

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

加藤 祐二[†] 出口 大輔[†] 高橋 友和^{††} 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]

[†] 名古屋大学 大学院情報科学研究科 〒 464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町
^{††} 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部 〒 500-8288 岐阜県岐阜市中鷺 1 丁目 38 番地
E-mail: †ykato@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp,
†{ddeguchi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp,††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp

あらまし QR コードは多くの情報を小さい面積に埋め込めるため、製造、物流、販売などのさまざまなシステムで利用されている。しかし、QR コードを撮影して認識するためには、ある程度の解像度が必要となる。実環境では、カメラと QR コードの距離が離れるほど低解像度となるため、認識が困難となる。そこで、本報告では超解像処理を利用して低解像度の QR コードの認識性能を向上する手法を提案する。提案手法は、超解像処理により動画像から高解像度画像を生成し、認識性能を向上する。QR コードは 2 値パターンで構成されるという性質を持つため、この性質を有効に利用することによって、認識に適した超解像処理を行う。実験の結果、従来手法では認識が困難であった低解像度 QR コードに対して、提案手法により 98% の高い認識率が得られた。また、超解像処理に QR コードの性質を利用することで、その性質を利用しない場合と比較して認識率が平均で 15.7%、最大で 38.0% 向上することを確認した。キーワード 超解像、QR コード認識、2 値画像、シグモイド関数

QR-code recognition based on super-resolution using binary pattern constraint

Yuji KATO[†], Daisuke DEGUCHI[†], Tomokazu TAKAHASHI^{††},
Ichiro IDE[†], and Hiroshi MURASE[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University Furo-cho, Chigusa-ku, Nagoya, Aichi,
464-8603 Japan

^{††} Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University Nakauzura 1-38, Gifu, Gifu,
500-8288 Japan

E-mail: †ykato@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp,
†{ddeguchi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp,††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp

Abstract Since a QR-code includes lots of information in a small area, it is widely applied to systems of manufactures, logistics and sales. However, recognition of a QR-code needs high resolution. In practice, recognition of a QR-code becomes difficult when the camera is far from QR-codes, so it is necessary to capture images in a short distance. In this paper, we proposed the method to enhance the performance of QR-code recognition from low resolution images. In the proposed method, we enhanced the performance with the super-resolution techniques, which generates a high-resolution image from two or more low-resolution images. To fit images for recognition and enhance the performance, the features that QR-code made by binary pattern are used. The experiment showed that the recognition rate achieves 98% in the low-resolution images which conventional methods can not handle. Compared to the conventional super-resolution method, the recognition rate of the proposed method increased by 15.7% in average and 38.0% in maximum.

Key words super-resolution, QR-code recognition, binary image, sigmoid function

1. ま え が き

図 1 で示すように、QR コードは文字や数字などの情報を記録した白黒のパターンからなる 2 次元シンボルである。QR コードは印刷するだけで利用でき、さまざまな媒体に情報を付加することができる。また、QR コードは多くの情報を埋め込むことができるため、製造、物流、販売などのさまざまなシステムで利用されている。身近なところでは、図 2 に示すように、QR コードを携帯電話機内蔵のデジタルカメラで撮影し、埋め込まれた情報を取得することに利用されている。しかし、QR コードを高精度に認識するためには、ある程度の解像度が必要となる。実環境では、カメラと撮影する QR コードの距離が離れるほど低解像度となるため、カメラと QR コードの距離が離れた場合には認識が困難となる。

この問題を解決するためには、低解像度 QR コードを高精度に認識する技術の開発が必要となる。この技術の実現により、ユーザから離れた位置にある広告や案内のような近づいて撮影することが難しい対象に掲載された QR コードを認識できるようになると考えられる。また、複数の QR コードを同時に撮影した場合は、1 つあたりの解像度が低下するが、そのような QR コードの認識も可能となる。これは商品管理などへの応用に有用である。

従来研究として、低解像度の画像から文字やバーコードの認識を行う手法がいくつか提案されている。柳詰らは低解像度の画像を複数枚利用することで、文字の認識精度を向上する手法を提案している [1] [2]。また、大倉らは動画像を入力として超解像処理を行い、高解像度化した画像から高精度に文字を認識する手法を提案している [3]。これらの手法は文字を認識対象としている。つまり、対象が持つ性質をより積極的に利用することで、認識精度が向上すると考えられる。Champagnat らはバーコードの認識において、1 枚の画像を入力としてバーコードの



図 1 「MIST のすゝめ」という文字情報が埋め込まれた QR コード

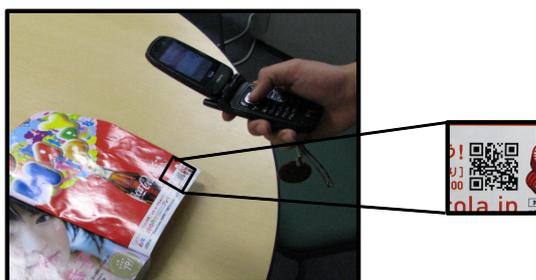


図 2 携帯電話機のカメラによる QR コードの撮影

構造を利用した超解像処理を行い、認識精度を向上する手法を提案している [4]。バーコードは 1 次元の画像情報であるが、本研究が対象とする QR コードは 2 次元の画像情報である。そのため、この手法をそのまま適用することは難しい。

そこで、本研究では QR コードが 2 値パターンから構成されるという性質を利用した超解像処理を行うことで、QR コードを高精度に認識する。

以降、2 節では本報告で提案する QR コードの性質を利用した超解像処理について、3 節ではそれを利用した低解像度 QR コードの認識手法について述べる。4 節では評価実験を通して提案手法の有効性を確認する。最後に 5 節で本報告をまとめる。

2. QR コードの性質を利用した超解像

本節では、従来の超解像処理について述べたあと、本報告で提案する QR コードの性質を利用した超解像処理について述べる。

2.1 超解像処理

超解像に関する研究は近年盛んに行われている [5]。超解像処理は、1 枚の画像を入力としたフレーム内超解像 [6] [7] と、動画像を入力とした複数フレーム超解像に分類される [8] ~ [12]。本研究では、携帯電話機などに搭載されたカメラを用いて QR コードを撮影することを仮定するために、動画像を利用することができる。このため、後者の動画像を入力とした複数フレーム超解像を用いる。複数フレーム超解像は、撮影時の手ぶれなどによる位置ずれの情報を利用し、動画像フレーム中の画素を補完することで、高解像度の画像（以降、超解像画像と記す）を作成する技術である。提案手法における超解像処理は ML (Maximum Likelihood) 法に基づいている [13]。ML 法は位置合わせを行ったレジストレーション画像を作成する処理と、レジストレーション画像からぼけなどの劣化を除去した超解像画像を生成する再構成処理の 2 つから成る。再構成処理では、生成する超解像画像 h とレジストレーション画像 r の誤差の評価式 J を最小化することで尤もらしい画像 h を生成する。誤差の評価式 J は観測した際の劣化を考慮し、

$$J = \sum_{i=1}^{M'} \left[b_i^T h - r_i \right]^2 \quad (1)$$

のようにして求める。ここで、生成する高解像度画像のベクトル表現を表わす h の大きさは M' とし、 b_i は観測による劣化を表すベクトルを表わす。

2.2 QR コードの性質を利用した再構成処理

提案手法では、QR コードの性質を利用することで、より認識に適した QR コードの再構成処理を行う。QR コードは紙などに印刷された時点では 2 値の画像であり、カメラによる劣化によってグレースケールの画像となる。図 3(a)(b)(c) に印刷する QR コードの一部とこれを観測した際の画像、ML 法で生成した超解像画像を示す。図 3(b) 中の黒に近い画素は、対応する元の QR コードの画素も黒である可能性が高い。これに対して、図中の中間の値を持つ画素は、元の画素が白であるか黒であるか判別が難しい。このことを利用し、判別が難しい中間値

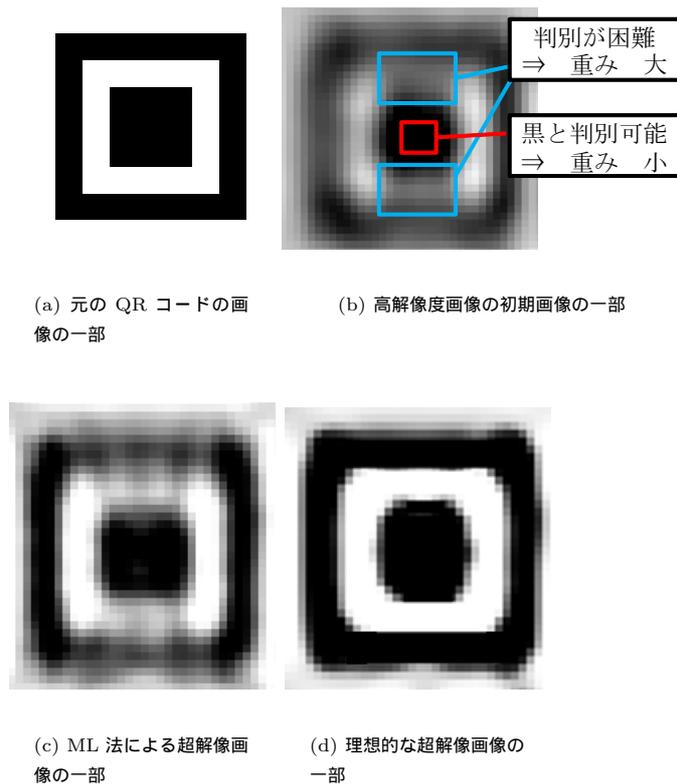


図 3 再構成処理

をもつ画素に対して誤差の評価を大きくする．これによって、図 3(d) のような認識に適した画像を生成する再構成処理ができると考えられる．

提案手法では、以上の考えに基づき評価式 (1) に対して、画素毎に重みを乗じた誤差の評価式 J' を用いる．

$$J' = \sum_{i=1}^{M'} \varsigma(h_i) [b_i^T h - r_i]^2 \quad (2)$$

$$\varsigma(x) = \frac{4 \exp(-a(x-t))}{(1 + \exp(-a(x-t)))^2} \quad (3)$$

ここで、 ς はシグモイド関数の 1 次導関数を表し、 a はゲイン、 t は画素値のオフセット量である． ς は図 4 で示す形状で表される．これより、画素値が 0、および 255 に近いならば重みが小さく、中間値であれば大きくなる．この J' を最小化することによって、QR コードの性質に適した再構成処理を行う．

提案した超解像処理を利用した QR コードの認識処理の詳細は 3 節で述べる．

3. 超解像処理を利用した QR コードの認識

以降、提案手法による QR コード認識の処理の流れについて述べ、各処理の詳細について述べる．

3.1 提案手法の流れ

図 5 に提案手法における処理の流れを示す．提案手法は、QR コードを撮影した動画 f を入力とし、QR コードに含まれる情報を取得し、認識結果とする．提案手法は、超解像処理と認識処理の 2 つの処理から構成される．超解像処理の位置合わせ

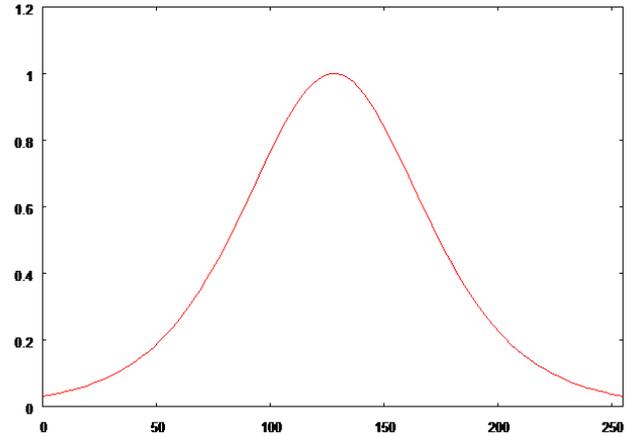


図 4 シグモイド関数の 1 次導関数．ただし、ゲインは 0.038、最大値を 1 に正規化し、入力が 128 のときに最大となるように平行移動してある．

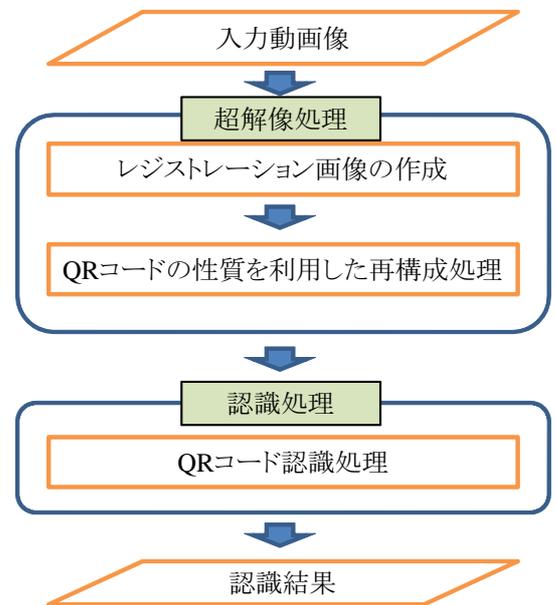


図 5 提案手法の流れ

処理で、レジストレーション画像 r を作成し、QR コードの性質を利用した再構成処理によって、超解像画像 h を生成する．続く、認識処理では、生成した超解像画像から QR コードを認識する．以下でそれぞれの処理について説明する．

3.2 動画フレーム間の位置合わせによるレジストレーション画像の作成

カメラで撮影した動画には、手ぶれなどによって各フレームに微小の位置ずれが生じる．ここでは、低解像度画像における位置ずれをサブピクセル精度で推定し、位置合わせしたレジストレーション画像を作成する．入力動画を大きさ M (pixels) の連続するフレーム $f^i (i = 1, \dots, N)$ と表し、 M' (pixels) のレジストレーション画像を作成する処理について述べる．まず、全てのフレーム f^i をグレースケール画像に変換し、画素値の範囲を $[0, 255]$ に正規化する．次に、バイキュービック法により f^i を M' に拡大し f'^i とする．レジストレーション画像 r は初期フレーム f^1 からの位置ずれ $(\Delta x^i, \Delta y^i)$ を考慮し、各



図 6 撮影した動画の 1 フレーム，外接矩形の大きさを QR コードの大きさとする

画素値 f^i を平均化し，作成する．本研究では，位置ずれを位相相関限定法 (POC; Phase-Only Correlation) [14] を用いて，サブピクセル精度で求める．

3.3 QR コードの性質を利用した再構成処理

再構成処理では，式 (2) を最小化する高解像度画像を求めることで QR コードの性質に適した超解像画像を得る．評価式の最小化は共役勾配法 [15] を用いて行う．なお，高解像度画像 h の初期値は，位置合わせの基準フレームをバイキュービック法で拡大した画像とする．

3.4 認識

最後に，前述の超解像処理により得られた超解像画像をデコードによりデコードし，埋め込まれた情報を得る．

4. 実験

本実験では，QR コードを撮影した動画から QR コードの認識を行った．また，3 つの手法の認識率を比較し，提案手法による QR コードの認識性能を評価した．

4.1 実験データ

本実験では，異なる情報を埋め込んだ 20 種類の QR コードを撮影した動画を認識対象とした．本実験では QR コードの解像度を X^2 ($= X \times X$ (pixels)) と表し，撮影した QR コードの解像度は $44^2, 46^2, \dots, 58^2$ の 8 種類を用いた．動画中の QR コードの解像度は，図 6 に示すように全フレームにおける QR コードの外接矩形の平均サイズで表す．また，各動画は 100 フレームからなり，QR コードの各解像度ごとに 200 本ずつ，合計 1600 本撮影した．各画像の撮影例を図 9(a) に示す．

4.2 実験の概要

以下の手法を比較し，提案手法の有効性を評価した．

提案手法：入力動画に対し式 (2) を用いて QR コードの性質を利用した超解像を行った画像から認識

比較手法；入力動画に対し式 (1) を用いて超解像を行った画像から認識

従来手法：入力動画の全てのフレームをそのまま認識

なお，本実験で使用したカメラの PSF は標準偏差 0.7 のガ

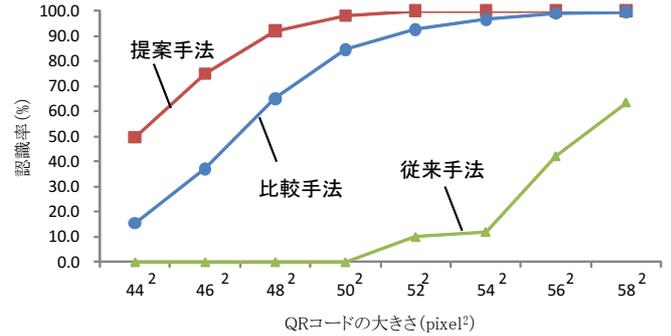


図 7 実験結果：QR コードの解像度と認識率の関係

ウシアンフィルタで近似し，シグモイド関数のゲインは 0.038，オフセット量は 128，拡大率は 4 とした．また，QR コードのデコードに Phytex 社の QR Code Decode Library [16] を用いた．

認識性能の評価には，認識率を用いた．ただし，従来手法では，1 本の動画の全てのフレームに対して認識を行い，1 フレームでも認識できればその動画は認識成功とした．また，比較手法，提案手法では，動画から作成された 1 枚の超解像画像が認識できれば認識成功とした．

4.3 実験結果

QR コードの各解像度に対する認識率を図 7 に示す．また，実験で得られた超解像画像の例を図 8，および図 9(c) に示す．実験結果から全ての解像度に対して，提案手法が従来手法の認識率を上回った．また，従来手法では低解像度 ($44^2 \sim 50^2$) の場合，認識することができなかった．これに対し，提案手法では最大 98.0% の認識率を得た．さらに，全ての解像度において提案手法は比較手法の認識率を上回っており，平均 15.7%，最大 38.0% 向上した．これらのことから，提案手法が低解像度 QR コードの認識に有効であると示された．

4.4 考察

従来手法で，認識できなかった要因として，図 8(d) に示す「位置検出パターン」や「位置合わせパターン」といった QR コードを認識する上で必要となるパターンを正しく認識できなかったことが挙げられる．従来手法ではこのようなパターンの境界部分がぼけることで，QR コードが発見できなくなり，認識が不可能となったと考えられる．これに対して，提案手法では超解像処理によりこれらのパターンが鮮明に映し出されており，認識が可能になったと考えられる．提案手法では，QR コードの解像度が約 60% になっても，従来手法と同様の認識率が得られた．これによって，QR コードの掲載に必要な面積が小さくなるため，これまでより多くの場所に掲載できるようになると考えられる．

また，提案手法が認識できなかった要因として，QR コードの要素が階段状に存在している場合に，図 8(c) に示すように，実際には存在しない斜めのエッジが発生してしまうことが挙げられる．これによって，そのエッジに隣接する要素で白黒の判定を誤ってしまうと考えられる．そのため，QR コードが正方形のパターンで構成されていることを拘束として利用し，斜め

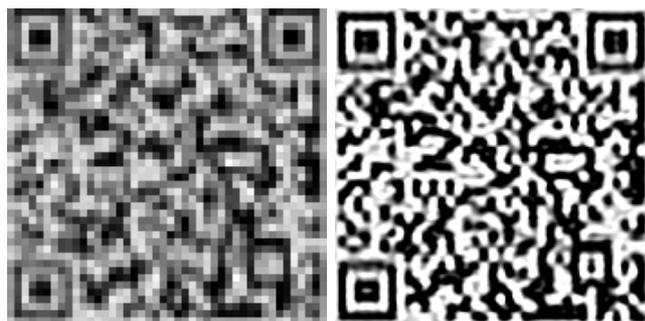


図 8 実験結果画像の例: 44^2 [pixels]

のエッジの発生を防ぐ必要がある．今回は誤差の重みをシグモイド関数を利用して決定した．しかし，2 値パターンの性質を表すのにより適した別の関数を用いることで，認識性能の向上が期待できる．よって，そのような関数の検討が課題として挙げられる．

5. む す び

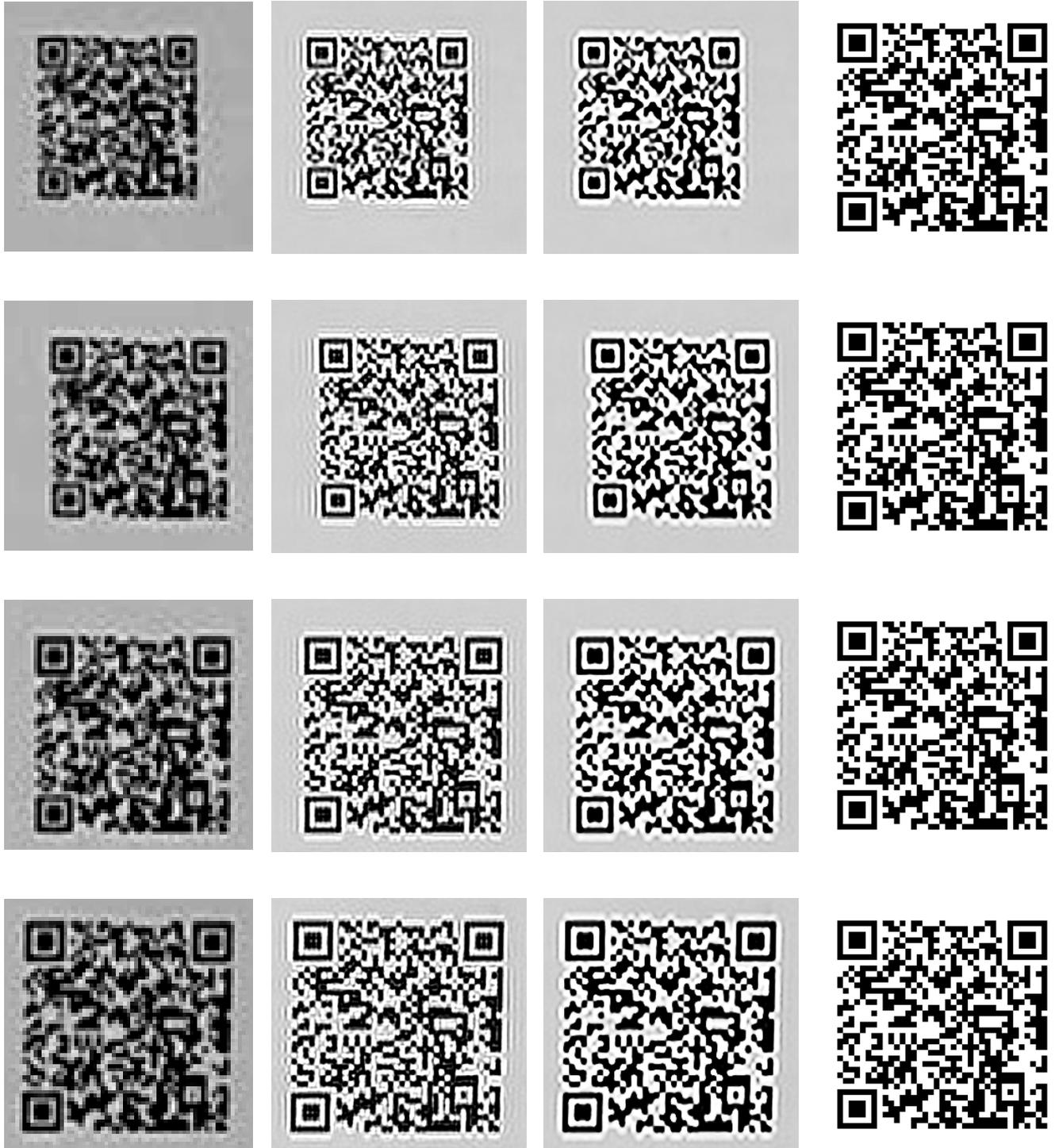
本報告では，超解像処理を用いることで低解像度 QR コードを高精度に認識する手法を提案した．提案手法は，動画像から超解像処理により高解像度化した超解像画像を作成し，その画像から QR コードの認識を行うものである．超解像を行う際，QR コードが 2 値パターンであるという性質を考慮することによって，認識の高精度化を図った．実験の結果，従来手法では認識が困難であった低解像度 QR コード画像に対して，提案手法により 98% の高い認識率が得られた．また，超解像処理に QR コードの性質の利用することで，その性質を利用しない場合と比較して認識率が平均で 15.7%，最大で 38.0% 向上することを確認した．

今後の課題として，QR コードの他の性質の利用，新たな重み関数の検討が挙げられる．また，超解像のフレームワーク自体に QR コードの認識処理を組み込むことで認識性能を向上することが考えられる．

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏に深く感謝する．本研究の一部は，科学研究費補助金による．また，本研究では画像処理に MIST ライブラリ (<http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/>) を使用した．

文 献

- [1] A. Kuhl, T. Tan and S. Venkatesh: "Model-based character recognition in low resolution", Proc. 2008 IEEE International Conference on Image Processing, pp. 1001–1004 (2008).
- [2] 柳詰, 高橋, 井手, 目加田, 村瀬: "携帯デジタルカメラにより撮影された動画像からの低解像度文字認識", 電子情報通信学会論文誌 (D), 第 J89-D 巻, pp. 323–331 (2006).
- [3] A. Okura, D. Deguchi, T. Takahashi, I. Ide and H. Murase: "Low-resolution character recognition by video-based super-resolution", Proc. 2009 International Conference on Document Analysis and Recognition, pp. 191–195 (2009).
- [4] F. Champagnat, C. Kulcsar and G. L. Besnerais: "Continuous super-resolution for recovery of 1-d image features: Algorithm and performance modeling", Proc. 2006 IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 916–926 (2006).
- [5] S. C. Park, M. K. Park and M. G. Kang: "Super-resolution image reconstruction: A technical overview", Signal Processing Magazine, **20**, 3, pp. 21–36 (2003).
- [6] 松本: "フレーム内再構成型超解像の領域適応処理による高画質化の検討", IEICE technical report, pp. 31–36 (2008).
- [7] D. Glasner, S. Bagon and M. Irani: "Super-resolution from a single image", IEEE 12th International Conference on Computer Vision, pp. 349–356 (2009).
- [8] M. Hiroyuki and I. Minoru: "Super-resolution reconstruction using randomly subpixel shifted image sequence by iterative back-projection", IEICE technical report. Image engineering, **106**, 423, pp. 25–30 (2006).
- [9] H. Stark and P. Oskoui: "High resolution image recovery from image-plane arrays, using convex projections", Journal of the Optical Society of America A, Vol. 6, pp. 1715–1726 (1989).
- [10] A. Kanemura, S. Maeda and S. Ishii: "Edge-preserving Bayesian image superresolution based on compound Markov random fields", Proc. 2007 International Conference on Artificial Neural Networks, pp. 611–620 (2007).
- [11] R. Schultz and R. Steavenson: "Extraction of high-resolution frames from video sequences", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 5, pp. 996–1011 (1996).
- [12] B. Tom and A. Katsaggelos: "Reconstruction of a high-resolution image by simultaneous registration, recognition, restoration, and interpolation of low-resolution images", Proc. 1995 IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 2, pp. 539–542 (1995).
- [13] 田中正行, 奥富正敏: "再構成型超解像処理の高速化アルゴリズムとその精度評価", 電子情報通信学会論文誌, **J88-D-II**, 11, pp. 2200–2209 (2005).
- [14] K. Takita, T. Aoki, Y. Sasaki, T. Higuchi and K. Kobayashi: "High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E86-A, pp. 1925–1934 (2003).
- [15] 坂和: "数理計画法の基礎", 森北出版 (1999).
- [16] Psytec Inc: "サイテック", <http://www.psytec.co.jp/>.



(a) 初期フレーム

(b) 従来手法による超解像画像

(c) 提案手法による超解像画像

(d) 元の QR コード画像

図 9 超解像処理結果例