I-075

複数の図形輪郭線の明度変化を用いた情報埋め込み

Data embedding by changing brightness on multiple shape contours

井上 透†　　栗山 繁†
Toru Inoue　　Shigeru Kuriyama

1. はじめに

携帯電話で撮影して情報を取得するビジュアルタグとして，2 次元バーコードの技術を用いた QR コード[1]が普及しているが，その幾何学パターンは，紙面などの外観を損なってしまうという欠点がある．そこで，デザイン性と情報量を両立させる手法として，QR コードの一部に画像を付加する手法[2,3]や画像中の色成分を用いて情報を埋め込む手法[4]等が提案されたが，どれも使用できる色や配置できる画像のサイズ，および位置などに制約がある．

我々はこれらの問題を解決するために，図 1 のような図形輪郭線の明度変化を用いた情報埋め込みの手法[5]を提案した．しかし，この手法では開始セグメントが目立つ，先鋭な箇所を持つ画像では情報を検出できない等の問題があった．そこで，本研究ではこれらの問題点を解決しながら，複数の輪郭線への情報埋め込みを実現する手法を提案する．

2. 提案手法

先行研究[5]では，単一の領域で構成される画像にのみ情報を埋め込むことを想定していたが，本研究では，一つの情報を分割して，複数の領域を持つ画像に対して各領域の輪郭に情報を埋め込む手法を提案する．ただし，ここでの領域とは輪郭で囲まれた閉じた図形のことであり，情報とは 2 値データのことを表す．

情報を分割して埋め込む場合，読み取り時にはどのような順番で埋め込まれたかを知る必要がある．そこで本研究では，各領域の重心と開始セグメントの位置を結ぶベクトルが，次に読み取るべき領域を示すようにし，複数の画像領域の順番を指定する．

3. 複数領域への情報埋め込み

まず最初に，対象とする画像からエッジを抽出し，領域とその重心を取得する．次に，情報を埋め込む順序を決定するために，以下に示す E を最小とする順路を使用する．

$$E = \sum_{i=1}^{N-2} (180 - \theta_i) \qquad (1)$$

ここで，N は領域の数，θ_i は線分 C_iC_{i+1} と線分 $C_{i+1}C_{i+2}$ のなす角である(図 2)．

埋め込む順序を決定した後，情報を分割して青色成分の波形パターンを生成する．これは，図 3 のように，青色成分が極端に変化している点を境界として領域の輪郭をセグメント分けし，それぞれにビットを割り当てる．このとき，セグメント内で青色成分の変化が生じている場合を 1，そうでない場合を 0 と対応付ける．また，読み取りの開始点として，長さを他の倍にした開始セグメントを先頭に付加する．ただし，波形パターンに 0 のビットが偶数個ある場合，先頭と末尾の境界が繋がってしまうため，0 のビットが奇数個になるように余分なビットを付加して，最終セグメントの青色成分を調節する．

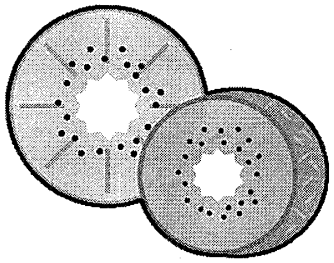


図 1　埋め込み画像例

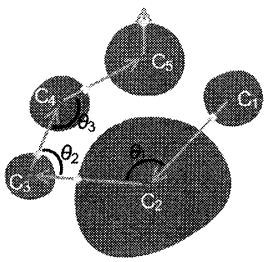


図 2　重心を結ぶ線分のなす角

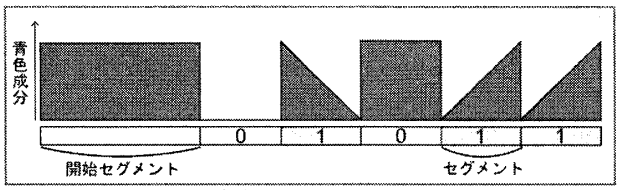


図 3　青色成分の波形パターン例

また，輪郭に先鋭な箇所が存在すると，輪郭線上の画素を抽出するための法線の間隔が広がってしまい，輪郭線に対する抽出画素数が減少し，取得される波形が大きく歪んでしまう．従って，情報を埋め込む前に輪郭の鋭さを計算し，抽出画素数が減少する可能性のある箇所については，波形パターンの当該箇所のセグメント長を引き伸ばして抽出画素数を確保する．

最後に，生成した波形パターンに従って青色成分を変化させながら，各領域の輪郭を塗って情報を埋め込む．このとき，開始セグメントの位置を，各領域の重心を結ぶ直線と輪郭との交点に合わせて埋め込む．

4. 埋込画像からの情報検出

埋込画像から情報を検出するには，まず，情報が埋め込まれた画像からエッジを抽出し，領域の輪郭と重心を取得する．次に，輪郭の各点から法線方向に内側に伸ばした画素抽出点から輪郭線の色を読み取り，青色成分の波形を取得する．そして，得られた波形の青色成分の変化が顕著な点をセグメント境界として推定し，埋め込まれたビットを読み取る．

† 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 情報・知能工学専攻

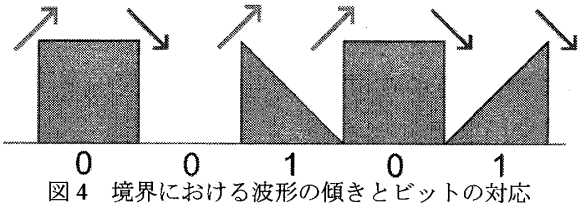


図 4　境界における波形の傾きとビットの対応

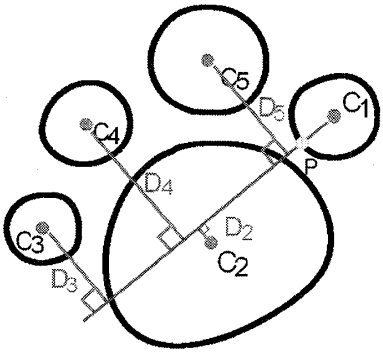


図 5　半直線 CP と重心の関係

セグメントに埋め込まれたビットを取得するには，境界における波形の変化を調べる．セグメント内で青色成分の変化が生じている場合，すなわち，前後の境界における波形の傾きの正負が一致する場合を 1，異なる場合を 0 と判断する(図 4).

各領域から情報を検出した後に，情報を結合する順番を取得する．まず，図 5 のように，領域の重心 C と開始セグメントの開始位置 P を結ぶ半直線 CP を考え，その他の領域の重心からこの半直線に下ろした垂線の長さ D を求める．そして，D が閾値以下で，かつ最も短い領域を次の領域として決定する．ただし，閾値を下回る領域が一つも無い場合は，最後の領域であると判断する．

最後に，各領域から取得した情報をこの順番に従って結合し，画像に埋め込まれた情報を取得する．

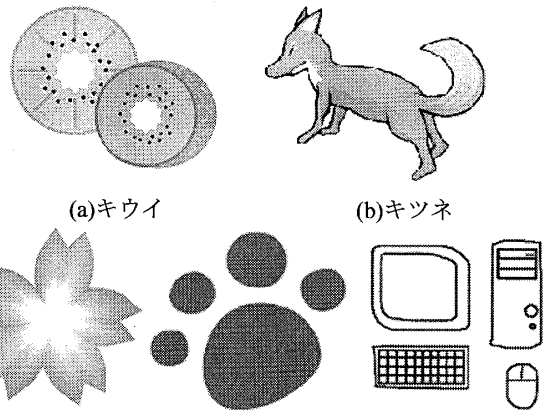
5. 読み取り精度の検証実験

5.1 輪郭形状と青色成分の変化量の影響

図 6(a)~(e)に対して，青色成分を 128，96 として 4 バイトの情報を埋め込んだ画像をカラー印刷し，携帯電話に搭載された 200 万画素のカメラを用いて撮影した画像を 640×480 の解像度にダウンサンプリングしたものに対して，先行研究(表 1)と提案手法(表 2)における検出精度を調査した．それぞれ 10 枚ずつ撮影したうちでの境界判定の誤り率と，境界推定に成功した撮影例でのビットの最大誤り，平均誤りを表 1,2 に示す．

表 1　先行研究における実験結果

画像種	キウイ		キツネ		サクラ	
青色成分	128	96	128	96	128	96
境界誤り率[%]	20	50	60	80	100	100
最大誤り[bit]	2	10	2	3		
平均誤り[bit]	1.13	7.6	0.5	2		


(a)キウイ　(b)キツネ

(c)サクラ　(d)足跡　(e)パソコン

図 6　実験に使用した画像群

表 2　提案手法における実験結果

画像種	キウイ		キツネ		サクラ	
青色成分	128	96	128	96	128	96
境界誤り率[%]	0	10	0	10	0	60
最大誤り[bit]	0	0	0	0	2	2
平均誤り[bit]	0	0	0	0	0.2	1.5

表 1,2 より，先行研究に比べて精度が向上していることがわかる．また，輪郭に先鋭な箇所を持つサクラ画像においては，先行研究ではまったく検出できなかったが，提案手法では検出が可能になったことが確認できる．

5.2 複数領域における検出実験

新たに提案した複数領域への埋め込みが有効であるかどうか，実際に複数の領域を持つ画像に対して情報を埋め込み，検出実験を行った結果を表 3 に示す．

表 3　複数領域における実験結果

画像種	足跡		パソコン	
青色成分	128	96	128	96
境界誤り率[%]	20	30	20	50
最大誤り[bit]	2	2	0	10
平均誤り[bit]	0.25	1.5	0	4.40

表 3 より，複数領域の場合においても少ない誤りで情報検出できるが，単一領域の場合よりも精度が若干低下していることが確認できる．この原因としては，領域の輪郭長が短くなったことによる輪郭形状の複雑化や，カメラの補正が影響しているものと考えられる．

参考文献

[1] Denso Wave, "二次元コードシンボル", 1999.
[2] IT DeSign, "Design QR", 2005. http://d-qr.net/
[3] Netflowers, "Picture QR", 2007. http://pictureqr.net owers.jp/
[4] Microsoft, "Microsoft tag", 2008. http://www.microsoft.com/tag/
[5] 三宅哲平，栗山繁，"図形輪郭線の明度変化を用いた情報埋め込み"，電子情報通信学会誌，2010.