

二次元コードのイメージ損傷に対する読み取り特性改善の研究

サムレットウィット ダムリ[†] 若原 俊彦[‡]

[†] 福岡工業大学 〒811-0295 福岡県福岡市東区和白東 3-30-1

E-mail: [†] mgm11007@bene.fit.ac.jp, [‡] wakahara@fit.ac.jp

あらまし 最近の携帯電話やインターネットの普及に伴い、携帯電話のカメラで QR コードを読み取り、Web サーバにアクセスすることが多くなった。通常の QR コードは白黒のドット表示であるためデザイン性が良くないので、近年、QR コードに用いられている誤り訂正コードを利用してイメージを重ねるデザイン QR コードなどが利用されている。しかし、これらのイメージを重ねた二次元コードは誤り訂正能力の限界まで符号化できているか検証できていない。同じような大きさのイメージ情報を重ねた二次元コードは、同じ大きさの損傷を含む QR コードの読み取り結果と同じであるが、類似のイメージの損傷で異なる結果となる可能性がある。この特性を把握する為に異なるイメージや汚れをコードの上に重ねてその影響を評価する。

本研究では、QR コードに各種多様な損傷イメージを作成して重ねし、この時の読み取り特性を求めて誤り訂正能力の限界を実験的に求め、損傷の影響を評価する。

キーワード 二次元コード, QR コード, 誤り訂正能力, イメージ重ね, 損傷

A Study on the Improved Reading Characteristics of the Image Imposed 2-Dimensional Code

Damri SAMRETWIT[†] Toshihiko WAKAHARA[‡]

[†] Fukuoka Institute of Technology 3-30-1 Wajiro-Higashi, Higashi-Ku, Fukuoka 811-0295 Japan

E-mail: [†] mgm11007@bene.fit.ac.jp, [‡] wakahara@fit.ac.jp

Abstract In recent years, QRCode is widely used in the accessing to the Internet by cellular phone. As the design of this code is a simply black and white dotted symbol, it is very simple and insipid. In order to improve this weakness, various 2-dimensional codes such as QR-JAM, designQR are developed.

In this paper, we have studied the structure of the QRCode error collecting code and the way of multiplexing the dotted images. In order to improve the QR reading characteristics, the several image multiplexing methods are proposed. The experiments are tried and measured by making the proposed QREditor. The multiplexing images are regarded as image damage and QR reading characteristics are recovered by error correcting capability by the experimnts. Then we show the maximum limits images of the error correcting capability.

Keyword 2-Dimensional Code, QR Code, Error-Correction's capability, Image multiplexing, Damage

1. はじめに

QR コード[1]は、二次元コード[2]の一種であり、「リーダにとって読み取り易いコード」となることを目的にデンソーウェーブ（開発当時は株式会社デンソーの一部門）が開発し、1994 年に発表したものである。QR コードとは、縦、横二次元方向に白と黒の明暗パターン情報を持つことで、一方向だけに情報を持っているバーコードに対し、記録できる情報量を飛躍的に増加させたコードである。

本論文では、この QR コードの冗長部分にイメージ

などの画像を各種重ね合わせたり、汚れや破損などの損傷などが生じた場合の読み取り特性を実験的に測定した結果を示したものである。

以下、2 章では QR コードの概要について述べ、3 章では QR コードに各種イメージを重ね合わせた二次元コードについて示す。4 章では二次元コードに損傷する概要を説明する。5 章ではイメージ損傷二次元コードの読み取り実験とその結果を示す。最後に 6 章でまとめを述べる。

*QR コードは（株）デンソーウェーブの登録商標である。

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

2. QR コードの概要

QR コードシンボルには、表 1 に示すように、1 型～40 型までの 40 種類のバージョン（型番）がある。1 型は 21×21 モジュール、2 型は 25×25 モジュール、40 型は 177×177 モジュールというように、型番が一つ上がる度に一辺につき 4 モジュールずつ増加する。

表 1 主な QR コードの仕様

仕様		
誤り訂正	RS コード	データコード語、 誤り訂正コード語
		形式情報
	BCH コード	形式情報
		型番情報
モード	数字	10 ビット/数字
	英数字	11 ビット/文字
	8 ビットバイト	バイナリ 8
	漢字	13 ビット/文字
バージョン	1	21×21 モジュール
	2	25×25 モジュール
	.	.
	40	177×177 モジュール
誤り訂正	L	約 7%
	M	約 15%
	Q	約 25%
	H	約 30%
位置検出パターン	1:1:3:1:1	3 同心の正方形 :7x7, 5x5, 3x3 モジュール
位置合せパターン	1:1:1:1:1	3 同心の正方形 :5x5, 3x3, 1x1 モジュール

QR コードに汚れや破損などがあっても正確に読み取れるように、読み取り不能や読み取り間違いがあっても正しく読み取れるようにしており、データコード語に対して修正するために付けられる誤り訂正コード語の割合として、下記の 4 レベルがある。

- レベル L - コード語の約 7%が復元可能
- レベル M - コード語の約 15%が復元可能
- レベル Q - コード語の約 25%が復元可能
- レベル H - コード語の約 30%が復元可能

さらに,QR コードを読み取り易くするために行う処理としてマスク処理があり,そのパターンは 8 種類用意されている. その中で最も明モジュールと暗のモジュール数を均一化し, 画像の高速処理の障害となるパターンの発生が抑えられるマスクを採用することになっている. マスク処理は, 符号化領域のビットパターンとマスク処理パターンを XOR (排他的論理和) する.

図 1 は, 白と黒の正方形の格子状に配置されているバージョン 3 の QR コードの例を示す. QR コードは, すべての方向の高速読み取りを有効にするために, 3 つのコーナーに配置されたシンボルの位置を示すための 3 つのファインダーパターン (位置検出パターン) がある.

3. 各種二次元コードの概要

近年, QR コードのデザイン性を改善するため高度な二次元コード (QR コードの仕様に準拠していない) の新しいタイプが開発されており, 特にイメージや画像を重ね合わせたものが多いが, 携帯電話などの QR リーダで簡単に読みとれる. 例えば, QRForest[3]は, 図 2 に示すように, ユーザが位置形状, データ領域の形状, 配置形状と重ね合わせた画像を変更することができる二次元コードである.

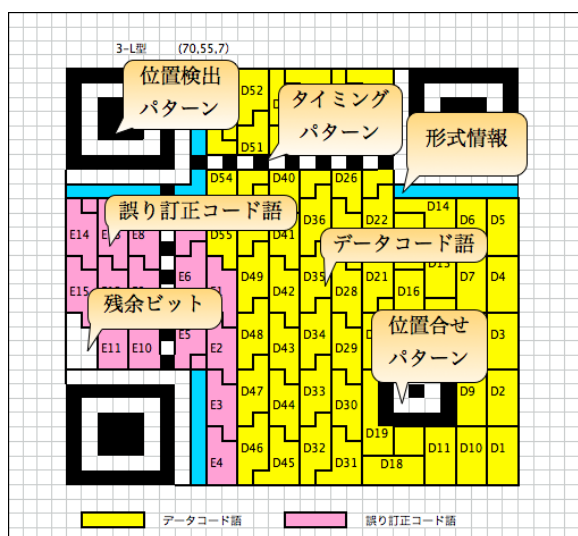


図 1 QR コードの例 (バージョン 3)



図 2 イメージ重ね合わせた QRForest

他の二次元コードの新しいタイプとして, メロディーや画像を保存することができるマルチメディア QR コード, 多重化 QR コード, QR-JAM[4], DesignQR[5] などがあり図 3 と図 4 に示す.

さらに誤り訂正 RS 符号を符号化する新しい非体系的な方法が開発されており, 図 5 に示すように画像は QR コードで多重化される[6]. また, アニメーション QR コード[7]は, 図 6 に示すように, 最適化アルゴリズムを使用して設計されている.



図 3 QR-JAM



図 4 DesignQR



図 5 Image displayable DesignQR code



図 6 Animated QR code

4. QR コードへのイメージ損傷

4.1. QR コードの冗長部へのイメージ重ね合わせ

この実験では、図 7 に示すように Image Multiplexing QR Editor[8]（以降 QREditor と表示）のプログラムを使用して QR コードを作成する。このプログラムでは、QR コードのマスキングの代わりに任意のイメージ情報を挿入することができる特徴がある。このため QR コードの冗長エリアに自由にドット絵などイメージをデザインすることが可能になる。図 7 には、ドット絵で「NORTH」の文字を記述しており、通常の QR リーダで読み取ることが出来る。

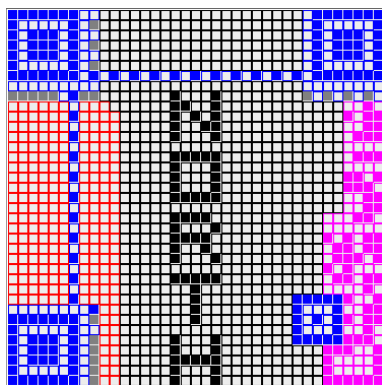


図 7 QR Editor によるドット絵挿入



図 8 QR Editor から作成したコード

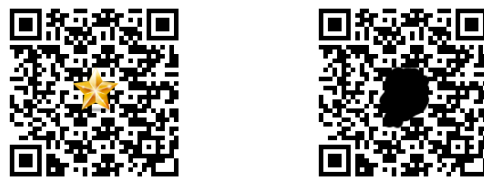


図 9 イメージ損傷された QR コード

4.2. 二次元コードに損傷を作成

イメージを重ねた二次元コードの読取り特性[9]は、QR コードの上にイメージを重ね合わせたものに相当し、イメージ損傷となり汚れと見做される。このため、RS 誤り訂正符号によりエラーを解決する。従って、汚れがあっても、データを読み取る事ができる。

この実験では QR Editor を使用してイメージや汚れを QR コードに損傷して二次元コード化し、この時の誤り訂正の機能を評価する。しかし、ただ同じイメージや汚れを使用しても十分な評価ができないので、色々な形の損傷を作成し、その読取り特性を測定することとする。損傷を入れるのは QR コードの RS コードの部分、データコード語と誤り訂正コード語を図 9 に示すように入れる。なお、イメージを重ね合わせる場合、RS コードの誤り訂正限界以上になるとその二次元コードは読み取れなくなるので、イメージの大きさと位置に配慮する必要がある。

4.3. 「暗い色の四角」と「明るい色の四角」のルール

二次元コードにイメージ損傷を作成しても RS コードに影響されない方法もある。萩原：“デザイン二次元コード”[10]によると、“符号化と復号では要となる処理に差異がある”である。また、同文献に“復号器は即応符号を構成する小正方形を「暗い色の四角」と「明るい色の四角」の二つに大別して認識する。黒い四角、群青色の四角、深緑色の四角などはいずれも「暗い色の四角」として認識される。同様に、白い四角、淡いピンク色の四角、黄色の四角などはいずれも「明るい色の四角」として認識される。”とも述べられている。図 10 に示す例では、それぞれ赤と青であるため「暗い色の四角」に相当し、これらの読みとりが可能である。

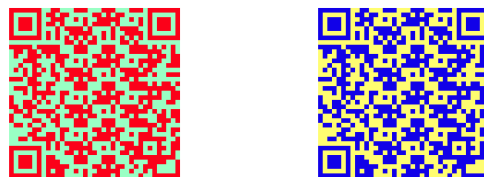


図 10 「暗い色の四角」の例（赤と青）

5. 損傷した二次元コードの読み取り実験

5.1. 二次元コードの読み取り実験の概要

QR コードにイメージとして静止画を重畳する場合の読み取り実験を行い、その読み取り特性を評価することとする。実験条件を表 1 に示す。

表 2 二次元コード読み取り実験の条件

項目		諸元
QR コ ー ド	符号化データ	英字 15 文字
	型番(バージョン)	5
	誤り訂正レベル	H,Q,M,L の 4 レベル
QR コード作成ソフト		QR Editor[8]
表示装置		MacBook Air(11 インチ)
環境条件		通常照明(蛍光灯)
環境モニタリング条件		80%輝度
QR 読み取り装置		iPhone 4
編集するプログラム		Gimp 2.6.7[11]
読み取るプログラム		i-nigma[12], QRReader[13]

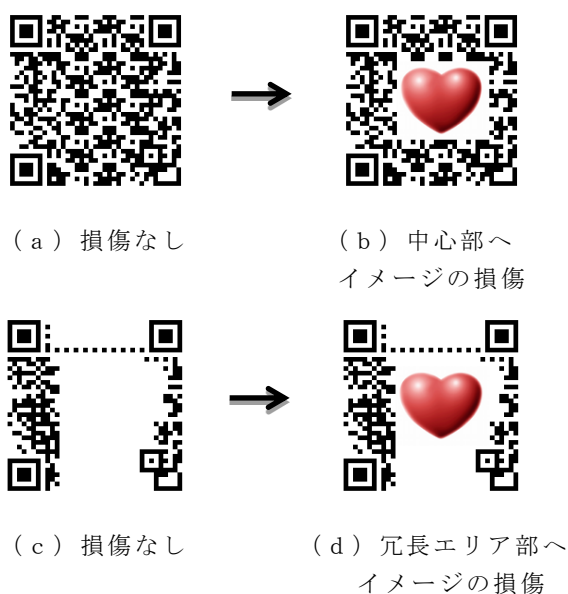


図 11 イメージを重畳させた損傷の例

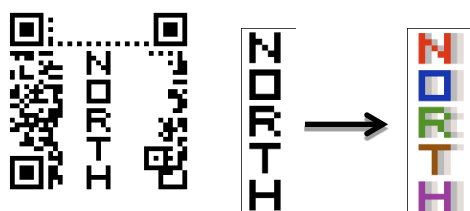


図 12 色が変化した二次元コード

5.2. 二次元コードに損傷を入れる実験

5.3 に示す実験では図 11 に示すように誤り訂正の能

力を求めるために冗長エリアがない二次元コードにも冗長エリアがある二次元コードにも同様に、イメージと汚れなど重ね合わせ損傷を入れて、その読み取り特性を測定する。

更に図 12 に示すように QR Editor を用いて冗長エリアの部分にイメージをデザインし、デザイン二次元コードの暗い色と明るい色のルール通りにして QR Editor でそのイメージに四角の色を編集させても二次元コードの RS コードに影響がなく、読み取り特性は変わらない。

5.3. 実験結果と考察

以下に 3 つの実験により、イメージ損傷に対する読み取り特性を求める。

(1) 実験 1:

損傷された QR コードを図 13 に示す。この実験では二次元コードの黒いとしてドットを白いドットに入れたり白いドットを黒いドットに入れたりしてどのぐらいの色が変更されたドットまで読み取れなくなって評価する実験である。すなわち、色が変更されたドットが損傷になるという事を確認する。

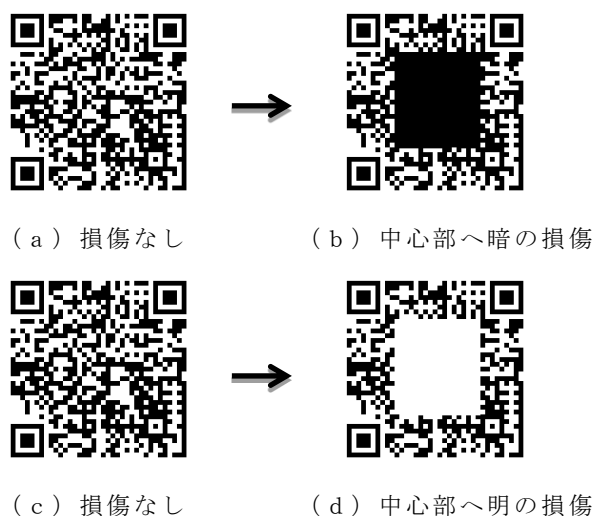


図 13 損傷された QR コードの例

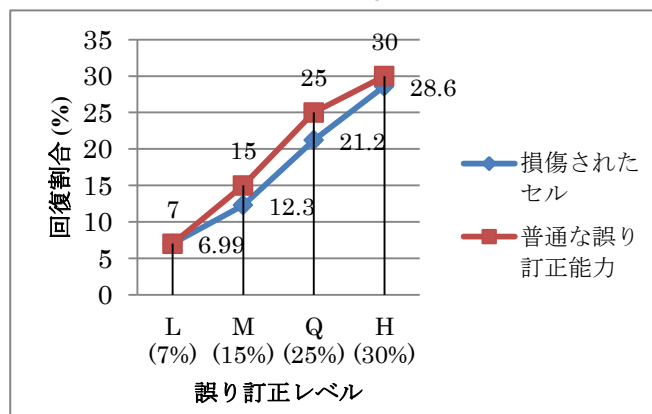


図 14 読み取り特性

損傷された QR コードとして読み込み実験の結果を図 14 の読み取り特性のグラフに示す．一番高い回復（レベル H）の割合は通常の誤り訂正能力より少し小さくなっている．実験通りに RS ブロックの全て 1072 セルから回復の割合のレベル L は 6.99%，レベル M は 12.3%，レベル Q は 21.2%，レベル H は 28.6%であった．

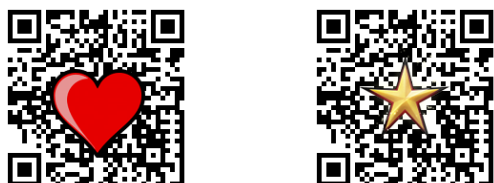


図 15 256 セルのイメージ 図 16 95 セルのイメージ

しかし，実際には損傷されたセルは回復（訂正）割合より小さくなり読み取れない可能性がある．それは損傷されたセルの位置や読み取る QR リーダのソフト次第である．

この手法は，イメージや汚れなどの損傷エリアの面積の全体に対する比率を QR コードの誤り訂正の能力以下の欠落にする事である．図 15 と図 16 はその例であり，同図に示すように，読み込めるレベル H の誤り訂正を選んで 256(23.8%)セルのハードと 95(8.8%)セルのスターを入れている QR コードであり，両者とも読み込みが可能である．

（２） 実験 2：

中央の冗長エリアがある二次元コードを作成してその冗長エリアにイメージを入れる方法である．その方法は冗長エリアが小さい誤り訂正レベル M，Q，H の二次元コードを使用すべきではない．更に図 17 に示すようにバージョン 5 以上の QR コード使用すべきでない事ではないが，バージョン 5 以上であれば RS ブロック数が 2 以上でブロックがバラバラになっているのでデータは勿体無い領域が過ぎる上に位置合せパターンが邪魔しているので図 16 を示すようにバージョン 5 レベル L の QR コードを使用すべきである．

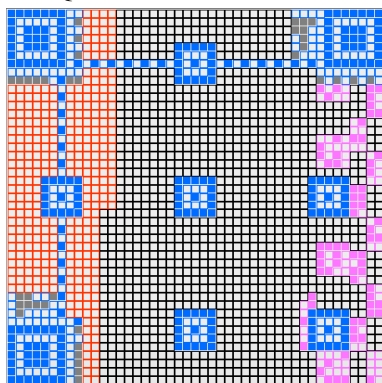


図 17 QR コードバージョン 5 レベル L

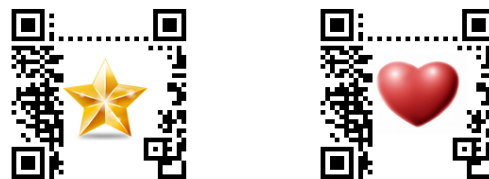


図 18 冗長エリアにイメージを重ね合わせた損傷
(いずれも読み取り不可)

実験通りに冗長エリアの中にイメージを入れたら二次元コードは読み込まなくなる．つまり，冗長エリアであってもイメージを入れるとそのイメージも損傷になるという事である．

この原因は，人間の目で見るとその冗長エリアの中は単にデータがないと想定される．しかし，実は空白と見えていてもダミーデータが入っている．図 19 に示すように冗長エリアの情報を見ているのはそのデータとマスクを排他的論理和(Exclusive OR)するものであり白い四角に見られるという事である．

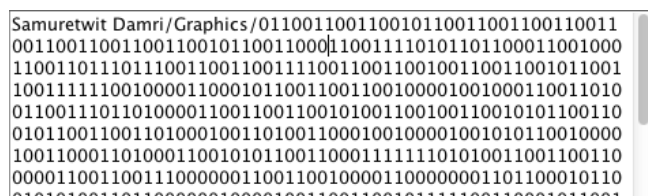


図 19 二次元コードの冗長エリアの中のデータ

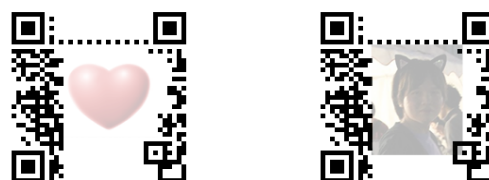


図 20 明るくしたイメージ

しかし，暗い色の四角と明るい色の四角のルールに基づいて図 20 に示すように冗長エリアの部分に入っているイメージの色を全て明るくしたら，その二次元コードが読み込めるようになる．

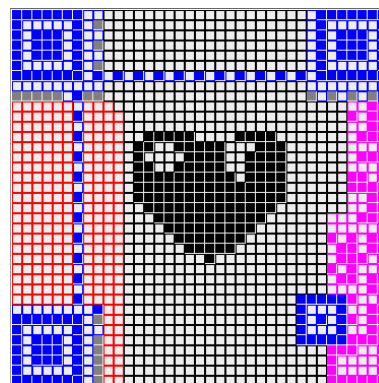
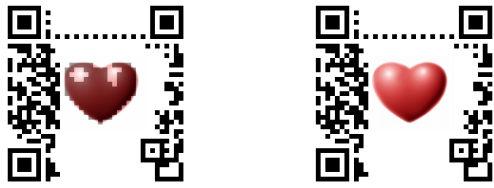


図 21 QR コードのダミーデータ



(a) 冗長エリアに重畳する (b) 確認

図 22 ダミーデータ入っている二次元コード

もう一つの方法は暗い色の四角と明るい色の四角のルールに基づいて図 21 に示すようにイメージの姿が似ているダミーデータが入っている二次元コードを作成してダミーデータの所にそのイメージを入れる事であり、その二次元コードが読み込めるようになる。図 22 にその例を示す。しかし、この手法は難しくて失敗可能性が高い。

(3) 実験 3:

カラーイラスト二次元コードを作成する事である。まず、図 23 に示すようにイラスト二次元コードを作成する。暗い色の四角と明るい色の四角のルールに基づいて、作成した二次元コードのドットの色を自由に変えてカラーイラスト二次元コードを作成できる。

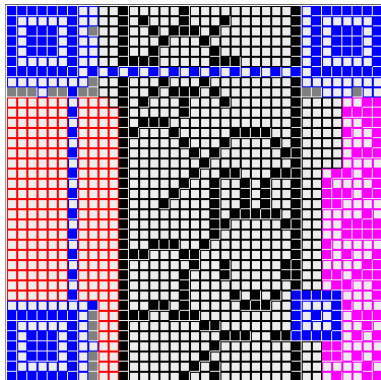


図 23 イラスト二次元コード

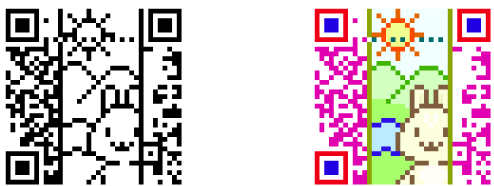


図 24 白黒→カラーイラスト二次元コード

二次元コードのバージョンを 5 以上に選び、(2)に述べた理由で RS ブロック数が 2 以上でブロックがバラバラになっていて位置合せパターンが邪魔しているので、二次元コードのバージョンを 5 のように大きい冗長エリアの誤り訂正レベル L を選ぶのが良い。

この手法により、デザインを描くのに多少時間がかかっても二次元コードの上に自由にデザインできる上に暗い色の四角と明るい色の四角のルールを利用して誤り訂正の影響を受ける事はない。また、この方法で

作成した出力は見栄えも良い。図 24 にその例を示す。

6. まとめ

今回行った実験により、汚れとして作成したりイメージを入れたりドットの色を変更することにより、二次元コードの色々な読み取り特性の改善が可能となった。この結果、QR コードにイメージ損傷を与える各手法として 3 種類を提案し、それぞれ以下に示すような特徴を有することが明らかとなった。

- ① 普通のイメージを重ね合わせた二次元コードは誤り訂正のレベル H を選ぶ事により、最も大きなイメージのサイズを挿入でき、これは誤り訂正能力の限界近くまで利用可能である。
- ② 二次元コードの冗長エリアの中にイメージ重ね合わせる方法は、そのイメージの形と同じ形で重ね合わせる事によりイメージを重ねる事が可能である。
- ③ カラーイラスト二次元コードは誤り訂正の影響を受ける事なく作成でき、白黒からカラー化すると見栄えが良くなる。

文 献

- [1] ISO/IEC 18004:2000 Information Technology: Automatic Identification and Data Capture Techniques (Barcode Symbology) QR Code (MOD), June 2000.
- [2] 二次元コードシンボル QR コード 基本仕様(JIS X0510) 日本規格協会 2004 年.
- [3] QRForest, <http://qrforest.com/>.
- [4] QR-JAM, <http://staff.aist.go.jp/hagiwara.hagiwara/qrjam/index.html>.
- [5] DesignQR, <http://d-qr.net/index.htm>.
- [6] 藤田和謙, 栗林稔, 森井昌克, “QR コードへの画像埋め込みに関する検討と提案”, 信学技報 LOIS2010-51, pp.39-44, Jan.2011
- [7] 小野智司, 森永健介, 中山茂: “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”, 芸術科学会論文誌, Vol.8, No.1, pp.25-34 (2009)..
- [8] 若原俊彦, 山元規靖, 越智祐樹; “QR コードの画像重畳評価法の検討”, 信学技報, vol. 110, no. 450, LOIS2010-65, pp. 1-5 (2011 年 3 月)
- [9] D.Samretwit, 若原俊彦, “イメージを重ねた二次元コードの読み取り特性”, 平成 23 年度第 19 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会 D-54 (2011 年 3 月)
- [10] 萩原 学, “デザイン二次元コード”, 電子情報通信学会誌 Vol.94, No.4, PP.341-343 2011.
- [11] Gimp, <http://www.gimp.org/>.
- [12] i-nigma, <http://www.i-nigma.com/i-nigmahp.html>.
- [13] QRReader, <http://itunes.apple.com/us/app/qr-reader-for-iphone/id368494609?mt=8>