

局所的な歪みを含む QR コードの復号方式に関する研究 ～位置検出パターンの発見方法について～

伊藤 拓也^{†1} 川上 雄大^{†1} 澤井 陽輔^{†1}
小野 智司^{†1} 川崎 洋^{†1} 中山 茂^{†1}

一般的な 2 次元コードの復号方式は、歪みがない 2 次元コードや、全体が均一に歪んでいる 2 次元コードの復号を行えるが、一部が局所的に激しく歪んだ 2 次元コードの復号は困難である。本論文では、2 次元コードに補助線を重畳し、一部を着色することで、非均一、局所的な歪みを含む場合においても復号が可能な 2 次元コードとその復号方式を開発する。

A Decoder for Two Dimensional Barcode with Local distortion —A Method for Finding Position Detector Patterns

TAKUYA ITO,^{†1} YUDAI KAWAKAMI,^{†1} YOSUKE SAWAI,^{†1}
SATOSHI ONO,^{†1} HIROSHI KAWASAKI^{†1}
and SHIGERU NAKAYAMA^{†1}

General two-dimensional barcode decoders read barcodes without any distortion or with uniform distortion, and it is hard for the decoders to read barcodes involving partial, non-linear distortion. This paper proposes a two-dimensional barcode involving colored auxiliary lines and finder patterns and its decoder. The proposed decoder can read the proposed barcodes even if they are distorted locally and non-linearly.

^{†1} 鹿児島大学 理工学研究科 情報生体システム工学専攻

Department of Information Science and Biomedical Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University

1. はじめに

2 次元コードは読み取りの速さと正確さ、操作性の高さなどから生産や物流、販売など様々な分野で活用されている。2 次元コードの中でも、QR コード^{*2}は誤り訂正機能や、汚れ・破損に強いなどの特徴がある。QR コードには歪みを補正する機能があり、一般的な QR コードのデコーダは、斜め方向からシンボルを撮影した際に生じる歪みや、曲面にシンボルを張りつけた際などに生じる、均一な歪みに対してのみ補正を行うことができ、読み取ることができる。しかし、ゴミ袋のような不規則形状物にシンボルを張りつけた際に生じる非線形的、局所的な歪みは補正して読み取ることは出来ない。現在、2 次元コードの利用場面として、雑誌や広告などの印刷媒体への印刷、Web 画面での表示などがあるが、これらは平面や単純な曲面上に限定されている。

また、現在ゼロエミッション研究構想の実現を目指す取り組みの一つとして、廃棄物からバイオマスガスを生成する技術が注目されている。環境負荷の視える指標として廃棄物の種類や分量、発生源などを把握することは廃棄物処理施策の立案および環境分野の研究を行う上で必要である。その運用コストを抑えるために、廃棄物の自動分別および自動計量技術が求められている。しかし、自動分別を行う上でゴミ袋のような不規則形状物に貼付された 2 次元バーコードを検出、復号することは難しい。

本研究では、コンベア上を移動するゴミ袋や、収集車の荷台に積載されたゴミ袋を自動的に読み取することを目的として、非均一で局所的な歪みを含む QR コードの復号方式を提案する。本研究では、通常の QR コードと可読性の観点での互換性を維持しつつ、あらかじめ格子状の補助線を付加し、着色したファインダパターンを持つ 2 次元コードを開発する。デブルーイン系列¹⁾の色パターンを持つ補助線を用いることで、オクルージョンの検出を可能とし、QR コードの誤り訂正機能と合わせることで、局所的な歪みを含む場合やオクルージョンがある場合においても復号することができる。

2. 関連研究

2.1 QR コード

QR コードは 1 次元バーコードと異なり縦横に情報を持つため、格納できる情報量が多く、数字だけでなく英字や漢字など多言語のデータを格納することができる。QR コードに

^{*2} QR コードは株式会社デンソーウェーブの登録商標である。

格納されたデータを読み取るには、カメラ付きの携帯端末や Web カメラなどで撮影した画像内の QR コードを画像解析により検出、および復号する必要がある。後述の位置検出要素パターンの特徴を利用して画像内から QR コード領域を検出することができる。以下に QR コードの概要を示す。

2.1.1 QR コードの概要

QR コードシンボルは、正方形様のモジュールを正方形配列に並べ、符号化領域および機能パターン、すなわち、位置検出パターン、分離パターン、タイミングパターン及び位置合わせパターンの組み合わせとして構成する。機能パターンは符号化領域としては使用しない。シンボルは、その四辺の周囲にクワイエットゾーンをもつ。以下に各用語について示す。

- (1) **モジュール** … シンボルを構成する単位セル。1 ビットが 1 モジュールに相当する。
- (2) **位置検出パターン** … QR コードシンボルの 3 つの隅に配置される機能パターン。画像領域内でシンボル位置の検出を助ける。また、これによりどの方向からでも QR コードの認識が可能となる。
- (3) **位置合わせパターン** … マトリックスシンボル体系における、決められた位置にある固定パターン。このパターンは画像にある程度のひずみが生じた場合でも、復号ソフトウェアが画像の座標マップを再編成することを可能にする。
- (4) **タイミングパターン** … シンボル内のモジュール座標を決定する明モジュールと暗モジュールの交互の列。
- (5) **形式情報** … シンボルに適應する誤り訂正レベル及び使用するマスク処理パターンに関する情報を持ち、復号化領域を符号化するために必要な復号化パターン。
- (6) **データコード語** … QR コードに埋め込まれるデータ
- (7) **誤り訂正コード語** … QR コードに汚れなどがある場合でもデータコード語を正確に読み取れるように余分につけられるビット。Reed-Solomon 符号が使われており、データ語から計算して作成される。

2.1.2 位置検出パターンの特徴

各位置検出パターンは、3 個の同心正方形が重なった形状で、暗の 7×7 モジュール、明の 5×5 モジュール、暗の 3×3 モジュールからなる。各位置検出要素パターンにおけるモジュール幅の比率は、図 1 に示すように $1:1:3:1:1$ となっており、この比率が QR コード発見の際に使用される。QR コードを復号する際は、位置検出パターンを構成する 3 つの

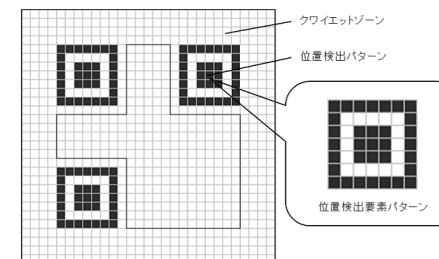


図 1 各位置検出要素パターンの構成

位置検出要素パターンを識別することによって、視野内におけるシンボルの位置および方向を認識することができる。

2.2 ゴミ袋におけるバーコードの利用

ゴミ袋に 1 次元のバーコードを貼付する試みが一部の自治体で行われている。2000 年、長野県更埴市の家庭用ごみ収集において、バーコードシールの貼付されたゴミ袋の導入が行われた^{*5}。これは更埴市の政策の一つであり、分析結果による将来への有料化や住民のごみ減量に対する意識向上を目的とするものであり、以下のように実施された。

- (1) 12,000 世帯の世帯情報 (世帯主、世帯人数、住居エリア等) をホストコンピュータに入力し、バーコードナンバーを付与する。
- (2) 住民は指定袋に自分の名前の印刷されたシールを貼ってゴミを出す。
- (3) 作業員が回収時にバーコードをスキャンしながら回収する。
- (4) 回収したバーコード情報をホストに移し、世帯人数や住居エリア別の分析結果を管理する。

3. 提案する手法

本研究で提案する 2 次元コードおよびその復号技術における基本的な考えを以下に示す。

*5 http://www.gomibukuronews.com/news/2000/news_0009.html

3.1 開発方針

方針 1: 補助線、着色を付加した 2 次元コードを使用

一般的な QR コードをもとに、歪みが生じた場合においても検出および読み取りを可能とする 2 次元コードを作成する。2 次元コードには、格子状の補助線を付加する。また、2 次元コードの位置検出を効率的に行うため、位置検出パターンにも色情報を付加する。

方針 2: 歪みを考慮した QR コード検出

位置検出パターン領域の着色を行いモジュール幅の比率以外の情報を利用することで、非線形、局所的な歪みに頑健な、安定した領域抽出を行うことができる。特に、歪みによって位置検出要素パターンのうち 1 個または 2 個が見つからなかった場合や、位置検出要素パターン領域が半分程度欠けている場合でも QR コード領域を発見できる。

方針 3: 補助線に基づくサンプリング点座標の推定

2 次元コードにあらかじめ付加された補助線を検出し、補助線によりセルの位置を特定することでセル情報を取得する。補助線はデブルーイン系列に基づく色を持つため、歪みを含み、オクルージョンが生じた場合であっても、セルの特定が可能である。重畳される補助線は各セルの中心点への影響を避けており、本論文で提案する 2 次元コードは既存のデコーダによる可読性を保つ。

3.2 2 次元コードの設計

補助線は任意の密度で付与が可能であるが、本論文では線識別のコストを減らすため、縦横それぞれ 2 セル間隔で補助線を付加する。本研究において、実際に作成した 2 次元コードを図 2 に示す。

QR コードの構造上、1 辺のセル数が奇数となるため一部の補助線の間隔を 1 セルとする。縦線には「赤」と赤に緑を加えた「黄」、横線には「青」と青に緑を加えた「シアン」を用いる。また、縦線と横線の交点には赤と青を混ぜた「マゼンタ」、位置検出パターンには「緑」を用いる。

3.3 処理手順

提案する方式の処理手順について図 3 に示し、処理の流れを説明する。

(1) 入力

カメラで撮影した画像を入力とする。45 リットルのゴミ袋が画角に収まる程度の撮影距離とする。

(2) 着色領域の検出

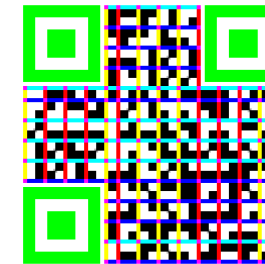


図 2 作成した QR コード

HSV 成分を用いて、位置検出パターンの候補、および補助線領域をそれぞれ抽出する。

(3) 比率走査による位置検出パターンの判定

位置検出パターン候補領域領域に対して縦横の比率走査を行い、位置検出パターンの有無を判定する。本方式による比率走査による判定については 3.4 節に後述する。

(4) 位置検出要素パターンの探索、及び識別

検出した位置検出要素パターンが 3 個未満の場合、独自のアルゴリズムを利用して 3 個の候補を探索する。3 個の候補を発見した後、QR コードに対する各位置検出パターンの位置をそれぞれ識別する。本方式による位置検出要素パターンの検出、及び識別については 3.5 節に後述する。

(5) QR コードの中心推定

付加した補助線領域を検出し、画像内での QR コードの中心の位置を推定する。

(6) トリミング

検出した位置検出パターン、QR コードの中心の座標を用いて、QR コードを正しい姿勢に回転し、QR コード領域の周辺領域から切り取りを行う。

(7) 補助線領域の抽出

切り取り画像より白および黒のピクセルを除いた領域を、補助線領域として抽出する。

(8) 補助線の色識別

RGB 成分を用いて赤線、黄線、青線、シアン線をそれぞれ補助線領域から検出する。

(9) 補助線の ID 識別

補助線領域を縦方向と横方向にそれぞれラインスキャンし、ライン毎に線のパターンを観測する。観測したパターンと 2 次元コードにあらかじめ付加したパターンが一

致しない場合、DP マッチングを用いて各線の最適な ID を推定する。DP マッチングについては 3.6 節に後述する。

(10) 各セルの情報取得

ID が認識済みの補助線を用いて、2 次元コードに付加された格子状の補助線の交点を求める。隣接する 4 つの交点で矩形を作成し、作成した矩形を適切なセル数に分割することで、各セルの位置を推定する。推定されたセル内の領域から、セルの色情報を取得する。

(11) デコード

取得した各セルの色情報をもとに QR コードを復元する。復元した QR コードを既存のデコーダで処理することで、デコード結果を取得する。

3.4 比率走査による判定

3.3 節に示す処理手順の (2) における詳細な処理手順を以下に示す。まず、着色した位置検出パターン領域の検出した画像に対しラベリング処理を行う。画像内における各連続領域を位置検出要素パターン領域の候補として、その矩形情報を保存しておく。次に、各矩形内で横方向に対して 1 ラインずつドット走査を行う。「黒、白、黒、白、黒」の領域それぞれの画素数を調べ、 P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 とする。 $(P_3$ には中央の比率 3 の領域のピクセル数が入る。) 以下の条件を満たすラインを検出した場合、処理を行っている矩形のスコアを上げていく

$$\left\{ 1.5 \times \frac{1}{4} \sum_{k(\neq 4)} P_k < P_3 < 4.5 \times \frac{1}{4} \sum_{k(\neq 4)} P_k \right. \quad (1)$$

以上の処理を矩形内のすべての行、列で行い、スコアが一定以上の場合、その矩形を画像内の位置検出要素パターンの 1 つとして格納する。すべての矩形に対して同様の処理を行い、画像内における位置検出要素パターンの検出を行う。

検出した位置検出パターンの例を図 4 に示す。青色に着色された線が、水平方向で上記の比率判定を満たした個所を示し、緑色に着色された線が、垂直方向で上記の比率判定を満たした個所を示す。

3.5 位置検出パターンの探索、及び識別

位置検出パターンの探索は、処理手順 (3) によって位置検出要素パターンが 1 個もしくは、2 個のみ見つかった場合に行う。まず、補助線領域を処理手順 (1) と同様に補助線に使

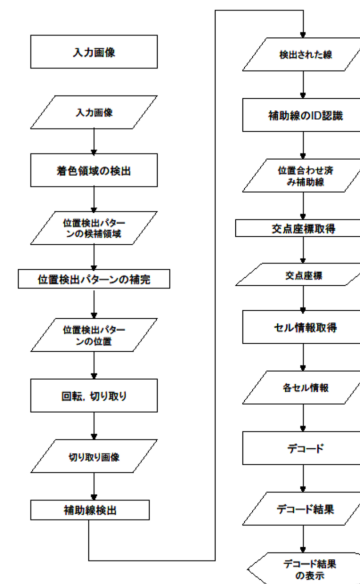


図 3 システムの処理手順

用した色領域をそれぞれ検出する。各色領域を合わせ、その補助線領域の中心の点を QR コードの中心の位置として利用する。処理手順 (3) によって検出した位置検出要素パターンから、QR コードの中心の位置に対して同じ距離に水平に伸ばした点、垂直の点を位置検出要素パターンの候補点とする。候補点と処理手順 (3) で用いた着色領域の各矩形の中心点との距離を求め、距離の短い矩形の中心点を位置検出パターンと決定する。

位置検出パターンの識別は画像内における 3 つの位置検出要素パターンの中心点のベクトルを用いて行う。各中心点との距離の長い組み合わせのパターンを QR コードの右上と左下のパターンとし、左上のパターンとの積を計算することで判定を行う。以上の手法を用いて、位置検出要素パターンが 1 つ見つかった場合の、QR コードの中心点、候補点の描画

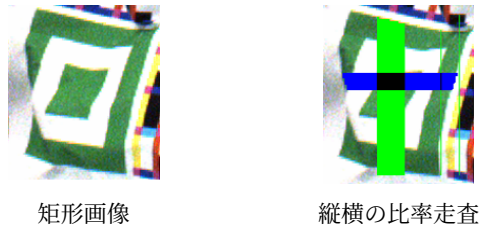


図 4 位置検出要素パターンの判定

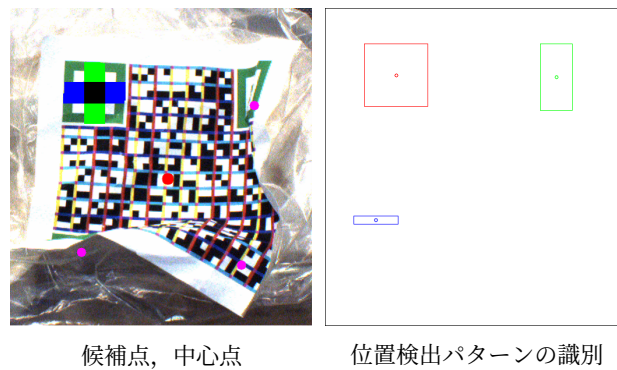


図 5 探索および識別

を行った結果、および判定を行った結果を図 5 に示す。

3.6 DP マッチングによる補助線の ID 認識

DP(Dynamic Programming) マッチングとは、パターンの要素間に定義された類似度にもとづいた、パターンの伸縮まで考慮に入れたマッチング方式である。²⁾⁻⁴⁾ DP マッチングによる補助線の ID 認識方法を以下に示す。テンプレートパターンを $A = a_0a_1a_2...a_i...a_m$ 、観測パターンを $B = b_0b_1b_2...b_j...b_n$ とすると、パターン間の類似度を

$$F(m, n) = \max \begin{cases} F(m-1, n) + X_n \\ F(m-1, n-1) + S(a_m, b_n) \\ F(m, n-1) + Y_n \end{cases} \quad (2)$$

とする。ここで A, B は、テンプレートパターンおよび観測パターンにおいて、それぞれの



図 6 補助線からサンプリング点を取得

始めと終わりにギャップを挿入済みのものとする。あらかじめ始めと終わりにギャップを挿入しておくことで、パターン外へのギャップの挿入を回避することができる。また、

$$F(0, 0) = 0 \quad (3)$$

と定義する。 X, Y はそれぞれパターン A, B にギャップを挿入する場合のギャップスコア、 $S(a_i, b_j)$ は a_i と b_j の一致スコア、 $F(m, n)$ はパターン A と B の最適解の類似度を表す。最適解を求めるには $F(0, 0)$ から $F(m, n)$ に至ったパスを $F(m, n)$ からトレースバックすることで求めることができる。

ギャップスコアと一致スコアの定義には、観測パターン B の観測座標を用いる。

$$X_j = \begin{cases} p_{j+1} - p_j & (j \neq n) \\ 0 & (j = n) \end{cases} \quad (4)$$

$$Y_j = \max(X) \times (-10) - X_j \quad (5)$$

$$S(a_i, b_j) = \begin{cases} \max(X) \times 1000 & \text{if } a_i = b_j \\ -\max(X) \times 1000 & \text{if } a_i \neq b_j \end{cases} \quad (6)$$

また、補助線 ID を認識後、補助線からサンプリング点を決定した画像を図 6 に示す。

4. 実 験

提案する 2 次元コードおよび復号方式の有効性を検討するために、廃棄物の自動分別を想定した実験を行った。カメラからのゴミ袋の距離を 1 メートル程度に設置し、ゴミ袋に対



図 7 実験に使用した画像

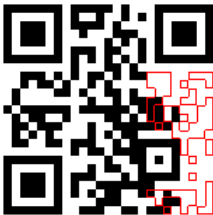


元画像



トリミング結果

図 8 実行例 1

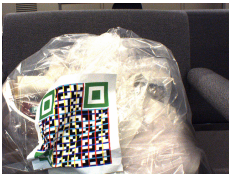


復号結果

表 1 実行結果		
実行例	検出した位置検出パターン数	復号に失敗したセル [%]
1	2	14.1
2	3	2.1
3	2	5.3

して 2 点から照明を用いて光を照射するものとした。撮影した画像の例を図 7 に示す。
本方式を用いて歪んだ 2 次元コードの検出および復号を試みた例を図 8, 図 9, および図 10 に示す。図 8, 図 9, および図 10 から、非線形、局所的な歪みを含む QR コードでも、検出、復号が可能であることが確認できる。

また、各実行例において復号に失敗したセルの割合を表 1 に示す。検出した位置検出パターンが 2 つ以下の場合であっても、2 次元コード領域の識別、回転が行えていることがわかる。また、実行例の元画像のような局所的な歪みが生じている場合においても、補助線に基づいてサンプリング点を決定でき、オクルージョンが発生していない箇所は正しく復号で



元画像



トリミング結果

図 9 実行例 2



復号結果



元画像



トリミング結果

図 10 実行例 3



復号結果

きることを示す。

5. おわりに

本研究では、非均一、局所的な歪みを含む 2 次元コードの復号方式の提案および開発を行った。歪みを考慮した復号を行うための 2 次元コードを作成し、その検出、復号方法の開発を行うことで誤り訂正機能の範囲内において、局所的な歪みを含む場合や、オクルージョンがある場合においても復号可能なデコーダを開発した。

今後は、カメラを複数台に増やし、よりオクルージョンに頑健な方式を検討する。また、補助線を含まない一般的な QR コードを復号する方式を提案する。

謝辞 本研究は独立行政法人科学技術振興機構研究成果最適展開支援プログラム A-STEP によるものである。

参 考 文 献

- 1) 大田, 川崎, 佐川, 古川, 川崎, 八木: デブルーイン系列と Belief-Propagation を用いた高密度ラインパターン検出による高速動体の 3 次元計測手法, 画像の認識・理解シンポジウム, MIRU2009.
- 2) H. Sakoe and S. Chiba : “ A dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition, ”IEEE Trans. Acoust. Speech and Sinal Proc., vol. ASSP-26, no. 1, pp. 43- 49, 1978.
- 3) 大桃諭, 陳漢雄, 古瀬一隆, 大保信夫: タイムワーピング に基づく時系列データの類似検索 - 次元縮小による効率化, DBSJ Letters Vol.4, No.1, pp.1-4, 2005.
- 4) 石川雅弘, 吉川昂伯, 陳漢雄, 古瀬一隆, 類似部分区間検索のためのタイムワーピング距離の下限值計算, DBSJ Letters Vol.6, No.1, 2007.
- 5) 内田誠一, 迫江博昭: 1 次元パターンの解析的 DP マッチング, MIRU2006
- 6) JISX0510, “ 二次元コードシンボルー QR コードー基本仕様 ”, 2004
- 7) 中野裕哉, 大矢誠: 強い画像歪みを伴う QR コードの補正, 一般社団法人日本機械学会, 講演論文集 2010(47), 379-380, 2010.
- 8) 遠藤祐介, 恩賀嶺, 廣友雅徳, 森井昌克: カラー多重化 QR コードの提案と評価, 電子情報通信学会技術研究報告. LOIS, ライフインテリジェンスとオフィス情報システム : IEICE technical report 109(205), 43-48, 2009.
- 9) 佐藤創: QR コードの符号化・復号アルゴリズム解説: 学習読み物としての試み, 専修大学情報科学研究所所報 76,37-52,2011.