

## 局所的空間周波数構造の高速解析法に基づく JPEG ブロックノイズ推定

田中成彦 藤原孝幸 橋本学  
舟橋琢磨 輿水大和

本稿では、JPEG 圧縮された画像 1 枚のみからブロックノイズ発生状況を推定する指標を提案する。従来手法として、Wang らが提案した隣接画素間の勾配情報を FFT から周波数成分に変換することにより、ブロックノイズに起因して発生する勾配情報のみを的確に抽出する手法があるが、処理時間が長いという欠点がある。そこで我々は、ブロック境界部とブロック内部における周波数成分比率の変化を数値化することにより、ブロックノイズ発生状況を高速に推定する指標を提案する。周波数成分を調べる際に、周波数成分の一部情報を簡便に把握できる複素画素の濃度値共起性に着目した共起ヒストグラムを用いることによって高速化を達成した。実画像を用いた実験によって、本手法のほうが約 2 倍の速度で処理できることが確認できた。

### Evaluation of JPEG Blockiness Based on Fast Analysis of Local Image Frequency Information

SHIGEHICO TANAKA TAKAYUKI FUJIWARA  
MANABU HASHIMOTO  
TAKUMA FUNAHASHI HIROYASU KOSHIMIZU

In this paper, we estimate JPEG blockiness from a single image. One of conventional methods proposed by Wang utilized frequency information of intensity gradient in local pixels. The accuracy of Wang's method to detect the blockiness from an image is high, however, it needs long computation time. So, we propose a method to estimate the blockiness occurrence by examining the relation between frequency structure of internal block and of border block. As for the method to analyze frequency, we used the co-occurrence histogram because it has useful information about frequency structure. Through some experiments, it has been proved that our method is approximately twice faster than Wang's method.

### 1. はじめに

近年、イメージセンサの発達により、高画質な画像を手軽に入手する機会が増加している。これに伴って記録される画像情報が膨大となっているため、記憶装置の容量圧迫を避ける目的でさまざまな画像圧縮アルゴリズムが研究されている。現在、JPEG 圧縮をはじめとする多くの圧縮アルゴリズムが提案されているが、一般に画像ごとに最良の圧縮率が異なり、必要以上に圧縮率を大きくしすぎるとノイズ等が発生して画質が劣化する。そこで、どの程度ノイズ等を除去すべきかを把握し、最適な画質改善処理をおこなうための客観的な画質評価法が研究されている。これらは次の 2 つに大別できる。

1 つ目は、原画像との比較を用いて圧縮画像の画質を評価する方法(FR: Full Reference)であり、画像中の空間周波数の分布構造などに影響されることなく、主観評価値との比較的行線な値が算出できる。この手法としては、幅広く用いられてきた PSNR をはじめとする多くの手法が提案されている<sup>1)2)</sup>。さらに ANSI による規格化も進んでおり、既に 14 種類の手法が規格化されている<sup>3)</sup>。また動画像の分野でも VQEG(Video Quality Experts Group)による標準化も進んでおり、既にいくつかの規格が勧告されている<sup>4)</sup>。しかし、FR 法は原理的に圧縮前後の 2 枚の画像が必要であるため、適用できる状況が限られている。

2 つ目は、原画像との比較を用いずに画質を評価する方法(NR: No Reference)であり、1 枚の画像のみで用いることができるため、実用できる環境は FR 法より多い。これに属する従来手法として、まず堀田らが提案した劣化画像にブロックノイズ軽減アルゴリズムを適用して生成した修復画像を擬似的に原画像とみなし、FR 法のように画質を評価する手法がある<sup>5)</sup>。この方法は、PSNR など FR 法の画質評価手法を用いることができるという利点があるため、主観評価値とブロックノイズ検出値の相関性が高いと予想される。また、ユーザの視覚特性を考慮することにより、主観評価値とブロックノイズ検出手法の相関性の向上を図った手法もある<sup>6)</sup>。この手法は、輝度情報における人の視覚特性を考慮した手法であるが、画像中の空間周波数の分布構造を考慮していないため、画像によって検出精度が変化してしまい、結果的に主観評価値との相関性低下につながる。この問題を改善する手法として、輝度情報と周波数成分情報の 2 つにおける人の視覚特性を考慮した手法がある<sup>7)</sup>。周波数成分情報を用いることによって検出精度が画像に依存するという性質はいくぶん解消され、主観評価値との相関性も向上している。またさらなる改良として、ブロックノイズ推定処理において各ブロック境界部の空間周波数の分布構造によって検出方法を変化させることにより、主観評価値との相関性の向上を図った手法も提案されている<sup>8)</sup>。しかし、これらの手法

† 中京大学 情報理工学部  
School of Information Science and Technology, Chukyo University

5) 6) 7) 8) は主観評価値の代わりとなるよう設計された手法、すなわちブロックノイズ推定値を主観評価値と一致するよう出力評価値を補正した指標である。そのため、画質改善など、JPEG 圧縮によりブロック境界部が不連続となるよう変化した度合いを表すブロックノイズ含有率との相関性が求められる手法には適さないと考える。

上述の手法とは対称に、画像中のノイズを計測する研究では、Wang らが提案した手法がある。この手法は、隣接画素における勾配情報を FFT によって空間周波数の分布構造に変換することにより、ブロック境界部のみが明確に現れる性質を利用した手法である<sup>9)</sup>。この手法は、的確にブロックノイズを検知できるが、広い周波数範囲にわたって FFT を計算する必要があるため処理時間コストが高いという欠点がある。そこで Wang らは、さらに高速化を図った新たな手法を提案した<sup>10)</sup>。この手法は、ブロック境界部、ブロック内部、画像全体の 3 箇所における勾配情報からブロックノイズを検知するものである。精密な設計と実験でパラメータが定められているため、画像による評価値の違いが小さく、高い検出精度が示されている。しかし、この手法は理論的最大値が規定されていないため、画質に関する固定的な判断基準を設定することが困難である。そのため、画像によって指標値が意味することが異なる恐れがある。なお、この手法を用いた文献も発表されている<sup>11)</sup>。

以上の問題点を改善するため、本研究では、ブロックノイズの影響が異なる 2 種類の領域からそれぞれ周波数成分の一部を高速にとりだして、2 つの領域間で周波数情報の相関を計算する。JPEG 圧縮では、圧縮率が上がるにつれて画像中の JPEG 圧縮ブロックの内部は低周波成分を多く含む領域となり、ブロック境界部は高周波成分を多く含む領域に変化する。そこで、2 つの濃度値で構成される濃度値ペアをそれぞれインデクスとする 2 次元のマトリクス状のテーブル上に濃度値ペアの発生回数を投票させることにより、濃度共起分布を生成する。この濃度共起分布は、画像中の空間周波数の分布構造の一部を把握しており、JPEG 圧縮が高圧縮化するほどブロック内部の濃度共起分布は同一ペアが増え、ブロック境界部の濃度共起分布はブロック内部における直流成分で構成される濃度値ペアが増える。これに伴い、2 つの濃度共起分布における相関性が低下する。そこで 2 つの濃度共起分布の間の相関係数を算出することにより、ブロックノイズ含有率を推定する。本手法は、画像中のすべての周波数成分を把握するのではなく一部の周波数成分の把握を行うため、周波数成分情報を用いる手法の中では高速な処理が可能という利点がある。また、画質評価の指標値は相関係数で算出されるために範囲が限定されるので、画質評価に関する固定的な判断基準をもつことができる。本手法を用いて、FFT を用いる Wang らの手法<sup>9)</sup>と速度比較を行ったところ、本手法のほうが約 1/2 倍の処理時間で計算できることが確認できた。なお、本手法は相関係数を指標値としているため、-1 から 1 までの範囲で算出することができ、画像によって指標値が意味する内容がばらつくことなく、安定した検出が行えると考えられる。

以下、2 章で JPEG 圧縮の仕組みとブロックノイズ推定法の原理を説明し、3 章で共起ヒストグラムの原理と本研究の基本概念を示す。それを踏まえた上で、4 章にて具体的な画質評価手法を提案する。5 章では、比較実験を行い、本手法の優位性を示し、最後、6 章にて本研究をまとめる。

## 2. JPEG 圧縮とその性質

### 2.1 JPEG 圧縮の仕組み

広く普及している JPEG 圧縮の仕組みの概要を述べる<sup>12)</sup>。JPEG 圧縮は DCT(Discrete Cosine Transform)、量子化処理、エントロピー符号化を用いて画像情報の削減を行う。画像情報が必要な場合は、IDCT(Inverse Discrete Cosine Transform)、逆量子化処理、エントロピー復号化を用いて復号化を行う。図 1 のように DCT、量子化処理、エントロピー符号化の順に処理され、復号化の際には逆の手順となる。この時、量子化処理で定義される量子化係数が JPEG 圧縮後の画質の良し悪しを大きく左右する。この量子化係数を最適な数値で定義することにより、最適な JPEG 圧縮処理が実現できる。

### 2.2 ブロックノイズの発生要因

ブロックノイズは、ブロック内部が低周波な領域であるのに対して、ブロック境界部が高周波な領域である場合に見られるブロック型のノイズである。JPEG 圧縮は 8×8 ブロック単位でブロック内部に含まれる高周波成分を削減する。これにより、ブロックとブロックの間の周波数は影響を受けないため、ブロック間の高周波成分が削減されず、不連続性が生じる。これがブロックノイズである。図 2 は 1 枚の無圧縮画像から異なる圧縮率で圧縮処理を施した 2 枚の画像であり、図 2(a)は低圧縮、図 2(b)は高圧縮を施したものである。また図 2(c)、(d)はそれぞれ図 2(a)、(b)の始点(72, 40)から 24pixel×24pixel に切り抜いたものである。ブロックノイズは JPEG 圧縮が高圧縮になるに伴い、強く発生する傾向がある。そのため図 2(a)、(c)はブロックノイズを目視で確認できないが、図 2(b)、(d)は確認できる。

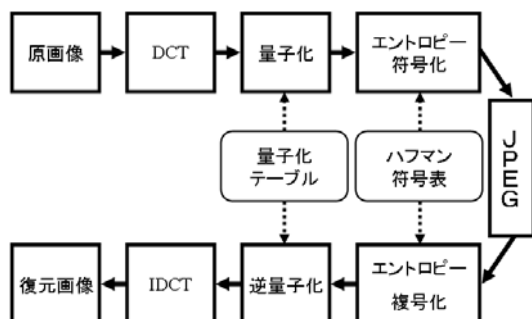


図1 JPEG圧縮のプロセス



(a) 低圧縮(高画質) (b) 高圧縮(低画質) (c) (a)切抜き画像 (d) (b)切抜き画像

図2 ブロックノイズの例

### 3. 共起ヒストグラム情報を用いたブロックノイズ評価手法

#### 3.1 ブロックノイズ推定法の原理

ブロックノイズは、画像中の空間周波数の分布構造の変化が原因で発生する。つまり図3のようにJPEG圧縮で高圧縮処理を行うことにより、ブロックノイズ含有率が高くなり、画像中に含まれる低周波成分が多くなる。そこで、空間周波数の分布構造を効率よく推定することにより、ブロックノイズ含有率を推定できる。画像中の空間周波数の分布構造を調べる場合、FFTを用いるのが一般的である。しかし、最適な圧縮率を導くためには、画質評価手法を複数回用いることになり、結果的にFFTを複数回用いることになるため、計算コストが増大する。そこで、我々は複数画素の濃度値共起性から画像中における空間周波数の分布構造の一部を高速に推定する。

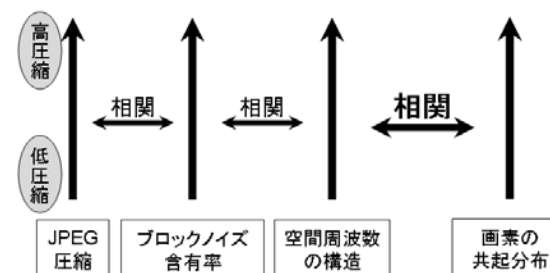


図3 本研究のアプローチ

#### 3.2 共起ヒストグラムの定義

我々は効率よく空間周波数の分布構造を推定するため、複数画素の濃度値共起性を256×256サイズのテーブル状で表現する共起ヒストグラム(CH: Co-occurrence Histogram)に着目した<sup>13)</sup>。N×Mの画像 $f(i, j)$ のCHは式(1)で求まる。

$$h_2(p, q) = \sum_{ij \in N, M} w(i, j, p, q), \quad (1)$$

$$w(i, j, p, q) = \begin{cases} 1 & f(i, j) = p, f(i+K, j+L) = q \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

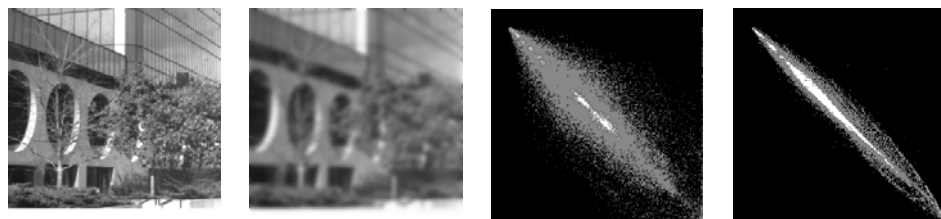
パラメータ $K, L$ は注目画素対の相対変位であり、従来のテクスチャ解析で用いられる同時生起行列と同じく、 $K, L$ を制御することにより多彩な特徴を捉えることができる。この共起ヒストグラムを用いてテンプレートマッチングに応用した例や、欠陥画像分類に応用した例が確認されており、様々な分野へ応用できることが分かる<sup>14)15)</sup>。

#### 3.3 共起ヒストグラムの性質

共起ヒストグラムの利点は、画像の空間周波数の分布構造の一部を把握できることである。図4(a), (b)は同一画像から生成した画像中における空間周波数の分布構造が異なる画像であり、図4(c)は図4(a)における共起ヒストグラム、図4(d)は図4(b)における共起ヒストグラムである。画像中の空間周波数の分布構造が高周波成分を多く含む状態から低周波成分を多く含む状態へ変化させることにより、共起ヒストグラムの高頻度値が対角線上付近に集結していることが分かる。つまり、共起ヒストグラムは高周波成分を多く含む画像は対角線上から離れた場所に多く投票され、低周波成分を多く含む画像は対角線上付近に多く投票される。

また、生成処理速度が高速な部分も利点である。表1は共起ヒストグラムの生成と

FFTの生成をそれぞれ1万回繰り返し、1回あたりの生成時間の平均を算出したものである。実験には図5の画像を拡大、縮小処理させた画像4枚を用いており、使用したPCスペックは、Pen4 3.6GHzである。表1よりすべての画像サイズにおいて、共起ヒストグラムがFFTより高速に処理できており、画像サイズが大きくなるほど、共起ヒストグラムとFFTの速度差が大きくなることが確認できた。



(a) 高周波成分を多く含む画像 (b) 低周波成分を多く含む画像 (c) (a)の共起ヒストグラム (d) (b)の共起ヒストグラム

図4 画像の周波数成分と共起ヒストグラムの関係



図5 実験に用いた画像

表1 図5の異なる画像サイズ(pixel)における速度比較(ms)

画像サイズ C×H	の生成速度 FFT	の生成速度
64×64	0.47	1.89
128×128	0.88	9.16
256×256	2.54	40.42
512×512	9.31	174.21

### 3.4 共起ヒストグラムへの投票総数の設計

共起ヒストグラムの欠点を述べる。1枚の画像から生成される共起ヒストグラムと、一般によく用いられる濃度ヒストグラムを比較した場合、どちらも画像中の1pixelあたりの濃度値に対して1度の投票を行うため、投票画素の総数は変わらない。しかし、共起ヒストグラムは濃度ヒストグラムに比べて256倍の投票場所を持つため、共起ヒストグラムの各ビンに格納される頻度値が小さな値となり、共起ヒストグラムの分布状態を読み取りにくい。

そこで我々は、ブロック内部とブロック境界部の2つの領域に対応する共起ヒストグラムの違いからブロックノイズを検出するため、頻度値をできる限り同等にしておくべきであると考え、(K, L)が(4, 0), (0, 4)の2つを用い、それらを合成することによって投票数を増やし、頻度分布を有意なものにする工夫をした。

## 4. JPEG ブロックノイズ推定法

ブロック内部とブロック境界部における共起ヒストグラムの空間周波数の分布状況の相違性に着目した手法を提案する。ここで、ブロック内部における共起ヒストグラムは、注目画素 $f(i, j)$ と参照画素 $f(i+K, j+L)$ が同一ブロックに存在した場合のみから投票した共起ヒストグラムであり、ブロック境界部における共起ヒストグラムは、注目画素と参照画素が異なるブロックに存在する場合のみを投票したものである。

図6, 図7, は図8(c)(Mandrill)を原画像とした圧縮率の異なる同JPEG画像の共起ヒストグラムである。また、図6(a), (b)はブロック境界部における共起ヒストグラムであり、図7(a), (b)はブロック内部における共起ヒストグラムである。JPEG圧縮率を低圧縮から高圧縮へ変化させることにより、ブロック内部における共起ヒストグラムは対角線上付近に集中して投票され、ブロック内部における共起ヒストグラムは、等間隔ごとに集中して投票される。

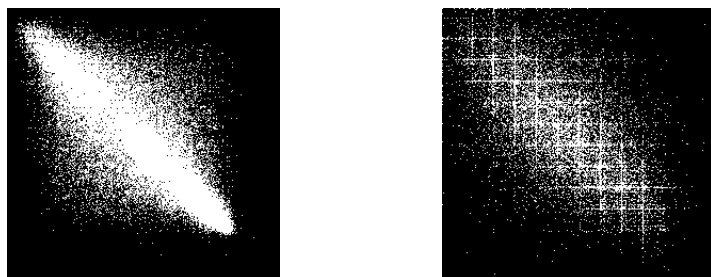
ここで、2つの共起ヒストグラムを比較するため、正規化処理(式(3))を行い、共起ヒストグラムにおける各頻度値をその総和で除して、発生確率として表現した。 $Ph_2(p, q)$ は各頻度値0から1で表す正規化後の共起ヒストグラムである。

$$Ph_2(p, q) = \frac{\sum_{p=0}^{255} \sum_{q=0}^{255} h_2(p, q)}{\sum_{p=0}^{255} \sum_{q=0}^{255} h_2(p, q)} \quad (3)$$

これら2つの共起ヒストグラムの違いを効率よく表すため、共起ヒストグラムを1次元のデータ列と見なし、相関係数(式(4))を算出する。 $\sigma_p, \sigma_q$ はブロック内部における共起ヒストグラム、ブロック境界における共起ヒストグラムの標準偏差であり、 $\sigma_{pq}^2$ はブロック内部における共起ヒストグラムとブロック境界における共起ヒストグラムの共分散である。

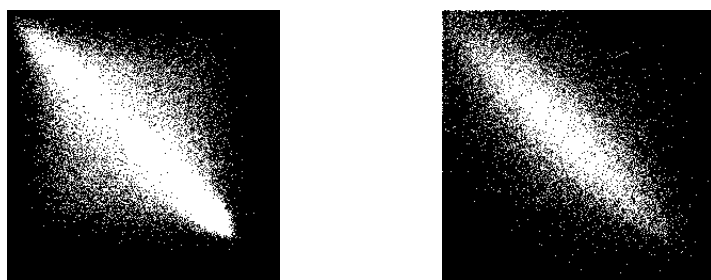
$$d = \sigma_{pq}^2 / (\sigma_p \cdot \sigma_q) \quad (4)$$

$d$ は0から1までの数値で表され、2つの共起ヒストグラムの類似性が高いほど値が0に近づき、画像中に含まれるブロックノイズが少ないことを示す。



(a) 低圧縮(高画質) (b) 高圧縮(低画質)

図6 ブロック境界における共起ヒストグラム



(a) 低圧縮(高画質) (b) 高圧縮(低画質)

図7 ブロック内部における共起ヒストグラム

## 5. 比較実験

### 5.1 実験に用いた画像

比較実験に用いる29種類の原画像を図8に示す。これらの原画像から異なる圧縮率でJPEG圧縮を施した画像を計233枚生成して、それぞれから提案手法と従来手法の双方を算出する(LIVE Laboratory<sup>16)</sup>。

### 5.2 従来手法との比較実験

我々が提案した指標  $d$  が従来手法の処理速度の問題点を改善していることを証明するため、Wang らが提案した FFT を用いた手法<sup>9)</sup>とで速度的比較実験を行った。実験には図8に示した画像29枚それぞれから500回の算出処理を繰り返させ、計14500

回の算出処理を行った。その平均値を表2に示す。この表より、提案指標  $d$  が従来手法の約1/2倍の処理時間で計算できることが確認できた。

## 6. まとめ

JPEG 圧縮による影響が異なる2つの領域における空間周波数の分布構造の変化に着目した画質評価指標を提案した。比較実験の結果、周波数構造を調べる場合において、FFTではなく共起ヒストグラムを用いたことにより、従来手法の約1/2倍の処理時間で計算できることが確認できた。今後は、共起ヒストグラムの多次元化すなわち、パターン内の画素数の増加手法や、それによって得られる情報をさらに活用して、より精密にブロックノイズ量を検出する指標を開発する予定である。

## 参考文献

- 1) 宮原誠, 小谷孔, 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), J73-B-I, 3, pp.208-218(1990)
- 2) Zou Wang, Alan C. Bovik, Hamid R. Sheikh, Eero P. Simoncelli : Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.13, No.4, pp.600-612(April.2004)
- 3) 松本修一, 川田亮一: 4-1 客観評価法の種類と特徴, 映像情報メディア学会誌, Vol.53, No.9, pp.1199-1205(1999)
- 4) 川田亮一, 小池淳: 映像品質の客観評価技術の標準化動向, 電子情報通信学会誌, Vol.87, No.10, pp.867-873(2004)
- 5) 堀田裕弘, 川除佳和, 本田和博, 村井忠邦: ブロックノイズ軽減アルゴリズムを利用したNR画質評価モデル, 2003年原電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.322 pp.13-18 (2000)
- 6) H. R. Wu and M. Yuen : "A Generalized Block-Edge Impairment Metric for Video Coding", IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, Vol.4, No.11, pp.317-320(Nove.1997)
- 7) Hantao Liu and Ingrid Heynderickx : A Simplified Human Vision Model Applied to a Blocking Artifact Metric, Proc. CAIP, LNCS 4673, pp.334-341(2007)
- 8) Hantao Liu and Ingrid Heynderickx : A No-Reference Perceptual Blockiness Metric, ICASSP-2008, IMDSP-P1, pp.865-868(2008)
- 9) Zou Wang, Hamid R. Sheikh and Alan C. Bovik : No-Reference Perceptual Quality Assessment of JPEG Compressed Image, IEEE ICIP-2002, Vol.1, pp.477-480(Sept.2002)
- 10) Zou Wang, Alan C. Bovik and Brian L. Evans : Blind Measurement of Blocking Artifacts in Images, IEEE ICIP-2000, Vol.3, p.981-984 (Sept.2000).
- 11) 堀田裕弘, 荒田真司, 本田和博, 村井忠邦, 高松衛, 中嶋芳雄: 画質差を伴ったステレオ静止画像の画質評価モデルの検討, 映像情報メディア学会誌, Vol.58, No.12, pp.1795-1799 (2004)
- 12) G. K. Wallace, : "The JPEG Still Picture Compression Standard", IEEE Transactions on Consumer

Electronics, Vol.38, No.1, pp.18-34(Febr.1992)

13) 山足和彦, 藤原孝幸, 興水大和: 共起度数画像の提案, 2007年電気学会論文誌C, Vol.127, No.4 pp.528-536 (2007).

14) 橋本学, 奥田晴久, 鷺見和彦, 画像の濃度共起情報に基づく画像照合のための参照画素選択手法, 情報処理学会コンピュータビジョン・イメージメディア研究会 (CVIM), Vol.2009-CVIM-169

No.43, pp.1-8, (2009/11/27)

15) 林純一郎, 伊賀哲平, 秦清治: 共起ヒストグラムを用いた欠陥画像分類のための周期性評価, 電気学会情報処理・産業システム情報化合同研究会, IP-08-6 IIS-08-6, pp.33-38, (2008)

16) LIVE: <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>

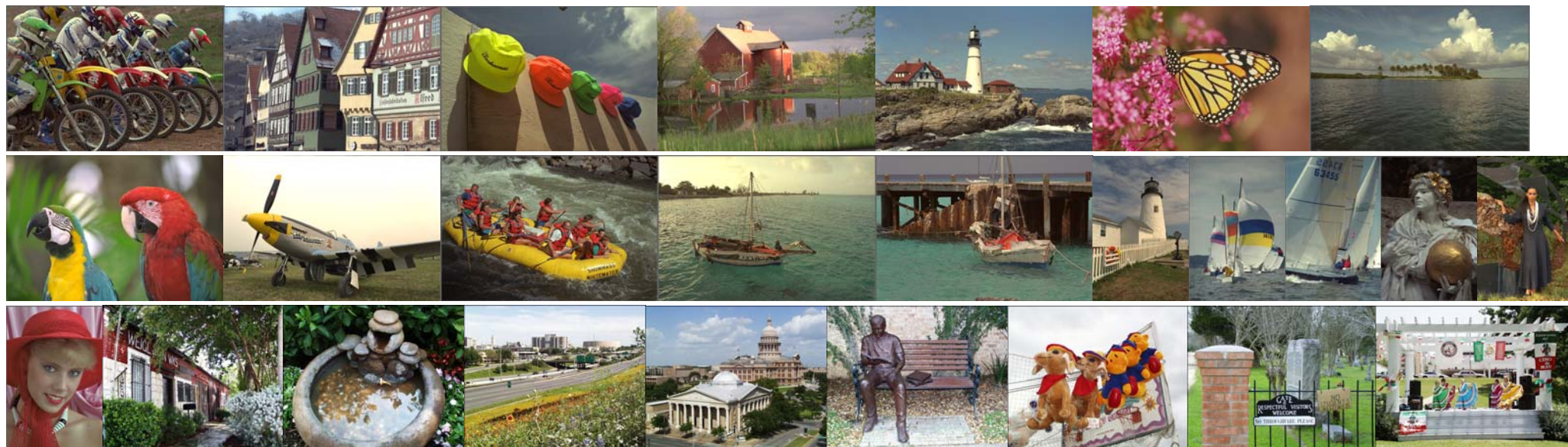


図 8. 従来手法との比較実験に用いる画像(LIVE LABOLATRY)

表 2 提案手法と従来手法の速度的比較実験

	生成速度(ms)
提案手法 $d$ 0.0935	4
従来手法 Wang 0.0503	2