

歪んだ2次元コードの復号における組合せ最適化手法の改善

濱田 悠樹 若松 健斗 新川 翔貴 鞍津輪 一希 比良 祥子 小野 智司[†]
 鹿児島大学[†]

概要

紙や布に印刷された2次元コードが複雑に歪んでしまうと復号することが困難となる。本研究では深層ニューラルネットワークと組合せ最適化アルゴリズムを用いて2次元コードの歪みを認識して復号する手法を提案する。特に、2次元コードを構成するグリッドの検出方法および組合せ最適化における修復操作の改良を行う。

1 はじめに

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、斜めから撮影した場合や、円柱形状に印刷された場合でも復号が可能である。しかし、2次元コードが紙や布に印刷され、それらが激しく変形することで2次元コードが不均一に歪んでしまう場合は、復号が困難になる。

このため新川ら [1] は、紙に印刷した2次元コードが歪んだ場合にも復号を行える方式を提案した。しかし、歪みが激しいために自己遮蔽が生じてしまい、視認できない領域が存在する場合、遮蔽領域付近に存在するエッジに誤ったIDを割り当ててしまい、復号が困難となる。

本研究では、自己遮蔽が生じるほどに複雑に変形した2次元コードであっても復号を行える手法を提案する。提案手法は先行研究 [1] に対して全層畳込みネットワークの1つであるU-netを組み込むことにより、不可視のエッジを含めた2次元コードを構成するグリッドの推定を行う。加えて、エッジIDの推定を行う組合せ最適化手法における目的関数や個体生成方法を改善する。評価実験により、先行研究と比較して復号精度が向上し、処理時間の短縮が可能であることを確認した。

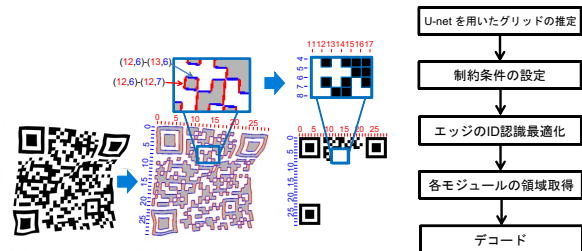


図1 エッジのID推定による2次元コード復元



図2 提案手法の処理手順

2 関連研究

射影変換などの画像処理を用いて経度の歪みを補正する復号方式や、緩やかに歪曲した2次元コードを復号する方式が提案されている [2,3]。また、新川らは不均一で複雑な歪みを含む2次元コードの復号を可能とするため組合せ最適化を用いた2次元コード復号方式を提案した [1]。図1に示すように、モジュールを構成する各エッジが2次元コード内で上または左から何本目の位置にあるかを推定し、推定されたエッジの位置から歪んだ2次元コードを構成する全モジュールの位置を推定し、歪みのない2次元コードを復元する。

3 提案手法

本研究では、先行研究 [1] の改良を行い、自己遮蔽を含むほどに激しい幾何歪みを含む2次元コードを復号する手法を提案する。提案手法は2次元コードの歪みをより正確に認識するため、U-net [4] を用いて2次元コードを構成するグリッドを推定する。

提案する方式の処理手順を図2に示す。提案方式では、不可視のモジュール境界を含めた2次元コードの全てのモジュール境界(グリッド)を推定する。2次元コードを構成するグリッドは、先行研究のエッジよりも長い線分として抽出される。このことにより、本来は連続した異なるIDが割り当てられるべき隣接するエッジに同じIDが割り当てられる局所解が生じる。このため、初期解生成手法と評価関数を変更し、修復操作を新たに追加する。

Improvement of a Combinatorial Optimization Method for Distorted 2D Code Decoding

[†] Yuki Hamada, Kento Wakamatsu, and Shoki Shinkawa, and Kazuki Kuratsuwa, and Shoko Hira, and Satoshi Ono, Kagoshima University

表 1 復号に要した処理時間 [ms]

提案手法	比較手法 1
2,591	11,928

先行研究における個体の評価は、同じ ID 同士のエッジを結ぶ補助線に着目し、エッジと補助線の角度、補助線とエッジの交叉回数による評価、ならびにエッジ間の間隔による評価に基づいて行う。本手法では、接続線の角度にもとづく評価を、接続線の長さによって重み付けするように変更する。

また、追加する修復操作の対象となる制約違反は、隣接関係にあるエッジ同士に同じ ID が割り当てられている状況とし、制約違反を起こしているエッジに隣接しているエッジについて順次走査を行い、隣接するエッジ間で ID が連続していないエッジがある場合は、連番となるように変更する。

4 評価実験

提案手法の有効性を検証するため、合成データと実撮影データとを用いて実験を行った。U-net の学習には、合成データを使用した。実撮影データは、感熱紙に印刷された 2 次元コードに歪みを加えて撮影を行い、通常の QR デコーダーでは読み取ることが難しい歪んだ 2 次元コード画像 40 枚である [1]。

評価実験の比較手法として、新川らの手法 [1](比較手法 1) と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” *1(比較手法 2) を用いた。提案手法と比較手法 1 においては、1 枚の画像ごとに 5 回復号を行い復号成功率が 50% 以上となった場合を復号成功とした。2 次元コードの歪み量と遮蔽量については、先行研究と同様に定義した。

提案手法と比較手法 1 を用いて 40 個の QR コードを復号した場合の成否結果を図 3, 4 に示す。40 個の QR コードのうち、新川らの手法では 22 個、一般的な QR コードリーダーでは 5 個、提案手法では 32 個の復号に成功した。また、表 1 に示すように、処理時間を新川らの手法と比較して約 1/5 に短縮した。

5 結論

本研究では、遮蔽領域が存在する 2 次元コードに対して頑健な復号方式を提案した。提案手法は、エッジ検出に U-net を使用し、それに伴い最適化手

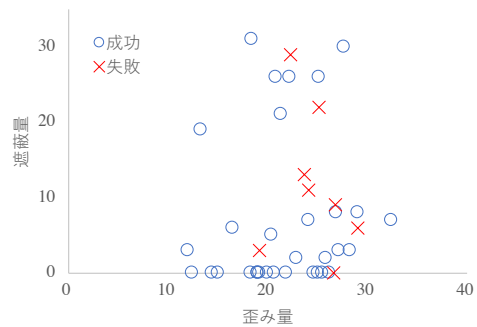


図 3 提案手法による復号結果

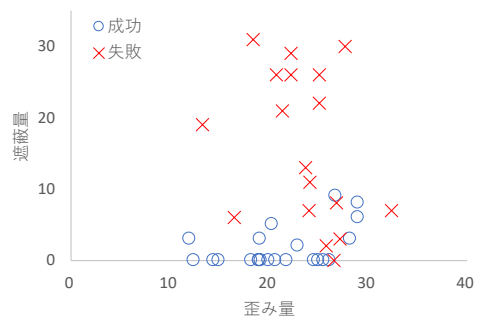


図 4 比較手法 1 による復号結果

法の評価関数や個体生成方法の改善を行った。実験から、従来手法よりも歪みに対して頑健であり、処理時間を短縮できることを確認した。今後、さらなる高速化を検討する。

参考文献

- [1] Shoki Shinkawa, Makoto Kamizono, Shoko Hira, and Satoshi Ono. Decoding distorted two-dimensional barcodes using combinatorial optimization. In *IEEE SMC2021*, 2021.
- [2] Eisaku Ohbuchi, Hiroshi Hanaizumi, and Lim Ah Hock. Barcode readers using the camera device in mobile phones. In *2004 international conference on cyberworlds*, pp. 260–265. IEEE, 2004.
- [3] 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, pp. 379–380. 一般社団法人 日本機械学会, 2010.
- [4] Philipp Fischer Ronneberger, Olaf and Thomas Brox. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention.*, 2015.

*1 <https://www.denso-wave.com/ja/system/qr/product/reader.html>