

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：17701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25550078

研究課題名(和文)非線形かつ局所的な歪みを含む2次元コードの復元技術の開発

研究課題名(英文)Development of two-dimensional barcode decoding method robust against non-linear distortion

研究代表者

小野 智司 (Ono, Satoshi)

鹿児島大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：90363605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：2次元コードは近年、非接触での物体認識や人物認証などに用いられている。しかし、紙や布に印刷された歪んだ2次元コードを復号することは困難である。

本研究では、下記の2つのアプローチに基づいて歪んだ2次元コードの復号方式の研究を行った。(a) 2次元画像のみを用いた復元方法：通常のカメラを用いて歪んだ2次元コードを復元できるように、2次元コードにあらかじめ補助線を付与し、それを手がかりとして歪みを補正する方式を開発した。(b) 3次元形状情報を用いた復元方法：3次元形状を計測可能な装置を試作し、それを用いて歪んだ2次元コードを復元する方式を開発した。

研究成果の概要(英文)：Two dimensional (2D) codes have become a widely used technology to efficiently encode information especially for object identification without physical contact. However, 2D codes printed on paper or cloth are subject to distortion, and it is difficult to correct irregular distortion of 2D code, such as that of wrinkled cloth.

This research proposes a method for decoding two-dimensional barcode involving distortions. The following two approaches were studied. (a) Decode methods from 2D images: a 2D code involving auxiliary lines and its decode methods were developed. (b) Decode method from 3D images: two kinds of 3D shape measurement system for 2D code were developed, and a decode method using 3D shape was developed.

研究分野：人工知能

キーワード：画像処理 2次元コード 3次元計測 DPマッチング 信頼度伝搬法

### 1. 研究開始当初の背景

企業や家庭から排出される廃棄物の種類、分量、排出源などの情報を得ることは、廃棄物の自動分別や自動計量システムを可能にし、環境負荷の軽減、エネルギーの回収など廃棄物の適切な処理を行う上で重要である。非接触 IC タグと比較して、材料コストが安価で広く復号機が普及していることから、2次元コードは廃棄物への情報付与に適しているが、ゴミ袋などの不定形物に2次元コードを貼付すると、袋の変形により2次元コードが非均一に歪み、復号が困難となる。

### 2. 研究の目的

本研究では、歪んだ2次元コードを復号する方式の開発および装置の試作を行う。自己遮蔽を含む激しい歪みを有する2次元コードは、各モジュール(2次元コードを構成する白黒の最小の矩形)の位置を特定することが困難なため、復号して情報を取得することが難しい。

本研究で提案する方式は、2次元コードの歪み具合の3次元形状を取得することで、各モジュールの位置を正確に推定する。歪みが少ない比較的フラットな領域が50%程度見えており、自己遮蔽領域が全体の10%程度であれば2次元コードを復元できることを示す。

### 3. 研究の方法

本研究では、下記の2つのアプローチに基づいて歪んだ2次元コードの復号方式の研究を行う。

#### (a) 2次元画像のみを用いた復元方法

多くの携帯電話等が備える通常のカメラを用いて歪んだ2次元コードを復元できるよう、2次元コードにあらかじめ補助線を付与し、それを手がかりとして歪みを補正する方式を開発する。

#### (b) 3次元形状情報を用いた復元方法

3次元形状を計測可能な装置を試作し、それを用いて歪んだ2次元コードを復元する方式を開発する。

### 4. 研究成果

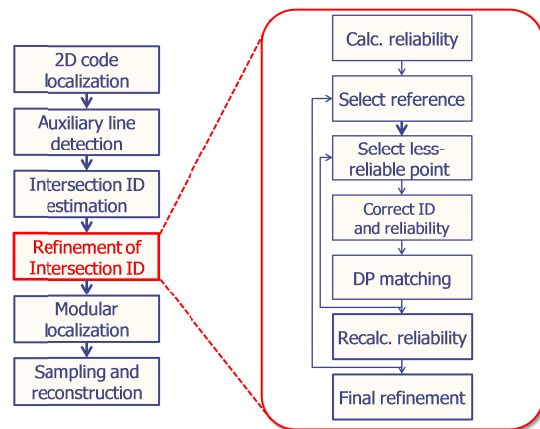


図1 カラー補助線を用いた復号方式の処理手順



(a) 2次元コード検出結果 (b) 復元(歪み除去)結果(赤色のセルがエラー)

図2 実行例

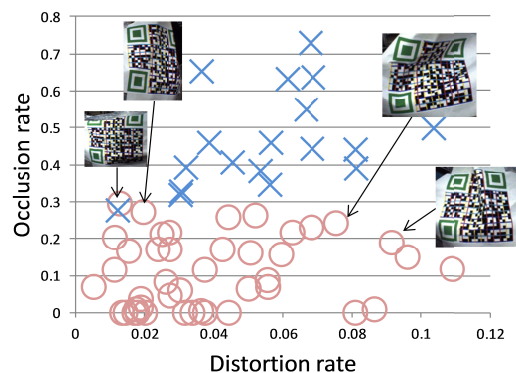


図3 歪み度合い、自己遮蔽度合いと復号の可否

(a) 2次元画像に基づいて歪んだ2次元コードを復元する方式として、下記の2つの方式を開発した。

(a-1) 着色された補助線を含む2次元コードを対象とし、動的計画法に基づくマッチングを再帰的に繰り返すことで歪みを認識し、復号を行う方式を開発した。2次元コードを印刷する際に、カラー印刷を行う必要があるものの、歪みに対して頑健であり、かつ、自己遮蔽領域が2次元コード領域の最大30%程度まで生じた場合であっても復号を行える。

処理手順を図1に示す。撮影画像から2次元コードの領域を検出する処理は、画像特徴量を用いて行う。このため、位置検出パターンが歪んでいる場合であっても2次元コード

を検出することができる。歪みの認識は、補助線とその ID を認識し、各モジュールの 2 次元コード内での自己位置同定を補助線 ID に基づいて行うことで実現する。

図 2 に実行例を示す。2 次元コードの上方左上から中央右側にかけて自己遮蔽領域があるが、提案手法を適用することで歪みを除去し、復号が可能な 2 次元コードを復元することができた。

図 3 に歪み量および自己遮蔽領域割合と復号の可否についての関係を示す。歪み量は、位置検出パターンから算出された理想的なモジュール中心位置と実際のモジュール中心位置のずれの標準偏差を正規化した値とした。自己遮蔽領域の割合が 2 次元コード領域の 3 割未満程度であれば復号を行えることを確認した。

(a-2) モノクロ補助線を含む 2 次元コードの復号方式を開発した。(a-1)の着色された補助線とは異なり、各モジュールの自己位置同定が DP マッチングで行うことが難しいため、補助線を検出する自律移動エージェントを用いて補助線を認識する方式とした。

図 4 (a)に本方式を用いた 2 次元コードの復号手順を示す。上記補助線検出エージェントは、移動先候補の信頼度を算出し、補助線と同数のエージェントが信頼度順に順次移動することで補助線を抽出し、その ID を認識する。図 4 (b)はエージェントにより検出された補助線の例である。補助線検出後の処理は(a-1)で提案した方式と同様である。

図 5 に本方式の実行例を示す。2 次元コードの右下の領域に大きな歪みを含む例であるが、復号が可能な 2 次元コードを復元することができた。

(b) まず、3 次元形状を計測可能な装置を 2 種類試作した (b-1, b-2)。次に、3 次元形状をもとに歪んだ 2 次元コードを復元する方式を開発した (b-3)。

(b-1) 2 台の kinect を用いて 2 箇所から 2 次元コードを撮影するシステムを開発した。撮影角度差を大きく設けることで、自己遮蔽を含む激しい歪みを含む 2 次元コードであっても高い確率で復号を行うことができる。

図 6 に kinect2 台を用いて撮影を行っている様子、図 7 にシステムのインタフェースを示す。

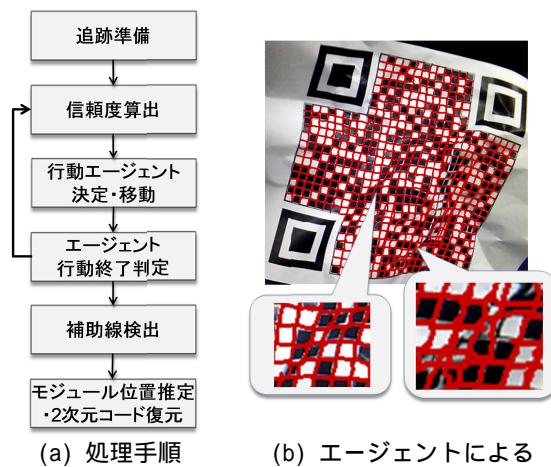


図 4 白黒補助線を用いた復号方式

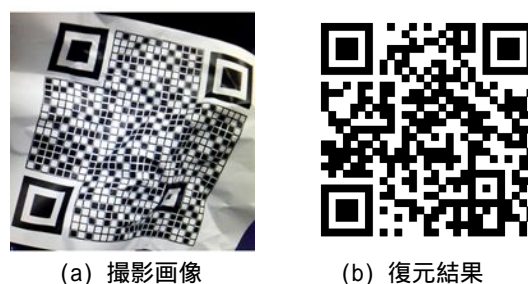


図 5 白黒補助線を用いた復号方式の実行例



図 6 本研究で開発した 2 台の kinect を用いて 3 次元形状を計測するシステム

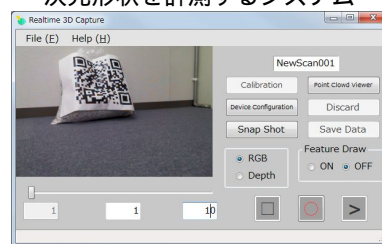


図 7 開発したシステムの GUI

(b-2) 市販のビデオプロジェクタの光学系を変更し、チケット等の小さな 2 次元コードの 3 次元形状を計測可能なシステムを開発した。一辺が 20~30mm 程度の 2 次元コードであっても正確に歪みを測定できる。図 8 に撮影を行っている様子と計測結果の例を示す。

(b-3) Tiled Rectangle Fragments (TRFs) モデルを用いて 2 次元コードの 3 次元形状を矩

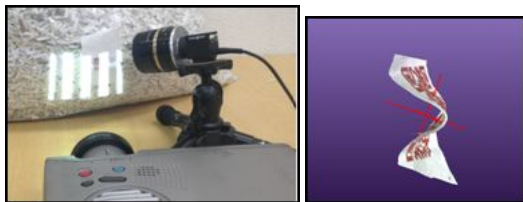


図8 本研究で開発した小型2次元コード用プロジェクトカメラシステムと計測を行った結果

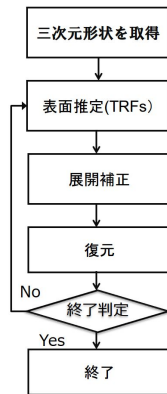


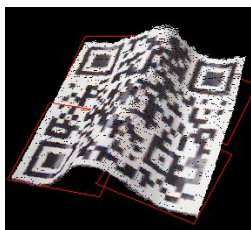
図9 TRFsモデルを用いて2次元コードを復元する方式の処理手順



(a) 計測結果



(b) RGB画像



(c) 推定平面(4平面)



(d) 展開結果(4平面)



(e) 推定平面(16平面)



(f) 展開結果(16平面)

図10 TRFsモデルを用いて2次元コードを復元した結果

形平面集合で近似し、展開面を作成することで2次元コードを復元する方式を開発した。

図9に処理手順を示す。計測した(2次元コードの)3次元形状に対して、矩形平面近似を行い、矩形の分割と近似を繰り返すこと

で効率的に3次元形状を2次元平面集合d近似する。なお、矩形平面で近似する際は下記の目的関数を最適化する。

$$f(x) = \sum_i w_i f_i(x)$$

上記目的関数は3つの目的関数の重み付き線形和からなり、 $f_1(x)$ は3次元点群と近似矩形平面の距離、 $f_2(x)$ は隣接近似矩形平面間の距離、 $f_3(x)$ は近似矩形平面の矩形らしさ(角が90度からどの程度離れているか)を表す。

提案方式では上記の目的関数をLevenberg-Marquardt法で最適化し、得られた矩形平面集合を平面に展開することで歪みのない2次元コードを復元する。

図10に本方式の実行例を示す。(a)に示された計測結果を4つの矩形平面で近似すると(c)のような結果が得られ、(d)のような2次元コードが復元される。(d)はデコーダで復元を行えないため、(e)に示すように16平面で近似を行った。(f)に復元結果を示す。(f)の結果はデコーダ(ICONITバーコードリーダー)で復号が可能であった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計13件)

- [1] 前原武, 中居謙太郎, 池田亮, 谷口康太郎, 小野智司: "進化型多目的最適化を用いた2次元コード真贋判定用電子透かしの設計", 電子情報通信学会論文誌D, 査読有, Vol.J98-D, No.5, pp.835-846 (2015).
- [2] Ushinohama, T., Sawai, Y., Ono, S., Kawasaki, H.: "Simultaneous Entire Shape Registration of Multiple Depth Images Using Depth Difference and Shape Silhouette", Lecture Note in Computer Science (LNCS), 査読有, Vol.9004 (in press).
- [3] 小野智司, 川崎洋: "機何歪みに頑健なカラー補助線入り二次元コードとその復号技術の開発", 月刊自動認識, Vol.27, No.90, pp51-57, (2014).
- [4] 谷山大介, 田尻昌之, 小野智司, 中山茂, 淵田孝康: "セグメント構造とメタデータを利用した2次元コードへの秘匿情報の埋め込み", 電子情報通信学会

論文誌 D, 査読有, Vol. J97-D, No. 8, pp.1347-1351, (2014).

- [5] 澤井陽輔, 篠原悠, 小野智司, 中山茂, 川崎洋: "3次元形状位置合わせにおける進化計算アルゴリズムの比較検討と全周復元への応用", 情報処理学会論文誌 数値モデル化と応用, 査読有, Vol. 6, No. 2, pp.104-118 (2013).
- [6] 堀田祐樹, 小野智司, 川崎洋, 木村誠, 高根靖雄: "符号化開口を用いたプロジェクト・カメラシステムによるボケを利用した3次元計測手法", 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J96-D, No. 8, pp.1823-1833 (2013).

[学会発表](計65件)

- [1] Kohei Kamizuru, Yudai Kawakami, Hiroshi Kawasaki, Satoshi Ono: "Belief-Propagation-Based Robust Decoding for Two-Dimensional Barcodes to Overcome Distortion and Occlusion and Its Extension to Multi-View Decoding", International Conference on Image Processing (ICIP), (2015年9月発表予定, Quebec city, Canada).
- [2] Ono, S., Kawakami, Y., Kawasaki, H., Fujita, S.: "A Two-Dimensional Barcode with Robust Decoding against Distortion and Occlusion for Automatic Recognition of Garbage Bags", 22nd International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp.2879-2884 (2014年8月27日, Stockholm, Sweden).
- [3] Ono, S., Maehara, T., Nakai, K., Ikeda, R., Taniguchi, K.: "Semi-Fragile Watermark Design for Detecting Illegal Two-Dimensional Barcodes by Evolutionary Multi-objective Optimization", Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), companion, pp.175-176, (2014年7月14日, Vancouver, Canada).
- [4] Hiroshi Kawasaki, Yuki Horita, Hitoshi Masuyama, Satoshi Ono, Makoto Kimura, Yasuo Takane: "Optimized Aperture for Estimating Depth from Projector's Defocus", Third Joint

3DIM/3DPVT Conference, pp.135-142 (2013年6月29日, Seattle, USA).

- [5] 中村法矢, 佐多恵悟, 小野智司: "補助線検出エージェントの進化的設計に関する研究", 情報処理学会 第102回数理解モデル化と問題解決研究発表会, Vol. 2015-MPS-102, No. 9, (2015年3月4日, 島原市).
- [6] 上鶴晃平, 川上雄大, 小野智司, 川崎洋: "複数視点画像を組み合わせた歪みに頑健な補助線入り二次元コードの復号方式に関する研究", 第67回電気・情報関係学会九州支部連合大会, 10-2P-02, (2014年9月19日, 鹿児島市).
- [7] 川上雄大, 小野智司, 川崎洋, 中山茂: "歪みに頑健な補助線入り二次元コードの復号方式の改良", 電子情報通信学会技術報告 パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), Vol. PRMU2013-101, pp.119-124 (2014年1月24日, 豊中市).

[産業財産権]

出願状況(計5件)

名称: 3次元計測システム、3次元計測方法及びプログラム

発明者: 川崎洋, 堀田祐樹, 小野智司

権利者: 鹿児島大学

種類: 特許

番号: 特願 2014-148336

出願年月日: 2014.7.18

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等:

<http://www.ibe.kagoshima-u.ac.jp/~ono/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 智司 (ONO, Satoshi)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 90363605

(3) 連携研究者

川崎洋 (KAWASAKI, Hiroshi)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 80361393