高解像度入力したカラー印刷文書画像に現れる網点ノイズの効果的軽減手法

An Effective Mesh Noise Reduction Method for High Resolution Color Document Images

正会員 長谷博行[†], 米田政明[†], 酒井 充[†],
丸山 博[†], 加藤 ジェーン^{††}

Hiroyuki Hase[†], Masaaki Yoneda[†], Mitsuru Sakai[†], Hiroshi Maruyama[†] and Jien Kato^{††}

あらまし 高解像度で入力されたカラー印刷文書画像に現れる網点ノイズを効果的に軽減する手法を提案した。まず、色を均一にするために平滑化による効果を評価した。しかし、これは画像にボケをもたらすため、ボケを防ぎかつ平均化を行う選択的局所色平均化法を提案し、実験によりその有効性を示した。

キーワード：解像度，カラー文書画像，色置換，選択的局所平均化法

1. ま え が き

OCR はこれまで白色の背景に黒色の文字で書かれた文書に対して開発されてきた。今後実現されるであろうカラー対応 OCR においても従来と同様 400dpi 程度の解像度が必要になると考えられるが、オフセット印刷されたカラー文書画像からこのような高解像度で色を取得した場合、各画素値には印刷に用いたインクの網点が現れ、色に基づく領域分割の際に問題となる。本論文ではその対策について述べる。

一般に書店などにある書籍、雑誌等の表紙のほとんどがオフセット印刷されている。オフセット印刷は色により異なった角度の網状に配置されたドットの面積と密度で濃度を表現し、シアン、マゼンタ、イエロー、ブラックの4色の減色混合と加色混合を利用して色を表現している。すなわち、複数のインクが重なった部分は減色混合となり、空間的に重なりをもたない色は加色混合となって我々の目に入る。網の目の粗さは通常 175 線/インチ (175 lpi, 350 dpi 相当¹⁾) であり、見た目に単一色に見える色でも拡大して見ると網点を見ることができる。

例として、付・図 1(a) には見た目に均一な色を 50dpi

の解像度で入力した画像 (50 × 50 画素) を示すが^{*}, (b) は (a) の画像の□印の領域 (約 1.3mm 角) を光学的に拡大した網点画像である。(c) は (a) の画像を 400dpi でイメージスキャナから取得し、画像処理ソフト Photoshop で各画素の色がわかるくらいに拡大した画像である。このように、高解像度でカラー画像を入力すると印刷時のインクの色が画素値に現れることがわかる。(d) は (a) の画像を 50dpi で入力し (c) と同じ率で拡大したものである。(d) からわかるように、50dpi 程度の低解像度ではすべての画素はほぼ均一な色になっていて画素境界がわからないほどであるが、各画素の大きさは (c) と同じである。

本論文では、カラー印刷文書画像を見た目の色で、かつ高解像度で入力する方法について検討する。一般に雑音を除去するには平滑化や内挿法が考えられるが、平滑化は画像にぼけを生じさせる。一方、内挿法は雑音成分が明らかでなければならないが、付・図 1(c) のように網点ドットは画像全体にわたって観測され、雑音成分を明らかにすることはできない。ぼけを生じさせずに平滑化する方法はこれまでもいくつか考えられてきた。それらは選択的局所平均化法と呼ばれ、例えば、前もって周波数成分の高いエッジや線を検出しておき、それらが存在しない領域を平均化する方法や、注目画素の近傍領域をいくつか分割し分散値の小さな分割領域の平均値に注目画素の画素値を置き換える方法などである²⁾。し

2000 年 3 月 21 日受付, 2000 年 5 月 8 日再受付, 2000 年 5 月 22 日採録

[†] 富山大学 工学部

(〒 930-8555 富山市五福 3190, TEL 076-445-6737)

^{††} 名古屋大学 大学院 工学研究科

(〒 464-8603 名古屋市千種区不老町, TEL 052-789-5144)

[†] Faculty of Engineering, Toyama University

(3190, Gofuku, Toyama-shi, Toyama 930-8555, Japan)

^{††} Department of Information Engineering, Nagoya University

(Furou-chou, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi 464-8603, Japan)

^{*} 電子的に入力し印刷したものは、いくつかの原因により本来の色と若干異なる。この問題は本論文の目的と関係がないので、サンプルはすべて電子的に入力され印刷されたものを提示する。

図 1 解像度と R,G,B 色分布の標準偏差
Standard deviations of R,G,B color distributions.

かし、平均化すべきものとそうでないものは研究対象によって異なり、必然的にアルゴリズムも異なる。本研究で提案するアルゴリズムはこの選択的局所平均化法の分類に属し、カラー文書画像を対象として全画像面を平均化操作するが、それは局所的同質領域においてなされる。

高解像度カラー印刷文書画像を対象とした報告は少ない。文献 3) は雑誌のカラー表紙などから 400dpi で入力した高解像度カラー文書画像を対象としている。しかし、この報告では色情報を捨て、網点ノイズの影響を軽減するため光学解像度の低いイメージスキャナを用いていて、スキャナ性能が変わると処理条件が変わる恐れがある。

本研究で使用する画像入力装置はイメージスキャナ (EPSON 社製 ES2000, 光学解像度 1600dpi と同 GT8500, 光学解像度 600dpi; 以降それぞれ ES,GT と記す) である。また、照明条件の均一性が求められるため、イメージスキャナ以外の入力装置は考えないことにする。

2. 色成分ごとの分布の解像度依存性

高解像度でカラー印刷画像を入力した場合、均一に見える色でも各画素の色値は大きく異なる。そこで、解像度を変えて R,G,B の分布の標準偏差を測定したところ図 1 のような結果が得られた。図 1 では色相の異なった見た目に均一な 4 色 (付・図 2 参照) を選び、上記の 2 つのイメージスキャナを用いて測定した。なお、付・図 2 の 4 つのサンプル画像において、右は左の画像の一部を拡大したものである。図 1 の各グラフは付・図 2 に示す

各画像パターンに対応している。図 1 より光学解像度 1600dpi のスキャナ ES の方が光学分解能が高いため、どの色においてもばらつきが極めて大きいことがわかる。また、400dpi までは解像度が大きくなるに従って R,G,B それぞれの標準偏差値が大きくなる傾向にあることがわかる。これは印刷時のインクの色が徐々に現れてくることを意味する。しかし 600dpi では逆に標準偏差が僅かに小さくなる傾向があるが、これは印刷の網点の周波数成分が 350dpi 付近で最大を示すためであると考えられる。本論文では、カラー対応 OCR を目標としているので、350dpi 程度のスキャナ特性を考慮に入れる。

色空間あるいは画像空間において画素値に基づき領域分割する場合、色分布が解像度により異なると領域分割するためのパラメータが解像度に依存することになる。そのため次章では、解像度による色分布の違いを吸収することを目的として、平滑化による色置換について検討する。

3. 平滑化による色置換

イメージスキャナの解像度が $R(\text{dpi})$ に設定されているとき、CCD センサはその解像度でマップされた各点を中心として、その周辺の領域を積分する形で各画素値を決定する。そのため、50dpi 程度の低解像度では光学的に広く積分することにより網点の原色が隠蔽され、各画素値は見た目に原画像と同様の色となる。高解像度においても、網点の原色が隠蔽された状態の画像が得られ

図2 平滑化の効果
Effect of the smoothing.

ればよいと考える。本章ではこれを目的として画素値の置換を行う。

基本的な考え方は、局所領域の積分により均一な画素値を得ることである。この目的に従って実験を行った。実験には付・図2に示した見た目に様な4色を用い、図1で大きな標準偏差を示した光学解像度1600dpiのイメージスキャナESを用い、300dpiと400dpiで取得した画像に対して実験を行った。結果を図2に示す。図2において、横軸は周辺の積分領域の範囲を表しており、例えば横軸の値を i とすると、中心画素に対して $(2 \cdot i + 1) \times (2 \cdot i + 1)$ の範囲の値の平均をとることを意味する。縦軸は画像の色値を濃淡値に変換して求めた標準偏差である。図2は本来ならば図1のようにR,G,Bの各色ごとに表示すべきであるが、濃淡値はRGB値の線形結合であり、濃淡値の標準偏差からRGB値の標準偏差の大小が類推できると判断したこと、紙面の節約のため濃淡値の標準偏差で示した。グラフのパラメータは4つのサンプル画像を表している。グラフより、 $3 \times 3 (i = 1)$ の領域を積分することで $i = 0$ の場合の標準偏差の約1/4に急激に減少することがわかる。このことは、網点が175lpi(350dpi相当)で印刷されているため、300dpiあるいは400dpiの画像においては1つの画素の8近傍にほぼ他のすべての色が存在していることから推察できる。その後、積分領域を大きくしていくと標準偏差値は徐々に小さくなり、 $9 \times 9 (i = 4)$ の積分範囲においてはほぼ図1に示す50dpi画像の標準偏差に相当する値となる。光学解像度600dpiのイメージスキャナGTにおける実験においても同様の傾向が得られている。

4. 選択的局所色平均化アルゴリズム

前章において 3×3 の局所領域を積分することで画素値の標準偏差が約1/4になることがわかった。画素値の均一化としてはまだ不十分であるが、これ以上平滑化を続けると画像はかなりぼけてしまう。カラー文書には小さな文字が書かれることもあり、大きなぼけは認識率の低下につながる。

本論文では、カラー文書画像の平滑化とぼけの防止を目的とした選択的局所色平均化 (Selective Local Color Averaging; SLCA と記す) アルゴリズムを提案する。基本的な考え方は平滑化する領域を選択的に決定することである。

前処理として 3×3 のマスクにより一度平滑化したカラー画像を f とし、注目点を (i, j) とする。SLCA アルゴリズムを以下に示す。

手順1 注目点を中心に $N \times N$ の局所領域を考え、 $M = N^2$ 個の画素値を濃淡値に変換し1次元配列 $h(k)$ ($k = 1, \dots, M$)に格納する。その際、座標値も同時に記憶し、注目画素の要素を k^* とする。

手順2 1次元配列を濃度値に基づき並べ替える。並べ替えは昇順でも降順でもよい。

手順3 1次元配列を点 $\hat{k}$ で2分し、 $k = 1, \dots, \hat{k}$ と $k = \hat{k} + 1, \dots, M$ の各群で濃度値の平均 μ_1, μ_2 と分散 σ_1^2, σ_2^2 を計算する。

手順4 評価値

$$\eta(\hat{k}) = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sqrt{(n_1 * \sigma_1^2 + n_2 * \sigma_2^2) / M}} \quad (1)$$

を $\hat{k} = 1, \dots, M - 1$ について計算する。ただし、 $n_1 (= \hat{k})$, $n_2 (= M - \hat{k})$ は各群の画素数である。

手順5 評価値 η が最大の点 $\hat{k}_{max}$ を求める。

手順6 次の条件のどれかを満足すれば、注目画素 (i, j) の $N \times N$ の局所領域すべての画素値を平均し $f(i, j)$ とする。

- (1) $\eta(\hat{k}_{max}) < \alpha$
- (2) $k^* = 1$ かつ $\hat{k}_{max} = 1$
- (3) $k^* = M$ かつ $\hat{k}_{max} = M - 1$

ここに、 α はあらかじめ定めた閾値である。

手順7 手順6のどの条件も満足しなければ次の処理をする。

- (1) $k^* \leq \hat{k}_{max}$ であれば、 $k = 1$ から $\hat{k}_{max}$ までの $h(k)$ がもつ座標値が示す画像 f の値を平均し $f(i, j)$ とする。
- (2) $k^* > \hat{k}_{max}$ であれば、 $k = \hat{k}_{max} + 1$ から

表 1 処理過程における標準偏差
Standard deviation at each processing.

	f	Smoothing	SLCA(1)	SLCA(3)
Character area	26.84	9.95	5.39	4.19
Background	36.19	5.79	4.28	3.61

M までの $h(k)$ がもつ座標値が示す画像 f の値を平均し $f(i, j)$ とする.

このアルゴリズムでは「注目画素を中心とした局所領域には高々2つの質の異なった画素群が存在する」という仮定を設けている. 手順1で色値を局所的に濃淡値に変えている理由は, 多くのカラー文書画像では文字の色とその背景色に濃度差が存在するからである. しかしながら, 本研究の目的は網点ノイズを除去して見た目の色を得ることにあるので, 従来手法⁴⁾のように前もってカラー画像を濃淡画像に変換してから処理することはしない. 手順4と手順5は大津の判別閾値選定法⁵⁾を利用している. 手順6の3つの条件のうち, (1)は2群の分布に差がない場合であり, 局所領域を単純に平均する. (2)と(3)は1つの群を構成している要素が注目画素だけなのでノイズとして処理することを意味している. 実験結果を次に示す.

付・図3(a)は光学解像度1600dpiのスキャナESを用い400dpiで入力した画像(400×400画素)である.(a)の□印の部分拡大した画像が(b)であり, 3×3のマスキで平滑化した前処理結果に画像処理ソフトPhotoshopを用いて□の部分と同率で拡大した画像が(c)である. この前処理が必要な理由は付・図3のように文字領域と背景領域が同系色の場合, 網点の色がアイランド状に残ることを防ぐためである. また(c)より, この段階で閾値による2値化が可能のように見えるが, それは適切ではない. なぜならば, (c)は画像の一部であり, いろいろな状況が画像には含まれているからである.(d)は(c)に対し $N=3$ としてSLCAアルゴリズムを実行した画像の同じ□の部分を示している. 文字と背景の境界部において, 3×3の局所領域では平均をとるための画素数が少なく平滑化の効果が得にくい. そこで(c)に3回SLCAアルゴリズムを施した結果を(e)に示す.(d),(e)から徐々に境界部が明確になり, かつ平滑化が進んでいることが確認できる.(f)はSLCAを3回適用した画像である. この画像の処理過程における文字部と背景部の標準偏差を表1に示す. 文字部および背景部は境界部を含まない同一の領域を指定して測定した. なお, f は原画像, Smoothingは前処理した画像を表し, SLCA(1), SLCA(3)はSLCAアルゴリズムをそれぞれ1回, 3回適用した画像から求めた結果を表している. 表において標準偏差はR,G,Bの各色ごとに表示すべきであるが, 図2における表示と同じ理由で, 色値を濃淡値に変換して求めた標準偏差を示した.

付・図3(g)は同じ400dpiで取得した別の画像(400×400画素)であり, (h)は(g)の□の部分拡大した画像である.(i)は前処理を施した後SLCAアルゴリズムを3回適用した画像であり, (j)は(h)と同じ部分を拡大した画像である. 前例と同じく境界部の明確化が進みかつ平滑化されていることが確認できる. しかし, このアルゴリズムが局所処理であるため境界部に中間色の領域が多少生じている.

本アルゴリズムで注意すべき点は閾値 α の選び方である. α を大きくすると選択性が薄れ単なる平滑化になり, α を小さくすると選択性が強くなる. 本実験では $\alpha=4$ としたが, 適切な α の値は, 手順6で局所領域を単純に平均化する画素数と手順7で2分割する画素数の比が, ほぼ画像中の境界画素数の割合に近い値になるようにすることである.

5. む す び

本論文では, 高解像度で取得したカラー文書画像の網点ノイズの軽減手法について述べた. 本アルゴリズムではカラー値をいったん濃淡値に変換しているが, 色の異なった2つの領域が同濃度の関係にあれば濃淡値に変換することは適切ではなく, カラー空間での分布の違いを評価しなければならない. また, 同種のカラー文書処理する場合は事前実験により閾値 α を決定できるが, 不特定のカラー文書を対象にする場合にはこれを事前に決めることは困難である. 今後この点について検討を加えたい.

〔文 献〕

- 1) 一ノ瀬修一: “スキャナの最新技術”, 情報処理, **39**, 8, pp.769-775 (1998)
- 2) A.Rosenfeld, A.C.Kak, 長尾真訳: “ディジタル画像処理”, 近代科学社, pp.203-204 (1978)
- 3) 後藤英昭, 平山理継, 阿曾弘具: “局所多値しきい値処理法による濃淡文書画像からの文字パターンの抽出”, 信学論, **J82-D-II**, 11, pp.2188-2192 (Nov. 1999)
- 4) 塩 昭夫: “情景中文字の検出のための動的2値化処理法”, 信学論, **J71-D**, 5, pp.863-873 (Mar. 1988).
- 5) 大津展之: “判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法”, 信学論, **63-D**, 4, pp.349-356 (Apr. 1980 年)

長谷 博行 1948 年生。1971 年 3 月 富山大学工学部卒業。同年 (株)ゼネラル入社。昭 50 富山大・工・技官。現在知能情報工学科助教授。この間視覚生理の研究、最近文字、文書画像理解、コンピュータビジョンの研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、画像電子学会、IEEE 各会員、工博。

米田 政明 1972 年、東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程修了。同年、富山大学工学部電子工学科講師。現在、同大学工学部知能情報工学科教授。この間、オートマトン・言語理論、文字認識・文書画像理解等の研究に従事。工学博士。

酒井 充 昭 54 富山大・工・電子卒。昭 56 同大学院修士課程了。昭 57 同大・工・技官。現在知能情報工学科助手。この間、多クラス認識、文字認識、識別関数などの研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会各会員、工博。

丸山 博 平 5 富山大学工学部電子情報工学科卒業。平 7 同大学院工学研究科修士課程修了。同年富山大学工学部技官。現在に至る。パターン認識の研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会各会員。

加藤ジェーン 平 2 年名古屋大学大学院修士課程了。平 5 年同大学院後期課程了。同年富山大学工学部助手。平 11 年オックスフォード大学客員研究員。平 12 年名古屋大学大学院工学研究科助教授。工博。文書画像理解、パターン認識、コンピュータビジョンなどの研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、IEEE 各会員。

〈付 録〉

(a)Original image (b)Enlarged view (c)Enlarged view(400dpi) (d)Enlarged view(50dpi)

付・図 1 高解像度画像と低解像度画像の比較
Comparison of high and low resolution color images.

(a)Color 1(rr) (b)Color 2(gb)

(c)Color 3(yr) (d)Color 4(lb)

付・図 2 サンプル画像
Sample color images.

付・図 3 選択的局所色平均化
Selective local color averaging.