画像の劣化を許容する非可逆圧縮方式の2つに分類される。前者の場合は方式の評価基準は、圧縮効率と圧縮コストおよび付随する性能（実装の利便性など）であるが、後者ではこれらに加えて復元画像の画像品質が重要な評価基準となる。画像データ圧縮においては、画像品質を客観的に評価するパラメータは、原画像と復元画像とのずれ量に基づく忠実度である。すなわちずれ量を σ とすると、

$$SNR(dB) = 20\log_{10}(1/\sigma) \quad (2)$$

が忠実度の定量的な尺度となる。2次元の画像データでは、原画像 $g_0(x,y)$ と復元画像 $g_1(x,y)$ との誤差をずれ量とすれば、

$$S = \sum \{g_0(x,y) - g_1(x,y)\}^2 \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{n-1}} \quad n: \text{画素数} \quad (4)$$

により忠実度が計算でき、これが SNR として一

般に用いられる。しかしながら、上記のような単純な誤差に基づいて計算される SNR と復元画像の品質は必然的な相関はないとされる。これには2つの要因が存在する。1つは(2)式に基づく単純なずれ量の評価は、人間の感覚に必ずしも適合しないことによる。例えば $\pm 45^\circ$ 方向の感覚が低下する空間異方性やマッハ効果*などによる視覚特性の非線形性が要因となるものである。これに対しては、より人間の感覚に適合した誤差の評価方式も提案されている¹¹⁾。もう1つは SNR で表現される忠実度は、あくまで復元画像の原画像に対する忠実度の尺度であり、復元画像の画像品質そのものを評価するものではないという事実である。例えば、ジャギー**を含んだ原画像に対して圧縮をかけると、復元画像に空間フィルターの効果がかかって、解像度によっては復元画像の方が好ましい印象を与えることがある。このような画像データ圧縮による復元画像の評価を行う場合には、必ず原画像との誤差を評価する必要がある。特に主観評価（官能評価）を行う時には注意をすべきである。

4. 圧縮方式と画質の関係

4.1 DCT符号化

これまでに何度か述べたように、現在カラー静止画像や動画画像（いずれも自然画）の圧縮方式で主流となっているJPEGないしMPEG方式は、いずれもDCTをベースに、エントロピー符号化を組み合わせたハイブリッド符号化である（動画画像では、さらにフレーム間予測や動きベクトル予測符号化を利用する）。前述のようにエントロピー符号化は可逆圧縮であり、非可逆圧縮特性はDCT符号化における量子化誤差に起因する。

DCT符号化は特に自然画像の圧縮に優れ、JPEG方式により圧縮すると通常自然画像では1/20程度の圧縮率では復元画像の歪みがほとんど認知できない。ただし、文字画像や線画などの

* 階調が急激に変化した部分では、実際の変化量よりも変化が大きく感じられる現象。

** 輪郭部がギザギザに見えること。

特集：デジタルスチルカメラと画質

2値画像や、網点等を利用する中間調画像、あるいはテストチャートに使われる解像度チャートやカラーパレットなどの人工画像では1/5以下の圧縮率でも歪みが目立つ場合がある。

自然画像においても、さらに高圧縮率の復元画像では検知限界を超える歪みが現われてくる。DCT符号化に特徴的な歪みとして、ブロック歪みとモスキート歪みの2つが挙げられる。ブロック歪みは、量子化により高域成分が圧縮されてDCT係数がほとんど直流成分のみとなり、ブロックごとに階調が階段状となって、この段差によるモザイク状のブロック境界が発生する。階調変化の少ない平坦な絵柄の部分に現われやすい。モスキート歪みは、量子化による帯域制限のため階調変化が追従しきれずにオーバーシュート*が発生し、この結果輪郭部分など階調変化が大きい絵柄部の周囲にモヤモヤとしたノイズが現われるものである。このほか、階調が緩やかに単調変化するような絵柄部では、ブロック歪みによる境界の不連続線が連結して擬似輪郭が発生する場合などがある。

写真1にこれらの歪みが典型的に現われている復元画像を示す。顔部分にブロック歪みが顕著に現われており、またカラーチャートの輪郭部周辺



圧縮率：1/48、画素サイズ：900画素×742画素

写真1 JPEG方式の歪み

*階調変化部付近で、実際の変化量より大きく再現される現象。

にはモスキート歪みが見える。さらに、人物の背景に顔部分を中心にした同心円状の擬似輪郭が発生している。

4.2 ブロック符号化

ブロック符号化方式は、圧縮効率はDCTなどの変換符号化ほどは望めないが、アルゴリズムが簡単で高速処理が容易であるためと、固定長符号化が可能であることから特定の分野では好んで利用される。以下にここで紹介する方式の概要を述べる⁷⁾。

1画素あたり8bitの画像全体を4×4画素ブロックに分割し、定めたしきい値 L_a 未満の画素とそれ以上の画素にグループ分けして2値化する。すなわち、

$$T(i,j) = \begin{cases} 0 & \text{if } x(i,j) \leq L_a \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

ただし、 L_a はブロックの画素値の上位1/4の平均値 Q_1 と下位1/4の平均値 Q_2 の中央値である。次に、 Q_1 と Q_2 との差分値 L_b を求め、 L_a 、 $T(i,j)$ と合わせて圧縮情報とする。伸長時には、次の式により画素値を復元する。

$$y(i,j) = \begin{cases} L_a - L_b/2 & \text{if } T(i,j) \leq L_a \\ L_a + L_b/2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

すなわち圧縮時には、2値化した画素値 $T(i,j)$ の16bitのデータと、 L_a と L_b がそれぞれ8bitで、合計32bitのデータが符号量となる。1ブロックは4×4画素なので、画素あたり2bitとなり1/4に圧縮される。

この方式の改良方式として提案されているアルゴリズムでは、画素のグループ分けを3値とし、 $T(i,j)$ に対するビット配分を2画素ごとに3bit割り当てるようにして、1ブロック全体で24bitとする。また、 L_a と L_b の配分を合わせて8bitとする。この3値化モードを追加したうえで、 L_b をあるしきい値と比較して先の2値化モードと3値化モードを適応的に切り替えることにより、圧縮効率を向上することができる。

写真2(a) (表紙参照) にははじめに説明した方式(GBTC方式)の圧縮復元画像サンプルを、写真2(b)に改良方式(ABTC方式)のサンプルを示す。

特集：デジタルスチルカメラと画質



(a) GBTC方式



(b) ABTC方式

圧縮率：1/4、画素サイズ：420画素×420画素
写真2 GBTC方式とABTC方式の比較

改良方式の方が、全体に輪郭部分が滑らかに再現されており、また階調がよく表現されている。

4.3 ウェーブレット変換符号化^{12),13)}

近年注目されている圧縮方式として、ウェーブレット変換方式がある。これは、圧縮時に画像全体を異なる画素数ブロックに分割可能であり、またブロック間でオーバーラップ変換を行えることが特徴である。この結果、DCT符号化の欠点とされるブロック歪みやエッジ部の歪みに対して、ウェーブレット変換符号化は視覚的に良好な復元画像が得られると言われている。

ウェーブレット変換符号化は、方式的にはサブバンド符号化の一種と見なされる。画素ブロックの水平方向および垂直方向にローパスフィルターとハイパスフィルターをかけ、2:1のダウンサンプリング（画素の間引き）を施す。これにより、画素ブロックを、HH、HL、LH、LLの4領域に分割する。H、Lはそれぞれ高域部、低域部を表わす。さらにLL領域について同様に4分割し、これを必要回数繰り返す。図4は、4階層の分割を行う例を示す。フィルター（サブ

バンドの場合フィルターバンクと呼ばれる）の特性は圧縮方式の性能に影響を与え、例えばフィルターのタップを領域外にオーバーラップさせるとブロック歪みを低減することができる。各領域に対して、量子化とエントロピー符号化を行って圧縮画像データを生成する。

写真3(a)にJPEG方式による圧縮復元画像サンプルを、写真3(b)にウェーブレット変換符号化方

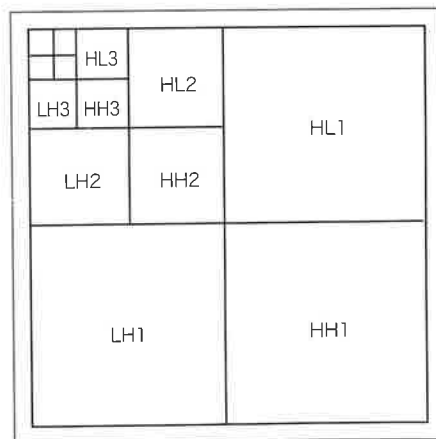
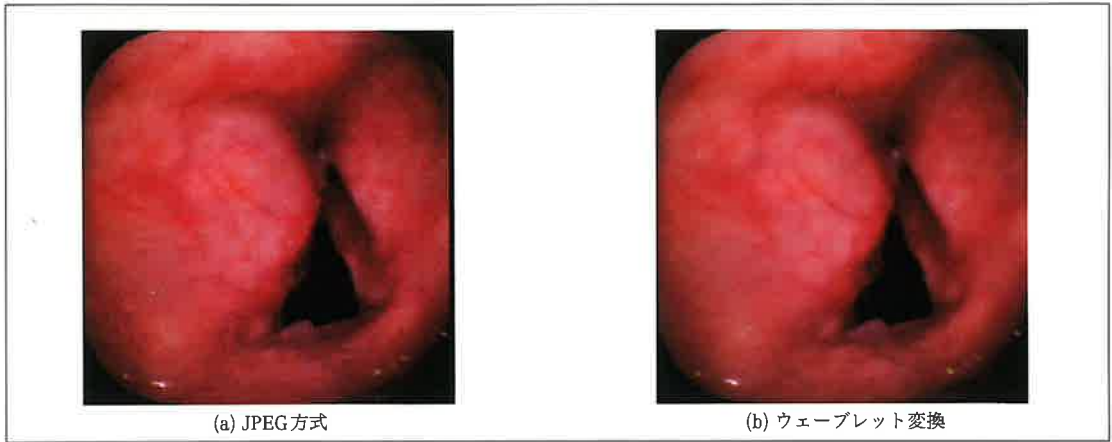


図4 4階層のウェーブレット変換



圧縮率：1/40，画素サイズ：325画素×328画素
写真3 JPEG方式とウェーブレット変換方式の比較

式によるサンプルを示す。(b)では画像全体にブロック歪みがまったく現われていないことが分かる。

5. 画質の改善

ここでは、DCT符号化（JPEG方式）において、特に高圧縮率時に発生するノイズを除去し、視覚的に優れた再生画像を得る手法について説明する。DCT符号化に特徴的な歪みは、ブロック歪みとモスキート歪みであることは先に述べた。ここで説明する方法は、復元画像に対して適応フィルタ処理を行ってこれらの歪みを低減するものである¹⁴⁾。

5.1 ブロック歪み除去フィルタ

ブロック歪みは、本来連続的な階調をもつブロック境界部に量子化誤差に起因する不連続な階調変化を生じ、これが $n \times n$ 画素（JPEG方式では 8×8 画素）のブロック境界に発生するため正方形のモザイク状の歪みとなって現われる。不連続線が周期的に現われるため視覚的に大きな障害となる。ブロック歪み除去フィルタのアルゴリズムを以下に示す。

- ①図5に示すように、復号画像における注目ブロックの4つの角点 $P_{ij}(i,j=0,1)$ について、その角点自身とその周囲3ブロックの隣接する角点 A_{ij} 、 B_{ij} 、 C_{ij} （それぞれ $i,j=0,1$ ）

の階調レベル値から元の画像における注目角点 $\tilde{P}_{ij}$ を推定する。この時、ブロック歪みによる偽の不連続線かそれとも元来原画像がもつ不連続線であるかをしきい値 T_x により判定し、 $\tilde{P}_{ij}$ に加算するか否かを定める。

$$\tilde{P}_{ij} = \frac{k(0)A_{ij} + k(1)B_{ij} + k(2)C_{ij} + P_{ij}}{1 + \sum k(x)} \quad (7)$$

$$k(x) = \begin{cases} 1 & (|s_{ij}(x) - P_{ij}| \leq T_x) \\ 0 & (|s_{ij}(x) - P_{ij}| > T_x) \end{cases}$$

$$s(0) = A, s(1) = B, s(2) = C$$

- ②推定値 $\tilde{P}_{ij}$ と復号画像における注目角点 P_{ij} の誤差 ΔP_{ij} を求める。注目ブロックの4つの角点での誤差 ΔP_{ij} から、ブロック内のすべての画素値の補正值 Q_{ij} を線形補間により求

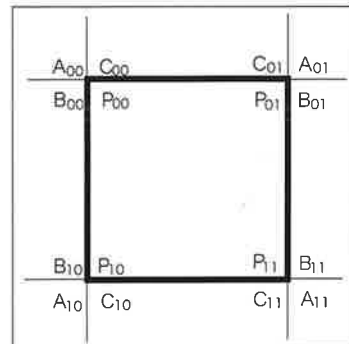


図5 注目ブロック角点と隣接ブロック角点

特集：デジタルスチルカメラと画質

め、複号画像におけるブロック内の各画素 X_{ij} を補正する。

$$\Delta P_{ij} = P_{ij} - \bar{P}_{ij} \quad (8)$$

$$Q_{ij} = \frac{1}{N^2} \{ \Delta P_{00} \times (N-i) + \Delta P_{01} \times i \} (N-j) \\ + \{ \Delta P_{10} \times (N-i) + \Delta P_{11} \times i \} j \\ (i, j=0, 1, \dots, N-1) \quad (9)$$

$$\hat{X}_{ij} = X_{ij} + Q_{ij} \quad (i, j=0, 1, \dots, N-1)$$

5.2 モスキート歪み除去フィルタ

モスキート歪みは、輪郭部分など階調変化の大きい領域が、量子化誤差による帯域制限により元来の階調変化に対するレスポンスが悪くなり、周辺の平坦部に不規則な偽の階調変化が生ずるものである。平坦部に輪郭部分のエコーが不規則に現われるような歪みで、目に付きやすい。モスキート歪み除去フィルタのアルゴリ

ズムは、局所的に平坦な部分にのみモスキート歪みが現われるという現象から局所平坦度を判定し、ある定めたレベル以上の部分のみに帯域除去フィルタをかける。以下のような手順に従って処理される。

W(0,0)	W(0,1)	W(0,2)
W(1,0)	W(1,1)	W(1,2)
W(2,0)	W(2,1)	W(2,2)

図6 3×3画素切出し窓



圧縮率：1/24
歪み除去フィルタなし
(a)



圧縮率：1/40
歪み除去フィルタなし
(c)



圧縮率：1/24
歪み除去フィルタあり
(b)



圧縮率：1/40
歪み除去フィルタあり
(d)

画素サイズ：768画素×488画素 [(c)(d)は一部を拡大したもの]

写真4 JPEG方式の画質改善例

特集：デジタルスチルカメラと画質

①ブロック内の各画素に対して、その周辺画素の局所的な平坦度 $f_r(j,i)$ を求める。局所平坦度の定義は、注目画素を中心にした 3×3 画素の窓(図6)内の周辺画素間の階調レベルの差の絶対値の平均値と、ブロック内の最大階調レベル差 $\Delta X_{\max}$ との比率により計算される。

$$f_r(j,i) = 1 - \frac{F(j,i)}{\Delta X_{\max}} \quad (10)$$

$$F(j,i) = \frac{1}{N} \{ |W(0,0) - W(0,1)| + \dots + |W(0,1) - W(0,2)| + \dots + |W(1,0) - W(0,0)| \}$$

$$\Delta X_{\max} = \max X(j,i) - \min X(j,i) \\ (j, i = 0, 1, \dots, N-1)$$

② $f_r(j,i)$ に対して、しきい値 T_h 以上のときだけ以下の帯域除去フィルタを2回かける。

$$\frac{1}{12} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

写真4(a)~(d)に、以上に述べた方式による画質の改善例を示すサンプル画像を示す。(b)では、空の部分に現われているブロック歪みが完全に除去されて、滑らかな再生画像を得ている。(d)では、花卉の輪郭部のモスキート歪みがほぼなくなっている。

6. まとめ

画像データ圧縮技術と画像品質について、静止画の圧縮技術を中心に解説した。DSCへの応用の観点から、対象となる画像データはカラー自然画像が中心になったが、これに対しては現状ではJPEG方式が実際上でも標準方式として広く利用されている。しかしながら、JPEG方式は固定長圧縮の適用と、高圧縮時の歪みの現われ方に問題があり、再生画像の画質は必ずしも十分要求を満足しているとは言い難い。また多用される基本モードにDCT符号化を採用しているため処理コストが問題となる。ここでは、これらの問題について最近の改良技術を解説した。

画像圧縮技術は、近年のマルチメディアブームを加速する基盤技術としてにわかに注目されてきており、すでにアプリケーションの範囲は飛躍的に拡大しつつある。現在、1999年の標準化に向けて作業中のMPEG-4と、同じく2000年に標準化が予定されているJPEG-2000は、随所に最新の圧縮技術を取り込んで、現行標準より大幅に圧縮効率の向上が見込まれている。このように、画像データ圧縮技術は現在でも進化し続けており、その動向には注目していく必要がある。

参考文献

- 1) テレビジョン学会編：「画像情報圧縮」，オーム社(1992)
- 2) ISO/IEC 10918-1 "Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Image-Part I: Requirements and Guideline" (1994)
- 3) 坂口知弘：「デジタルカメラにおける静止画と動画の処理と画質」，TV学技報，Vol. 20, No. 19, pp. 1~6 (1996)
- 4) 末高弘之：「液晶デジタルカメラQV-10」，日本写真学会ファインイメージングシンポジウムD-2, p. 63 (1995)
- 5) 渡辺幹夫，伊藤研治，諸永健次，西精基，大地成治：「デジタルスチルカメラ用DCT符号化における符号量制御方式」，1989年TV学全大19-22 (1989)
- 6) 清水栄一，ジム・アダムス，グレーグ・スミス，接待恒一，宮野俊樹，大塚英博：「新開発の圧縮および補間処理を用いたデジタルカメラ」，日本写真学会ファインイメージングシンポジウムD-4, p. 69 (1995)
- 7) 原潤一，村山登：「Block Truncation Codingの改良」，第25回画像電子学大会(1997)
- 8) 石川安則，花村剛，会津昌夫，池上博章：「画像通信に用いる色空間の評価」，画像電子誌，Vol. 25, No. 1, pp. 10~26 (1996)
- 9) 村山登：「圧縮復元画像の画質」，TV学技報，Vol. 18, No. 47, pp. 1~6 (1994)
- 10) テレビジョン学会編：「テレビジョン画像の評価技術」，コロナ社(1986)
- 11) 宮原誠，小谷一孔，堀田裕弘，藤本強：「客観的画質評価尺度(PQS)—local featureの考慮と汎用性—」，信学論B-I, Vol. J73-B-I, No. 3, pp. 208~218 (1993)
- 12) 山崎由希子，松浦熱河，柳下高弘：「JPEGとウェーブレット変換符号化の効率比較」，第25回画像電子学大会，(1997)
- 13) A. Zandi, J. Allen, E. Schwartz, M. Bolik: "CREW: Compression with reversible embedded wavelets", PCSJ'95 (1995)
- 14) 石川雅朗：「DCT符号化におけるノイズ除去」，画像電子研究会予稿90-06-01 (1990)