

# ゴミ袋に貼付された歪んだ2次元コードの復号

A Decoder for Distorted Two-Dimensional Barcodes on Garbage Bags

小野 智司\*<sup>1</sup>

Satoshi Ono

川上 雄大\*<sup>1</sup>

Yudai Kawakami

伊藤 拓也\*<sup>1</sup>

Takuya Itoh

澤井 陽輔\*<sup>1</sup>

Yosuke Sawai

川崎 洋\*<sup>1</sup>

Hiroshi Kawasaki

中山 茂\*<sup>1</sup>

Shigeru Nakayama

\*<sup>1</sup>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

General 2D code decoders read 2D codes without any distortion or with uniform distortion, and it is hard for the decoders to read 2D codes involving partial, non-linear distortion. This paper proposes a 2D code involving colored auxiliary lines and finder patterns. This paper also proposes a decoder for the proposed code, which can read the proposed codes even if they are distorted locally and non-linearly. The proposed decoder identifies an occluded area due to the distortion of the code itself with the auxiliary lines based on de Bruijn sequence, and decodes the code with error correction of the 2D code.

## 1. はじめに

2次元コードは、従来の1次元バーコードよりも多くの情報を含有できることから、物流、生産、販売等の分野において広く用いられている。2次元コードは、発見がより容易となるよう位置検出用のパターンを備え、汚損や欠損が生じた際に訂正や補完を行う機能を備える。近年は、携帯電話に2次元コードのデコーダが標準搭載されたことから、従来の物品認識・管理の用途に加えて、URL、メールアドレス等の入力を省力化するショートカット、物理媒体上に付与されたリンクとしての用途が拡大している。

2次元コードは、平面や一般的な曲面上に印刷されることを想定しており、一般的なデコーダは単純な歪みのみを補正する機能を備える[中野 10]。このため、2次元コードに対して斜め方向から撮影を行った場合や、円柱状の物体に印刷された2次元コードを復号することができる。一方、非均一な凹凸の形状上に印刷された2次元コードを復号することは困難である。航空機の搭乗券に印刷されたQRコードを復号する際は、デコーダに搭乗券を押しつけるなどの手段により、搭乗券のしわを伸ばす必要がある。

近年、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。環境負荷を可視化するための指標として、廃棄物の種類や分類、発生源などを把握することは、廃棄物処理施設の立案および環境分野の研究を行う上で必要であり、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。ゴミ袋のような不規則形状物に2次元コードを付与することで、廃棄物の自動認識を実現できると期待されるが、ゴミ袋上に生じる非線形的、局所的な歪みを含む2次元コードは、復号がきわめて困難である。

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ることを目指し、2次元コードおよびその復号方式を提案する。本研究で提案する2次元コードは、通常の2次元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、着色した位置検出パターンを持つ。提案する復号方式は、補助線の着

色パターンをもとに、局所的な歪みの補正や、オクルージョン領域の認識が可能であり、2次元コードが持つ誤り訂正能力と併せて用いることで、複雑に歪んだ2次元コードの復号が可能である。

## 2. 提案する手法

本研究で提案する2次元コードの復号方式における基本的な考えを以下に示す。

### 2.1 基本方針

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コードに、デブルーイン系列[大田 09]に基づいて着色された格子状の補助線を重畳する。また、位置検出を効率的に行うため、位置検出パターンを着色する。

方針2：歪みや欠損を考慮したQRコード検出  
位置検出パターン、補助線の色情報およびモジュール幅の比率を利用することで、非線形、局所的な歪みに頑健な、安定した2次元コード領域の検出を図る。

方針3：補助線に基づくモジュール領域の取得  
補助線によりモジュールの位置を特定することで各モジュールの明暗情報を取得する。補助線はデブルーイン系列に基づく色を持つため、歪みによりオクルージョンが生じた場合であっても、遮蔽されたモジュールの推定が可能である。重畳される補助線は各モジュールの中心点への影響を避けており、本研究で提案する2次元コードは既存のデコーダによる可読性を保つ。

### 2.2 2次元コードの設計

本研究で提案する2次元コードの例を図1に示す。補助線には2色で8パターンを表現するデブルーイン系列の色パターンを用いる。各補助線の持つIDを大域的補助線ID、各補助線のデブルーイン系列におけるパターンIDを局所的補助線IDとする。縦方向の補助線には赤色の線および赤に緑を加えた黄色の線を用い、横方向の補助線には青色の線および青に緑を加えたシアン色の線を用いる。また、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。

補助線は任意の密度で付与が可能である。本稿では線識別の労力を減らすため、縦横それぞれ2モジュール間隔で補助線

連絡先: 小野 智司, 鹿児島大学 理工学研究科 情報生体システム工学専攻, 〒 890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40, ono@ibe.kagoshima-u.ac.jp



図 1: 提案する 2 次元コード      図 2: ノイズの例

を付加する。QR コードの構造上、1 辺のモジュール数が奇数となるため一部の補助線の間隔を 1 モジュールとする。

### 2.3 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。

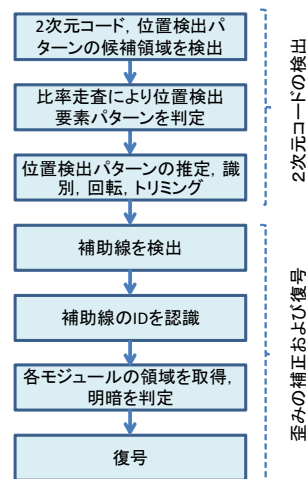


図 3: システムの処理手順

1. 位置検出パターンの候補領域検出  
補助線および位置検出パターンの色情報をもとに、2 次元コード候補領域および位置検出パターン候補領域を抽出する。
2. 比率走査による位置検出パターンの判定  
縦方向、横方向のそれぞれにおいて、位置検出パターン候補領域に対しての比率走査を行い、位置検出パターンであるか否かを判定する (2.4)。
3. 位置検出パターンの推定、識別、回転、トリミング  
検出した位置検出パターンが 3 個未満の場合、2 次元コード候補領域をもとに 2 次元コードの中心の位置を推定し、見つからなかった位置検出パターンの位置を推定する。3 個の候補を発見した後、2 次元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。識別後の位置検出パターン、2 次元コードの中心の座標を用いて 2 次元コードを回転し、2 次元コード領域を特定する。
4. 補助線領域の抽出  
2 次元コード領域より補助線領域を抽出する。このとき、カメラの性能によっては図 2 の楕円で示すように、白と黒の境界に赤色や青色のノイズが発生する。このノイズを除去するために、白領域および黒領域をそれぞれ膨張させ、それぞれの領域の共通領域を除去する。
5. 縦線・横線の判別  
RGB 成分を用いて、補助線領域から縦方向および横方向の補助線領域をそれぞれ抽出する。赤成分、青成分ともに強い領域は交点領域とする。縦線領域と交点領域を合わせて縦線、横線領域と交点領域を合わせて横線とし、それぞれオープニングとクロージングを行いノイズを除去する。
6. 補助線の色識別  
各補助線の色を識別し、ラベリングを行う。ラベリングされた各領域を収縮し、各領域の RGB 成分の平均値をもとに、色の識別を行う。この収縮処理は、線のエッジ付近の画素が、隣接する領域の色の影響を受けないようにするためにを行う。

### 7. 補助線の ID 認識

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、各ライン毎に線の出現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 (2.6 節)。

### 8. 各モジュールの領域取得

ID 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。その後、交点の座標から各モジュールの領域を決定する。すなわち、隣接する 4 つの交点で矩形を作成し、適切なモジュール数に分割することで、各モジュールの領域を取得する。このとき、交点が欠損している場合は、取得済みの近傍の交点 3 点を用いた平行四辺形を作成し、平行四辺形の頂点を未取得の交点座標とすることで補間を行う。

### 9. 各モジュールの明暗判定

取得したモジュール領域から補助線領域を除去し、二値化を行った後、領域の平均輝度値を求める。求めた領域の平均輝度値からモジュールの明暗を判別し取得する。

### 10. 復号

取得した各モジュールの明暗情報をもとに 2 次元コードを復号する。

### 2.4 比率走査による判定

2.3 節に示す処理手順のうち、比率走査による位置検出パターンの判定は、以下の手順で行う。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パターンの候補領域とする。次に、各候補領域内で横方向に対して 1 ラインずつドット走査を行う。走査を行う線分上において、「暗、明、暗、明、暗」の領域それぞれの画素数を調べ、 $P_1, P_2, \dots, P_5$  とする。 $P_3$  は中央の比率 3 の領域の画素数とする。以下の条件を満たすラインを検出した場合、処理を行って候補領域のスコアを加算する。

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

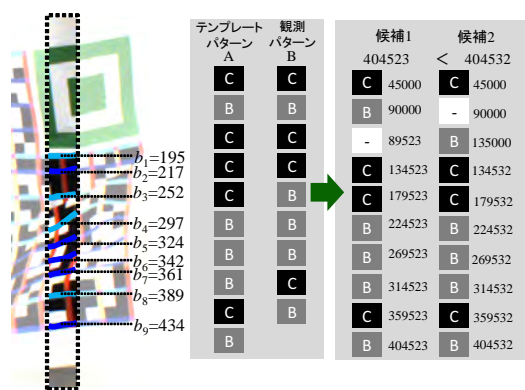


図 4: ID 認識の例

以上の処理を各候補領域の各行、各列で行い、スコアが上位の 3 領域を位置検出要素パターンの 1 つとする。

## 2.5 位置検出パターンの推定

位置検出パターンの推定は、2.4 節の処理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、補助線の色情報から推定された 2 次元コード候補領域の中心を、2 次元コードの中心の位置として利用する。次に、2.4 節の処理で検出した位置検出パターン  $fp_{found}$  と、2 次元コードの中心  $g$  から他の位置検出パターンの中心位置を推定する。ここで、 $g$  と  $fp_{found}$  との距離を  $d$  とする。 $fp_{found}$  と  $g$  とを結んだ直線において、 $g$  から距離  $d$  の点  $fp_{c1}$ ,  $fp_{found}$  と  $g$  とを結んだ直線に直交し、 $g$  を通る直線において、 $g$  から  $d$  の距離にある点  $fp_{c2}$ ,  $fp_{c3}$  を候補点とする。上記候補点と処理手順 1. で判定した位置検出パターン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。

## 2.6 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 [Sakoe 78, 内田 06]。提案する方式における、DP マッチングを用いた補助線の ID 推定方法について以下に述べる。縦、横方向それぞれの補助線の ID は個別に推定する。下記は、縦方向の補助線の ID を推定する方法を想定している。

補助線領域の外接最小矩形領域の範囲で、一定間隔で横方向に走査を行い、色識別された縦線の ID 推定を行う。走査によって得られる線の出現パターンを観測パターンとする。観測パターンとあらかじめ定義されたテンプレートパターンが一致する場合は、観測した各線の走査範囲領域に大域的補助線 ID および局所的補助線 ID を割り振る。

パターンが一致しない線が含まれる場合、テンプレートパターンと観測パターン間で DP マッチングを行い各線の最適な ID を推定する。このとき、観測パターンが 3 本未満の場合はデブルーイン系列のパターンの性質上、ID の判別が不能となるので、観測した全ての線を不確定領域として保留する。DP マッチングに用いるテンプレートパターンと観測パターンにはそれぞれ、始めと終わりにギャップをあらかじめ挿入しておく。各観測パターンの出現位置を保持し、観測パターンにあらかじめ挿入されたそれぞれのギャップの座標は、外接最小矩形の両端の座標とする。DP マッチングによりギャップを挿入された結果パターンから、両端のギャップを取り除き、マッチング結

果とする。得られた結果をもとに、それぞれの線領域に大域的補助線 ID、局所的補助線 ID を割り振る。このとき、観測パターンがテンプレートパターンに対して過度に少ない場合は、不確定領域として保留し、局所的補助線 ID のみを割り振る。

画像全体のスキャンにより得られた大域的補助線 ID、局所的補助線 ID および不確定領域を用いて ID を決定する。それぞれの補助線 ID を持つ領域を用いて、対応する局所的補助線 ID を持つ領域と不確定領域の論理和をとった領域からそれぞれの補助線 ID を持つ線を選択する。これは局所的補助線 ID が比較的高い信頼性を持つことを利用した処理である。

## 2.7 DP マッチングのスコア定義

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  $B = b_0b_1b_2...b_j...b_n$  とするとき、パターン間の類似度を

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

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、それぞれの始めと終わりにギャップを挿入済みのものである。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。 $p_j$  は  $b_j$  の観測座標を表す。

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

$$Y_j = X_{max} \times (-10) - X_j \quad (5)$$

$$S(a_i, b_j) = \begin{cases} X_{max} \times 10^3 & (if \ a_i = b_j) \\ -X_{max} \times 10^3 & (if \ a_i \neq b_j) \end{cases} \quad (6)$$

ギャップスコアおよび一致スコアに観測パターンの観測座標を用いることで、複数の最適解が存在する場合においても、最適解を 1 つに絞ることができる。

図 4 に、DP マッチングを用いた ID 認識の例を示す。図 4 ではオクルージョンにより 1 本の補助線が観測されない例を示している。観測されなかった補助線をギャップとして挿入する際、候補 1 と候補 2 では候補 2 の方がスコアが高くなる。

## 3. 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 (LynxacA1300-30gc, Fujinon DF6HA-1B) とゴミ袋 (45 リットル) との距離を 0.5 メートル程度に設置し、ゴミ袋に対して 2 点から照明を用いて光を照射するものとした。48 枚の画像を撮影し、2 次元コードの発見および復号を試みた。非線形な歪みを

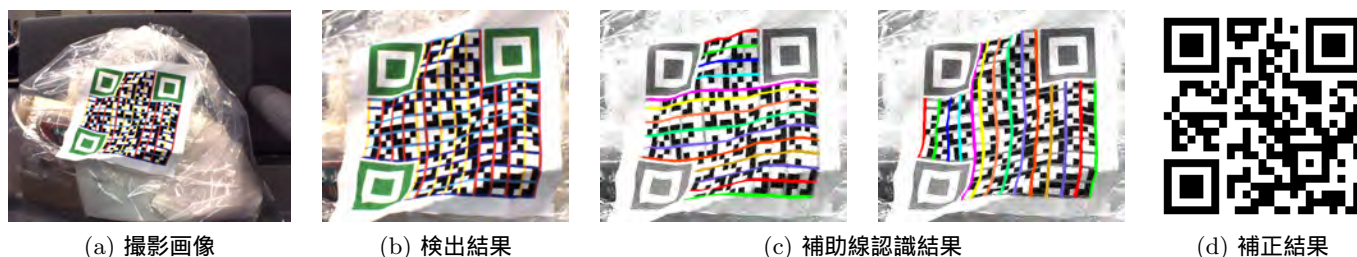


図 5: 実行例 (1)

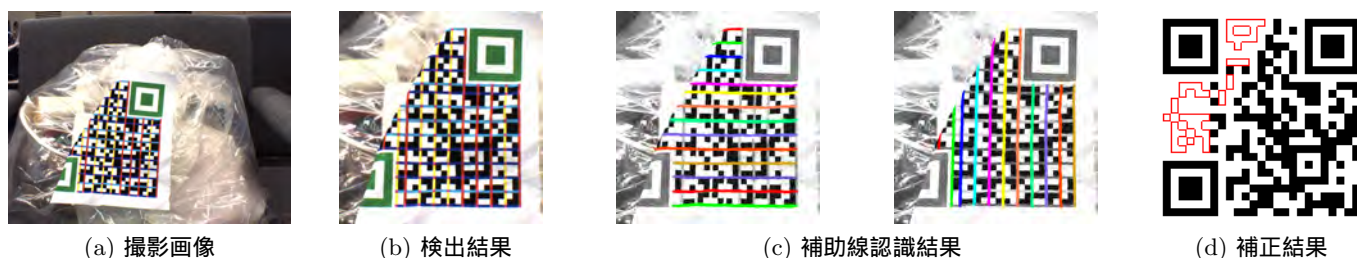


図 6: 実行例 (2)

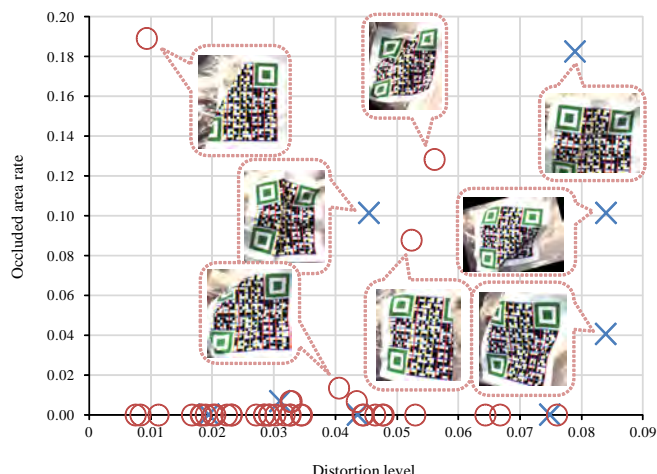


図 7: 歪みの量，オクルージョン領域サイズと復号結果の関係

含むコードの復号例を図 5 に，オクルージョンが発生しているコードの復号例を図 6 に示す．図 5 および図 6 より，歪みやオクルージョンが生じた場合であっても，提案する 2 次元コードおよびデコーダを用いることで復号を行えることがわかる．

本実験では，各補助線の交点の，歪みがない場合を基準とした場合の変位ベクトルの大きさの標準偏差を，2 次元コードの一边のサイズで正規化したものを歪み量とした．また，オクルージョンの量を，視認できない交点の割合により定義した．上記の定義に従って，歪みの量，オクルージョンの量，および復号の可否の関係を図 7 に示す．図 7 より，提案する 2 次元コードおよびそのデコーダは，歪み量が 0.07 程度，オクルージョンの量が 0.19 程度の変形であれば復号を行えることがわかる．一方，より歪み多い 2 次元コードや，歪みとオクルージョンが同時に発生した際に復号に失敗することがわかる．なお，図 5 および図 6 に示した例における歪みの量はそれぞれ 0.034 および 0.009，オクルージョンの量は 0.000 および 0.189 であった．

#### 4. 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，遮蔽と歪みが同時に発生するような場合であっても復号が可能な，より頑健なデコーダの開発を目指す．

#### 謝辞

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

#### 参考文献

- [Sakoe 78] Sakoe, H. and Chiba, S.: A dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition, *IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Proc.*, Vol. ASSP-26, No. 1, pp. 43–49 (1978)
- [大田 09] 大田 雄也, 川崎俊央, 佐川 立昌, 古川 亮, 川崎 洋, 八木 康史: デプルーイン系列と 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, 第 12 回画像の認識・理解シンポジウム論文集 (MIRU2009 論文集), pp. 222–229 (2009)
- [中野 10] 中野裕哉, 大矢誠: 強い画像歪みを伴う QR コードの補正, 日本機械学会講演論文集, Vol. 47, pp. 379–380 (2010)
- [内田 06] 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, 第 10 回画像の認識・理解シンポジウム論文集 (MIRU2006 論文集), pp. 222–229 (2006)