Vol.2015-MPS-102 No.21
2015/3/4

補助線検出エージェントの進化的設計に関する研究

中村 法矢[1,a)]　佐多 恵悟[1]　小野 智司[1,b)]

概要：二次元コードは歪みに弱く，印刷媒体に多少の歪みが含まれるだけで復号が困難になる．このため，二次元コードに対して補助線を付与し，その補助線をもとに復号を行う手法が提案されている．本研究では，二次元コードに補助線を加え，撮影した二次元コード上の補助線領域を，進化計算によって設計された複数のエージェントが走査することで補助線の検出を行う方式を提案する．

1. はじめに

二次元コードは一次元バーコードよりも多くの情報を付加できることから，近年，物流，生産，販売等のような様々な分野で利用されている [1]．二次元コードは平面な媒体に印刷されることを想定しており，一般的なデコーダは射影変換等の単純な歪みを補正して復号を行う [2]．しかし，布や紙に印刷された二次元コードに凹凸を含むような歪みが生じた場合には復号が困難となり，平坦な形状となるよう変形を行ってから復号を行う必要がある．

このため，格子状の補助線を付加した二次元コードとその復号方式が提案されている [3]．この研究では二次元コードに対して着色された補助線を付加し，その補助線を検出することで二次元コードが歪みを含んでいる場合でも歪みを補正し，復号することが可能となる．デブルーイン系列 [4] に基づく色を持つことで，歪みによって遮蔽されて不可視となる領域が発生しても，遮蔽されたモジュール位置の推定が可能となる．しかし，着色された補助線では照明の影響を受けやすく，撮影条件によっては補助線を検出することが困難となる．このため，単純な白黒 2 値の補助線を用いて歪みを補正できることが望ましい．

本研究では，歪みを含む二次元コードの復号に向けて，二次元コードに付加された白黒 2 値の補助線を認識する方式を提案する．提案手法は，白黒 2 値の補助線を追跡するエージェントを用いて補助線を検出する．エージェントの行動を決定するために，各画素の補助線らしさを数値化した値を信頼度として扱う．信頼度を決定する式を遺伝的アルゴリズムによって構築する．

1 鹿児島大学大学院理工学研究科情報生体システム工学専攻
鹿児島県鹿児島市郡元 1 丁目 21-40
a) k3420880@kadai.jp
b) ono@ibe.kagoshima-u.ac.jp

2. 提案手法

2.1 補助線検出エージェント

本方式におけるエージェントは画像上の補助線と思われる箇所を追跡する．処理の流れを以下に示す．

[Step 1] 初期化: 始めに，対象画像から二次元コード領域の輪郭を推定し，輪郭状の補助線の交点上にエージェントを配置する．また，各エージェントにはゴール地点の座標が与えられる．更に，1 本の補助線に対して両端から 1 体ずつ，2 体のエージェントで検出を行う．これにより，歪みが発生している箇所に向けて 2 方向から検出することができ，補助線検出の精度を向上させることを期待する．

[Step 2] 行動範囲決定: エージェントは自身の現在地点からゴール地点へ向かって半径 3pixel，90 度の扇型を展開し，その扇型の領域内の画素がエージェントの行動可能範囲となる．なお，同一補助線を追跡する 2 体のエージェントは，すれ違った際に補助線の追跡を終了する．

また，近傍エージェントとの距離が 1 モジュールの幅よりも大きくなることは通常起こり得ないため，近傍エージェントの軌跡上の最近傍点との距離が閾値 T_d よりも大きい場合は，その座標を行動可能可能範囲に含めない．歪みによる影響を考えて，T_d は 2 次元コード画像全体から推定したモジュールサイズの 1.5 倍の値とする．

[Step 3] 信頼度算出: エージェントは行動可能範囲内の各画素において，後述する信頼度を算出し，信頼度が最高の画素が次の予定移動先となる．

[Step 4] エージェント移動: 全エージェントのうち，予定移動先での信頼度が最高となるエージェント 1 体が自身の予定移動先へと移動する．一度に移動するエージェントは 1 体のみである．信頼度が低く，追跡が困難なエージェントは近傍の信頼度の高いエージェントによって行動を補助

© 2015 Information Processing Society of Japan

されることで，精度の高い追跡を行うことができる．

[Step 5] 終了判定: 1 体のエージェントが移動した後は，行動可能範囲の更新と信頼度の算出の処理に戻る．すべての補助線において，対となるエージェントがすれ違うまで，上記 Step 2 から 4 を繰り返す．

2.2 信頼度

エージェントの予定移動先を決定する指標として，信頼度を用いる．信頼度は画像上の各画素の補助線らしさを数値化したものである．エージェント a の座標 $\boldsymbol{p}$ 上における信頼度 $R(a, \boldsymbol{p})$ の定義を以下に示す．

$$R(a, \boldsymbol{p}) = \sum_{i=1}^{K} \omega_i r_i \tag{1}$$

ここで $\boldsymbol{w}$ は各信頼度を構成する要素の重要度を決定する重みであり，遺伝的アルゴリズムにより最適化する．信頼度を構築する要素 $\boldsymbol{r} = \{r_1, r_2, \ldots, r_K\}$ は，画像特徴に基づく要素とエージェントの行動履歴に基づく要素に大別できる．画像特徴に基づく要素は，周辺画素との輝度値差分，エッジからの距離，コーナー検出結果，正方形領域検出結果から算出する．エージェントの行動履歴に基づく要素は，自身の軌跡の直進性，近傍エージェントの軌跡との平行性や距離，同一方向に進行する全エージェントの軌跡との比較，直交するエージェントとの比較などから算出する．

2.3 遺伝的アルゴリズムによる重みの最適化

信頼度の重みベクトル $\boldsymbol{w}$ は遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm:GA) [5] を用いて最適化する．目的関数は以下の式によって定義する．

$$f = \sum |\boldsymbol{x}_T - \boldsymbol{x}_a| \tag{2}$$

ここで，$\boldsymbol{x}_T$ および $\boldsymbol{x}_a$ は補助線の交点の座標であり，$\boldsymbol{x}_T$ は与えられた正解座標，$\boldsymbol{x}_a$ はエージェントの追跡によって推定された座標である．

3. 実行例

図 1 に示す 1 枚の学習用画像を用いて，GA による重みの学習を試みた．2.1 節の Step 1 は手動で行うものとした．学習画像における最良個体のエージェントの軌跡を図 2 に示す．図 2 では，右から左へ，および，下から上へ進行するエージェントの軌跡を赤，逆方向へ移動するエージェントの軌跡を青で示している．輪郭から自己遮蔽領域までの間は正しく補助線を追跡できたものの，遮蔽領域以降を追跡することは困難であった．

評価用画像における，最良個体の $\boldsymbol{w}$ を用いたエージェントの補助線の追跡結果を図 3 に示す．緩やかな歪みによって補助線が折れ曲がっている箇所や，間隔が狭まっている箇所については，エージェントが正しく補助線を追跡できたことがわかる．一方で，現状では，エージェントが

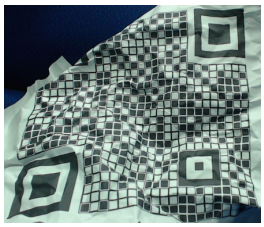


図 1 学習用二次元コード画像

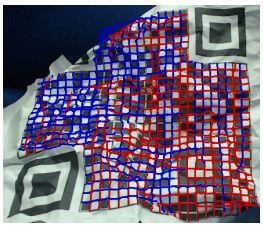
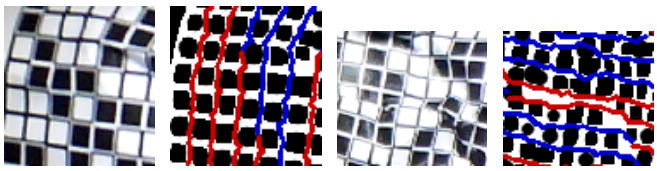


図 2 エージェントの行動結果



(a) 撮影画像 1 (b) 移動軌跡 1 (c) 撮影画像 2 (d) 移動軌跡 2

図 3 エージェントの移動軌跡の例

追跡すべき補助線でなく，隣接する補助線を追跡することがあった．これは，歪みの激しい箇所で補助線の追跡を可能とするには，信頼度の品質が不十分であるためと考える．また，同一方向に進むエージェント同士が衝突した際に，正しい位置への復帰が困難であるということも判明した．

4. おわりに

歪んだ二次元コードの復号に向けて，二次元コードに付加された白黒 2 値の補助線を検出するエージェントの設計を行った．信頼度決定式の構築を遺伝的アルゴリズムによって行い，実際にエージェントを動かし歪んだ二次元コード上での補助線検出を行った．設計されたエージェントにより評価用画像の補助線を追跡した結果，緩やかな歪みであれば補助線の追跡を行えることを確認した．今後は，信頼度決定式を構築する要素の追加により，高精度な補助線検出を目指す．

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金（25550078）による．

参考文献

[1] 高広黒部. 情報技術と物流 2 次元コード「qr コード」と活用事例. 物流情報, Vol. 4, No. 5, pp. 45–50, sep 2002.

[2] 裕哉中野, 誠大矢. 1017 強い画像歪みを伴う qr コードの補正 (gs4-1 計測・制御). 講演論文集, Vol. 2010, No. 47, pp. 379–380, mar 2010.

[3] Satoshi Ono, Yudai Kawakami, Hiroshi Kawasaki, and Shinsuke Fujita. A two-dimensional barcode with robust decoding against distortion and occlusion for automatic recognition of garbage bags. In *22nd International Conference on Pattern Recognition, ICPR 2014, Stockholm, Sweden, August 24-28, 2014*, pp. 2879–2884, 2014.

[4] Harold Fredricksen and Irving Kessler. Lexicographic compositions and debruijn sequences. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, Vol. 22, No. 1, pp. 17 – 30, 1977.

[5] David E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning.* Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, MA, 1989.

© 2015 Information Processing Society of Japan