

最適化アルゴリズムを用いたアニメーションQRコードの作成

小野 智司[†] 森永 健介[†] 中山 茂[†]

[†] 鹿児島大学 工学部 情報工学科

要旨

本論文は、2次元バーコードの一種であるQRコードの視覚的誘引性および一目瞭然性を高めることを目的として、QRコードにイラストや写真を上書きする方式を提案する。提案する方式は、イラストの配置決定を最適化問題として定式化し、汎用の最適化アルゴリズムを用いることで、QRコードに埋め込まれたデータを損なうことなく、イラスト等をQRコード上に配置することができる。本論文で提案する方式を用いて、実際にイラスト入り静止画および動画QRコードを生成できることを示す。

キーワード

イラスト入りQRコード, アニメーションQRコード, 2次元バーコード, 最適化, 遺伝的アルゴリズム

Animated QR Code Generation Using Optimization Algorithms

Satoshi Ono[†] Kensuke Morinaga[†] Shigeru Nakayama[†]

[†] Department of Information and Computer Science,
Faculty of Engineering, Kagoshima University

Abstract

This paper proposes a method for decorating QR code, a kind of 2-dimensional barcode, with some illustrations inside the code in order to enhance the attractiveness and look-and-feel of the QR code. The proposed system formulates the task of finding appropriate positions, scales, and angles of illustrations, and solves the task by using general-purpose optimization solvers. The proposed system can therefore merge illustrations into the code without detracting machine-readability and stored information. This paper has shown that the proposed method could decorate still and animated barcode images with illustrations inside the code.

Keywords

QR code with illustrations, 2-dimensional barcode, animated QR code, optimization, genetic algorithm

1 はじめに

バーコードは物流用途を中心に、様々な目的で利用されている。従来は1次元のバーコードが主に用いられていたが、近年、より情報量が多い2次元バーコードが広く用いられている。2次元バーコードの一種であるQR (Quick Response) コード*は、印刷媒体などから電子メールや Web ページのアドレスを手軽に取得できる、いわゆる「ショートカット」として近年の日本で広く利用されている。日本で販売されている多くの携帯電話は、カメラとQRコードデコーダを搭載しており、紙、看板に印刷されたQRコードや、テレビに表示されたQRコードを、携帯電話で走査することで、QRコードに埋め込まれた情報を容易に取得できる。

QRコードはURL、電子メールアドレス等のテキストや短い演奏データを埋め込むことができるものの、どのような情報が埋め込まれているかをQRコード単体から走査前に知ることはできない。また、QRコードの存在は、紙や看板の限られた貴重な領域を消費してしまう。さらに、QRコードの普及が進むにつれて珍しさが薄れており、QRコードを利用するだけでは注目を集めるのが難しくなっている。より多くの人の関心を集め、QRコードを介して情報を提供するためには、QRコードの視覚的誘引性を高めることが必要となる。

QRコードはエラー訂正符号を備えており、最大で30%のデータ欠損を復元することができる。このエラー訂正符号を利用し、ロゴ、画像やイラストをQRコードの領域内に配置することができる。イラストが上書きされたQRコードは、単体のQRコードよりも視覚的誘引性が高いことに加え、QRコードに埋め込まれた情報の種類を示すことも可能となる。

しかし、QRコード上にイラストを描画することは、携帯電話等のデコーダによる可読性を損ねる可能性がある。エラー訂正符号が適切に働き、埋め込まれた情報を破壊しないようにイラストを描画する位置やサイズを決定する作業は試行錯誤的に行わなければならない。大きなイラストや多数のイラストを描画することは困難である。

本論文では、埋め込まれた情報を損ねないようにQRコード上にイラストを配置する方式を提案する。提案する方式では、イラスト、ロゴ等のイメージをQRコード上に配置する問題を最適化問題として定式化し、汎用の解探索ソルバを用いて解を求めることで、埋め込まれた情報を損ねないようにイラストが配置されたQRコードを生成することができる。

本論文では、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を用いてイラスト入りQRコードの生成を行った。また、山登り法 (Hill Climbing: HC) を用

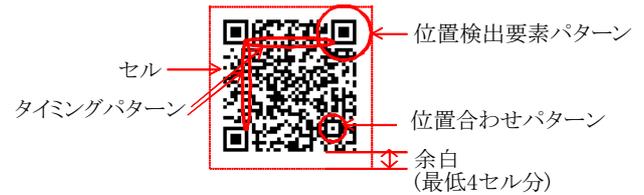


図 1: QR コード

いて、イラスト入りアニメーションQRコードを作成した。作成したイラスト入りQRコードが、実際の携帯電話でデコードが可能であることを確認した。また、複数のイラストを配置したQRコードを生成できることを確認した。

以下、2章ではQRコードの概要について述べ、3章では提案するイラスト入りQRコード生成方式について説明する。4章では、3章で述べた方式のアニメーションQRコードへの拡張について述べる。5章では、実際に作成したイラスト入りQRコードの例を示す。

2 QRコード

2次元バーコードの一種であるQRコードは、図1に示すように、位置検出パターンを四隅のうち3箇所に持ち、柵目状のデータパターンを含む。個々のデータパターンを表す最小の矩形をセルと呼び、QRコードの周囲には4セル分の余白が必要である。QRコードは数値、アルファベット、日本語など様々な情報を格納することができ、数字であれば最大7,089桁、英数字であれば最大4,296文字、漢字であれば最大1,817文字のデータを埋め込むことができる。

QRコードは、携帯電話の利用者が容易に個人や情報にアクセスできる手段を提供でき、WebページのURLやメールアドレスが埋め込まれたQRコードは、広告やパンフレット、看板、名刺など、様々な媒体で広く用いられている。カメラとQRコードリーダを搭載した携帯電話を用いて印刷されたQRコードを撮影することで、URLやメールアドレスの入力の手間を省くことができ、アナログ媒体からネットワーク上の媒体へのショートカットとしての利便性が高い[1]。QRコードを作成することは容易であり、一般のユーザであっても無償配布されている様々なソフトウェアやWebサービスを利用することで、独自の情報を埋め込んだQRコードを容易に作成することができる。

QRコードはリードソロモン符号[2]を用いることで、データの誤りを検出、訂正することができる。ハミング符号などと比較して、連続して発生する誤りを訂正できるなど、より高い誤り訂正能力を持つ。QRコードの

*QRコードは(株)デンソーウェーブの登録商標である。

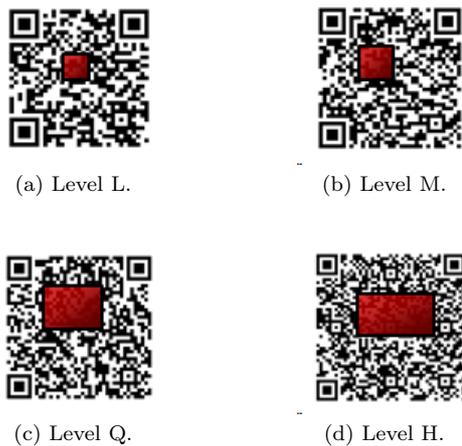


図 2: 誤り訂正レベル

誤り訂正能力はレベル L, M, Q, および H の 4 段階を設定することができ, それぞれ 7%, 15%, 25%, および 30% の損傷データを復元することができる. 一辺 21 セルのバージョン 1 から一辺 177 セルのバージョン 40 までの QR コードが設定されており, 埋め込むデータ量が増加すると高いバージョンの QR コードを用いる必要がある. また, 図 2 に示すように, 同じ量のデータを埋め込む場合でも, 誤り訂正レベルに応じてバージョンが高くなる.

イラストを埋め込んだ QR コードを生成する既存の方法は, デザインによって手動または半自動で行われている. IT DeSign 社が提供しているイラスト入り QR コードの生成サービス[†]は, 埋め込むイラストと最も類似する部分画像領域を QR コードから検索し, 発見した部分画像領域を埋め込むイラストと最も類似するように書き換える方法を用いている [3].

3 提案するイラスト入り QR コード作成方式

3.1 方針および特徴

提案するイラスト入り QR コード生成方式の方針を以下に示す.

- 1) イラストの配置位置決定を最適化問題として定式化する.

QR コードに埋め込まれたデータを損ねないようイラストを QR コード上に上書きするためには, 試行錯誤的にイラストの配置位置を決定する必要がある. このため, イラストの配置位置などを設計変数とし, デコード可能性とイラスト配置の品質を目的関数とする最適化問題として定式化する. これ

により, 山登り法 [4, 5] や焼き鈍し法 [6], 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) [7, 8, 9, 10] などの汎用の最適化ソルバを用いて解を求めることにより, 最適なイラスト挿入位置を求めることができる.

3.2 節および 3.5 節で後述する定式化および解候補の評価方法は最適化アルゴリズムに依存しないため, 本方式では様々な最適化アルゴリズムの利用が可能であるが, 本論文では以下の理由により GA を用いて静止画 QR コードの装飾を行う.

- 大域的な探索に適しており, 多様な解の発見が期待できる.
- 複数の解候補を出力できる.
- 最低限の局所解脱能力を備える.
- 目的関数の妥当性の評価, 解析を行いやすいよう, アルゴリズムの挙動が既知であることが望ましい.

- 2) 複数のソフトウェアデコーダを用いて, 解候補の評価を行う.

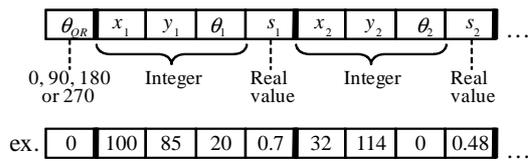
市販されている携帯電話が搭載している QR コードデコーダは公開されておらず, 本方式で同じ QR コードデコーダを用いることは困難である. このため, 本方式では, 複数のソフトウェア QR コードデコーダを併用することで, 生成したイラスト入り QR コードのデコード可能性を検証する. より多くのソフトウェアデコーダを用いることで, よりデコード可能性の高いイラスト入り QR コードを生成することができる.

なお, 提案する方式では, イラスト以外にも写真, 文字などの様々な画像を挿入することができる. 本論文では, 写真や文字などを含めて, QR コードに挿入する画像をイラストと呼ぶ.

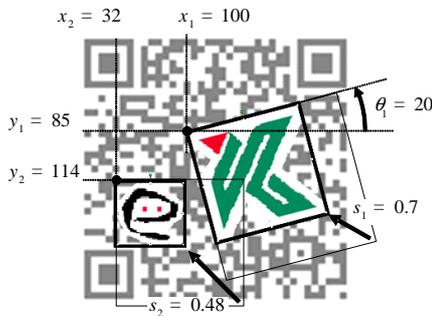
3.2 定式化

提案する方式では, QR コードへイラストを挿入する問題を, $(4 \times N_i + 1)$ 次元の設計変数を含む最適化問題へ定式化する. N_i は挿入するイラストの数を表し, イラスト毎に配置座標 x_i, y_i , 拡大縮小率 s_i , 配置角度 θ_i の 4 つの変数を用意する. また, QR コードの回転角度を変数 θ_{QR} として用意する. θ_{QR} は $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ または 270° のいずれかの値をとる変数であり, x_i, y_i, θ_i は $[-180, 180]$ の整数値, s_i は実数値とする. 図 3 に, 本問題における設計変数を示す. 遺伝的アルゴリズムを用いる場合は, 遺伝子コード (GTYPE) が図 3(a) に示す設計変数列に, 表現型 (PTYPE) [11] が図 3(b) に示すイラスト入り QR コードとなる.

[†]<http://d-qr.net/index.htm>



(a) 設計変数



(b) 設計変数に基づくイラスト配置

図 3: 最適化問題への定式化

```

1: begin
2:   make individuals  $C_i$  by random
3:   repeat
4:     generate decorated QR code images (PTYPE)
       from  $C_i$ 
5:     apply QR code decoders to the decorated QR
       code images and calculate  $P(C_i)$ 
6:     calculate  $Q(C_i)$  and fitness  $F(C_i)$ 
7:     select elites to preserve
8:     crossover by BLX- $\alpha$ 
9:     mutation
10:  until the stop condition is satisfied
11: end
    
```

図 4: イラスト入り静止画 QR コード生成方式の処理手順 (GA を用いた例)

3.3 処理手順

本論文で提案するイラスト入り QR コード生成方式は、QR コードおよび合成するイラストを入力とする。提案する方式は、解候補、すなわちイラスト入り QR コード案の生成と、ソフトウェアデコーダを用いた解候補の評価とを繰り返すことで、埋め込まれたデータを損ねないようにイラストを挿入することができる。解候補の生成と評価は、一般の最適化アルゴリズムを用いることで行える。本章で提案するイラスト入り静止画 QR コード生成方式では、実数表現の遺伝的アルゴリズム

(Real-Coded Genetic Algorithm: RCGA) [8, 9, 10] を用いる。これは、RCGA を利用することで多数のイラストを挿入する高次元な問題であっても実用的な準最適解の発見が期待できるためであり、また、RCGA は一般的なアルゴリズムであり挙動が容易に把握できるためである。

図 4 に、RCGA を用いた場合のイラスト入り静止画 QR コードの生成手順を示す。まず、 n 個の個体 C_i をランダムに生成する。次に、 C_i の GTYPE をもとに PTYPE の生成、すなわちイラスト入り QR コードの描画を行い、ソフトウェアデコーダを用いてデコードを試みる。イラストを挿入した QR コードの外観を評価し、デコード結果とあわせて、 C_i の適応度 $F(C_i)$ を算出する。得られた適応度をもとに、エリート保存、選択、交叉、突然変異などの遺伝的操作を行う。適応度が 1.0 の解を発見するか、あらかじめ定められた世代に達するまで、上記の解候補生成と評価を繰り返す。

3.4 交叉: BLX- α

提案する方式で用いる RCGA では、BLX- α (Blend crossover) [10] を用いて交叉を行い、新しい解候補を生成する。ランダムに選択された 2 個の親個体を $a_1 = (a_1^{(1)}, a_1^{(2)}, \dots)$, $a_2 = (a_2^{(1)}, a_2^{(2)}, \dots)$ とする。各設計変数 d 毎に、子個体 $c_1 = (c_1^{(1)}, c_1^{(2)}, \dots)$, $c_2 = (c_2^{(1)}, c_2^{(2)}, \dots)$ の設計変数値 $c_1^{(d)}, c_2^{(d)}$ を、 $[\min\{a_1^{(d)}, a_2^{(d)}\} - \alpha I, \max\{a_1^{(d)}, a_2^{(d)}\} + \alpha I]$ の範囲から一様分布に従う乱数を用いて決定する。ここで、 $I = |a_1^{(d)} - a_2^{(d)}|$ は設計変数 d における 2 個の親個体間の距離、 α はどの程度の親個体間外の区間を、子個体の生成範囲とするかを決定するパラメータである。

3.5 解候補の評価

提案する方式は、解候補 C の評価値 $F(C)$ を、デコード可能性 $P(C)$ およびイラスト配置の品質 $Q(C)$ の 2 つの観点から算出する。

$$F(C) = P(C) \times Q(C) \quad (1)$$

様々な種類の携帯電話でデコードを行えるよう、複数のソフトウェアデコーダを用いて解候補 C のデコード可能性 $P(C)$ を評価する。図 5 に示すように、複数のデコーダで C のデコードを試み、デコードの成功率および以下の式 (2) に従って $P(C)$ を算出する。

$$P(C) = \frac{\sum_k p_k(C) \times w_k^{(p)}}{\sum_k w_k^{(p)}} \quad (2)$$

$p_k(C)$ はデコーダ k のデコード結果により算出され、デコード k が C を正しくデコードできた場合は $p_k(C) = 1$ 、デコードに失敗した場合は、エラーの割合に応じて

$p_k(C)$ の値を 1 から減点する．デコードに失敗した場合に，デコーダ k がエラーの割合を出力することができない場合は $p_k(C) = 0$ とする． $w_k^{(p)}$ は各デコーダの重みを表すパラメータである．

本論文では，ソフトウェアデコーダとして，有限会社サイテックが販売する QR コードデコードライブラリ[‡]，およびオープンソース QR コードライブラリ[§] を用いる．サイテックのデコーダを利用する場合は，デコード失敗時の誤りの割合に関する情報を用いることはできない．オープンソースのデコーダを利用する場合は，デコード結果と埋め込んだ情報との間で一致する割合をビット単位で求め，デコード失敗時の誤りの割合とする．

イラスト配置の品質 $Q(C)$ は，以下の式 (3) を用いて計算する．

$$Q(C) = \prod_l q_l(C) w_l^{(q)} \quad (3)$$

本章で提案する方式はイラスト入り静止画 QR コードを作成するものであり， $Q(C)$ を計算するために，4 項目を評価する．各項目の評価値 $q_l(C)$ は 0 から 1 の間で正規化されており，重み $w_l^{(q)}$ によって重要度が調整される．

$q_1(C)$ は， C に含まれるイラスト同士の重なり具合をもとに計算される評価値であり，イラストが重なる場合は $q_1(C)$ の値が低下する．

$$q_1(C) = \max \left(1 - \sum_{i=1}^{N_I} \frac{S_i^O}{S_i}, 0 \right) \quad (4)$$

ここで， N_I は C に埋め込まれるイラストの総数， S_i はイラスト i の面積， S_i^O はイラスト i において他のイラストによって覆われる部分の面積を示す．

$q_2(C)$ は，QR コード外へのイラストのはみ出し具合をもとに計算される評価値であり，イラストが QR コード外へはみ出すほど $q_2(C)$ の値が低下する．

$$q_2(C) = \max \left(1 - \sum_{i=1}^{N_I} \frac{S_i^B}{S_i}, 0 \right) \quad (5)$$

ここで， S_i^B はイラスト i において QR コードの領域をはみ出している部分の面積を示す．

$q_3(C)$ は，イラストの総面積に基づく評価値であり，QR コードに対してイラストの占める割合が大きすぎる，または小さすぎる場合は $q_3(C)$ の値が低下する．

$$q_3(C) = \min \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_I} S_i}{R \times S_{QR}}, 1 \right) \quad (6)$$

[‡]QR コードデコードライブラリ (有限会社 サイテック)

<http://www.psytec.co.jp/product/03/>

[§]オープンソースの QR コードライブラリ開発プロジェクト

<http://qrcode.sourceforge.jp/>

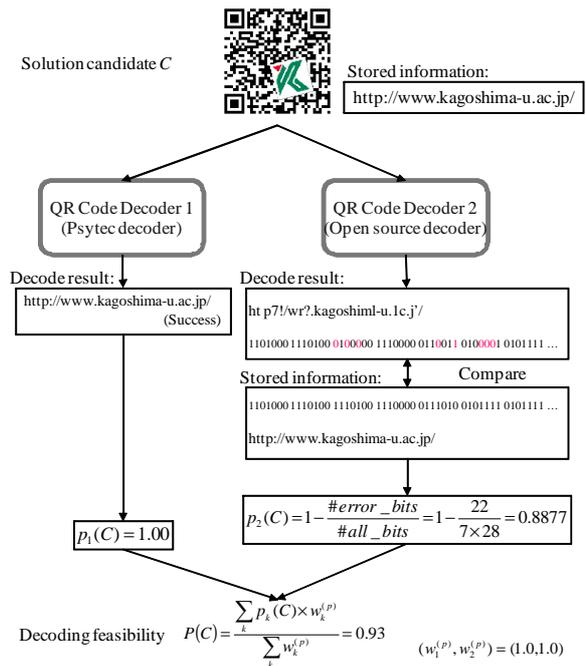


図 5: 複数のデコーダを用いたデコード可能性の評価

ここで， S_{QR} は QR コードの面積を示し， R はイラストの総面積と QR コードの比の目安となるパラメータである．

$q_4(C)$ はイラストの拡大縮小率のばらつきに基づく評価値であり，イラスト間の拡大縮小率に大きな差がある場合は $q_4(C)$ の値が低下する．

$$q_4(C) = \frac{\min_{i=1, \dots, N_I} s_i}{\max_{i=1, \dots, N_I} s_i} \quad (7)$$

ここで， $\max s_i$ および $\min s_i$ はそれぞれ，拡大縮小率の最大および最小の値を示す．

4 アニメーション QR コード生成方式への拡張

4.1 方針

3章で述べたイラスト入り静止画 QR コード生成法を拡張することで，イラスト入り動画 QR コードの生成が可能である．静止画 QR コードを生成する場合と異なる点は以下の 3 点である．

- 1) 挿入するイラストの位置を事前に指定する．各フレームにおけるイラストの位置は事前に指定されるものとする．指定された位置に単純にイラストを挿入すると QR コードに埋め込まれたデータを損ねてしまう場合は，デコードが可能であり，かつ，

指定された位置になるべく近づくようにイラストを配置する．

- 2) 複数枚のイラスト入り静止画 QR コードを生成し、連続して再生することで動画 QR コードを生成する．動画 QR コードの各フレームとなる静止画 QR コードは、1 フレームずつ個別に生成する．これにより、問題サイズの爆発的な増大を抑えることができる．
- 3) 最適化アルゴリズムとして山登り法 (Hill-Climbing: HC) を利用する．各フレームにおけるイラストの希望配置位置は事前に指定されており、最適化アルゴリズムは希望配置位置を中心として局所的に探索を行えばよい．このため、比較的単純な HC であっても十分な品質の準最適解を発見することができる．

4.2 処理手順

イラスト入り動画 QR コード生成方式の処理手順を図 6 に示す．与えられたイラストおよびそれらの希望配置位置をもとに、フレームごとにイラスト入り静止画 QR コードを作成する．なお、QR コードの方向 θ_{QR} はあらかじめ定められた値に固定する．

各フレームは、3 章で述べた方法により作成するが、RCGA ではなく HC を用いる点が異なる．HC は単点探索アルゴリズムであり、単一の解候補 C のみを保持する．各探索ステップにおいて、現在の解候補 C の近傍の解候補 C'_i を生成して最も評価値 $F(C'_i)$ が高い解候補 C'_h を選出し、 $F(C'_h) \geq F(C)$ の場合は C を C'_h で置き換える．

本論文で提案する方式では、以下の条件のいずれかを満たした場合に各フレームの探索を終了するものとした．

1. あらかじめ定められた探索ステップを繰り返した場合、探索を終了する．このとき、得られた最良解 C_b の評価値 $F(C_b)$ が 0.8 以下であった場合は、デコード可能性を維持しつつ指定された位置にイラストを挿入することは困難と判断し、デコード可能性を考慮せずに、指定された位置にイラストを挿入する．5 章の実行例では、100 ステップを上限として探索を打ち切るものとした．
2. 一定以上の探索ステップの間、評価値の改善が見られない場合は探索を終了する．5 章の実行例では、20 ステップを閾値として探索を打ち切るものとした．
3. 一定以上の評価値を得た場合、十分な品質の最適解を発見できたとして探索を終了するものとした．

```

1: begin
2:   for  $i = 0$  to the number of frames do
3:     initialize a solution candidate  $C$ 
4:     repeat
5:       select a variable of  $C$  to be changed by random
6:       make  $C'_i$  by changing a value of the chosen variable in  $C$ 
7:       generate a QR code image of  $C'_i$  involving illustrations
8:       apply QR code decoders to  $C'_i$  and calculate  $P(C'_i)$ 
9:       calculate  $Q(C'_i)$  and  $F(C'_i)$ 
10:      choose  $C'_h$  in  $C'_i$  whose  $F(C'_i)$  is the highest
11:      if  $F(C'_h) \geq F(C)$  then
12:         $C \leftarrow C'_h$ 
13:      end if
14:    until the stop condition is satisfied
15:    let  $C$  be the  $i$ th frame
16:  end for
17: end
    
```

図 6: イラスト入り動画 QR コード生成方式の処理手順 (HC を用いた例)

5 章の実行例では、評価値 0.95 を閾値として探索を打ち切るものとした．

4.3 解候補の評価

イラスト入り動画 QR コード生成において、各フレームの評価は式 (1) を用いて行うことができるものの、ユーザが指定した位置に近づくようにイラストを配置することを優先するため、式 (4) から式 (7) の 4 つの関数のかわりに、以下の式 (8)、(9) および (10) を用いる．

$$q_5(C) = \max \left(1 - \sum_i \frac{((x_i - \bar{x}_i)^2 + (y_i - \bar{y}_i)^2)^{\frac{1}{2}}}{(S_{QR})^{\frac{1}{2}}}, 0 \right) \quad (8)$$

$$q_6(C) = \max \left(1 - \sum_i |s_i - \bar{s}_i|, 0 \right) \quad (9)$$

$$q_7(C) = \max \left(1 - \sum_i \frac{\delta(\theta_i, \bar{\theta}_i)}{180}, 0 \right) \quad (10)$$

$q_5(C)$ は指定されたイラスト i の位置 \bar{x}_i, \bar{y}_i と解候補 C においてイラスト i が配置された位置 x_i, y_i との差異を、 $q_6(C)$ および $q_7(C)$ は指定されたイラスト i の倍率 \bar{s}_i 、角度 $\bar{\theta}_i$ と C における拡大縮小率 s_i 、角度 θ_i

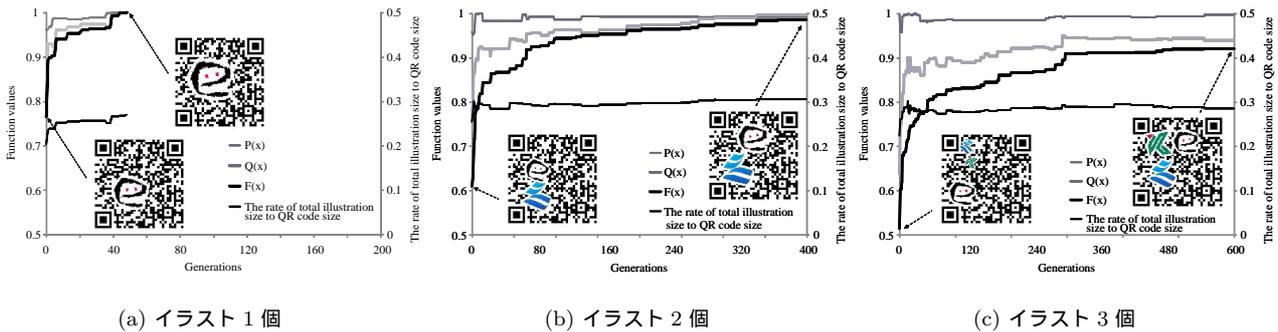


図 7: 静止画 QR コード生成時の解候補評価値の推移

表 1: 静止画 QR コードを生成する際のパラメータ設定

Parameter	Value
Number of individuals	10
Number of elites	2
Crossover	BLX- α
α	0.2
R	0.1
Crossover rate	0.8
Mutation rate	0.03
Generations	$N_I \times 200$
$(w_1^{(p)}, w_2^{(p)})$	(0.8, 0.2)
$(w_1^{(q)}, w_2^{(q)}, w_3^{(q)}, w_4^{(q)})$	(0.5, 0.5, 1.0, 0.5)

との差異をそれぞれ表す関数である。 $\delta(\theta_i, \bar{\theta}_i)$ は、 θ_i と $\bar{\theta}_i$ の差のうち、小さい方の角度差である。

$$\delta(\theta_i, \bar{\theta}_i) = \min(|\theta_i - \bar{\theta}_i|, |\bar{\theta}_i - \theta_i|) \quad (11)$$

なお、 $q_5(C)$ 、 $q_6(C)$ および $q_7(C)$ は、イラスト入り静止画 QR コードを生成する際に、ユーザが（全てまたは一部の）イラストの位置を指定した場合にも利用することができる。

5 実行例

5.1 イラスト入り静止画 QR コード

3 章で提案した方式を用いて、イラスト入り静止画 QR コードの生成を試みた。なお、本論文の実験で用いた QR コードは、すべて誤り訂正レベルを H とした。

解候補の評価を行う関数（式 (1) および式 (2)）における各デコーダの重みは、サイテック製のデコーダの重み $w_1^{(p)}$ を 0.8、オープンソースデコーダの重み $w_2^{(p)}$ を 0.2 とした。これは、オープンソースデコーダは開発段階であり、サイテック社のデコーダの方が信頼性が高いためである。

また、式 (3) における $w_1^{(q)}$ 、 $w_2^{(q)}$ 、 $w_3^{(q)}$ および $w_4^{(q)}$ を、それぞれ 0.5、0.5、1.0、0.5 とし、式 (6) における R の値を 0.1 とした。パラメータ設定の一覧を表 1 に示す。表 1 における N_I は、挿入するイラストの個数を表す。提案する方式では、単一の準最適解を発見できれば十分であるため、個体数が 10 の、一般の GA と比較すると小規模な集団を用いる。その他の値は、予備実験などにより経験的に決定した。

1 個から 3 個のイラストを挿入する場合の、集団内の最良の解候補 C_h の $F(C_h)$ 、 $P(C_h)$ 、 $Q(C_h)$ の推移、および、QR コードの面積に対するイラスト面積の割合の推移を図 7 に示す。本実験では、バージョン 5 の QR コードを用いた。図 7 から、埋め込むイラスト数が増加すると、 $F(C_h)$ が高い値の解を生成するまでにより多くの世代数を要し、より長い処理時間が必要であることがわかる。また、探索序盤から中盤にかけて、デコード可能性 $P(C_h)$ が十分に高い解候補を生成できており、探索終盤にかけて品質 $Q(C_h)$ を徐々に高めていくことがわかる。

挿入するイラストの種類や個数を変化させた場合の、イラスト入り QR コードの生成例を図 8 に示す。図 8(a) から (e) までの 5 例は、3 個のイラストを QR コードに挿入した例である。図 8(f) は 5 個のイラストを、(g) は 10 個のイラストを、(h) は 1 個のイラストを挿入した例である。図 8(c)、(e)、(f) はバージョン 4、(d) はバージョン 6、(a)、(b)、(h) はバージョン 8、(g) はバージョン 9 の QR コードを用いた。

(a) は携帯電話のメールアドレスが、(b) は航空会社の電話番号[¶]が、それぞれ埋め込まれていることを示しており、QR コードに埋め込まれている情報の種類を直観的に表現している。また、図 8(f) のような音符のイラストを挿入することで、携帯電話の着信音を取得する Web ページなど、音に関する情報を含むことを仄めかすことができる。

本方式でイラスト入り QR コードを生成する際に、ソ

[¶]本論文では例示しないが、会社のロゴを埋め込むことで、埋め込まれている情報をより直観的に表すことができる。



図 8: 生成した静止画 QR コードの例

ソフトウェアデコーダでは正しくデコードが行えたイラスト入り QR コードであっても、携帯電話で正しくデコードできないことがある。携帯電話による QR コードからの情報の抽出は、QR コードを含む画像の撮影、撮影した画像からの QR コード領域の抽出、抽出した QR コードのデコードの 3 段階で行われる。すなわち、ソフトウェアデコーダでデコード可能なイラスト入り QR コードであっても、撮影した画像からの QR コード領域の抽出に失敗すると、携帯電話ではデコードを行うことができない。携帯電話上での QR コード領域の抽出方法は公開されていないため、提案する方式で考慮することは難しい。

提案する方式を利用したイラスト入り QR コードの生成に要する時間は、図 8(e) の 3 個のイラストを埋め込んだ QR コードを作成する場合で、平均 5,623 秒、(g) の 10 個のイラストを埋め込んだ QR コードを生成する

表 2: 動画 QR コードを生成する際のパラメータ設定

Parameter	Value
Number of neighbors at each iteration	20
Iteration limit for each frame	100
α	0.2
R	0.1
$(w_1^{(p)}, w_2^{(p)})$	(0.8, 0.2)
$(w_1^{(q)}, w_2^{(q)}, w_3^{(q)}, w_4^{(q)}, w_5^{(q)}, w_6^{(q)}, w_7^{(q)})$	(0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.5, 1.0, 1.0)

場合で平均 7,541 秒であった^{||}。

5.2 イラスト入りアニメーション QR コード

4 章で提案した方式を用いて、イラスト入り動画 QR コードの生成を試みた。パラメータ設定の一覧を表 2 に示す。式 (2) における重みは、5.1 節と同様、 $(w_1^{(p)}, w_2^{(p)}) = (0.8, 0.2)$ とした。また、式 (3) における重みは、 $(w_1^{(q)}, w_2^{(q)}, w_3^{(q)}, w_4^{(q)}, w_5^{(q)}, w_6^{(q)}, w_7^{(q)}) = (0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.5, 1.0, 1.0)$ とした。これは、動画 QR コードを生成する場合は、指定された位置の近辺に各イラストの配置を試みるため、イラスト同士の重複などを考慮する必要がないためである。各フレームを HC によって生成する際の探索ステップの上限は 100 ステップとした。

生成したイラスト入り動画 QR コードの例を図 9, 10 および 11 に示す。図 9 は、携帯電話の着信音を取得できる URL を埋め込むことを想定した動画 QR コードである。図 10 は、電車内や駅構内、バス停などに設置された小型ディスプレイに表示し、近隣の飲食店の地図が記載された URL を埋め込むことを想定した動画 QR コードである。図 11 は、食料品販売店の店頭を設置した小型ディスプレイに表示し、販売している食材を用いた料理の調理方法が記載された URL を埋め込むことを想定した動画 QR コードである。図 9, 10 および 11 の実行例はそれぞれ、4, 4, 5 個のイラストを用いており、それぞれ、6, 13, 17 フレームの静止画 QR コードから構成されている。図 9, 10 および 11 の QR コードのバージョンは、それぞれ 7, 13, 7 である。

図 9, 10 および 11 から、テレビやディスプレイ等の動画像を表示できる媒体の利点を活かした、視覚的誘引性の強い QR コードを生成できることがわかる。また、図 11(b) の第 4 フレームは、携帯電話によってはデコードが困難なことがある。しかし、次の第 5 フレーム以降

^{||}PC/AT 互換機 1 台 (CPU: Pentium 4 2.53GHz, Mem.: 1GByte, OS: Microsoft Windows XP) を用いた。GA は確率的なアルゴリズムであるため、5 回試行を行った場合の平均処理時間を示している。

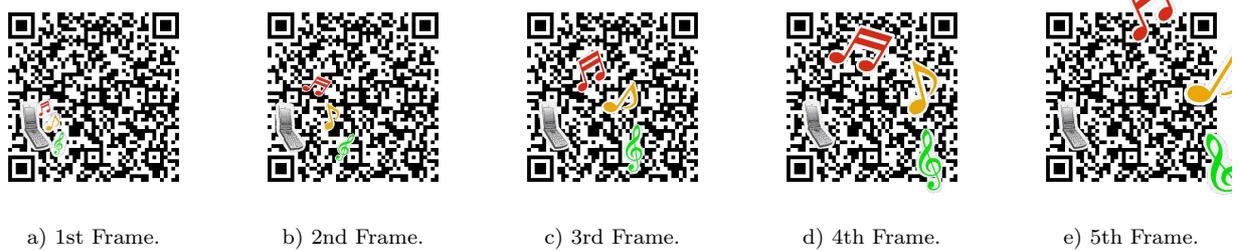


図 9: 生成したアニメーション QR コードの例 (1)

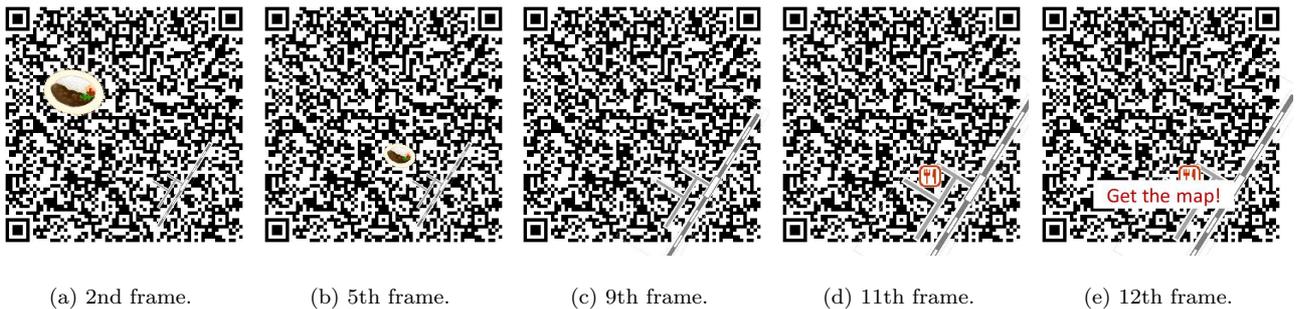


図 10: 生成したアニメーション QR コードの例 (2)

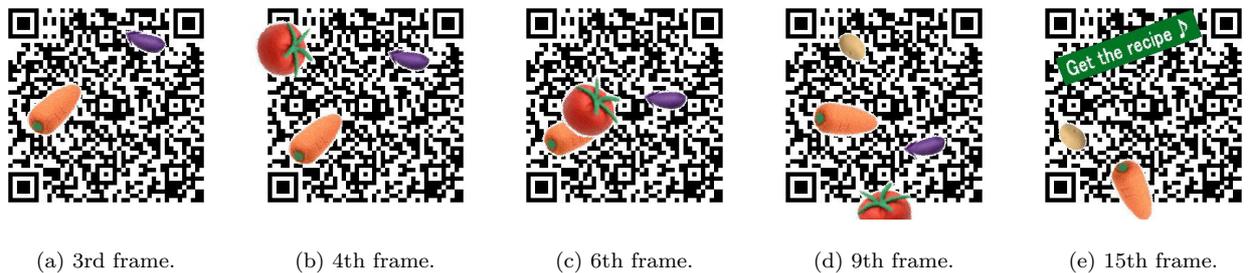


図 11: 生成したアニメーション QR コードの例 (3)

に表示が切り替わった際に問題なくデコードを行えるため、動画 QR コード全体としては単一フレームでデコードが行えなくとも実用性への影響は少ない。

図 9, 10 および 11 のイラスト入り動画 QR コードを生成するために要した時間はそれぞれ、約 310 秒、約 441 秒、約 2,032 秒であった。

6 おわりに

イラストが挿入された静止画 QR コードおよびアニメーション QR コードを自動生成する方式を提案した。本方式は、イラスト挿入位置決定を最適化問題として定式化し、汎用の解探索アルゴリズムを用いた求解により、埋め込まれたデータが損なわれないように QR コードにイラストを挿入することができる。また、複数の

QR コードデコーダを用いることで、様々な携帯電話で読み取ることができるイラスト入り QR コードを作成できる。提案する方式を用いて実際にイラスト入り静止画 QR コードおよびアニメーション QR コードを生成し、様々な携帯電話で読み取りが可能であることを確認した。

今後、パラメータの自動調整の実現、イラスト初期位置指定を容易に行えるインターフェースの実装、デザイナーと協調した対話的な QR コードの装飾を可能とするためデザイン発想支援 [12, 13, 14] の援用などを行う予定である。

参考文献

- [1] Rohs, M.: Real-World Interaction with Camera Phones, *Proceedings of 2nd International Symposium on Ubiquitous Computing Systems 2004*, pp. 74–89 (2004).
- [2] Reed, I. S. and Solomon, G.: Polynomial Codes Over Certain Finite Fields, *SIAM Journal of Applied Mathematics*, Vol. 8, pp. 300–304 (1990).
- [3] 佐藤潔之：任意の指定した画像を模様として持つ、二次元コード生成システム，公開特許広報 (A) 特開 2007-34998 (2007).
- [4] Rich, E. and Knight, K.: *Artificial Intelligence*, Mcgraw-Hill College (1990).
- [5] Gent, I. P. and Walsh, T.: Towards an understanding of hillclimbing procedures for SAT, *Proceedings of Eleventh National Conference on Artificial Intelligence(AAAI93)*, pp. 28–33 (1993).
- [6] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. and Vecchi, M. P.: Optimization by Simulated Annealing, *Science, Number 4598, 13 May 1983*, Vol. 220, 4598, pp. 671–680 (1983).
- [7] Goldberg, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison Wesley, Reading (1989).
- [8] Wright, A. H.: Genetic Algorithms for Real Parameter Optimization, *Foundations of genetic algorithms* (Rawlins, G. J., ed.), Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, pp. 205–218 (1991).
- [9] Eshelman, L. J. and Schaffer, J. D.: Real-Coded Genetic Algorithms and Interval-Schemata, *Foundations of Genetic Algorithms*, Vol. 2, pp. 187–202 (1993).
- [10] Eshelman, L. J., Mathis, K. E. and Schaffer, J. D.: Crossover Operator Biases: Exploiting the Population Distribution (1997).
- [11] 伊庭齊志：進化論的計算手法，オーム社出版局 (2004).
- [12] 畝見達夫：品種改良でCG画像を作る模擬育種システム，*Computer Today*, No. 64, pp. 76–82 (1994).
- [13] Takagi, H.: Interactive Evolutionary Computation – Fusion of the Capabilities of EC Optimization and Human Evaluation, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 89, pp. 1275–1296 (2001).
- [14] Serag, A. , 小野智司, 中山 茂: 対話型進化計算法を用いた建造物デザイン発想支援の基礎検討, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 6, pp. 2764–2768 (2006).