

カラスキャン画像のロゼットパターン除去手法

豊田 敬央[†] 渡辺 賢悟^{††} 宮岡 伸一郎^{††}

[†] 東京工科大学大学院バイオ情報メディア研究科

^{††} 東京工科大学メディア学部メディア学科

Removing Method of Rosette Pattern on Scanned Color Image

Takahisa TOYODA[†] Kengo WATANABE^{††} Shinichiro MIYAOKA^{††}

[†] Graduate School of Bionics, Computer Science and Media Science, Tokyo University of
Technology

^{††} School of Media Science, Tokyo University of Technology

E-mail: toyoda.univ@gmail.com kengo@mediatlier.net miyaoka@media.teu.ac.jp

概要

画像を印刷するとき、プリンタは画像を網点と呼ばれる小さな点の集合に変換して画像の濃淡を表現する。カラー画像を印刷するときは、網点を画像の CMY 表色の各成分に対して生成し、それぞれを重ね合わせることでカラー画像を表現する。このとき、重ね合わせの角度を変化させて各々の成分の網点同士が重ならないようにする。その結果、網点が亀甲状のパターンを構成する。これをロゼットパターンと呼ぶ。これは人の目の錯覚を利用し、少ない階調数で濃淡を表現する手法であるが、印刷物をスキャンしたときロゼットパターンがアーティファクトとして目立つという弊害を生む。本稿では、スキャンした印刷物の画像を対象に、ロゼットパターンを除去することを目的とする。ロゼットパターンを含む画像は CMY 成分へ分解をすると、各成分に周期性と方向性をもつドットのパターンがある。この周期と方向を周波数領域でラドン変換によって推定した。推定した周期と角度の情報を元に、それに対応した成分を周波数領域で 0 に置き換えることにより、ロゼットパターンが除去できることを確認した。

Abstract

We present a method for removing rosette pattern from a scanned color image. Rosette pattern is generated by printer to obtain visually good effects. But this leads to objectionable artifacts when the image is scanned with high quality. Rosette pattern has period and direction. In order to estimate them, we use Radon transform in frequency-domain. Finally, we replace elements corresponding to the above period and direction to zero and, compute the inverse Fourier transform. As a result of experiments, it's clarified the proposed method can remove rosette pattern.

1 はじめに

スキャナの高精度化が目覚しいが、印刷物の高解像度なスキャンが可能になると同時に、スキャンの結果画像にロゼットパターン（次章詳述）がアーティファクトとして目立つという弊害を生むようになった。ロゼットパターンは印刷物に印刷された亀甲状のパターンを指す。200 dpi 程の取り込み解像度であれば、ロゼットパターンが構成するアーティファクトは目立たないが、1200dpi 等の高解像度スキャンのときは非常に目立つ [8]。

本研究では、高解像度でスキャンをした印刷物の画像のロゼットパターンをノイズとみなし、画像処理によって除去する手法を検討する。これにより、スキャンのときロゼットパターンのアーティファクトを気にすることなく、高解像度でのスキャンが可能となる。なお、従来研究において、カルマンフィルタおよび可変計算領域型最小 2 乗法を用いた網点除去手法 [6, 7] や、2 値網点画像からのグラデーション再構成手法 [3] などが提案されているが、高解像度でスキャンをした印刷物のカラー画像を対象にしたロゼットパターンの除去を行うものは見当たらない。

2 ロゼットパターンとは

一般に、画像を印刷するとき、プリンタは網点と呼ばれる小さな点の集まりに画像を変換して濃淡を表現する。網点を生成する手法として、ポピュラーなものに AM (Amplitude Modulation) スクリーン法と FM (Frequency Modulation) スクリーン法がある。AM スクリーン法では、網点の周期を一定とし、網点の半径を変化させることで濃淡を表現する。この手法は新聞や雑誌など様々な印刷物に用いられる網点の生成手法である。一方、FM スクリーン法では、網点の半径を一定とし、網点の密度を変化させることによって濃淡を表現する。この手法は書籍やポスター、カレンダー等に用いられはじめている。さらに、近年では AM スクリーン法と FM スクリーン法のどちらも用いるハイブリッド型の手法も存在する。

以上が代表的な網点の生成手法であるが、本研究ではもっとも一般的な網点生成手法と思われる AM スクリーン法で印刷された画像を対象とする。AM スクリーン法において、カラー画像を網点で表現するとき

は CMY 表色系の各成分ごとに網点を生成し、それぞれの網点同士が重ならないように各成分角度を変えて網点同士を重ね合わせて色彩を表現する。図 1 に、印刷物をスキャンした結果画像を示す。図 1(b) に示すように、CMY 各成分の網点を重ね合わせた結果は亀甲状のパターンとなる。このパターンをロゼットパターンと呼ぶ。ロゼットパターンは、人間の目の錯覚を利用し、少ない諧調数で濃淡を表現する手法である。しかし、図 1 からわかるとおり、ロゼットパターンを含む画像を高解像度でスキャンすると、ロゼットパターンはアーティファクトとしてスキャン結果画像に悪影響を与える。

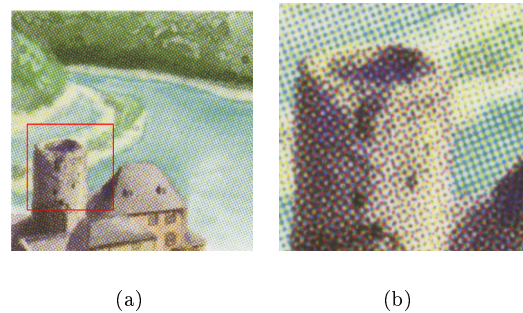


図 1: 印刷物のスキャンの結果 (1200dpi) a: 印刷物のスキャン結果 b: スキャン結果の拡大図

3 ロゼットパターンの除去手法

本章では、ロゼットパターンが構成するアーティファクトを除去する手法について述べる。

3.1 ロゼットパターンの周期性と方向性

§2 で述べたように、ロゼットパターンは CMY 各成分について網点を生成し、それぞれを重ね合わせた結果生成される。図 2 に、図 1(b) を CMY 各成分へ分解した結果を示す。図 2(b) ~ 図 2(d) を見ると、CMY 各成分の網点には周期性、および方向性があることがわかる。したがって、この周期、および方向性を推定することができれば、それに対応する成分の除去が可能になる。

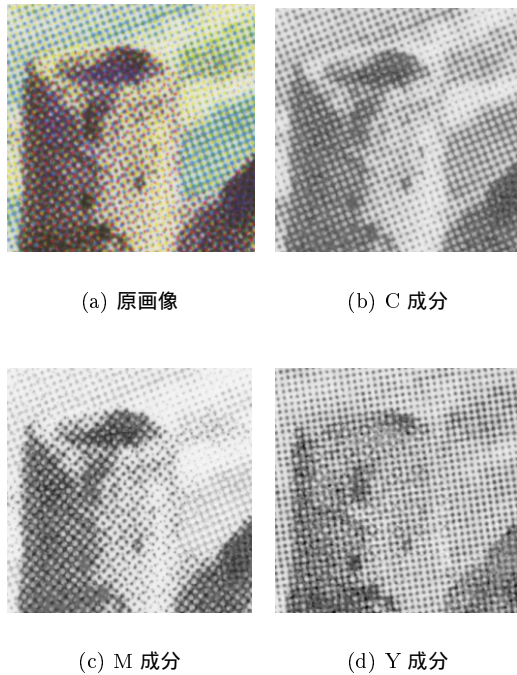


図 2: 図 1(b) を CMY 各成分に分解した結果

3.2 ロゼットパターンの周期と方向の推定

§3.1 で述べたように、ロゼットパターンには周期性と方向性がある。本節では、ロゼットパターンの周期と方向を推定する手法を提案する。

図 1 のように、画像に周期的な特徴がある場合、そのフーリエスペクトルにも特徴があらわれる。図 3 に、図 1(a) の C 成分のフーリエスペクトルを示す。なお、本稿では実空間座標を $p = (x, y)$ 、 p に対応する空間周波数を $w = (\mu, \nu)$ とする。図 3 をみると、直流成分を中心にした一定半径の円上に、大きな特徴点が集まっていることがわかる。一般に、網点画像の空間周波数分布は、高周波成分を含めると 2 次元の離散分布となるような逆格子（フーリエ格子）空間に分布し、実空間領域における網点格子と同じスクリーン角度の正方格子となる [5]。図 4 にロゼットパターンのスペクトルにおける特徴点の分布の概念図を示す。ただし、 ω_0 は周波数領域における特徴点の周期、 θ は特徴点と原点がなす角度である。このように、周期性と方向性のある格子状の特徴点の分布を高周波成分まで延長させたものが、図 3 のようなロゼットパターンの

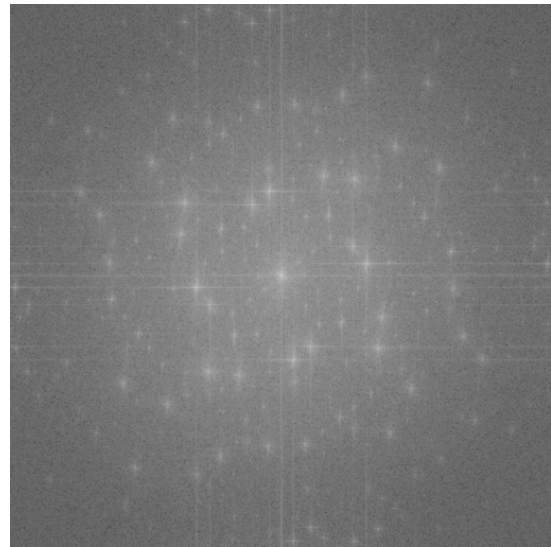


図 3: 図 1(a) の C 成分のスペクトル

周波数領域での分布と考えられる。

このようなロゼットパターンの周波数特徴を踏まえ、CMY 成分における周波数領域の周期 (ω_0) と、方向 (θ) を推定することを考える。ロゼットパターンのように、特徴的な周波数を解析する手法は多数提案されている。江前らは画像の特性について角度を考慮した変換手法を提案している [2]。さらに、画像の極座標変換を用いた画像特徴の解析手法として ART[4] などが存在する。

以上が画像の特徴の解析手法として代表的なものであるが、本稿ではロゼットパターンの特徴点が格子状に分布する性質を考え、ラドン変換に着目する。ラドン変換は次式のように書ける [4, 1]。

$$\rho_{\alpha}(r) = \int_{L(\alpha, r)} f(p) dL \quad (1)$$

ただし、 α は投影方向に直交する軸 R と x 軸がなす角度、 r は軸 R 上の座標を示す変数、 f は画像、 $L(\alpha, r)$ は投影方向に沿ったライン関数である。図 5 にラドン変換の概念図を示す。図 5 のように、画像 f について、ライン関数 $L(\alpha, r)$ が示す線上の値をそれぞれ積分し、軸 R へと投影したものがラドン変換となる。

図 3 に示したようなロゼットパターンを含む画像のスペクトルにラドン変換を適用することを考える。図 4 からわかるように、 α が特徴点の方向 θ と一致したとき、 R 上の $r = \omega_0$ に対応する値 $\rho_{\alpha}(\omega_0)$ は非常に大きな値となる。また、 α が θ から $\pi/2$ 周期

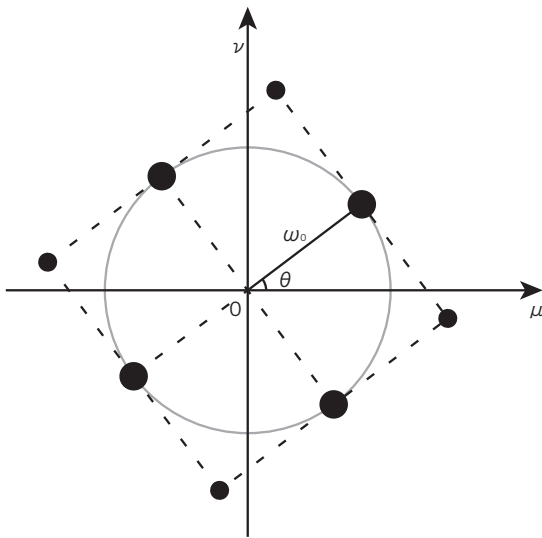


図 4: ロゼットパターンのスペクトルにおける特徴点の分布の概念図 黒い点は特徴点, 黒い点の半径は特徴点のエネルギー, 破線は特徴点がなす格子, 円は大きな特徴点が集まっている円を示す.

ずれたときも同様に, R 上の $r = \omega_0$ に対応する値 $\rho_\alpha(\omega_0)$ は非常に大きな値となる. これらの条件を満たす成分を発見できれば周期の推定, および角度の推定が可能となる. しかし, スペクトルにおいて, 特徴点の成分に比べて, 低周波成分のパワーは非常に大きい. そのため, 低周波成分の大きな値をもつ成分の影響で ω_0 に対応した成分を見つけることが困難になると考えられる. したがって, エネルギーの平坦化のため, ラドン変換の前処理としてスペクトルを 2 値化しておく. これにより, スペクトルは ω_0 に対応した成分と, 直流成分付近の成分のみが 1 の値をもち, 一般的なスペクトルのように非常に大きな値はなくなる. 本稿では, 対数スケールしたスペクトルを 1~0 に線形変換したあと, 閾値 0.5 で 2 値化した.

スペクトルにラドン変換を適用した結果から, ロゼットパターンの周期に対応する成分を見つける処理を簡単にするため, ラドン変換の結果をさらに α について積分し, 周期 ω_0 を推定する. 画像 f のラドン変換を α について積分した結果を ϕ とすると, 次式のように書ける.

$$\phi(r) = \int_0^\pi \rho_\alpha(r) d\alpha \quad (2)$$

式 (2) より, α が θ , および θ から $\pi/2$ 周期でずれた非常に大きな値をもつ成分をすべて積分することに

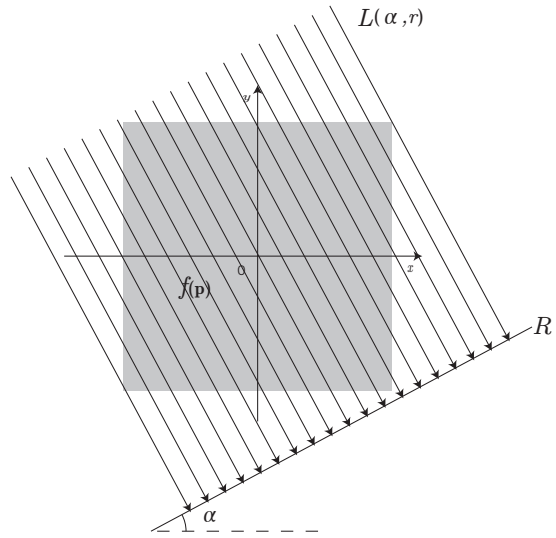


図 5: ラドン変換の概念図

なる. また, 式 (2) を適用した結果は 1 次元の関数となるため, より ω_0 の探索が単純になる. 図 6 に, 図 3 を 2 値化したあと, 式 (2) を適用した結果を示す. 図 6 では, $r = 72$ が ω_0 に該当する値, すなわち $\omega_0 = 72$ である. ここで推定した ω_0 の情報を用いれば, 特徴点の方向 θ の推定をするときの探索範囲を大幅に限定できる. そのため, 周期 ω_0 , 特徴点の方向 θ の探索問題が非常にシンプルな問題になる.

本稿では, 2 値化したスペクトルに対して式 (2) を適用した結果 $\phi(r)$ に対し, 次に示す単純な繰り返し処理を用いて周期 ω_0 を推定した. 図 6 の例では, $\omega_0 = 72$ である. $\phi(r)$ は $r = 72$ で原点を除く最大の極大値となっていることがわかる. この極大値を求めることができれば, 周期 ω_0 の推定が可能となる. これを以下のような繰り返し処理によって求める. $\phi(r)$ について最大値探索を行い, 求めた最大値を 0 で置換する. この結果に対し, さらに最大値探索を行う. このときの最大値の r 座標と, 0 に置換した前回の最大値の r 座標の差を求める. この処理を繰り返したとき, 単調減少であれば r 座標の差は 1 の値で推移する. しかし, 今, 求めた最大値の r 座標が ω_0 に対応した r 座標である 72 となったところで, 差の推移が 1 ではなく, 大きな値となる. 図 6 の例では, 前回の探索で求めた r 座標が 26, 今回の探索で求めた r 座標が 72 であるので, 差は 46 となる. このように, 今回, および前回の最大値の r 座標の差を検出すること

により, ω_0 を求めることができる.

具体的な処理手順は以下のとおりである. ただし, $dist(s, t)$ は s と t のユークリッド距離を示す.

1. $\phi(r)$ の最大値を求める.
2. 今回の最大値の r 座標を s , 前回の最大値の r 座標を t とし, $dist(s, t)$ を求める.
3. $dist(s, t) \geq th$ であれば, $\omega_0 = s$ として処理を終了する. そうでなければ手順 4 へ.
4. $\phi(s)$ を 0 で置き換えて手順 1 へ戻る.

ただし, th は $dist(s, t)$ がほぼ 1 であるかどうかを判定するための閾値である. 繰り返し処理の初期段階では, $\phi(r)$ はほぼ単調減少となるので, $dist(t, s) \approx 1$ である. しかし, すべてのデータについて必ずしも単調減少になることはないため, ロバスト性を考慮する必要がある. そこで, 本稿では $th = 5$ として処理をした.

次に, 特徴点の方向 θ について述べる. 画像をスペクトルへ変換した結果について, 原点からの距離が ω_0 である円上の成分の最大値探索を行えば, 最大値成分と原点が成す角度が θ となる. しかし, カラー画像の場合, 画像の CMY 各成分の網点が正確に CMY 各色の純色になる場合は少ない. これは, プリンタの性能, スキャナの性能に依存して色が変化するためと考えられる. そのため, ひとつの色成分に着目したとき, 本来その成分が持つ網点の特徴が他成分へ流れ込む場合がある. カラー画像の網点を消去するには, この成分も考慮する必要があるため, 実際には原点から半径 ω_0 上にあるすべての特徴点の方向を検出する.

ロゼットパターンを含む画像のスペクトルの半径 ω_0 の円上の成分を $S(w)$ としたとき, $S(w)$ 中で閾値 k 以上の成分と原点が成す角度をすべて算出する. 具体的には, 前述の条件を満たす角度を $\theta_1, \theta_2, \dots$ としたとき, $S(w)$ の円周上をスキャンし, $S(w) \geq k$ を満たす成分と原点が成す角度を $\theta_1, \theta_2, \dots$ とする. 本稿では, 対数スケールしたロゼットパターンを含む画像のスペクトルを 1~0 に線形変換した結果に対し, 閾値 $k = 0.5$ として処理をした. ただし, $k = 0.5$ は実験的に求めた値である.

以上のような周期, および方向の推定を CMY 各成分それぞれに対して行う.

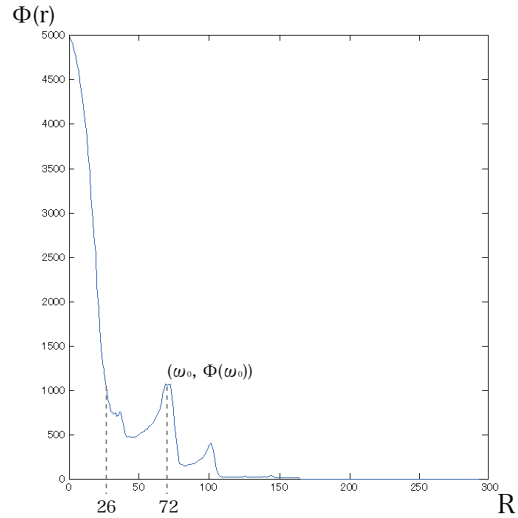


図 6: 2 値化したスペクトルに対して式 (2) を適用した結果

3.3 ロゼットパターンの除去

本節では, 前節で推定した周期, 角度の情報を元にロゼットパターンの成分を除去する手法について述べる. ロゼットパターンのフーリエ変換の結果について, 推定した周期と角度に対応する周波数成分を中心に $n \times n$ の矩形の範囲の成分を 0 で置き換え, 逆フーリエ変換を適用する. この処理は, 実空間における画像のロゼットパターンの成分を平坦化することを意味する. したがって, 本稿の目的であるロゼットパターンの除去に見合った処理と考えられる. ただし, $n \times n$ の矩形の範囲が大きすぎると, 本来画像が持っているエッジ情報をなまらせる可能性がある. 逆に, $n \times n$ の矩形の範囲が小さすぎると, ロゼットパターンがもつ周波数成分を包含できず, 除去処理が困難になると考えられる. 本稿では, ロゼットパターンを包含できる最小サイズ ($n = 10$) を実験的に求めて処理をした.

4 実験と評価

4.1 実験の流れ

ロゼットパターンの周波数領域における周期 ω_0 , 方向 θ の推定手順は §3.2 で示したとおりである. これ

らを含めた実験の手順を図7に示す。

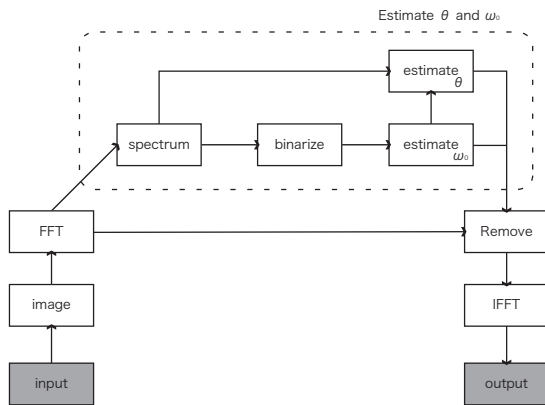
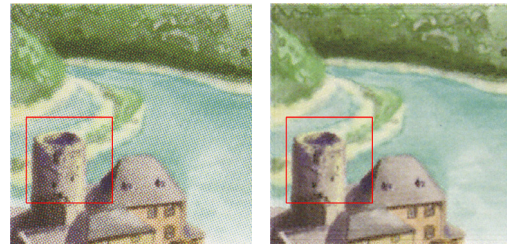
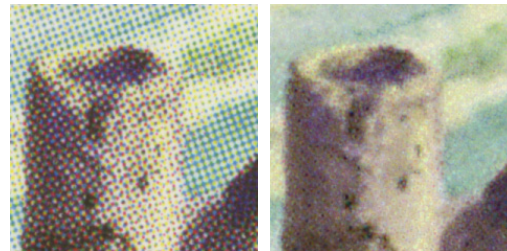


図 7: 実験の手順



(a) 原画像 (1200dpi)

(b) 実験結果



(c) 原画像の拡大図

(d) 実験結果の拡大図

4.2 実験結果

本節では、図7の流れに沿い、実験を行った結果を示す。図8に図1を本手法を用いて除去処理をした結果を示す。図8(d)を見ると、ロゼットパターンの特徴が除去され、目立たなくなっていることがわかる。また、図9に、別な画像での実験結果を示す。これも同様に、ロゼットパターンの特徴が除去されていることが確認できる。このことから、本手法によってロゼットパターンが除去できるものと考えられる。

図 8: 図1の実験結果



(a) 原画像 (800dpi)

(b) 実験結果



(c) 原画像の拡大図

(d) 実験結果の拡大図

4.3 実験結果の評価

本稿では、推定した周期と角度の情報を元に周波数領域で対応する成分を0に置き換えた。そこで実験の評価では、推定した周期より小さい半径でローパスフィルタを適用した結果、およびメディアンフィルタを適用した結果との違いについて述べる。

ローパスフィルタの半径を決めるとき、本稿で用いた周期の推定手法が適用できる。すなわち、ローパスフィルタの半径はロゼットパターンの周波数領域における周期より小さければ、ロゼットパターンに対応した成分を除去できる。

メディアンフィルタでロゼットパターンを除去するには、網点の半径が大きいときは網点の色、網点の半径が小さいときには網点以外の色を選ぶようなメディアンフィルタにする必要がある。網点の直径が周期を

図 9: 別な画像での実験結果

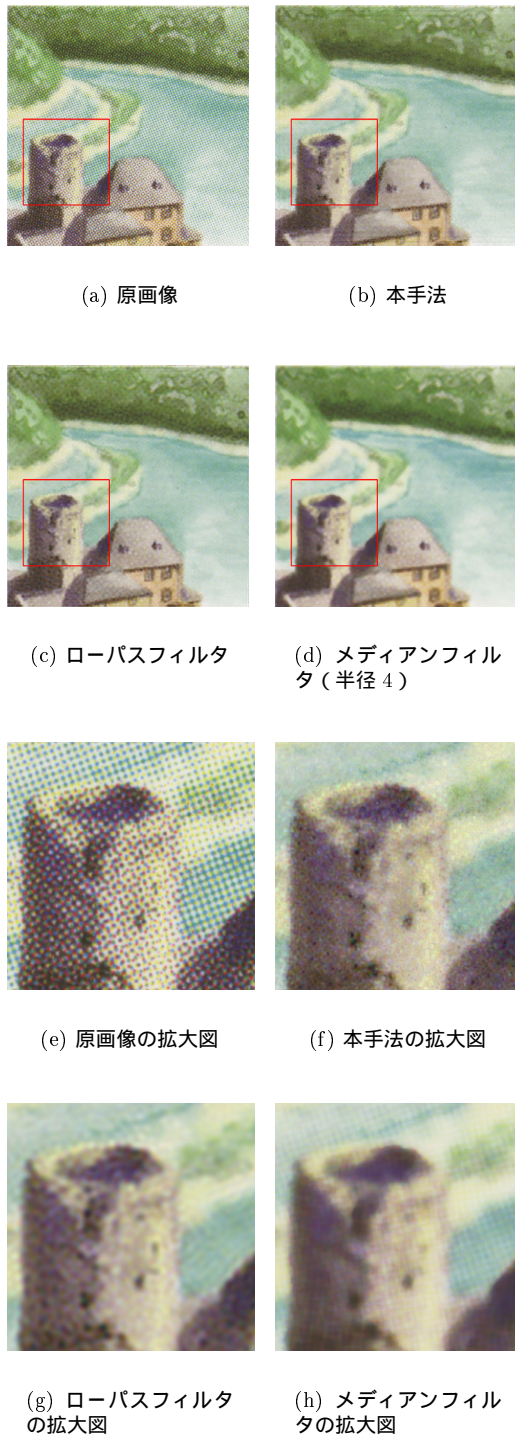


図 10: 本手法とローパスフィルタとメディアンフィルタの比較

上回ることはないため、メディアンフィルタのサイズがロゼットパターンの実空間における周期と一致する

ようにすればよい。本稿では、周波数領域で推定した周期と実空間における周期との対応はデルタ関数列のフーリエ変換に従うこととする。実空間における周期を T とすると、 $T = 2\pi/\omega_0$ となる。

図 10 に本手法、ローパスフィルタ、メディアンフィルタによってロゼットパターンを除去した結果をそれぞれ示す。図 10(f)、図 10(g)、図 10(h) を見ると、いずれもロゼットパターンの除去ができていない。しかし、単純なローパスフィルタによる除去処理の場合、画像にぼけが発生していることがわかる。これは、ローパスフィルタの平滑化効果の影響と考えられる。また、実空間におけるロゼットパターンの周期が長くなると、ローパスフィルタの半径を小さくしなければ、周期より小さい半径のローパスフィルタの適用ができない。したがって、高解像度で取り込んだ画像であると、単純ローパスフィルタによる除去処理が適用困難になる。

本手法では、周波数領域におけるロゼットパターンの周期と方向に対応した成分をピンポイントで消去する。すなわち、ロゼットパターンの特徴点以外の成分は消去しないため、高解像度な画像であっても十分に適用に耐えうる。また、図 10(f) と図 10(g) を比べると、本手法は画像に対するぼけが小さいことがわかる。このことから、本手法は、ローパスフィルタと比べ、本来の画像がもつエッジ成分を保存した状態でロゼットパターンの除去に成功していると考えられる。

一方、メディアンフィルタの場合、画像の色彩の変化、および取りきれずに残るパターンが目立つ。メディアンフィルタのサイズを大きくすればこのようなパターンを除去できるが、画像の解像度が落ちてしまうため、図 10(h) 以上のメディアンフィルタのサイズアップは現実的ではない。さらに、画像のエッジ成分になまりが見られる。メディアンフィルタは画像のエッジを保存した状態でノイズの除去が可能であるが、フィルタのサイズが大きくなると、画像のエッジ成分になまりが生じる。図 10(h) では、その影響が出ているものと考えられる。

本手法はメディアンフィルタと比べ、画像に対する色彩の変化は少なく、ロゼットパターンの目立った取り残しも少ない。また、図 10(f) のエッジ成分の保存性はメディアンフィルタのそれと比べて良好であることがわかる。このことから、本手法はメディアンフィルタと比べ、画像本来がもつエッジ成分の保存性、およびロゼットパターンの除去率が高いと考えられる。

5 おわりに

本稿では、ロゼットパターンの除去手法を提案した。ロゼットパターンを含む画像のスペクトルを2値化し、ラドン変換を適用した。その結果を角度について積分することによって、周期の推定が容易になることを示した。推定した周期情報を元にして、角度を推定できることを示した。周波数領域で、角度と周期に対応する成分を0に置き換えることによって、ロゼットパターンを除去できることを示した。今後は、さらに良好なロゼットパターンの除去結果を得る手法を考えていきたい。

参考文献

- [1] Anil K. Jain. *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1989.
- [2] 江前. 画像処理を用いた紙の物性解析手法. 紙パルプ技術タイムス, Vol. 48, No. 11, pp. 1-5, 2005.
- [3] 河村, 渡辺, 富永. マンガ符号化における網点のグラデーション処理の検討. 情報処理学会研究報告, Vol. 2003-AVM-43, No. 8, 2003.
- [4] Manjunath, Salembier, and Sikora. *Introduction to MPEG-7*. JOHN WILEY AND SONS, 2002.
- [5] 田村, 吉田, 賀好, 細羽, 前田, 河村, 美濃, 福江, 横井, 小関, 他. コンピュータ画像処理: 応用実践編 2. 総研出版, 1991.
- [6] 田中. 可変計算領域型最小2乗法による逆ハーフトーン処理. 映像情報メディア学会誌, Vol. 61, No. 1, pp. 98-101, 2007.
- [7] 田中, 高木. カルマンフィルタを用いた逆ハーフトーン処理. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-A, No. 10, pp. 968-973, 2008.
- [8] 豊田, 渡辺, 宮岡. カラーสキャン画像のロゼットパターン除去手法. 第25回 NICOGRAPH 論文コンテスト秋季大会, 2009.

豊田 敬央



昭和61年生。東京工科大学メディア学部メディア学科卒。現在東京工科大学大学院バイオ情報メディア研究科博士前期課程在籍。画像復元の研究に従事。

渡辺 賢悟



東京工科大学メディア学部メディア学科卒。同大学院メディア学研究科博士前期課程修了。東京工科大学片柳研究所メディアテクノロジーセンター嘱託研究員を経て、東京工科大学メディア学部メディア学科演習講師に着任。メディア学修士。

宮岡 伸一郎



京都大学工学部数理工学科卒。京都大学大学院修士課程修了の後、日立製作所に勤務。同社システム開発研究所主任研究員、独立しシステムコンサルタントを経て東京工科大学メディア学部メディア学科教授に着任。工学博士。