

低解像度 QR コード認識のための複数フレーム超解像

Multi-frame super-resolution for low resolution QR-code recognition

加藤 祐二¹ 出口 大輔¹ 高橋 友和^{1,2} 井手 一郎¹ 村瀬 洋¹

Yuji KATO¹, Daisuke DEGUCHI¹, Tomokazu TAKAHASHI^{1,2},

Ichiro IDE¹ and Hiroshi MURASE¹

¹ 名古屋大学 ² 岐阜聖徳学園大学

ykato@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

概要: QR コードは小面積に印刷するだけでさまざまな媒体に情報を付加することができ、製造、物流、販売などのシステムで利用されている。QR コードを撮影して認識するためには、撮影画像にある程度の解像度が必要となる。しかし、実環境中ではカメラと QR コードが離れるほど撮影画像が低解像度となり、認識が困難になる。そこで、本発表では複数フレーム超解像を利用して低解像度 QR コードを高解像度化する手法を提案する。超解像において点拡がり関数は重要である。すべての QR コードは共通の固定パターンを持つため、提案手法ではそのパターンを利用して点拡がり関数の推定を行う。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、提案手法では高い認識率が得られた。

1 はじめに

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 コードは小面積に印刷するだけでさまざまな媒体に情報を付加することができ、製造、物流、販売などのシステムで利用されている。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である。しかし、実環境中ではカメラと QR コードが離れるほど QR コード画像是低解像度となり、認識が困難になる。このような低解像度の QR コードが認識できれば、遠方や複数の QR コードを認識できるようになる。また、安価で解像度の低いカメラを利用できるようになるため、工場の商品管理などにかかるコストを下げることができる。

低解像度の QR コードを認識することを目的とし、図 1 のように超解像を利用する手法を我々 [1] や柴田ら [2] が提案している。超解像では、撮影した画像のぼけを表す点拡がり関数 (PSF; Point Spread Function) が重要である。従来研究 [1, 2] では、この PSF を既知としていたが、本発表では QR コードに適した PSF を推定し、QR コード画像を高解像度化する手法を提案する。一般の画像に対して超解像を行う際に PSF を推定する様々な手法が提案されている [5, 6, 7]。また、拡張現実のための既知のマーカーを利用して PSF を推定する手法 [3] が提案されてい

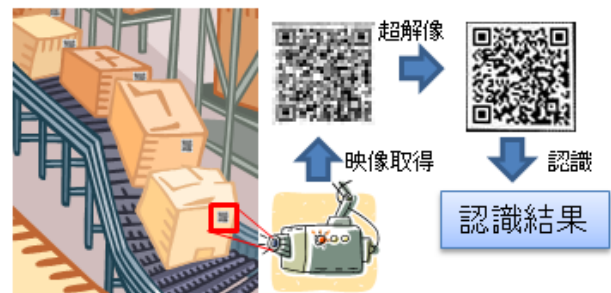


図 1: 超解像を利用した低解像度 QR コードの認識

る。これに対して、QR コードには図 2 に示すように、位置検出パターンや位置合わせパターンといった全ての QR コードに共通な固定パターンが存在する。そこで、本手法では、固定パターンの 1 つである位置検出パターン (QR コードの 3 箇所の際にある「回」の形のパターン) を利用することで高精度に PSF を推定する。

以降、2 節で提案手法について述べ、3 節でその効果を検証するために行った実験について述べる。最後に 4 節でまとめと今後の課題を述べる。

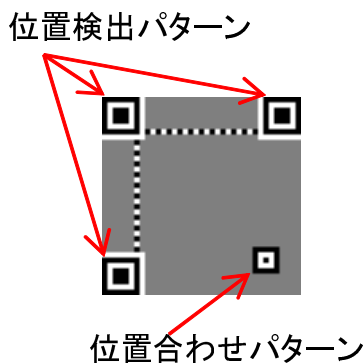


図 2: 固定パターン

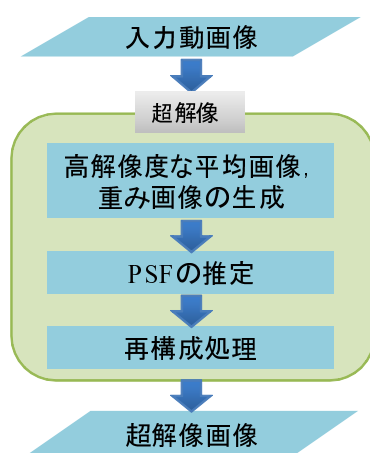


図 3: 超解像の流れ

2 低解像度 QR コード認識のための複数フレーム超解像

提案手法では MAP 推定に基づく高速な再構成型超解像 [8] を利用する．その際に QR コードの超解像に適した PSF を推定することで，認識性能の向上を図る．

超解像の全体の流れは図 3 のようになる．はじめに，入力動画像の各フレーム間の位置ずれをサブピクセル精度で推定して高解像度な平均画像，重み画像を生成する．次に，平均画像中の位置検出パターンを利用して PSF の推定を行う．最後に，推定した PSF を利用して，超解像画像の再構成を行う．

2.1 平均画像，重み画像の作成

入力動画像から，平均画像と重み画像を作成する．平均画像は入力動画像をサブピクセル精度で位置合わせして，平均をとった画像，重み画像は各画素値がその画素の重要度を表す画像である．

まず，入力動画像の任意の 1 フレームを基準フレームとして選択し， D 倍に拡大する．そして，各フレームから基準フレームへの平面射影変換行列を ICIA (Inverse Compositional Image Alignment) [9] により求める．変換行列を用いて各フレームの画素を座標変換し，同じ座標に変換された画素値の平均をとることで，平均画像を求める．ここで，変換行列の推定誤差による影響を軽減するため，画素毎に局所的にフィッティングを行い，誤差が大きい画素は除外する [10]．ただし，どの画素からも座標変換されなかった平均画像中の画素は，その 4 近傍から画素値を補間する．また，重み画像は，座標変換後の各画素に対応する画素数として作成する．

次に，平均画像から位置検出パターンを探索することで，QR コードの検出を行い，平均画像，重み画像を QR コードの各セルが $K \times K$ 画素で表現されるような座標系に変換する．ここで，セルとは QR コードの最小構成単位を表し，黒または白の正方形のパターンである．

2.2 PSF の推定

図 4 に示すように，平均画像中の固定パターンの 1 つである位置検出パターンを利用して PSF を推定する．このパターンの縦方向のエッジを PSF 推定に利用する．

QR コードのエッジは白と黒の 2 値で構成されるため，エッジ付近の画素値の変化がステップ関数で表現できる．ステップ応答 (PSF による影響を受けたエッジ付近の画素値の変化) がシグモイド関数で近似できると仮定すると，近似したシグモイド関数を微分することで 1 次元 PSF が求まる．最後に，1 次元 PSF を利用し，中心からの距離に対する等方性を仮定して 2 次元 PSF を求める．

ステップ応答の計算について詳しく述べる．平均画像は 2 値である QR コードに PSF を適用した画像であると考えられる．そのため，平均画像中の位置検出パターンのエッジ付近の画素値を利用して，ステップ応答を求める．ここでは，平均画像の位置検

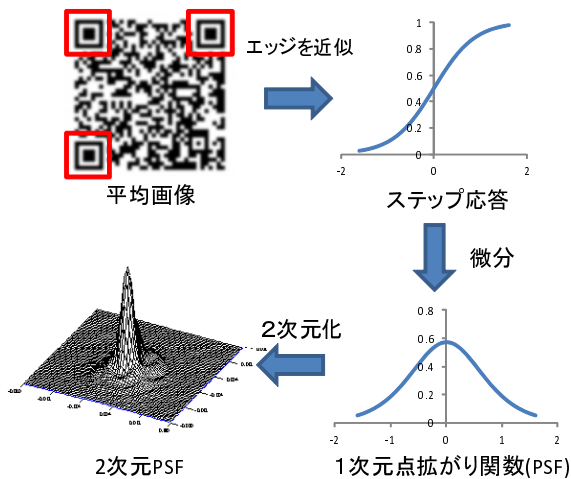


図 4: PSF の推定

出パターン部分の縦エッジの画素値の変化をシグモイド関数で近似し、ステップ応答とする。近似にはエッジの左右 $K-1$ 画素ずつを利用する。まず、エッジから K 番目の画素とエッジの距離を 1 とし、各画素とエッジとの距離を正規化して計算する。そして、図 5 のように、エッジからの距離に対する画素値をシグモイド関数で近似し、ステップ応答とする。近似には最小二乗法を利用する。

2.3 再構成処理

再構成処理では、平均画像、重み画像、PSF を利用して高解像画像 h を生成する。以下の目的関数 $J(\cdot)$ を最小化することで超解像画像 h を得る。最小化には最急降下法を用いる。

$$J(\mathbf{h}) = \sum_{i=1}^M w_i \|\mathbf{b}_i \mathbf{h} - r_i\|^2 + \alpha C(\mathbf{h}) \quad (1)$$

ここで、第 1 項は誤差項である。 M は超解像画像の画素数、 w_i 、 \mathbf{b}_i 、 r_i はそれぞれ重み画像の画素値、PSF を表すベクトル、平均画像の画素値である。第 2 項は拘束項であり、 $C(\cdot)$ は拘束を表す関数、 α は比率を調整する係数である。ここで、拘束を表す $C(\cdot)$ は画像にラプラシアンカーネルを畳込み、その画像の L2 ノルムを計算する関数とする。最急降下法に用いる超解像画像の初期画像は、推定された PSF を利用して平均画像に正規化逆フィルタをかけた画像とする。また、固定パターンに対応する画素にはその画素値を設定する。

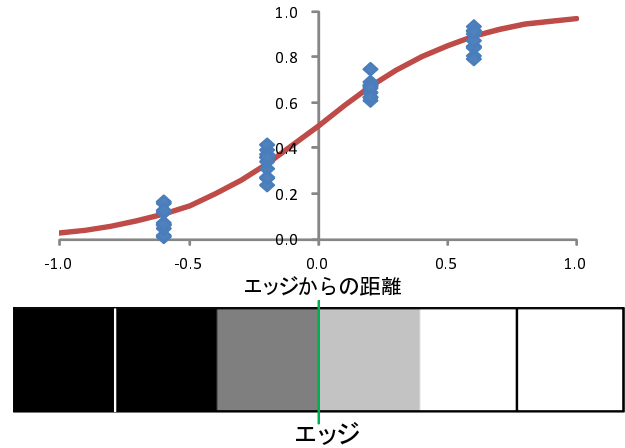


図 5: エッジの近似 ($K=3$ の例): 上図の青い点はエッジからの距離に対する画素値のプロット、赤線はそれを近似したシグモイド関数。下図はエッジ近傍の画素の例。

3 実験

提案手法の有効性を確認するため、動画画像から QR コードを認識する実験を行った。実験はシミュレーションにより生成した動画画像および実際に撮影した動画画像に対して行った。評価には認識率を用い、以下に示す 3 つの手法を比較した。認識では、生成した超解像画像から QR コードをデコードして QR コードに埋め込まれた情報を取得し、正しい情報である場合を認識成功とした。

1. 超解像なし：各フレームをバイキュービック法で縦横 4 倍に拡大し、1 フレームでも認識できれば認識成功とする。
2. 従来超解像：PSF を既知として、従来の超解像 [8] により入力動画画像の縦横 4 倍の解像度の超解像画像を生成し、認識できれば認識成功とする。
3. 提案手法：提案手法により入力動画画像の縦横 4 倍の解像度の超解像画像を生成し、認識できれば認識成功とする。従来超解像との違いは PSF を推定する点である。PSF 推定の際に用いる画素数のパラメータ K は 3 とした。



図 6: シミュレーションによる生成画像の例

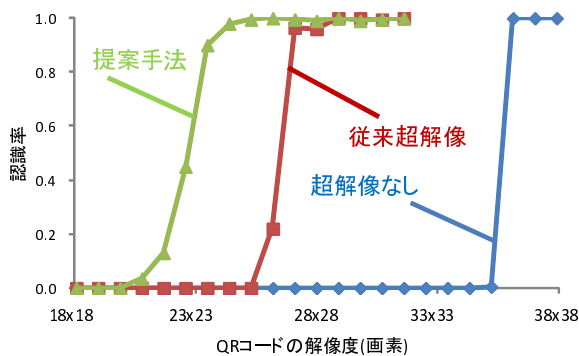


図 7: QR コードの解像度と認識率

3.1 シミュレーション実験

3.1.1 実験条件

動画は 20 種類の QR コードから劣化過程をシミュレートして生成した。各 QR コードにつき 100 フレームからなる 10 本の動画をを用意した。QR コードのセル数は 37×37 セルとした。劣化過程は、QR コード画像を 13 倍に拡大した後、ランダムに生成した平面射影変換行列により変形し、微小な位置ずれを与え、標準偏差 2.0 のガウシアンフィルタによってぼかしを与え縮小し、標準偏差 10 のガウシアンノイズを重畳することでシミュレートした。シミュレーションにより生成した画像の例を図 6 に示す。

3.1.2 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。超解像なしの場合、セル数と同じ 37×37 画素程度から認識が可能であった。これに対し、提案手法では 24×24 画素程度から認識が可能であった。これにより、提案手法では超解像なしに比べて、QR コードの画素数が半分以下であっても、認識可能であることを確認した。また、提案手法は従来超解像と比較して、より低い解像度でも認識できることから、低



図 8: 超解像結果 (27×27 画素) : 赤は誤ったセル

解像度 QR コード画像の認識において提案手法が有効であることを確認した。この理由として、平均画像に含まれる座標変換やダウンサンプリングによる劣化が提案手法により推定した PSF で適切に表現できたこと、推定した PSF を用いた再構成処理の初期画像の設定が適切であったことが考えられる。超解像画像の例を図 8 に示す。従来超解像よりも提案手法による超解像画像から読み取った QR コードの方がセルの誤りが少なくなっていることがわかる。このことより、提案手法のほうが正確な高解像度画像を生成できることを確認した。

3.2 実動画実験

3.2.1 実験条件

20 種類の QR コードを同じ距離から撮影した動画画像を利用して QR コードの認識実験を行った。各 QR コードにつき 100 フレームからなる 10 本の動画をを用意した。QR コードのセル数は 37×37 セルとした。撮影に使用したカメラは Point Grey Flea 3 である。従来超解像の PSF はガウス分布で近似し、そのパラメータは予備実験の結果から決定した。撮影した動画画像の例を図 9 に示す。動画画像中の QR コードの部分の解像度は 27×27 画素程度である。

3.2.2 実験結果

QR コードの認識率を表 1 に示す。実動画に対しても提案手法は従来超解像と超解像なしの両手法より高い認識率であった。これにより、低解像度な QR コードに対して提案手法が有効であることを確



図 9: 実動画のフレームの例 (27×27 画素)

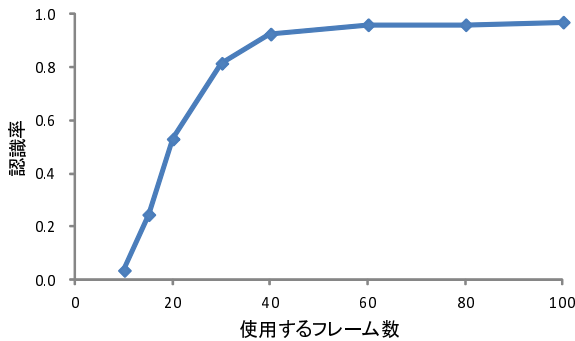


図 10: 提案手法のフレーム数と認識率

認した．動画のフレーム数に対する提案手法の QR コードの認識率を図 10 に示す．使用するフレーム枚数が 10 フレームから 40 フレームまでは，フレーム枚数は増えるほど認識率が上昇し，40 フレームからは，認識率がほぼ一定となった．10 フレーム以下では認識できなかったのは，認識に必要な情報を得るために十分なフレーム数ではなかったためと考えられる．超解像画像の例を図 11 に示す．従来超解像を利用して復元した QR コードの多くは右下のセルを誤っていた．これは，右下にある位置合わせパターンの検出に誤差があり，その付近でセルの白黒を正しく決定できなかったことが原因と考えられる．

4 まとめ

本発表では，QR コード特有の固定パターンを利用して PSF を推定し，超解像により QR コードの動画を高解像度化する手法を提案した．シミュレーション実験，実画像実験により，提案手法の有効性を確認した．今後の課題として，フレーム数が少なくても認識が可能な手法の検討，非等方な 2 次元 PSF の推定が挙げられる．

	超解像なし	従来超解像	提案手法
認識率	0.000	0.785	0.970

表 1: 実動画からの認識率 (27×27 画素)



図 11: 超解像結果 (27×27 画素) : 赤は誤ったセル

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．

参考文献

- 1) Yuji Kato, Daisuke Deguchi, Tomokazu Takahashi, Ichiro Ide, and Hiroshi Murase, “Low resolution QR-code recognition by applying super-resolution using the property of QR-codes,” Proc. ICDAR2011, pp.992–996 (2011).
- 2) 柴田 剛志, 池谷 彰彦, 仙田 修司, “2 値及びグリッド拘束に基づく QR コード向け超解像”, MIRU2011 予稿集, IS3-11, pp.936–941 (2011).
- 3) 奥村 文洋, 神原 誠之, 横矢 直和, “拡張現実感のための実画像のぼけ推定に基づく実時間画像合成”, 信学技報 MVE, MVE2005-36 (2005).
- 4) Katherine Donaldson and Gregory K. Myers, “Bayesian super-resolution of text in video with a text-specific bimodal prior,” IJDAR, vol.7, no.2–3 pp.159–167 (2005).
- 5) 牟田 桂介, 横山 貴紀, 渡辺 俊典, 古賀 久志, “超解像処理を用いたブレ画像修復手法”, 信学論 (D), vol.90-D, no.6, pp.1532–1541 (2007).
- 6) 瀧澤 誠, 長谷山 美紀, “手ぶれにより劣化した動画の復元および高解像度化に関する一検討”, 信学技報 ITS, IE2008-251 (2009).

- 7) Ce Liu and Deqing Sun, "A Bayesian Approach to Adaptive Video Super Resolution", Proc. CVPR2011, pp.209-216 (2011).
- 8) 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", 信学論(D), vol. 88-D, no.11, pp.2200-2209 (2005).
- 9) Simon Baker and Iain Matthews, et al. "Lucas-Kanade 20 years on: A unifying framework", IJCV, vol.56, no.3, pp. 221-255 (2004).
- 10) 田中正行, 矢口陽一, 古川英治, 奥富正敏, "位置ずれ量を考慮した画素選択に基づくロバスト超解像処理", 信学論(D), vol. J92-D, no.5, pp.650-660 (2009).

加藤祐二: 平 22 名大・工・情報卒。画像処理, パターン認識に興味を持つ。ホームページ: <http://www.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/~ykato/> .

出口大輔: 2001 年, 名大・工・情報卒。2006 年, 同大学院博士後期課程修了。2004 年~2006 年まで日本学術振興会特別研究員。2008 年より名古屋大学大学院情報科学研究科助教。博士(情報科学)。画像処理・パターン認識技術の開発とその ITS および医用応用に関する研究に従事。

高橋友和: 平 9 茨城大・工・情報卒。平 12 同大学院理工学研究科博士前期課程了。平 15 同研究科博士後期課程了。博士(工学)。同年より 2 年間名古屋大学大学院情報科学研究科 COE 研究員。平 17 より 3 年間日本学術振興会特別研究員。平 20 より岐阜聖徳学園大学経済情報学部准教授, 現在に至る。画像認識の基礎研究ならびにその応用に興味を持つ。画像電子学会会員。

井手一郎: 1994 年, 東大・工・電子卒。2000 年, 同研究科電気工学専攻博士課程了。博士(工学)。同年国立情報学研究所助手。2004 年, 名古屋大学大学院情報科学研究科助教, 2007 年より准教授。パターン認識技術の実応用や映像メディア処理全般に興味を持っている。

村瀬洋: 1978 年名大・工・電気卒。1980 年同大学院修士課程了。同年, 日本電信電話公社(現 NTT)入社。2003 年名古屋大学大学院情報科学研究科教授。工学博士。画像処理, パターン認識の研究に従事。