

J-70

圧縮画像の分子場近似を用いた修復に関する研究 Reconstruction of Compressed Images Using Mean Field approximation

小林 美保† 堀口 剛†
Miho Kobayashi Tsuyoshi Horiguchi

1. はじめに

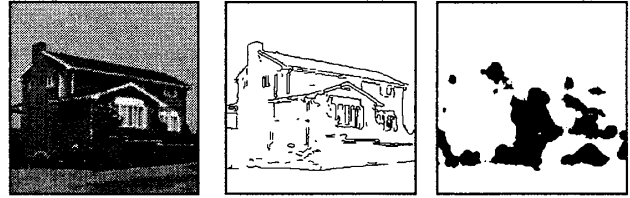
JPEG は静止画像符号化方式の国際標準として現在広く用いられている。しかし一般的な JPEG はブロック離散コサイン変換(BDCT)を行い、量子化操作により情報を削減する非可逆圧縮を用いるため、高圧縮になるにつれブロック境界やリングングなどのノイズが顕著になる。JPEG 画像に対してこれらのノイズを取り除くための多くの研究がなされている。

本研究では、JPEG 画像に対して前処理としていくつかの操作を行い、後処理として統計物理学的手法を用いた修復を行うアルゴリズムを提案する。第 2 章において前処理と後処理を含めた画像修復の手順を説明する。第 3 章では修復の分子場近似を用いた定式化を行い、具体的な計算方法を述べる。第 4 章では結果の比較と考察を行う。また第 3 章の定式化をカラー画像へ拡張し、カラー画像の修復も可能であることを示す。第 5 章はまとめである。

2. アルゴリズムと前処理

JPEG 画像には色々な種類のノイズが含まれる。特に 8×8 ピクセルごとのブロック境界に生じるブロックノイズや、コサイン関数を用いるために生じる物体の境界線に沿うリングングなどは、修復において画像中に本来含まれるエッジ情報として誤認されることが多い。そのため、はじめに修復の前処理を行うことにより原画像に存在したエッジ等を保持し、その結果を利用して修復を行うという手順をとる。より良い修復画像を得るためには、前処理として 1) ノイズを多く含まないエッジマップを得ること、2) 平滑化を行わない方がよい領域をテクスチャ領域として検出すること、などが重要である。これらにより画像を過度にぼかすことを防ぎ、テクスチャ領域では平滑化を弱め、テクスチャ領域以外では強く平滑化を行うことができる。

この手順は基本的には Meier ら[1]により提案された。Meier らは前処理として Canny オペレータ[2]によりエッジを検出し、画像をテクスチャ領域と k 個のモノトーン領域に分割した。そして各領域の境界線を正しいエッジマップであるとして各領域内でのみ平滑化を行うことで、前処理を行わない修復方法よりも良い結果が得られることを示した。しかしこの方法では、輝度がゆるやかに変化している領域において不自然な修復が行われる場合があった。前処理の例を図 1 に示す。ここでは画像データベース SIDBA に含まれる標準画像『Home』を JPEG 形式で圧縮、復元したものを劣化画像として用いた。



(a) JPEG 画像 (b) エッジ (c) テクスチャ

図 1: エッジとテクスチャ

そこで本研究では前処理として領域分割の代わりにスムージング[3]という操作を行う。スムージングとは主要な境界線だけを保持したまま、それ以外の部分を強く平滑化する操作で、物体の境界検出などの前処理として用いられている。これにより得られた画像を不連続の度合いとして修復に導入することにより、領域分割を用いる修復よりも画像の局所的な特性に適應した良い修復結果が期待される。

3. 統計物理学を用いた定式化

本章では統計物理学に基づいて画像修復の定式化を行う。まず前処理として Q 階調の JPEG 画像 f_B に対して、エネルギー $E(s|f_B)$ を最小にするようなスムージングされた画像 s を勾配降下法により計算する。修復は事後確率最大化(MAP)推定の枠組みに従い、 $P(f|f_B)$ を最大にするような修復画像 f を計算する。あるピクセル (x,y) とその近傍 (q,r) でのスムージングされた画像の輝度 $s(x,y)$ と $s(q,r)$ の差を正しいエッジマップであるとして不連続の度合いに導入し、 $f(x,y)$ と $f(q,r)$ の平滑化に強弱をつける。このとき、事後確率を算出するために画像中のすべてのピクセルが取りうる組合せのエネルギーを計算すると、その計算量は非常に膨大である。計算を単純化すると同時に最適解に近い画像を得るために、統計物理学において有用であるとされる分子場近似を適用し、エネルギー関数を

$$E^{MF}(f(x,y)|f_B(x,y)) = \frac{[f(x,y) - f_B(x,y)]^2}{2\sigma_f^2} + \sum_{(q,r) \in N_{x,y}} U^{MF}(x,y,q,r) \quad (1)$$

と表す。ここで隣接ピクセル間の相互作用のエネルギー U^{MF} を

$$U^{MF} = \frac{\tau(x,y) \cdot \alpha_f(x,y;q,r)}{1 + \varepsilon[s(x,y) - s(q,r)]^2} \cdot |f(x,y) - \langle f(q,r) \rangle| \quad (2)$$

と定義した。このうち物理量 $f(x,y)$ の期待値は

† (株) 日立製作所システム開発研究所
(本研究は東北大学大学院情報科学研究科に在学時の研究である)

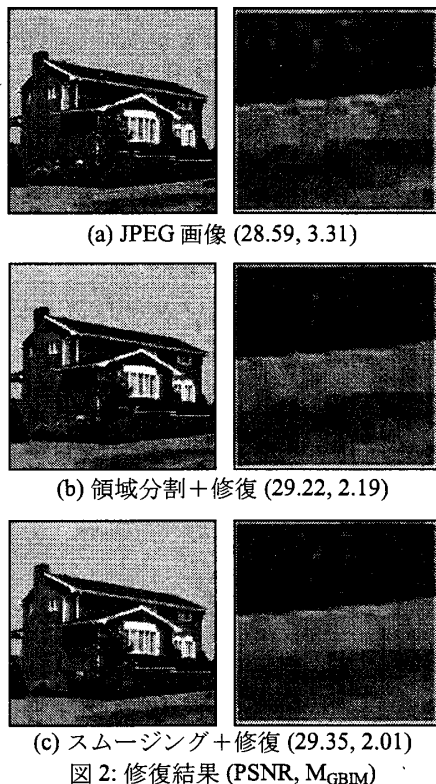
‡ 東北大学大学院情報科学研究科

$$\langle f(x, y) \rangle = \frac{\sum_{f(x, y)} f(x, y) \exp\{-\beta E^{MF}(f(x, y) | f_B(x, y))\}}{\sum_{f(x, y)} \exp\{-\beta E^{MF}(f(x, y) | f_B(x, y))\}} \quad (3)$$

により計算する。\$(x, y)\$とその近傍\$(q, r)\$は相互作用をもつが、近傍での値を期待値で置き換えることにより計算量の削減が可能となる。パラメータ\$\beta\$は温度ノイズの逆数である。温度ノイズを導入することにより、局所解を多くもつ最適化問題において、より最適解に近い解を得ることができる。さらに JPEG 特有のノイズを効果的に除去するために、式(2)においてテクスチャ領域ではパラメータ\$\tau\$により平滑化を弱め、ブロック境界ではパラメータ\$\alpha\$により平滑化を強める。分母に含まれる\$s(x, y)\$と\$s(q, r)\$の差に応じて、\$f(x, y)\$と\$f(q, r)\$がどの程度同じ値をとるべきかという拘束の強さが変化し、適応的な修復が可能となる。また、\$\beta\$の値によって修復結果が変化するため、最も良い修復結果が得られる特定の値があると考えられる。

4. 実験と結果の評価

修復を評価するために、原画像への近さを示す PSNR と、ブロックノイズの度合いを測る \$M_{GBIM}\$[4]により評価を行う。\$M_{GBIM}\$は1に近いほどブロックノイズが目立たないことを示す指標である。詳細は省略するが、Meier らの方法やフィルターを用いる他の修復方法と比較した結果、本研究で提案したアルゴリズムによる修復画像が最も良い PSNR となり、見た目にも良い修復画像が得られた。図2に前処理として領域分割を用いる方法と本研究で提案したスムージングを用いる方法による修復結果の例を示す。



さらに、これまでのモノトーン画像に対する定式化をカラー-JPEG 画像へ拡張する。カラー-JPEG 画像は Y (輝度), Cb (色差青), Cr (色差赤) に色分解して圧縮されており、まず輝度画像 Y に対して Canny オペレータ、テクスチャ検出、スムージングといった前処理を行う。そして画像を YCbCr から RGB へ変換し、各色成分に前処理の結果を利用して画像修復を行い、最後に画像を結合することでカラー画像へも修復を応用できる。さまざまな色分解方法に対する修復を試みた結果、前処理を Y (輝度) に行い、修復を RGB 各成分に対して行う組み合わせが最も良い修復結果となった。SIDBA に含まれるカラーの標準画像『Parrot』の例を図3に示す。

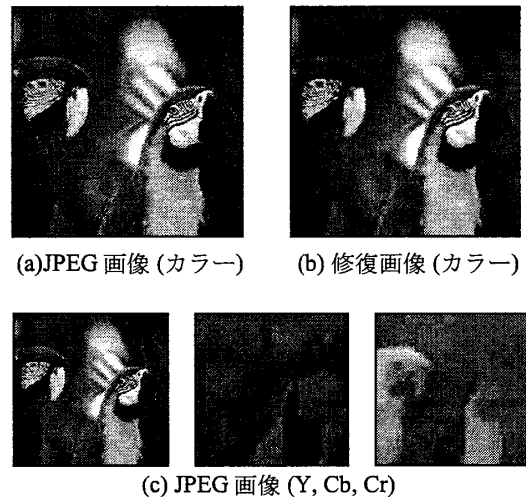


図3: カラー画像の修復

5. まとめ

本研究では非可逆の JPEG 形式により圧縮したために劣化した画像の修復の後処理として、統計物理学の手法が有効であることを示した。エッジ検出、テクスチャ検出、領域分割あるいはスムージングといった前処理のあと、ブロックノイズ等の除去に有効なエネルギー関数を定義して分子場近似を用いて画像修復を行った。すなわち MAP 推定により領域分割やスムージングと画像修復問題を定式化し、分子場近似によりエネルギー関数が最小となる最適解を求める式を導き、反復計算を行った。適当な前処理を行うことがブロックノイズの除去に効果があり、また局所的なエネルギーのみを最小化する ICM による反復計算よりも、温度ノイズを導入した分子場近似による反復計算を行う方が、より良い結果が得られた。更にモノトーン画像に対する修復方法をカラー画像に拡張することができた。

参考文献

- [1] T.Meier, K.N.Ngan, G.Crebbin, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Tech., 9 (1999) 490.
- [2] J.Canny, IEEE Trans. Patt. Anal. and Mach. Intell., 8 (1986) 679.
- [3] D.J.Kang, K.S.Roh, Image and Vision Computing, 19 (2001) 369.
- [4] H.R.Wu, M.Yuen, IEEE Signal Processing Lett., 4 (1997) 317.