

I-059

# 絵画調画像のブラシストローク操作による情報埋め込み

## Data embedding with brush strokes of pictorial style images

三宅 哲平 †      栗山 繁 †  
 Teppei Miyake   Shigeru Kuriyama

### 1 はじめに

近年、紙媒体に印刷された自然画像などを撮影することで情報を取り出す手法が開発されている。これらの手法は、自然画像に情報を埋め込むため、QRコードの様に人間にとって意味のないデザインで印刷物の見栄えを損ねない。商用化されている手法として、背景画像の周波数領域へ埋め込むパワ写 WARP[1] や、人間の視覚と画像入力装置の色識別能力に基づく FPcode[2] などが挙げられ、共に人間の視覚特性を利用して情報を埋め込む。しかし、これらの手法を人工的な画像に適用すると不自然なノイズが発生すると考えられる。

本研究では、ブラシストロークを用いた絵画調画像の生成手法 [3] で描かれた画像に適した、情報埋め込み技術を提案する。本手法は、ビットパターンに対応した角度のストロークを絵画調画像上に配置することで情報を埋め込む。以後、埋め込む情報によって意図的に描かれるこのストロークを情報ストロークと呼ぶ。その際、人間の識別感度が低い黄色成分を操作することで、画像の劣化を最小限に抑える。また、検証実験として印刷、撮影の過程を経た画像から情報を取り出し、実用上に十分なアナログ耐性を持つことを確認した。

### 2 情報埋め込み方法

本手法では、まず元画像として埋め込みに適した絵画調画像を生成する。埋め込みに適した画像には、配置された情報ストロークが絵画調画像の一部として隠蔽されることが望まれる。高度な絵画調画像の生成手法 [4] で用いられる、元画像の特徴によって適応的にストロークサイズや方向を決定する手法を用いた場合、ストロークは一定の規則に基づいて描かれる。しかし、情報ストロークの角度は埋め込み情報に基づいて決定されるため、元画像の上に不自然に描かれる。そのため、提案手法では絵画調画像を生成するストロークと情報ストロークは共に変形を行わず、ストローク角度はランダムに決

定する。

次に、絵画調画像を格子状に領域分割し、各領域に 2 bit の情報を割り振り、各格子領域に割り当てられたビットパターンにしたがって  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$  のストローク角度のうち 1 つを選択し、格子領域の中央に配置する。このとき、情報ストロークの角度をエッジ方向により判別するため、ストロークの形状は直線と円弧で描かれた単純なものとし、色はその形状領域内の画素の平均により決定する。さらに、外縁部と内部の色に変化をつけることでエッジを生成し、情報ストロークの検出を容易にする。その際、人間の目は黄色階調の強度変化に対し鈍感であるという性質 [2] を利用して、人間には知覚され難いエッジを生成する。このとき、黄色階調の変化は補色である青色の階調変化に等しく、図 1 に示すような色の差が生じる。ただし、説明のため図 1 において青色と黄色で描いている箇所は、実際には情報ストロークを描く領域の平均色に青色成分を減算、または加算した色に置き換えられる。加減算の量は、生成したエッジがデジタルカメラの色解像度で十分に認識可能な範囲に設定する。

### 3 検出方法

埋め込み情報の検出は、撮影画像から切り出した埋め込み画像を格子領域に分割し、情報ストロークのエッジを検出することで角度を取得する。

情報ストロークのエッジは、RGB 色空間の青色成分を対象とし、Laplacian of Gaussian フィルタとゼロ交差法を用いて強度変化が生じている箇所から検出する。次に、エッジ画像を格子領域に分割し Hough 変換を施すことで直線を検出し、得られた直線の長さ、角度、領域の中心からの距離を考慮して情報ストロークのエッジを推定する。すなわち、一定以上の長さとし、情報ストロークとして割り当てられた角度を持つ直線の中から、各格子領域中心からの距離が最小の直線を選択する。このとき、分割すべき格子領域の数は事前知識として既知であるとする。

選択された直線の角度に対応したビット列を、その領域に割り当てられた情報として抽出し、各領域毎に同様の処理を行う事で画像に埋め込まれた情報を検出する。

### 4 検証実験

検証実験として絵画調情報埋め込み画像を生成し、画像をカラープリンタで印刷したものをカメラで撮影した画像から埋め込み情報を検出した。

実験に用いた埋め込み画像は  $30 \times 20$  個の情報ストロークを配置することで 150 バイトの情報を埋め込み、解像度  $4800 \times 1200$  のインクジェットプリンタ (Canon PIXUS 550i) で A4 用紙 (スーパーファイン紙) に葉書

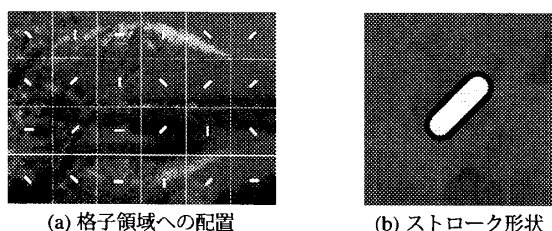
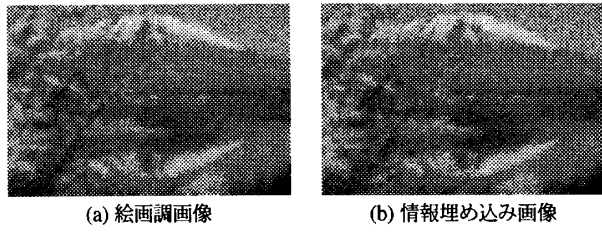


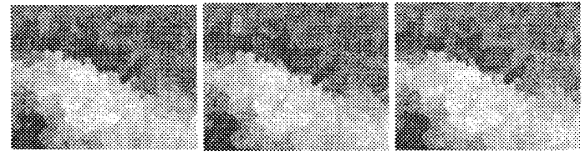
図 1 提案手法の概略図

† 豊橋技術科学大学, 情報工学系



(a) 絵画調画像 (b) 情報埋め込み画像

図2 情報埋め込み前後の画像の比較



(a) 変位量大 (b) 変位量中 (c) 変位量小

図3 変位量による画質の変化

サイズである  $148 \times 100$  [mm] に印刷した。撮影にはデジタルカメラ (Canon PowerShot G5) を用い、カメラ画像間の距離を約 40[cm] に設定し撮影した。撮影時の光源は蛍光灯を使用した。なお、本実験の計算機環境は CPU Pentium4 3.06GHz, メモリ 1024MB であり、C++ で記述したプログラムで生成に約 6.5[sec], 検出に約 16.5[sec] の時間を要した。

図2にストロークを用いて生成した絵画調画像と、その画像に提案手法で情報を埋め込んだ画像の例を示す。両者を比較すると、情報ストロークが背景の絵画調画像の一部として溶け込んでいる。しかし、高いロバスト性を持つ埋め込み画像を生成するため、青色成分に加減算する変位量を大きくすることが考えられるが、その副作用として情報ストロークが目立つことになる。図3に示す画像は変位量による画像の劣化度合いを比較した画像であるが、これらの図より変位量を大きく設定した場合は情報ストロークの存在がはっきり確認できるのに対し、変位量を小さくすることで人間の目では知覚しにくくなる事が見て取れる。このように、十分な検出精度を保障する最小限の変位量を事前に求めておくことが望ましい。そこで、撮影画像の解像度及び情報ストロークの変位量を変化させ、埋め込み情報量に対して誤りが生じた情報の割合を比較し、検出精度に対する変位量と解像度の影響について検証した。

図2(b)に示す画像の変位量を変化させ、3段階の撮影解像度での誤り検出率を表1に示す。この結果より、一定以下の誤り率を保障するための最小限の変位量は撮影解像度によって変化し、低解像度の条件では変位量を高めに設定する必要があることが判明した。誤りが生じた際にデータを訂正するためにRS符号などの冗長符号を用いる場合、1シンボル4bitの単独誤り訂正符号を用いると6.6%までの誤り率を許容でき、変位量15の場合は  $1600 \times 1200$ , 変位量20の場合は  $2272 \times 1702$  の解像度で撮影すれば実用上に十分な検出率であるといえる。

画像への情報埋め込み手法の性能評価として既存手法との埋め込み容量を比較する。比較対象は自然画像への

表2 FPcode[2] とのペイロード比較

埋め込み手法	埋め込み情報量	埋め込み容量
提案手法	1200[bit]	8[bit/cm <sup>2</sup> ]
FPcode	48[bit]	4[bit/cm <sup>2</sup> ]

情報埋め込み手法であるFPcode [2] とし、商品化されている容量を基準とした。また、本手法の埋め込み容量は情報ストロークの密度により変化するが、本稿の検証実験で示した  $148 \times 100$  [mm] に 150 バイトを埋め込む場合と比較する。その結果、表2に示すように本手法は従来手法と比較してより多くの情報を埋め込める

## 5 まとめ

本稿では、ブラシストロークを用いて描かれた絵画調画像に適した情報埋め込み手法を提案した。本手法は、ストロークの角度にビット列を対応させて情報を埋め込み、人間の識別感度が低い黄色階調度を操作することで、埋め込みによる劣化が知覚されにくい情報埋め込み画像を生成した。また、変位量と解像度による誤り率への影響を実験的に調査し、誤り訂正符号を用いた場合、実用上に十分な検出率であることを検証した。

本手法の問題点として、誤り率を低くするためには高解像度での撮影と情報ストロークに多大な色操作を施す必要があること、情報検出に計算コストが掛かる Hough 変換を用いているため、検出に時間が掛かるということが挙げられる。これらの問題の解決が今後の課題である。

## 参考文献

- [1] T.Nakamura et al., "Improved Digital Watermark Robustness against Translation and/or Cropping Of an Image Area", IEICE Trans. Fundamentals, E83-A(1), pp.68-76, 2000
- [2] "富士通ジャーナル 2005年6月号 Newテクノロジー(1)", <http://jp.fujitsu.com/about/journal/281/newtechnology/>
- [3] P.Haerberli, "Paint By Numbers: Abstract Image Representations.", Computer Graphics, 24(4), pp207-214(1990)
- [4] A.Hertzmann, "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes.", SIGGRAPH98 Conference proceedings, Annual Conference Series, pp453-460, (1998).

表1 誤り率 [%]

解像度 [pixel]	変位量		
	20	15	10
$2272 \times 1702$	0.0	0.8	2.5
$1600 \times 1200$	0.2	1.2	7.2
$1024 \times 768$	2.5	8.7	13.3