

---

# 多重スケール解析によるカラー文書画像の裏写り補正

## Correcting Show-Through Effects on Scanned Color Document Images by Multiscale Analysis

鈴木 剛\*

Takeshi SUZUKI

西田 広文\*

Hirobumi NISHIDA

---

### 要 旨

スキャンされたカラー文書画像において、裏面の画像が紙面を通して透けて見える現象を補正するための新しい方法を開発した。特に、デジタル画像処理手法を用いた裏写り検出の新しい枠組みを示す。最初にエッジ強度の閾値処理と、各カラー成分に対する局所適応的二値化により、表側の前景要素を背景要素と裏面の要素から分離する。復元画像を生成するために、カラー閾値処理により背景色を局所的に推定し、さらに、多重スケール解析と、原画像と復元画像間のエッジ分布の比較により、背景色を適応的に修正する。最後に、原画像と復元画像の差分から裏写り成分を検出し補正を行う。提案した方法では、特別な画像入力装置や、裏面の入力を必要とせず、表側の画像のみを解析することによって、 unnecessaryな画像成分を検出することができる。

### ABSTRACT

We have developed a new approach to restoring scanned color document images where the backside image shows through the paper sheet. A new framework is presented for detecting show-through components using digital image processing techniques. First, the foreground components on the front side are separated from the background and backside components through locally adaptive binarization for each color component and edge magnitude thresholding. Background colors are estimated locally through color thresholding to generate a restored image, and then corrected adaptively through multi-scale analysis along with comparison of edge distributions between the original and the restored image. Finally, show-through components are detected from the difference between the original and the restored image. The proposed method does not require specific input devices or the backside to be input; it is able to detect unneeded image components through analysis of the front side image alone. Experimental results are given to verify effectiveness of the proposed method.

---

\* 画像システム事業本部 ソフトウェア研究所  
Software Research Center, Imaging System Business Group

## 1. 背景

近年デジタルスキャナやデジタルカメラなどのデジタル入力機器の高性能化が急速に進んでおり、また大容量ネットワークの普及やハードディスクの大型化により高解像度のカラー画像が一般のオフィスでも利用されるようになってきている。入力画像の表現能力が向上するに従い、両面印刷原稿で裏面の画像が透けて見える、いわゆる裏写りが問題となってきている。

従来オフィス文書画像の大半を占めていたモノクロ画像に関しては、画像を適応的に明るくするなどの比較的単純な方法で裏写りを抑制し、ユーザの要求する画質レベルを達成することが可能であった。

これに対してカラー印刷物は、高画質であるがゆえに画質に対する要求も厳しいものとなる。単に画像を明るくすることで裏写りを軽減するアプローチは、表面の印刷内容の薄い色も再現されづらくするため、ユーザの画質要求を満たすことができないと考えられる。これは適応的なガンマ補正などのアプローチに関しても同じように生じる問題である [1,2]。実際に裏写りが生じている文書画像と、明るくすることで裏写りを軽減したものの例をFig.1に示す。近年のプレゼンテーション資料は背景、矢印、罫線、そして文字などに、薄い色を使うことが多いが、これらの色は特定の情報を表しており、画像全体を明るくすることで色情報が失われることは、資料としての価値を著しく損なうものである (Fig.1(b)参照)。

従来から両面スキャナなどを用いた裏写り補正システムが検討されてきたが、巨大な筐体の特殊なスキャナを必要とすることが多く [3,4]、画素単位での位置合わせが不可欠であるなど、技術的な困難もあった。またハードウェアに特化したアプローチでは、今後発展が予想される電子文書管理との親和性が低いことが問題である。具体的にはデジタルデータのみが入手可能で、原稿が手に入らないものに関しては、スキャナなどの入力系の特定のハードウェアの利用を前提とすることはできない。

以上を踏まえ、本稿では電子化された文書画像に対するデジタル画像処理で、裏写りのみを選択的に補正するアルゴリズムを提案する。提案方法はまず幾つかの特徴を用いて前景と背景を分離し、局所的な背景色推定を行

う。そして多重スケール解析により背景色を適応的に修復することで、裏写りを補正する。提案方法は特別な入力機器を必要とせず、表面のスキャン画像のみを用いて裏写りを補正し、同時に表面の印刷内容の高い再現性を達成している。

本稿の構成は以下の通りである。まず第2章で提案する方式の原理について説明し、第3章では裏写り補正アルゴリズムについて述べる。第4章は、実際の文書画像を補正した実験についての考察であり、第5章はまとめである。

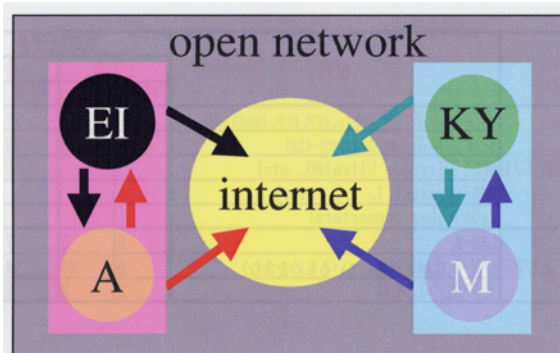


Fig.1 (a) A color document image with show-through effects.

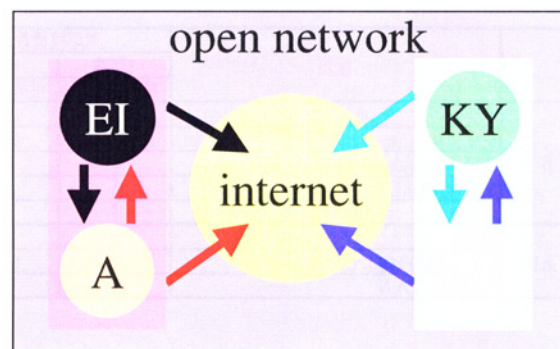


Fig.1 (b) An example of gamma-correction.

## 2. 方式の原理

### 2-1 カラー画像の構成要素

Mixed Raster Content (MRC) Imaging Model [5]によると、カラー画像は次の2つの要素から構成される：

- ・前景 (Foreground) : テキスト、グラフィックス (特に線画)
- ・背景 (Background) : 連続階調領域

背景については、鋭いエッジがなく、例えば、100dpi程度

の低解像度の画像に圧縮しても、人間の目には劣化が目立たない。例えばBTC (Block Truncation Coding) [6]では、画像をブロック分割し、各ブロックを2色で符号化する不可逆圧縮方法を採用している。一方、前景部に対しては、エッジの保持のために高い解像度が必要とされる。このように、画像の表現において、前景と背景では異なる観点と方法が必要となる。

裏写りのある画像では、画像は次の4つの要素から構成される (Fig.1, 2参照) :

- ・表面の前景 (Foreground)
- ・表面の背景 (Background)
- ・裏面の前景からの裏写り
- ・裏面の背景からの裏写り

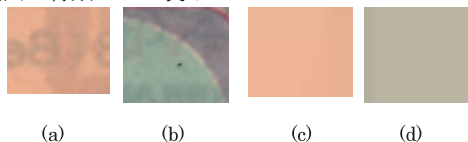


Fig.2 (a)The region contains show-through components from the foreground of the backside, and the color of the background on the front side is uniform or smoothly changes. (b) The region contains show-through components from the foreground of the backside, and the background on the front side is composed of two or more distinct colors. (c) Background color estimation for (a). (d) Background color estimation for (b).

本アルゴリズムは、両面印刷された文書の片面をスキャンして得られた1枚の画像だけを用いて、裏面の前景からの裏写り部分を特定し、補正することを目的とする。裏面の背景からの裏写りに関しては補正の対象としないが、これについては第4章で述べる。

## 2-2 構成要素の判別

裏写り部分は、紙を透過してから入力されるため、高周波成分が抑制される。したがって、テキストやグラフィックスに固有な特徴であるエッジについて考えると、一種のローパス・フィルタが作用しているため、表面の画像に比べて、裏写り部分のエッジ強度が弱いことを仮定することは自然である。画像上のエッジ強度分布の解析により、表面と裏写りの前景領域のエッジを判別し、表面の前景境界 (エッジ) を抽出することが可能である。

表面の前景を抽出した後に残る領域は、3つの要素 (表面の背景、裏面の前景、裏面の背景) から構成される。今、 $S \times S$ の大きさの局所的領域において、表面の前景と裏面の前景の関係を考えると、この領域はつぎのいずれかの性質を持つ:

- (a) 裏面の前景からの裏写りがその領域を覆っている。
- (b) 裏面の前景からの裏写りがあり、表面の背景は単一色から成るか、または、色が滑らかに変化している (Fig.2(a)) .
- (c) 裏面の前景からの裏写りがなく、表面の背景は単一色から成るか、または、色が滑らかに変化している。
- (d) 裏面の前景からの裏写りがあり、表面の背景は異なる複数の色から成る (Fig.2(b)) .
- (e) 裏面の前景からの裏写りがなく、表面の背景は異なる複数の色から成る。

まず、(b)のような場合、通常、裏写り部分は、表面の背景よりも暗くなる。このことと、(a)と(b)から、大きさが $S \times S$ 以下の裏写りを除去するためには、画像上に $S \times S$ の大きさを設定し、まず、各領域について、カラー閾値処理により2つの代表色を計算する。(b)の場合には、明るい方の色が表面の背景色に相当する。その領域のすべての画素の色を、明るい方の色で置換える (Fig.2(c)) . この処理は、(c)の場合においても、副作用をもたらさないが、(d)や(e)の場合には、表面の背景の色を1色の縮約するため、表面の画像に歪みをもたらす (Fig.2(d)) . これは、 $S$ が大きすぎるために生ずる問題である。この解決のためには、歪みが生じた部分の検出と、より小さい $S$ を用いて背景色の推定を行う必要がある。

## 2-3 裏写り部分の特定と多重スケール解析

裏写り部分の特定は、ボトムアップ的な画像解析方法だけでは難しい技術課題である。そこで、裏写りを補正した画像を合成・修正し、原画像と比較することによって、裏写り部分を特定して行くという、“Analysis-by-Synthesis”のアプローチ[7]を採用している。

裏写り補正画像に含まれるエッジは、原画像のエッジの部分集合になるはずである。画素ごとにみると、裏写り補正画像でのエッジ強度が、原画像でのそれよりも強いことはありえない。原画像にない偽のエッジが裏写り補正画像にあっ

たとすると、それは、背景色推定処理において、参照範囲が大きすぎたことから生じる副作用である。これを修正するために、偽のエッジの周囲で、より小さい参照範囲を用いて背景色推定をやり直すことにより、裏写り補正画像を修正する。画素ごとに適切な処理スケールを適応的に決めることが望ましいが、ボトムアップ的な画像解析によって自動的に決めることは難しい。したがって、エッジ情報をもとにして、作った画像を原画像と比較しながら、"coarse-to-fine"のストラテジーにより、適応的にスケールを決めて行く。

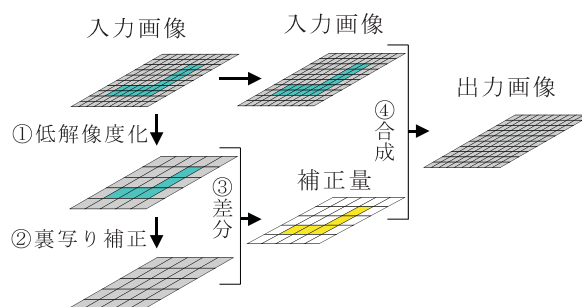


Fig.3 A relationship between input/output images and internal images. Synthesizing the high-resolution input image and the low-resolution internal images generates the output image.

### 3. アルゴリズム

#### 3-1 全体の構成

Fig.3に全体構成を、Fig.4に裏写り補正アルゴリズムの概要を示す。まず前処理として、入力画像を100dpi程度の低解像度画像に変換し、更に平滑化を施す。これらの処理には高速化の他に、高解像度原画像中の網点などの影響を緩和する目的がある。

上記平滑化低解像度画像から、エッジ検出及びカラー成分二値化を行い、前景要素を抽出し、後段の裏写り補正から保護する。

裏写り補正は、大きくは背景色の初期推定と、その修正から構成される。

前景要素以外に対して設定された局所ウィンドウ内の画素を分類し、裏写り成分と局所背景色成分を算出し、裏写り領域を局所背景色で置き換えることで背景色の初期推定画像が得られる。

平滑化低解像度画像から抽出されたエッジ分布と、初期推定画像から抽出されたエッジ分布とを比較することで、上記初期推定による誤補正が検出されるので、誤補正周辺は、局所ウィンドウの大きさを小さくして再度背景色の推定を行う。これにより最終的な裏写り補正画像が得られる。

裏写り補正画像と平滑化低解像度画像の間で、画素毎に色の3成分での差分を計算する。その差分を閾値処理することにより、裏写り部分を検出できる。低解像度化された画像から得られた裏写り補正画像上での画素の色を、高解像度の原画像上の対応する領域に割り当てることにより、高解像度の裏写り補正画像を生成できる。

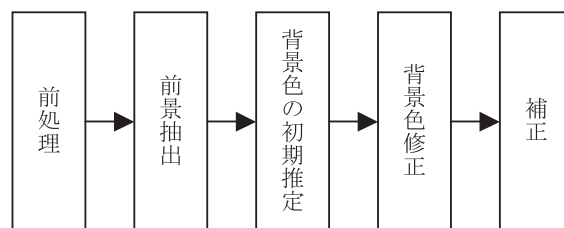


Fig.4 An outline of the algorithm.

#### 3-2 前景要素抽出

平滑化低解像度画像から、Fig.5に示すような、表面の前景要素を抽出する。特徴量としては、エッジ強度、カラーごとの二値化（固定閾値、および、局所適応的閾値）を用いている。

##### 3-2-1 エッジ検出

平滑化低解像度画像に対して、エッジ強度を計算する。各画素のエッジ強度は、3つのチャンネル（RGB）に対して別個にエッジ検出器により計算されたエッジ強度を組み合わせたものである。エッジ強度を閾値処理することにより、前景要素が得られる。

この閾値は、本来裏写りの程度に応じて変化すべきものだが、紙質やスキャナの特徴がわかっている場合には予め与えることができる。

##### 3-2-2 カラー成分二値化

エッジ検出で前景要素に設定されなかった画素に対して、カラー成分の二値化を行うことにより、前景要素の検出を行う。このカラー二値化は、固定閾値による処理の他に、局所

適応的二値化を用いる。

局所適応的二値化では、ターゲット画素の周りに二次元のウィンドウを設定し、このウィンドウ内部でチャンネルごとに信号の平均値  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  を計算して、 $a$  と  $b$  をパラメータとした閾値  $\mu(a+b\sigma)$  と信号値の比較を行う。各チャンネルの閾値処理出力信号を組み合わせると、ターゲット画素を前景要素に設定するかどうかを決定する。

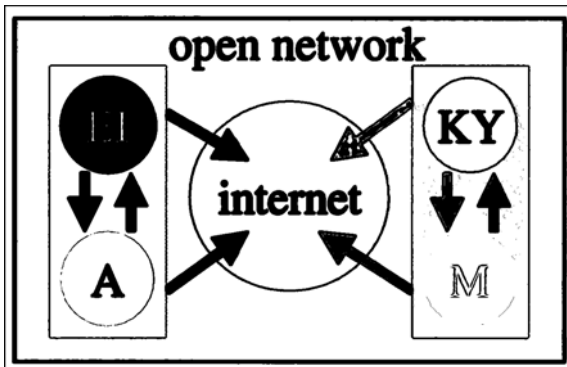


Fig.5 A foreground image of Fig.1.

### 3-3 初期背景色推定

前景要素でない画素領域について、局所的に背景色を推定する。処理の流れは以下の通りである。

まずFig.6(a)に示すように、横方向の各ラインに対して、長さが最大  $wsz$  で、その中に前景要素の画素を含まないようなランを逐次構成する。各ランについて、ランを構成する画素を2つの代表色に分類する。このような「カラークラスタリング」は、通常、反復計算を必要とするが、ここでは、画像の四元数表現とモーメント保持原理に基づく、高速カラー

閾値化アルゴリズム [8] を用いる。このアルゴリズムでは、2つの代表色と分類境界が、反復計算をせずに得られることが特長である。このようにして計算された2つの代表色のうち、明るい方（輝度が高い）の色を、そのランを構成する各画素の色に設定する。このように横方向のランを用いた背景色推定処理をした画像が得られる。

さらに、Fig.6(b)に示すように、横方向のランによる背景色推定処理をした画像に対して、縦方向のランを構成し、同様の背景色推定処理を施す。この結果生成される背景色画像の各画素の輝度は、入力画像よりも高く（明るく）なる。

背景色推定処理では、主走査方向で左から右、副走査方向で上から下に、指定された長さになるか、前景画素に出会うまで、ランを順次構成して行く。

このようにして、横方向と縦方向のランに背景色推定処理を施すことにより、初期背景色画像が生成される。

### 3-4 背景色修正

推定された初期背景色と原画像を用いて背景色を修正する。処理の流れは下記の通りである。

- (a) 各画素に対して、背景色画像のエッジ強度から原画像のエッジ強度を引くことにより、エッジ残差画像を作る。大半の画素では、残差が0以下の値になる。エッジ残差画像を二値化処理し、疑似エッジ画像を作る。残差が閾値以上の画素がON、それ以外がOFFになる。Fig.1の画像を背景色推定処理した際の疑似エッジをFig.7に示す。図中白画素は上記ONを示す。
- (b)  $wsz$  の値を半分にする。疑似エッジ画像でONの画素の

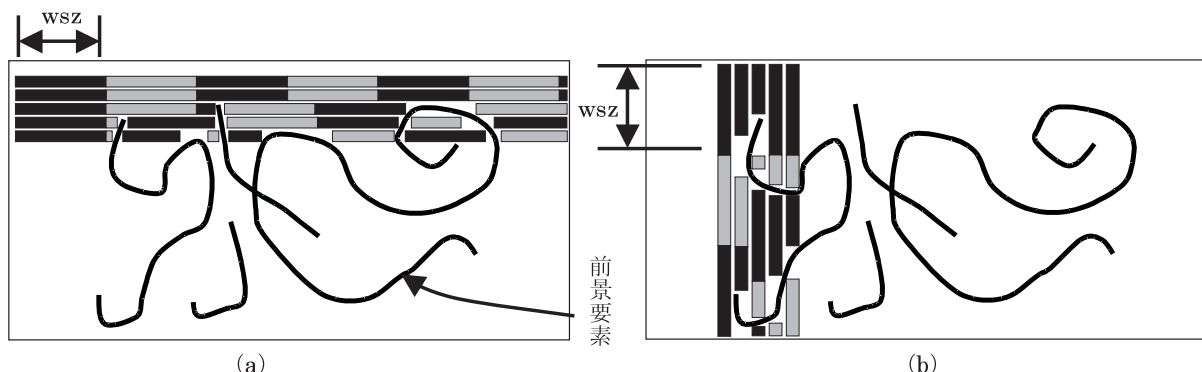


Fig.6 Local background color estimation. (a) For each horizontal scan line, runs of the maximum length  $wsz$  are constructed sequentially from the left so that each run contains no "on" pixel. For each run, pixels on the run are classified to two representative colors, and the brighter color is set to each pixel. (b) The background color estimation is applied to vertical runs of the image generated in (a).

周囲に対して、新しいwszの値を用いて背景色推定処理を実行し、背景色画像を生成する。

- (c) 背景色画像において、疑似エッジ画像でONの画素の近傍の $(2 \cdot wsz - 1) \times (2 \cdot wsz - 1)$ 個の画素の色を、新しい背景色画像での色に置換える。Fig.7の白画素に対してこの処理を適用した結果をFig.8に示す。
- (d) wszが予め決められた最小サイズより小さくなるまで、(a) ~ (c) の処理を、再帰的に繰り返す。

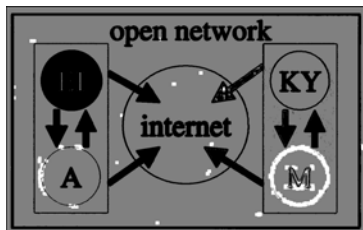


Fig.7 Difference between edge images for the original and the restored image.

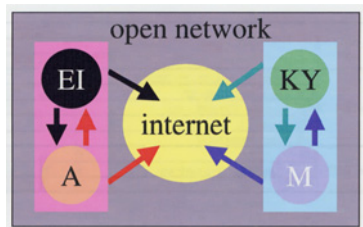


Fig.8 Restored image of Fig.1(a).



Fig.9 Detected show-through components.

### 3-5 補正

#### 3-5-1 補正量計算

前景要素でない画素に対して、チャンネルごとに、背景色画像と、その元になった平滑化低解像度画像との差分を計算し、補正量を求める (Fig.9)。前景要素の画素では、差分が3つのチャンネルで0になる。補正量の計算方法及び下記補正画像生成についてはFig.3も参照のこと。

#### 3-5-2 補正画像生成

入力画像と同じ解像度をもつ画像を生成する。まず、前景要素の画素に対応するブロックでは、入力画像に変更を加えずに、元の信号を用いる。前景要素でない画素に対応するブロックでは、各画素において、チャンネルごとに、補正量を入力画像に加える。

## 4. 実験と考察

本章では裏写り補正アルゴリズムを実際の文書画像に適用した例を示し、アルゴリズムの性能を検証する。

Fig.10(a)はカラーグラフの上に裏写りが生じている例である。両面印刷可能なカラープリンタの普及により、このようなカラーの資料が多くなってきている。提案方法による裏写り補正結果Fig.10(b)から、提案方法は表面の色に依存せず裏写りを軽減できていることが判る。

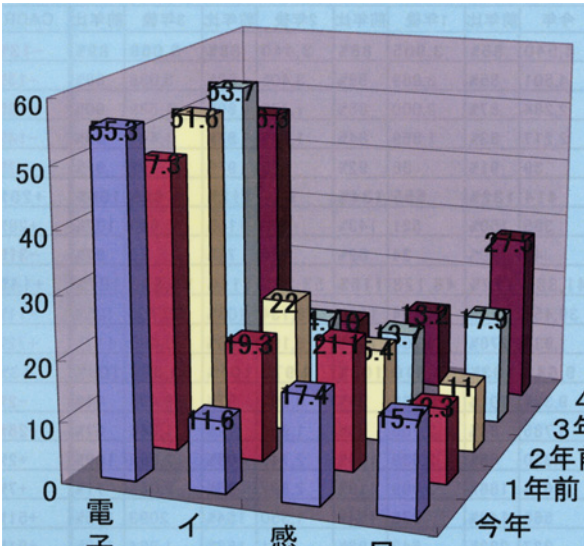
Fig.10(c)はプレゼンテーション資料の例である。この例では背景領域にカラーのグラデーションが用いられており、高い再現性が期待される。補正結果Fig.10(d)から明らかなように、提案方法は多重スケールの背景色推定処理の導入により、前景のグラデーション領域の高い再現性と、裏写り補正能力を両立させている。

Fig.11(a)は文書画像における写真領域に生じた裏写りの例である。このような例では自然画特有の微妙なグラデーションに加え、高い色再現性が求められる。裏写り補正結果であるFig.11(b)に示されるように、提案方法は裏写り成分を選択的に補正し、自然画でも高い再現性を実現している。

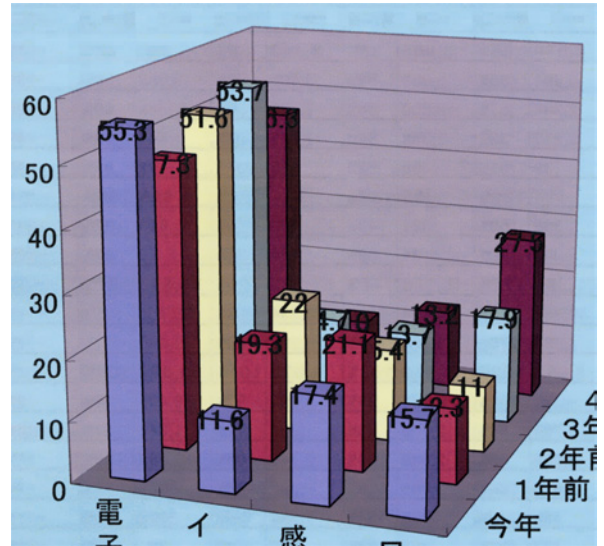
ここまでで示した実験結果から、提案方法は文字や罫線などの裏写りを効果的に補正できているといえる。このような裏面の細線による裏写りは、文書画像でよくみられるものであり、これらを軽減することは表面の読みやすさの向上に寄与するものである。

Fig.12(a)は裏面に広い裏写りがある例であり、Fig.12(b)は裏写り補正画像である。この例でも罫線の裏写りは補正されているが、棒状の広い裏写りは補正されていない。

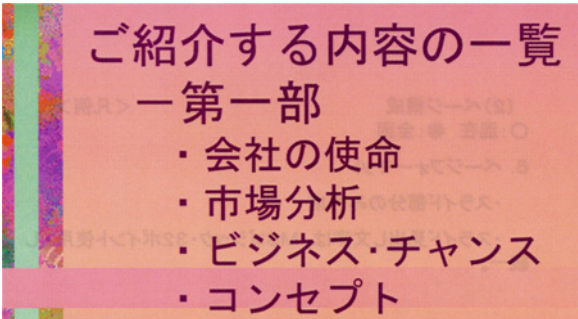
提案方法は、補正の対象となる画素の周辺に本来の表面の背景色が存在するという仮定に基づいているので、



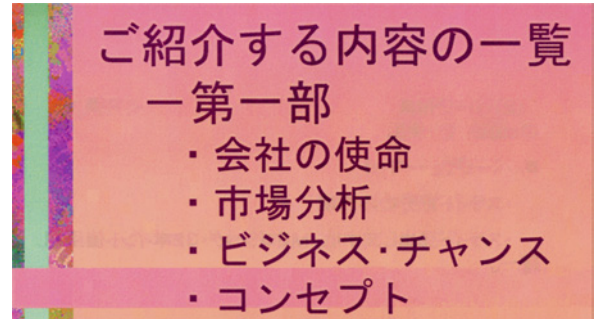
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.10 (a)(c)original images with graphics (b)(d)restored images.



(a)



(b)

Fig.11 (a)original image with photograph (b)restored image.

表面の印刷内容の均一領域を覆うような広い裏写りは補正することはできない。

次に速度に関して検討する。

速度の検討には一般的な性能のPCを用いている。

CPU : Pentium III 800MHz Memory : 256M

入力画像 : 200dpi, 24bit full colorの場合、テストに用いた10枚の画像の平均処理時間は4.45秒、標準偏差は0.29秒である。同じく400dpiの場合には平均5.75秒、標準偏差0.35秒である。このことから本処理は高速で、かつ画像内容への依存性が小さい頑健な処理といえる。



(a)



(b)

Fig.12 (a)original image with large show-through regions (b)restored image.

今回の提案方法では、高解像度の画像を直接処理するのではなく、一旦100dpi程度の低解像度に変換し、その画像を元に裏写りの推定を行っている。この理由は2つあり、一つは計算に用いられる画素数を減らすことによる高速化であり、他方は高解像度でスキャンされた文書画像によく見られる網点などの印刷機に特有の微細構造の影響を緩和するためである。網点などがある原稿を高解像度でスキャンした場合、我々が知覚する色と、各画素の持つ色が必ずしも一致しない。これは局所的な色推定には大きな影響を及ぼすため、色推定以前の段階で対処しておく必要がある。但し出力として求められるのはあくまでも高解像度の画像である。これまでに説明した方法で求めた低解像度の裏写り情報を用いて、高解像度の入力画像を補正することで、この要求も満たしている。

## 5. まとめと今後の展開

本稿では、両面印刷された原稿をスキャンした際に生じる裏写りを補正するためのデジタル画像処理について述べた。実験結果により、本処理が片面の画像のみを用いて裏写りを補正し、同時に表面画像の高い再現性を達成していることが示された。また特殊な入力デバイスが必要としないことも提案手法の大きな特徴である。今後の課題としては、実際の電子文書管理への応用における性能向上や、より本質的な問題として、前景／背景の区別があいまいな自然画像をどのように再現するべきかについての検討が挙げられる。

## 参考文献

- 1) J. Suavely, T. Seppanen, S. Haapakoski, and M. Pietikainen, "Adaptive document binarization," in *Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. Document Analysis and Recognition* (Ulm, Germany), August 18–20, 1997, pp. 142–146.
- 2) 菅野浩樹, 澤田崇行: 画像処理装置および画像形成装置, (株) 東芝, 特開平11-187266, 1997.12.19.
- 3) 松田伸也: 読取り画像の修正方法及び画像読み取り装置, ミノルタ (株), 特開平9-205544, 1996.1.26
- 4) G. Sharma, "Show-through cancellation in scans of duplex printed documents," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, no. 5, pp. 736–754, 2001.
- 5) Draft Recommendation T.44, Mixed Raster Content (MRC), ITU-T Study Group 8, Question 5, May 1997.
- 6) 南敏, 中村納: 画像工学, pp. 159–175, 1989.
- 7) H. Nishida, "Analysis and synthesis of deformed patterns based on structural models", *Computer Vision and pattern understanding* vol.68, no.1, pp. 59–71, 1997.
- 8) S.C. Pei and C.M. Cheng, "Color image processing by using binary quaternion-moment-preserving thresholding technique," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 8, no. 5, pp. 614–628, 1999.