

幾何歪みに頑健な2次元コード復号アプリケーションの 基礎検討

新川 翔貴^{1,a)} 鞍津輪 一希^{1,b)} 神蘭 誠¹ 小野 智司^{1,c)}

概要: 2次元コードは、従来の1次元コードよりも多くの情報を格納できることから、生産、物流、販売等の幅広い分野において活用されている。2次元コードは平面や一様な曲面上に印刷されることを想定しており、均一でない複雑な幾何歪みを含む2次元コードを復号することは困難である。このため、本研究は、紙などに印刷された2次元コードが複雑に歪んだ場合であっても復号を行えるスマートフォンアプリケーションの基礎検討を行う。本アプリケーションは、スマートフォンがネットワークに常時接続されている利点を活かし、スマートフォンとサーバで並行して復号を行う点に特徴がある。

A Preliminary Study on a Decoder Application for Geometrical Distorted Two-dimensional Barcodes

Abstract: 2D codes are widely used in various fields such as production and distribution. In general, because 2D codes are assumed to be printed on a flat or uniformly curved surface, it is difficult to decode a 2D code that is nonuniformly distorted. Therefore, this study proposes a smartphone application decoder for 2D codes that are complicatedly distorted. Taking the advantages that a smartphone is always connected to the network, the proposed application software decodes the 2D code using both the smartphone and a server.

1. はじめに

2次元コードは、従来の1次元コードよりも多くの情報を格納できることから、生産、物流、販売等の幅広い分野において活用されている。航空機や列車等の搭乗券のように紙に印刷される形で2次元コードが用いられることも多い。特に、感熱レシートロール紙などの歪みやすい紙に2次元コードが印刷される機会も増えている。

2次元コードは平面や一様な曲面上に印刷されることを想定しており、不均一に歪んでしまう場合は復号が困難になる。一般的な2次元コードの復号装置やスマートフォンアプリケーションの復号方式では、撮影角度による歪みや、2次元コード全体が緩やかに湾曲するような歪みを補正して復号することができる[1], [2], [3]。しかし、印刷媒体が複雑に歪み、2次元コードが不均一に歪んでしまう場合は、

2次元コードの復号が困難になる。

著者らは先行研究において、あらかじめ2次元コードに補助パターンを導入することで不均一な幾何歪みに対して頑健な復号を行う技術を提案した[4], [5], [6]。また、補助パターンを含まない一般的な2次元コードが歪んだ場合にも復号を行う技術も開発が進んでいる。しかし、これらの手法は計算量が多く、スマートフォン等の携帯情報端末で高速に実行することが困難である。

このため、本研究では、スマートフォンとサーバとで同時に復号を行うことで、歪んだ2次元コードを復号するスマートフォンアプリケーションを提案する。本手法では、大域的かつ均一な歪みを含む2次元コードはスマートフォン単体で復号を行い、局所的かつ不均一な歪みを含む2次元コードはサーバで復号を行う。これにより、大域的かつ均一な歪みを含む2次元コードは高速に復号が可能となり、局所的かつ不均一な歪みを含む2次元コードの復号も高速に処理することを目標とする。実験により、複雑な幾何歪みを含む2次元コードを復号できるかを検証する。

¹ 鹿児島大学 大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 1-21-40 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

a) sc116033@ibe.kagoshima-u.ac.jp

b) sc113017@ibe.kagoshima-u.ac.jp

c) ono@ibe.kagoshima-u.ac.jp



図 1 サンプルンググリッド

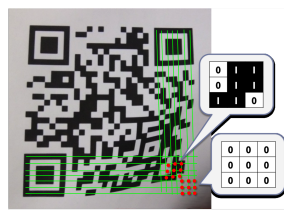


図 2 失敗例

2. 関連研究

2.1 一般的な 2 次元コードの復号方式

2 次元コードの代表例として QR コードに着目し、その復号手順について概説する。一般的な QR コードを復号する場合、まず四隅のうち 3 箇所配置されている位置検出パターンを撮影された画像内から検出し、位置検出パターンをもとに図 1 のようなサンプルンググリッドを作成する。次に、作成されたサンプルンググリッドの交点をサンプルング点として、各サンプルング点の座標の明暗を取得することでビット列を取得し、QR コードの復号を行う。

しかし、QR コード上に歪みが含まれている場合、図 2 で示すように実際のモジュールの位置とサンプルング点に差異が生じてしまい、モジュールの明暗を正しく取得できない。このため、歪みを含む 2 次元コードの復号は困難である。

2.2 幾何歪みを含む 2 次元コードの復号

2 次元コードに軽度の幾何学的な歪みが生じた場合に、射影変換などの画像処理によって補正する方式や緩やかに歪曲した QR コードのエッジからモジュールの位置を推定する方式が提案されている [7], [8]。また、水本らは、2 次元コードの包絡線を用いた読取装置の特許として開示した [3]。この手法は、包絡線から分割点を作成し線形的に補正を行うことでサンプルンググリッドを作成する。緩やかな歪みをもつ 2 次元コードの復号を行えるが、不均一で複雑な歪みや遮蔽領域のある歪みに対応することは難しい。

不均一で複雑な歪みや遮蔽領域のある歪みに対応するため、Kamizuru らはカラー補助線を用いた復号方式を提案した [4]。この方式では、2 次元コードに着色された補助線を付加し、確率伝播法を用いて補助線の交点に補助線の ID を割り当てることで各モジュールの位置を特定し復号を行う。しかし、着色された補助線を使用しているため、照明環境の影響を受けるなどの問題がある。

このため、Kamizuru らは補助線を白黒 2 値とした 2 次元コードを用いた復号方式を提案している [5], [6]。この方式は、白黒画像を用いているため、照明環境の影響は受けにくい点に特徴がある。しかし、2 次元コードに補助線を付加することが必要である。

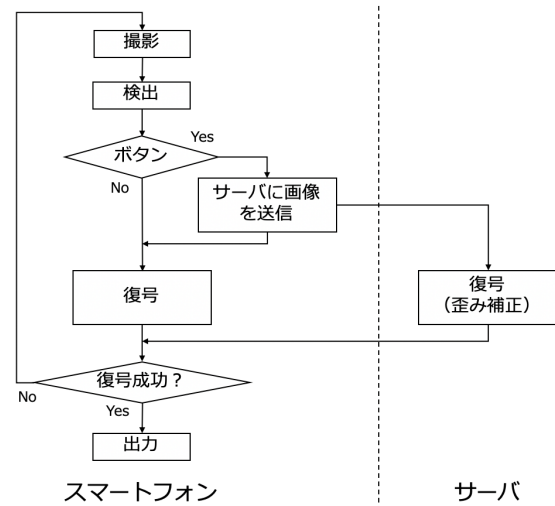


図 3 システム構成

3. 提案手法

3.1 概要

本研究では、幾何歪みを含む 2 次元コードの復号を行うスマートフォンアプリケーションを提案する。複雑な幾何歪みを含む 2 次元コードの復号方式をスマートフォン端末で処理するには長い計算時間を要するため、サーバに撮影画像を送信して復号を試み、歪みを含まない 2 次元コードの復号はスマートフォン上で行うことで、スマートフォンアプリケーションとして実用的な時間内での復号を行うことを目標とする。

本スマートフォンアプリケーションは、先行研究 [4], [5], [6] で提案された補助線入り 2 次元コードの復号を可能にするほか、サーバ側で動作させる復号システムを切り替えることで補助線を付加していない一般的な 2 次元コードの復号も可能である*1。本稿では、株式会社デンソーウェーブによって開発された QR コードを対象として、スマートフォンアプリケーションの試作を行う。

3.2 システムの構成と処理手順

提案するアプリケーションの構成を図 3 に示す。本アプリケーションでは、スマートフォン端末とサーバの双方を用いて 2 次元コードの復号を行う。スマートフォン上では通常の復号方式を実行し、歪みを含まない 2 次元コードを高速に復号する。同時に、サーバに撮影画像を送信し、歪みを含む 2 次元コードの場合は、サーバ上で先行研究の手法 [4], [5], [6] 等を並行して実行する。

スマートフォンまたはサーバのいずれかで復号を行えた段階で、スマートフォンに復号結果を出力する。

*1 複雑な幾何歪みを含む（補助線を持たない一般の）2 次元コードの復号技術については他の論文で紹介する。

3.3 2次元コードの検出

一般に、2次元コードはその発見を容易にするための特徴的なパターンを含み、QRコードであれば、入れ子状の正方形からなる位置検出パターンが相当する。歪みを含まないQRコードの位置検出パターンの検出方法は、位置検出パターンの中心を通る走査線の白セルと黒セルの比が、走査線の角度によらず、 $1:1:3:1:1$ になることを利用して検出する。しかし、2次元コードに複雑な歪みが生じた場合は、位置検出パターンの比率に着目した走査では位置検出パターンを適切に抽出することが難しいことがある。この場合、画像内の2次元コードの位置や角度を取得することが困難となる。

このため、提案手法では、Star 検出器を用いて2次元コードの検出を行う [9]。Star 検出器は Center Surround Extremas (CenSurE) [10] と呼ばれる特徴点検出器の1つである。2次元コード領域を発見後、ハフ変換を利用して2次元コード画像の回転を認識し、傾きを補正する。

3.4 サーバにおける復号

提案するアプリケーションにおいて、歪んだ2次元コードの復号は計算性能の高いサーバにおいて行う。サーバ上では、カラー補助線を含む2次元コードの復号方式 [4]、白黒補助線を含む2次元コードの復号方式 [5]、[6]、および補助線を含まない一般的な2次元コードの復号方式のいずれも実行が可能である。撮影画像を解析して復号に利用する方式を動的に切り替えることも容易である。

4. 評価実験

提案するスマートフォンアプリケーションの有効性を検証するための実験を行った。QRコードを紙に印刷し、複雑な歪みを与えた場合に復号が可能であるかを検証する。レシート等に印刷されることを想定し、一辺のサイズが45mmとなるよう印刷した。なお、本実験では、 29×29 個のモジュールより構成される型番3のQRコードを用いることとした。実装したアプリケーションをスマートフォン端末、HUAWEI P20 lite (撮影解像度 $4,608 \times 3,456$) 上で使用することとした。比較対象の復号アプリケーションは、株式会社デンソーウェーブの“クルクル-QRコードリーダー”^{*2}を使用した。撮影は、照度500lux程度の室内で、QRコードとスマートフォン端末の距離が10cm程度となるように行った。

復号を行った例を図4に示す。検証を行った25個のQRコードのうち、比較対象のアプリケーションは4個、提案手法のアプリケーションは10個のQRコードを復号することができた。復号に成功した画像では、遮蔽領域周辺の復元には誤りがあるが、それ以外の領域は復元に成功して



図4 本アプリケーションで復号を行った例

おり、少数のエラーモジュールはQRコードのエラー訂正機能により補われて復号に成功している。復号に失敗した理由としては、遮蔽領域が大きい、もしくは遮蔽領域が複数あることが挙げられる。

^{*2} <https://www.denso-wave.com/ja/system/qr/product/reader.html>

5. おわりに

本研究では、複雑な幾何歪みを含む 2 次元コードを復号するスマートフォンアプリケーションを提案した。本手法では、大域的かつ均一な歪みを含む 2 次元コードはスマートフォン単体で復号し、局所的かつ不均一な歪みを含む 2 次元コードはサーバで復号する。実験結果から、比較対象のアプリケーションよりも、歪みを含む 2 次元コードを多く復号できることを確認した。復号精度の向上や、処理時間の短縮が今後の重要な課題である。

参考文献

- [1] 吉田博一: デジタルデータ記録紙のデジタルデータ読取装置, 特許番号 第 2742555 号 (1998).
- [2] 飯田正広, 重草久志: 2 次元コード読取方法、2 次元コード読取装置及び記録媒体, 特許出願公開番号特開 2000-222517 (2000).
- [3] 水本裕之, 瀬口陽太郎: 二次元コード読取装置, 特許出願公開番号 特開 2004-362053 (2004).
- [4] Kamizuru, K., Kawakami, Y., Kawasaki, H. and Ono, S.: Belief-propagation-based robust decoding for two-dimensional barcodes to overcome distortion and occlusion and its extension to multi-view decoding, 2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), IEEE, pp. 2359–2363 (2015).
- [5] Kamizuru, K., Nakamura, K., Kawasaki, H. and Ono, S.: A belief-propagation-based decoding method for two-dimensional barcodes with monochrome auxiliary lines robust against non-uniform geometric distortion, Thirteenth International Conference on Quality Control by Artificial Vision 2017, Vol. 10338, International Society for Optics and Photonics, p. 1033805 (2017).
- [6] 鞍津輪一希, 上鶴晃平, 久富あすか, 川崎洋, 小野智司ほか: 白黒 2 階調の補助線を用いた幾何歪みに頑健な 2 次元コードとその復号方式の提案, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM), Vol. 12, No. 2, pp. 69–81 (2019).
- [7] 中野裕哉, 大矢誠: 1017 強い画像歪みを伴う QR コードの補正 (GS4-1 計測・制御), 北陸信越支部総会・講演会 講演論文集 2010.47, 一般社団法人日本機械学会, pp. 379–380 (2010).
- [8] Ohbuchi, E., Hanaizumi, H. and Hock, L. A.: Barcode readers using the camera device in mobile phones, 2004 international conference on cyberworlds, IEEE, pp. 260–265 (2004).
- [9] Ono, S., Kawakami, Y., Kawasaki, H. and Fujita, S.: A two-dimensional barcode with robust decoding against distortion and occlusion for automatic recognition of garbage bags, 2014 22nd International Conference on Pattern Recognition, IEEE, pp. 2879–2884 (2014).
- [10] Agrawal, M., Konolige, K. and Blas, M. R.: Censure: Center surround extremas for realtime feature detection and matching, European Conference on Computer Vision, Springer, pp. 102–115 (2008).