ISSN 2186-5647



2-45

# 印字の輪郭を利用した印刷物の原本性証明-ソフトウェア実装-

日大生産工（院）　○ 栗田　兼太郎
日大生産工　伊藤　浩

## 1　まえがき

近年、紙幣だけでなく、株主優待券や処方箋、クーポン券を複写、偽造する事件が発生している。複写、偽造を防ぐ技術として、市役所などで使用されている地紋印刷がある。地紋印刷した文書をコピー機で複製すると、用紙に「COPY」などの文字が浮き出てくる。しかし、地紋印刷は複写できてしまう可能性がある。IC チップを紙に埋め込むことで複写を防止することも可能であるが、原本一枚の複写防止に掛けるコストが高くなってしまう。

著者らは、安価に印刷物の真がんを判定する手法 [1][2] を提案した。それは、印刷物自身が持つ特徴を原本性証明の特徴として使用する方法である。エッジが原本証明の特徴量として使えることは、紙原本とその複製を拡大して見れば明白である。この特徴を暗号化してバーコードなどで原本に埋め込んでおけば、復号して原本と比較することで、真がんの判定が可能になると期待できる。そこで、いかにしてエッジから明るさや幾何学的変化に対して不変な原本の特徴を、テンプレートとして取り出すかが課題となる。単に画像を切り取って、テンプレートを生成するだけでは不十分であり、エッジ周辺の画素だけを使用すれば、より確実に原本と複製の識別が可能である [2][3]。

本稿では、エッジとエッジ周辺の画素を使用して、テンプレートを生成し、認証するアルゴリズムをソフトウェアで実装したので報告する。

## 2　原本性証明の原理

図 1、図 2 に文書の拡大画像を示した。図 1 は原本、図 2 はそれをコピー機で複写したものである。共に 1600 × 512pixel であり、スケールの単位は 0.1mm である。2 枚の画像を比較すると、原本はエッジ部分が滑らかなのに対して、複写は凸凹して明らかに異なっている。このことからエッジが原本性証明の特徴量として使えることは明白である。全体として、以下のような処理の流れを想定する。

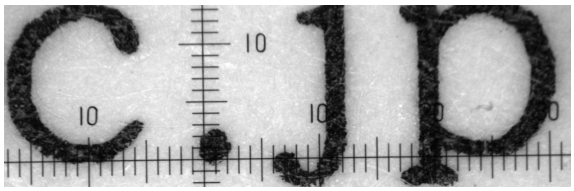

Fig. 1: 文書の拡大画像：原本

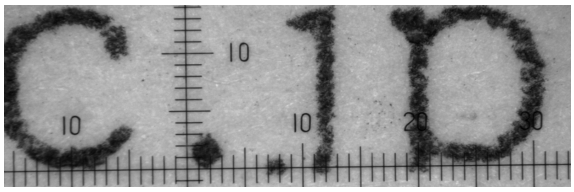

Fig. 2: 文書の拡大画像：複写

原本の生成

① 原本の特徴をテンプレートとして抽出する。

② テンプレートを暗号化し、原本にバーコードなどで書き込む。

認証

① 対象の文書から、書き込まれた暗号を復号し、認証範囲と比較する。

② 相関が高ければ原本、低ければ複写と判定する。

ここで、原本の特徴は明るさや幾何学的変化に対して不変でなければならない。テンプレートを含む画像の範囲を認証範囲と呼ぶ。

上の流れにおいて、原本の生成後、原本は公共のチャネルを流通すると仮定する。このチャネルでは、原本の複写を防ぐことはできない。しかし、

Authentication of original documents based on the edge of printed objects -Software Implementation-
Kentaro KURITA and Hiroshi ITO

複写された文書では、バーコードなどで書き込んだ部分の情報は変化しないが、認証範囲の画像は変化するため、対象の文書が複写されたものかどうかの判定が可能になる。

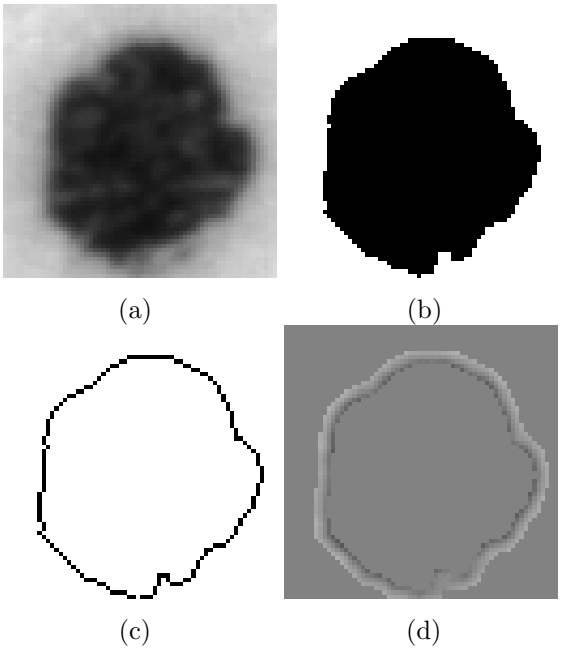


Fig. 3: テンプレートの生成過程：(a) 認証範囲、(b)2 値化画像、(c) エッジ、(d) テンプレート

## 3 テンプレートの生成と認証の方法

テンプレートは以下のように生成する。

① 原本の認証範囲を撮影する。得られた画像の輝度信号を $f(x,y)$ とする。

② $f(x,y)$ を 2 値化する。

③ 2 値化した画像の白と黒の境界をエッジとして取り出し、エッジから距離 $r$ の範囲にある点の集合を $A$ とする。

④ 集合 $A$ とそれに属する点の輝度値 $\{f(x,y)|(x,y)\in A\}$ をテンプレートとする。

図 3 に例を示す。同図 (a) は認証範囲の画像であり、ここでは、図 1 の文書の “ac.jp” のドットの部分を取り出した。ただし、テンプレートの情報量を削減するため、解像度は $64\times64$ とした。(b) はこれを 2 値化したもの、(c) は抽出したエッジ、(d) は $r=2$ として生成したテンプレートを画像として表示したものである。テンプレートに含まれない部分はグレーで表示した。テンプレートの画素の数は $|A|=592$ である。認証は以下のように行う。

① 認証対象の文書の認証範囲を含む領域を撮影する。この部分の輝度信号を $g(x,y)$ とする。

② $g(x,y)$ に対して、$f(x,y)$ を平行移動しながら、重なった部分の相関係数を次式により計算する。

$$\rho=\frac{\sum(f(x,y)-\overline{f})(g(x,y)-\overline{g})}{\sqrt{\sum(f(x,y)-\overline{f})^2}\sqrt{\sum(g(x,y)-\overline{g})^2}} \quad (1)$$

ただし、$\sum$ は $(x,y)\in A$ である点に関する総和である。また、$\overline{h}$ は $h(x,y)$ の平均値である。

③ 領域内の $\rho$ の最大値を $\rho_{\max}$ とし、$\rho_{\max}>T$ ならば、対象の文書は原本、そうでなければ複写と判定する。ここで、$T$ は適当な閾値である。

## 4 ソフトウェア実装

3 節のアルゴリズムをソフトウェアで実現する。まず、取り込んだ画像を次式により、グレースケールに変換する。

$$f(x,y)=0.30\times R(x,y)+0.59\times G(x,y)+0.11\times B(x,y) \quad (2)$$

ここで、$R(x,y)$ は赤色成分（Red）、$G(x,y)$ は緑色成分（Green）、$B(x,y)$ は青色成分（Blue）である。

次に、変換した $f(x,y)$ を 2 値化する。2 値化には大津の 2 値化（判別分析法）を使用する [4]。画像の輝度値ヒストグラムにおける輝度値の分布を閾値 $t$ で 2 つのクラス（$t$ 以上と $t$ 未満）に分割する。2 つのクラスの平均値の分散（クラス間分散）と各クラスの分散（クラス内分散）の比（判別比）を計算する。この判別比が最大になるような $t$ を求める。

与えられた画像が $L$ レベルの輝度値 $(1,2,\cdots,L)$ を持つものとする。ここで閾値を $t$ として、$t$ 以上の輝度値を持つ画素と、それより小さな値を持つ画素の 2 つのクラスに分け、クラス 1、クラス 2

とする。クラス $i$ $(i = 1, 2)$ の画素数を $\omega_i$、平均輝度値を $M_i$、分散を $\sigma_i^2$ とおき、全画素の輝度の平均値を $M_T$ とおくと、クラス内分散は

$$\sigma_w^2 = \frac{\omega_1\sigma_1^2 + \omega_2\sigma_2^2}{\omega_1 + \omega_2} \tag{3}$$

クラス間分散は

$$\sigma_B^2 = \frac{\omega_1(M_1 - M_T)^2 + \omega_2(M_2 - M_T)^2}{\omega_1 + \omega_2} \tag{4}$$

$$= \frac{\omega_1\omega_2(M_1 - M_2)^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2} \tag{5}$$

で与えられる。判別比は

$$\frac{\sigma_B^2}{\sigma_w^2} \tag{6}$$

とである。

2 値化した画像の白と黒の境界をエッジとして取り出すアルゴリズムを以下に示す。以下にように境界をたどるようにしてエッジを抽出する [4]。

① 2 値化後の $f(x, y)$ を入力画像とする (図 4(a))。

② 画像内を左上から右下に向かって辿り、エッジ追跡の開始点を決定する (図 4(b))。

③ この追跡開始点を追跡点とし、その追跡点を中心とした 8 近傍を図 4(c) の 1 の所から順に反時計回りで黒画素の有無を調べる (図 4(c))。この際、黒画素が存在しない場合は追跡点は孤立点であるので 2 に戻る。

④ 一番最初に現れた黒画素を新たな追跡点として、その追跡点を中心とした 8 近傍を反時計回りで黒画素の有無調べる (図 4(d))。その際、調査済みの画素を一番最後に調査するように追跡を開始する。

⑤ 4 の操作を繰り返していくと 1 本のエッジを得ることが出来る (図 4(e))。

⑦ 追跡開始点と追跡点が同じ座標になったら追跡処理を終了する (図 4(f))。

エッジ抽出後、$r$ の値を適当に定め、集合 $A$ を決定する。集合 $A$ は

$$A = \left\{(x, y) | (x - p)^2 + (y - q)^2 \leq r^2\right\} \tag{7}$$

によって決まる。$(p, q)$ はエッジ上の点である。

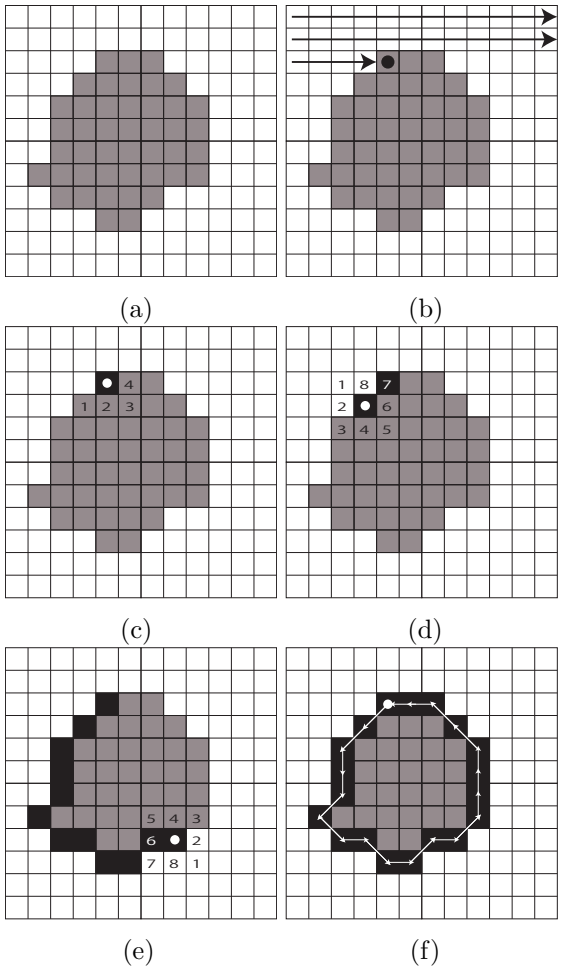


Fig. 4: 2 値化処理過程：(a) 入力画像、(b) エッジ追跡 1、(c) エッジ追跡 2、(d) エッジ追跡 3、(d) エッジ追跡 4、(d) 出力画像

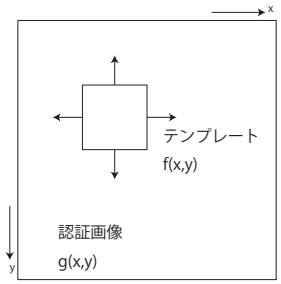


Fig. 5: テンプレートマッチング

認証にはテンプレート･マッチングを使用する。テンプレート $f(x, y)$ を $g(x, y)$ の中で平行移動させ、$f(x, y)$ と $g(x, y)$ の重なる部分との相関係数 $\rho_{\max}$ を測る (図 5(d))。その値は $g(x, y)$ の中と $f(x, y)$ の相関・類似性を示しており、値が大きいほど、$f(x, y)$ が $g(x, y)$ と類似していることを示している。$\rho_{\max} > T$ ならば、対象の文書は原本、そうでなければ複写と判定する。$T$ は適当な閾値である。

## 5　実験

図 3(a) の画像からテンプレートを生成し、3 節のアルゴリズムの認証性能の評価を行った。

まず、$r$ によって、性能は大きく異なることが予想されるので、テンプレートの生成においては、$r$ を 1~4 の範囲で変化させた。また、原本を認証するとき、生成時と全く同じ条件で、認証範囲が撮影されることは期待できない。すなわち、同じ文書であっても、$g(x,y)$ と $f(x,y)$ の間には、回転、拡大・縮小、平行移動などの幾何学的変化や照明の違いによる明るさ、コントラストなどの変化が生じる。そこで、今回は、明るさの変化だけを取り上げ、認証時に異なる明るさで撮影された場合の相関の低下を評価した。

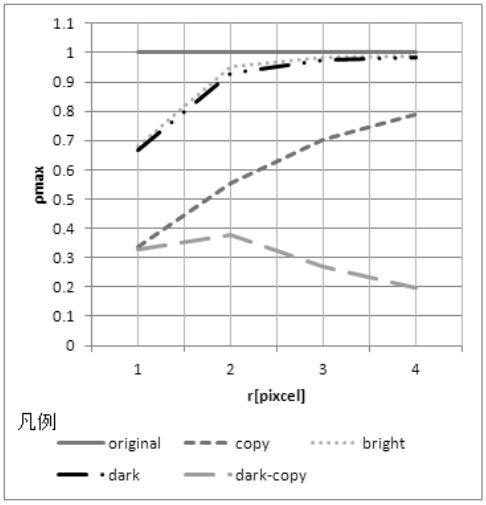


Fig. 6: 実験結果

図 6 に実験結果を示す。図は、異なる $r$ に対する $\rho_{\max}$ の値をいくつかの場合について、プロットしたものである。original は $g(x,y)$ として原本を用いたときのグラフであり、撮影条件がまったく変化しない場合を想定している。当然、$r$ によらず常に $\rho_{\max}=1$ である。copy は原本をコピー機で複写したものから $g(x,y)$ を求めたときのグラフである。$r=4$ では 0.8 程度の大きな相関値が出ているが、$r$ を小さくするにしたがって、$\rho_{\max}$ は減少し、$r=1$ では、$\rho_{\max}=0.33$ となった。bright と dark はどちらも $g(x,y)$ を原本から求めたものであるが、生成時よりも明るさを変えて認証範囲を撮影した。明るさの変化により、$r$ の低下にともなって相関係数が減少していることがわかる。特に、$r=1$ のとき $\rho_{\max}=0.66$ であり、相関の低下が著しい。

原本と複写の識別は $\rho_{\max}$ の値によって行われるから、識別性能の向上のためには、原本の $\rho_{\max}$ が大きく、複写の $\rho_{\max}$ が小さいことが望ましい。実験結果から、複写においては、$r$ が小さいほど相関も小さくなる。これは、相関の計算範囲をエッジの近傍に限るほど、複写によるエッジの劣化が識別しやすいことを示している。しかし、$r$ を小さくすると、同じ理由により、異なる条件下で撮影された原本に対しても、相関が低下する。よって、$r$ としては、原本に対する相関の低下が極端でなく、複写に対する相関が十分低下する値を用いるのが適当であろう。図の最下のラインは、原本から得られた $\rho_{\max}$ の最小値 (dark に対するもの) から複写の $\rho_{\max}$ を減算した値をプロットしたものである。このグラフから、実験の条件下では、$r=2$ 程度が適当であることがわかる。

## 6　まとめ

印字の輪郭を利用した印刷物の原本性証明の方法をソフトウェアでテンプレートの生成から認証まで実装した。$f(x,y)$ を 2 値化してから、境界をたどるようにしてエッジを抽出すれば、期待したエッジが抽出できることがわかった。アルゴリズムの認証性能の評価実験からエッジから距離 $r$ は大きすぎても、小さすぎても認証に適さないことが明らかになった。今後の課題として、複写の条件を変えること、原本に埋め込むテンプレートの符号化などが挙げられる。

## 参考文献


1) 石田雄基, 印刷画像の認識に関する基礎検討, 日大生産工, 平成 21 年度卒業研究, (2010)

2) 栗田兼太郎, 伊藤　浩, 印刷画像の原本性証明に関する研究, 日本大学生産工学部第 43 回学術講演会, (2010), 2-14

3) 栗田兼太郎, 伊藤　浩, 印字の輪郭を利用した印刷物の原本性証明, FIT2011(第 10 回情報科学技術フォーラム), (2010), I-088

4) Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods, Digital Image Processing Third Edition , Pearson Prentice Hall, (2008)