

遺伝的アルゴリズムによる低解像度QRコード画像の復元 Restoration of The Low Resolution QR-Code Image by Genetic Algorithms

古屋 保[†] 森 邦彦[†]
Tamotsu Furuya Kunihiko Mori

1. はじめに

QRコードは、1994年にデンソーの開発部門（現在のデンソーウェーブ）が開発し、同社の登録商標であり、今や世界中で利用されている二次元コード方式の一つである[1]。QRコード自身は、エラー訂正機能を持っているが、幾度もコピーを繰り返すことで劣化したり、低解像度撮像素子での撮影、あるいは撮影までの距離が離れている場合、低解像度となりぼけてしまったQRコードは、一般的に認識が困難である。

従来研究として、低解像度の画像から超解像度処理を施し、QRコードの認識を行う手法が幾つか提案されている。それらの中でも、加藤ら[2]の手法は、複数フレーム間処理による超解像処理を利用したもので、ML法によるレジストレーションと、QRコードの性質に基づき重み付けを行った超解像処理を実装し、低解像度（50²ピクセル）において最大98%の認識率を得ており、有効な手法であるが、入力情報が動画画像であるため、単一画像からの復元よりもコストが高く、撮像機器に依存してしまう。

本論文では、与えられた単一の低解像度QRコード画像から、認識可能な高解像度QRコードの復元に際し、遺伝的アルゴリズム（GA）を利用した手法を提案する。本手法による復元処理は、条件としてQRコードのバージョン番号を既知とし、オリジナルのQRコード画像を約1/4に縮小し、低解像度化したものを入力画像とした場合、個体数600個以上で95%（19/20）、個体数800個以上で100%（20/20）の認識率を得ることができている。

2. GAによる低階像度QRコード画像の復元手法

本論文では、類推するQRコードがオリジナルと同一のセル配置でなくても、QRコードリーダーにてデータを認識できる程度に復元できれば良いと考える。即ち完全な解を目指すのではなく、QRコード自身が持つエラー訂正能力範囲内に収まる最適な解を見つけることを目標と

する。我々はその最適なQRコードの類推にGA[3]の手法の適用を試みた。

GAにおける個体（染色体）表現として、この問題の解である推定復元QRコード画像 h_c ($M \times M$ ピクセル)を個体とし、個体を形成する染色体の構造は、1画素 $h_c(i, j)$ 分のセル情報を1遺伝子としたランダムな $N \times N$ の二次元配列で表現し、最終的にはこれが推定セルパターンとなる。さらにこの個体を P 個分集めたものを個体集合と考える。

$N \times N$ の推定セルパターンのうち、マーカーシンボルとタイミングパターン、それと余白部分は固定値とし、それ以外のセルをランダムに決定後、セルに固定の倍率（本論文では3倍とする）を掛け合わせ、適当な大きさに加工し推定QRコード画像 h_c を生成する。

画像 h_c に低解像処理を施した画像 l_c と、入力劣化QRコード画像 g との平均二乗誤差（RMSE）を算出し、その誤差値 E を評価値とする。

画像 h_c にガウシアンフィルタ（カーネル K ）を適用した画像を m_c とし、画像 l_c はその画像 m_c をダウンサンプリング（縮小処理）したものとすると、誤差値 E は次式で表される。

$$E = \sqrt{\frac{1}{M^2} \sum_{(i,j) \in l_c(i,j)} \left(g(i,j) - l_c(i,j) \right)^2}, \quad (1)$$

$$l_c(i,j) = \downarrow m_c(k,l),$$

$$m_c(k,l) = K * h_c(k,l)$$

ここで、ガウシアンフィルタのカーネル K は、カーネルサイズ 7×7 で $\sigma = 1.5$ とし、画像縮小処理は一般的な面積平均法を用いた。

この誤差値 E をその個体の適応度として評価することになるが、 E は誤差値であるため、今回の場合、 E の値が低い程適応度の高い個体として評価することになる。

それぞれの個体に適応度が決定された後は、その適応度をもとに選択交配処理を行う。

選択処理については、トーナメント戦略を適用し、交叉処理については一様交叉、突然変異については、個体内の任意の1セルの白黒を反転する方法を採用している。

[†] 鹿児島大学 学術情報基盤センター 学術情報処理研究部門

3. 実験結果

今回対象とする QR コードを図 1(a) に示す。
本 QR コードは、表 1 に示すパラメータで生成した。

表 1 QR コード作成パラメータ

項目	値
作成する大きさ	(推奨の) 3 倍
エラー訂正レベル	レベル M (復元能力約 15%)
バージョン番号	2 (25×25 セル)
作成文字列	「Kagoshima University」
出力画像サイズ	99×99 ピクセル

そして、生成した QR コード (図 1(a)) を、画像加工ツール GIMP[4] にて、ガウシアンぼかし及び画像縮小機能により擬似的に低解像度化を行った。低解像度 QR コード画像を図 1(b) に示す。

GA 処理については、各世代において選択処理後、すべての個体に対し交叉及び突然変異を適用させた。各世代において全個体の適応度の平均値が、30 世代の間改善しない場合を GA の終了条件とし、個体数 100~900 個まで 100 個単位で増やし、それぞれ 20 回ずつ実験を行った。QR コードの認識には、スマートフォンアプリの「QR コードスキャナー」[5]を使用した。

個体数 800 個での復元結果を図 1(c) に示す。この復元により得られた QR コードは認識可能である。

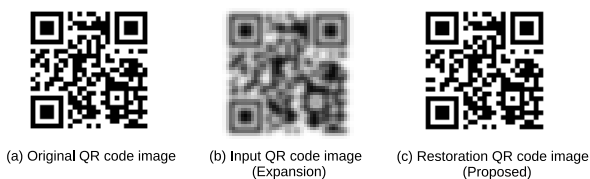


図 1 実験に使用した QR コード画像と復元結果 (a. 原画像, b. 入力低解像度 QR コード画像 (拡大), c. 提案手法による復元結果)

次に、個体数ごとの認識率について図 2 に示す。個体数 100 では認識率 10% に満たないが、個体数が増加するに従って認識率が高くなっているのがわかる。個体数 600~700 個で 95%(19/20)、個体数 800 個以上で 100%(20/20) の認識率を得ることができた。

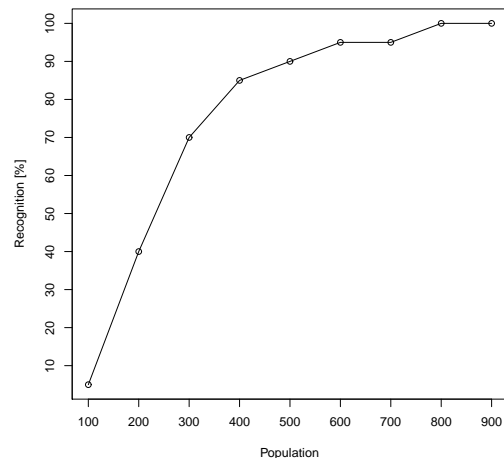


図 2 個体数ごとの認識率

4. おわりに

本手法は、オリジナルの QR コードが未知であっても、認識可能な QR コードに復元することができ、その認識率は個体数 800 個以上にて 100% である。

しかし、9 割以上認識可能な QR コード復元には、個体数 500 個以上必要な上、処理に時間がかかってしまう。

最適解検索の収束を速めるようにするために、明らかに QR コードとして不適なパターンは個体候補から除外するようにし、また、QR コードのあらゆるバージョンにも対応できるようにすることが本手法における今後の課題である。

参考文献

- [1] 株式会社デンソーウェーブ. QR コードドットコム. <http://www.qrcode.com/>.
- [2] 加藤祐二, 出口大輔, 高橋友和, 井出一朗, 村瀬洋. 2 値パターン拘束と超解像を組み合わせた低解像度 QR コード認識. 信学技報, Vol. 110, No. 187, pp. 63-68, 9 2010.
- [3] D. E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search*. Addison-Wesley, 1989.
- [4] The GIMP Development Team. GIMP - The GNU Image Manipulation Program. <http://www.gimp.org/>.
- [5] ZXing Team. Android/Barcode Scanner. <https://github.com/zxing/zxing/wiki/Frequently-Asked-Questions>.