

白黒静止画像における画質主導型JPEG符号化

吉岡 哲二 堀田 裕弘 村井 忠邦
富山大学 工学部 電気電子システム工学科

〒930-8555 富山市五福3190

TEL: 0764-45-6758

E-mail: horita@ecs.toyama-u.ac.jp

JPEG符号化における圧縮率は符号化時にパラメータで設定できるが、同じパラメータを設定しても、画像の内容により再生品質が変動するため、ユーザが必要とする品質の画像を常に得ることができるとは限らない。

本稿では、画質主導型のJPEG符号化を提案する。ユーザがあらかじめ設定した品質の再生画像を得る符号化パラメータを画像からの特徴量を数値として取り出し、これを用いて符号化特性を予測することで決定する。更に画質評価尺度(PQS)をフィードバック制御することにより、より最適な符号化パラメータを決定する。また、この提案方式の処理速度が十分実用的であることを示す。

Quality Oriented JPEG Coding for Monochrome Still Picture

Yuukou Horita, Tetsuji Yoshioka, Tadakuni Murai

Department of Electric and Electronic System Engineering, Faculty of Engineering,
Toyama university

3190, Gofuku, Toyama 930-8555, Japan

TEL: 0764-45-6758

E-mail: horita@ecs.toyama-u.ac.jp

The compression rate in JPEG encoding can be set up by the parameter. But a user can't get expected quality image, because the quality fluctuates by component of the image even if the same parameter is set up.

This paper proposes quality oriented JPEG coding. According to taking out the feature of the image as a numerical value, the property of the image is predicted. Then, system decides the encoding parameter that it gets the quality which a user set up beforehand.

In addition, Doing feedback control by Picture Quality Scale(PQS), a more suitable encoding parameter is decided. And, We show that the calculation speed of this proposal method is fully practical.

1 まえがき

JPEG 符号化は非常に低ビットレートの通信ができるため、インターネットなど低速回線でも有効である反面、非可逆符号化であるので品質の低下が伴う。

一般に、画像データベースやデジタルカメラ等の画像蓄積系では圧縮画像のファイルサイズ(情報量)が同一であることが望ましいが、ユーザの立場からすれば、情報量よりも品質が一定であることが望ましいことが多い。

JPEG 符号化における圧縮率は、品質とのトレードオフの関係から符号化時にパラメータで設定するが、同じパラメータを設定しても、画像の内容により再生品質が変動するため、ユーザが要求する品質の画像を常に得ることができるとは限らない。この場合、符号化にはパラメータではなく品質を直接指定し得る方法が要求されると考えられる。

本稿では、ユーザが要求した画質が得られる品質主導型の JPEG 符号化を検討する。既に提案している方式 [1] では初期の符号化パラメータを実験画像の平均値として求めており、多くのフィードバック回数を必要としたため、実用的ではなかった。

そこで画像の内容に応じたフィードフォワード制御を行う新しい方式を提案する。この方法では画像のテクスチャ特徴量を計算し、これを用いて符号化特性(符号化パラメータ-再生品質)を予測し、ユーザがあらかじめ設定した品質の再生画像を得る符号化パラメータを決定する。最適パラメータの残差は画質評価尺度(PQS: Picture Quality Scale)を用いて、フィードバック制御より、短時間でかつ高精度に符号化パラメータを決定する。

また、この提案方式の処理速度がフィードバック制御のみの従来方式に比べて高速であり十分実用的であることを示す。

2 画質評価尺度(PQS)

符号化画像の品質を決定するためには、主観評価実験により平均オピニオン評点(MOS: Mean Opinion Score)を求め、これをその画像の品質評価値とする場合が多い。しかし、主観評価実験は評価条件や評定者、評価を行うための設備等、実際に行うことは複雑で、かなりの労力を必要とする。そのため、主観評価を代用する画質評価法が従来から研究開発さ

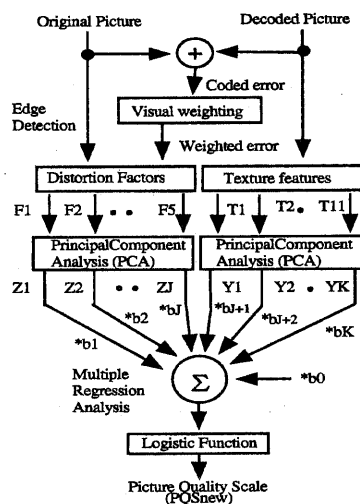


図 1: PQS の新しいシステム

れている。

線形重回帰モデルをベースとした PQS [2] はすでに提案されており、また、近年推定精度の改善を行った新しい PQS が提案されている [3]。この評価方法は白黒静止画像のみを対象としているが、MOS に対する推定精度はオープンデータに対してもほぼ満足いく結果が得られている。

新しい PQS (図 1) は、符号化誤差から 5 つの歪み要因を求め、符号化再生画像から 11 個のテクスチャ特徴量を取り出し、これらの主成分と MOS との関係をロジスティック関数を用いた非線形重回帰モデルを仮定して構成されている。

3 画質主導型 JPEG 符号化

3.1 構成の概要

今回提案する画質主導型の JPEG 符号化をモデル図を図 2 に示す。ユーザは符号化パラメータではなく欲しい品質を数値で入力し、符号化システムは要求した画質となる符号化パラメータを探索し符号化を行う。

従来法では初期の符号化パラメータは実験に用いた画像から得られた平均値を用いていたため、画像の内容にかかわらず常に同じ初期値を使用していた。提案法では画像の内容から符号化特性(符号化パラ

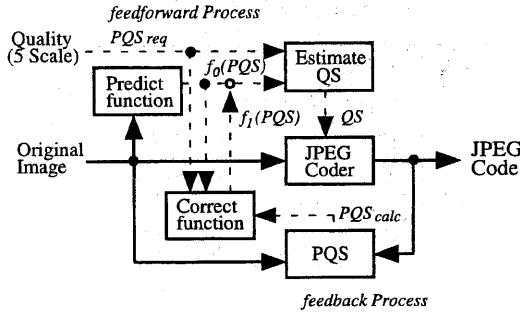


図 2: 画質主導型 JPEG 符号化の構成

メータ-再生品質)を予測し画像の内容に応じた初期値を使用する。また、フィードバック制御においても従来法では単純に2分探索法を行っていたのに対し、提案法では予測した符号化特性関数を利用し、画像の内容に応じた符号化パラメータの変動量を決定している。

3.2 符号化パラメータ

JPEG 符号化では、符号化パラメータとして量子化テーブルの操作が考えられる。一般的に、DCT係数を S_{uv} とし、これに該当する量子化テーブルの値を Q_{uv} とすると、量子化後の係数 S_{quv} は、次式で表されている [4]。

$$S_{quv} = \text{round} \left(\frac{S_{uv}}{Q_{uv}} \right) \quad (1)$$

この量子化テーブルの値 Q_{uv} は、JPEG 標準化グループの推奨値として ITU 勧告 T.81 の付録 K に記述されている。

WWW 上で公開されている JPEG 符号化ソフト [5] では、勧告の量子化テーブルの値を全体的にスケールリングすることにより画質制御を行っている。この中で、画質を表す量として Quality Scale(QS) が用いられ、これを 1 ~ 100 で表している。この QS を用いた場合、上式は次のようになる。

$$S_{quv} = \text{round} \left(\frac{S_{uv}}{Q_{uv}^*} \right) \quad (2)$$

$$Q_{uv}^* = \text{int} \left(\frac{Q_s Q_{uv} + 50}{100} \right) \quad (3)$$

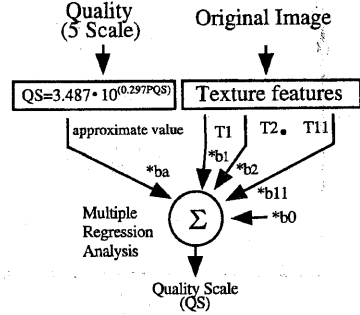


図 3: 画像ごとの PQS と QS の関係予測

$$Q_s = \begin{cases} \frac{5000}{Q_s} & QS < 50 \\ 200 - 2QS & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

本稿では、この QS を符号化パラメータとする。

3.3 符号化特性 (PQS-QS 特性) の予測

同一の QS を用いても PQS は画像によって異なるため、PQS と QS の関係を示す特性式は画像ごとに異なる。しかし、この関係を予測することが出来ればフィードフォワードやフィードバック処理を効率良く行うことが出来ると思われる。

そこで、実験画像 24 枚の PQS と QS の平均的な対応関係を求めた結果、次式のような指数関数的な関係で良く近似することが出来た [1]。

$$QS = 3.487 \cdot 10^{(0.297PQS)} \quad (5)$$

この式を画像の特徴量によって補正することで、その画像の PQS と QS の関係が予測できる。画像の特徴量については PQS で用いている平均輝度やエントロピーといった 11 個のテクスチャ特徴量を計算することで抽出を行う。この 11 個のテクスチャ特徴量と (5) 式を図 3 のように重回帰分析を行い線形結合することで画像の特徴に応じた PQS と QS の関係が予測できる。この入力 of PQS を変化させることにより最終的に PQS-QS 特性関数を求める。

3.4 フィードバックのアルゴリズム

決定した QS で一度符号化を行い、PQS で品質を計算し要求した品質を満足しない場合は PQS-QS 関

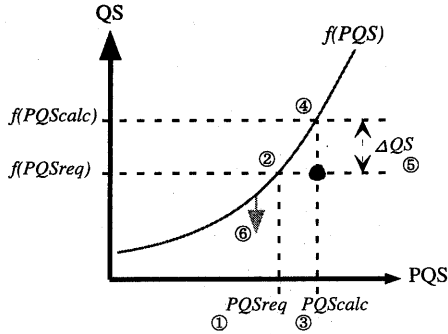


図 4: 関数修正のアルゴリズム

数を修正しフィードバック制御を行う。修正は修正量を単純に予測した PQS-QS 特性に加えることで行う。予測した PQS-QS 関数を $f(PQS)$ 、要求した品質を PQS_{req} 、計算した品質を PQS_{calc} とすると修正量は (6) 式で計算され、修正された関数 $f(PQS)^*$ は (7) 式で表わされる。このアルゴリズムを図 4 に示す。

$$\Delta QS = f(PQS_{calc}) - f(PQS_{req}) \quad (6)$$

$$f(PQS)^* \leftarrow f(PQS) - \Delta QS \quad (7)$$

4 ユーザが設定する画質

本提案方式を使用するためには、ユーザが画質を数値で設定しなければならない。ここでは、PQS が 5 段階評価尺度 (表 1) に相当する MOS を推定するシステムであることより、主観評価実験で用いられる 5 段階評価尺度を画質の設定に用いることにする。特に、表 1 の評価語と評点との関係より、 $MOS = 4.5$ は誤差の検知限を、 $MOS = 3.5$ は許容限を示していることより、この 2 つの値は画質の設定値として重要であると考えられる。

5 実験結果

5.1 PQS-QS 関数予測の性能評価

評価実験に用いた 256×256 サイズのモノクロ画像 24 枚を用いて実験を行った。種々の画像に対する PQS-QS 関数の予測結果の中から平均的な特性を持つ画

表 1: 5 段階評価尺度

品質	評価語
5	(劣化が) わかからない
4	(劣化が) わかるが気にならない
3	(劣化が) 気になるが邪魔にならない
2	(劣化が) 邪魔になる
1	(劣化が) 非常に邪魔になる

像「Barbara」ともっとも劣化が検知されやすい画像「Cap(Kodac Photo CD No.3)」の結果を図 5 示す。グラフは $QS1 \sim 100$ を与えて PQS を求めることにより得られた PQS-QS 関数の真値、図 3 で示したテクスチャ特徴量により予測した予測値、24 枚の画像の平均値を図示している。

平均値に近い「Barbara」はもちろん平均値から離れている「Cap」でも精度良く予測しているのがわかる。

5.2 フィードフォワードの性能評価

フィードフォワード処理における従来方式と提案方式の結果を表 2(a)(b) に示す。24 枚の画像を用いて品質 4.5, 3.5 で実験を行い、要求した品質と符号化された画像の品質の誤差の平均値と最大値を示す。従来法は平均的な特性式である (5) 式を単純に利用したものである。

実験の結果、画像の内容に依存しない従来法にくらべ画像の特徴を考慮している提案法は、かなり高い精度でユーザの要求に応じた画質が得られている。ここで用いている PQS は MOS の推定誤差が ± 0.3 であることを考えると提案法での平均誤差 (0.08, 0.11) という結果はフィードフォワードのみでも十分実用的であるといえる。

5.3 フィードバック回数

24 枚の画像を用いてフィードバック制御の終了条件をユーザが要求した画像品質と符号化によって得られた品質の絶対誤差が 0.05 と 0.1 以下の場合で実験を行った。要求する品質を 4.5, 3.5 とした場合での、従来法と提案法での平均フィードバック回数、最大フィードバック回数を表 3(a)(b) に示す。

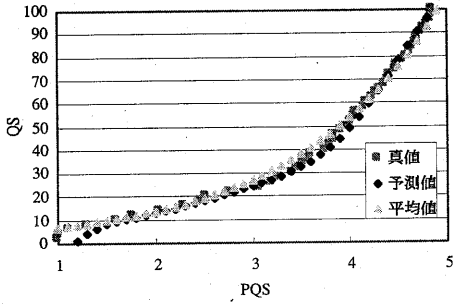
表 3: フィードバック回数[回]

(a) 従来方式

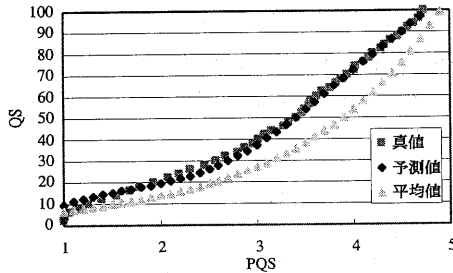
	ΔPQS < 0.05		ΔPQS < 0.1	
	4.5	3.5	4.5	3.5
Average	1.54	2.67	0.58	1.45
Max	3	5	2	3

(b) 提案方式

	ΔPQS < 0.05		ΔPQS < 0.1	
	4.5	3.5	4.5	3.5
Average	0.79	0.96	0.33	0.54
Max	1	2	1	1



(a) barbara



(b) kp03

図 5: PQS-QS 関数の予測結果

表 2: 要求した品質との誤差

(a) 従来方式

	Quality=4.5	Quality=3.5
Average	0.12	0.25
Max	0.35	0.60

(b) 提案方式

	Quality=4.5	Quality=3.5
Average	0.08	0.11
Max	0.14	0.24

ここで提案する手法は従来法に比べ大幅に改善されている。特に1回のフィードバックで誤差0.1以内に収束しているのが重要である。PQSの計算自体に推定誤差を含んではいるが、これより更に0.1程度の誤差が加わったとしても人間の目には検知することが出来ないことを考えると1回のフィードバックのみで十分実用的であるといえる。

5.4 システムの処理時間

本提案法の実用性を考えるためにシステムの処理時間を調べた。実験には計算機普及率を考慮しPentium Pro200MHzを搭載したPC/AT互換機を用い、OSはWindowsNT4.0 Workstationを採用した。幾つかの項目において処理時間を計測した結果を表4に示す。PQSの計算が大半を占めておりフィードフォワード処理における処理時間は0.62秒でPQSの処理時間の1/10にも満たない。この結果からフィードフォワード処理を行いフィードバック回数を減らした今回の結果は非常によいものといえる。

従来方式と提案方式の平均処理時間を計算してみた。ここでは最大フィードバック回数があらかじめ与えられているものとし、最大フィードバック回数に達したものはフィードバックループから抜けるようにする。この方法により無駄なPQSの計算を省くことにした。品質4.5, 3.5の場合での平均処理時間を表5に示す。従来法に比べ処理速度は50%程度である。

フィードバックを行わないフィードフォワードのみの処理では、PQSとJPEGの再符号化が不要なた

表 4: システムの処理時間

項目	時間 [秒]
Texture 特徴量計算	0.6
関数の予測	0.02
JPEG 符号化	0.3
PQS の計算	7.0
関数の補正	≒ 0.0
JPEG コード書込み	0.1

表 5: 平均処理時間 [秒]

	従来法		提案法	
	4.5	3.5	4.5	3.5
$ \Delta PQS < 0.05$	18.0	29.9	8.31	13.8
$ \Delta PQS < 0.1$	11.4	17.7	8.31	8.31
Average	18.5		9.7	

め $|\Delta PQS| < 0.1$ の条件であれば約 1 秒で処理をすることが出来る。現時点での CPU パワーで実用性を考えるとフィードフォワードのみか、もしくは 1 回のフィードバックで処理するのが堅実な使い方と言える。

6 むすび

本研究では画質主導型 JPEG 符号化の高速化を検討した。その結果、従来法に比べ提案法では 50% の処理速度まで改善された。またフィードフォワード処理のみでも十分に実用的であることが証明された。PQS の計算に処理時間の大半を占めることを考えると精度は若干悪くなるがフィードフォワードのみの処理が有効であるといえる。

インターネットの普及にともない、さまざまな形態で画像配信が利用されるようになった。本研究の技術はユーザ主導であるという点において次世代のツールとしては十分な可能性を持ち、十分実用的であると思われる。今後の課題として、実用化に向けフィードバック制御が不要であるフィードフォワード方式の更なる高精度化、カラー画像への拡張などがある。

参考文献

- [1] 堀田, 吉岡, 村井: "白黒静止画像における画質主導型 JPEG 符号化の基礎検討", 映情学誌, vol.52, No.6, pp.891-894 (June 1998)
- [2] 宮原, 小谷, 堀田, 藤本: "客観的画質評価尺度-local feature の考慮と汎用性", 信学論 (B-I), J73-B-I, 3, pp.208-218 (Mar. 1990)
- [3] 堀田, 宮原, 村井: "白黒静止画像における客観的画質評価尺度の推定改善の検討", 信学論 (B-I), J80-B-I, 6, pp.505-514 (June 1997)
- [4] ITU Recommendation T.81, P.28 (Sep. 1992)
- [5] "CJPEG C ソースコード",
ftp://ftp.uu.net:/graphics/jpeg/
jpegsrvc.v6a.tar.gz .