

両面印刷物のスキャナ画像の裏写り補正

Show-Through Cancellation in Scanned Images of Duplex Printed Documents

小嶋 洸佑
Kousuke Kojima

高橋 正信
Masanobu Takahashi

1. まえがき

書籍や雑誌など紙の両面に印刷が施されている紙面をスキャナで取り込んだ場合、裏側のページが透けて写る裏写りが起こる。

裏写り補正の問題は BSS (Blind Source Separation) の問題と捉える研究が多い。これはスキャナで取り込んだ画像は表側と裏側の画像の混合画像と考えられるからである。BSS を元にした従来研究[1], [2], [3]の中でも[3]の手法は紙内部での光の拡散 (PSF) を考慮しており、他の手法よりも良好な結果が期待される。紙には厚みがあり、光を散乱する性質があるため、裏側の画像は表側ではボケて観察される。その効果を考慮した補正により、より良い補正結果が期待できる。

しかし、[3]の手法は表側の画像が裏写りに与える影響を考慮していないため、表側に印刷物がある領域で補正がうまくゆかない問題がある。また、裏写りが生じている白紙の領域がないと PSF を求められない問題点もある。我々は、モデル及び手法を改善することによりこれらの問題を解決し、その有効性を確認したので報告する。

2. 従来手法と問題点

図1は従来手法[3]で用いられているスキャナモデルである。紙の両面をそれぞれ面1、面2としたとき、裏写りが生じていない場合の面1の画素値を t_1 、同様な面2の画素値を t_2 とする。また、光の拡散による面2から面1へのPSF (点像分布関数) を h_1 とする。なお、 h_1 はスキャナの蓋で反射される光の強度の面1で反射される光の強度に対する比率を含んでいる。

従来手法では、裏写り成分は $h_1 * t_2$ と与えられると考え、スキャナで取り込まれた面1の画像 s_1 は $h_1 * t_2$ と t_1 の和で与えられるとする。

しかし、このモデルでは表側の印刷物が裏写り成分に与える影響を考慮していない。そのため、表側に印刷物が存在した場合、図5(e)のように裏写りが過度に補正される問題がある。また、PSFは表面が白紙で裏面に印刷物が存在する領域のみを用いて推定するため、そうした領域が無いと裏写りを補正できない問題もある。

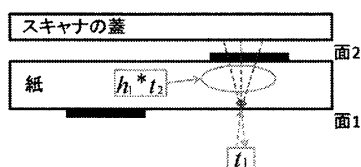


図1 従来のスキャナモデル

3. 改善手法

我々はこの問題を解決する方法として、表側の印刷物の影響を考慮した裏写り成分の算出法を提案する。図2に改善したスキャナモデルを示す。

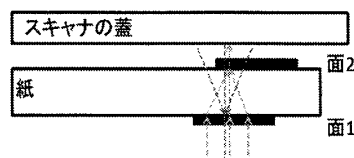


図2 改善したスキャナモデル

光が面1を2回通過した時の減衰率は式(1)で与えられる。ここで、 t_1^w は面1の白紙部分の画素値である。従って、面1を1回通過することによる光の減衰率は $\sqrt{t_1}$ となる。

$$\tilde{t}_1 = t_1 / t_1^w \quad (1)$$

面1を通過後、光は紙の内部で拡散するが、その効果が面1から面2へのPSF (h_2) に類似しているとすると、面2に到達した光の強度は式(2)で表せる。ここで、 \tilde{h}_2 は式(3)で算出される規格化PSFである。

$$\sqrt{\tilde{t}_1} * \tilde{h}_2 \quad (2)$$

$$\tilde{h}_2 = h_2 / \sum h_2 \quad (3)$$

次に、光は面2を通過し、スキャナの蓋によって反射されて面2を再度通過する。そして、紙の内部で拡散されて、面1を再度通過する。最終的な裏写り成分 p'_1 は式(4)で与えられる。

$$p'_1 = \left\{ \left(\sqrt{\tilde{t}_1} * \tilde{h}_2 \right) * t_2 \right\} * h_1 \sqrt{\tilde{t}_1} \quad (4)$$

面1が白紙の場合 ($\tilde{t}_1 = 1$)、裏写り成分 p'_1 は $h_1 * t_2$ となり、従来手法と一致する。即ち、式(4)は従来手法を含むより一般的な裏写り成分の表現となっている。

裏写り補正は式(5)のコスト関数 C'_1 を用いて行う。

$$C'_1 = \|t_1 + p'_1 - s_1\|^2 + \lambda TV(t_1) \quad (5)$$

式(5)の第1項は補正後の画像とPSFが両方とも正しく推定されたとき最小となる。第2項 (TV: Total-Variation) は正規化項であり、画像の輝度変化の合計である[4]。TVは裏写りにより生じたエッジがなくなることで値が減少するため、裏写りのエッジがなくなる方向に作用する。ここで λ は各々の画素に対して定義したTVの重みである。面1の正しい画像 (t_1) のエッジには低い重みを割り当てることでTVが t_1 のエッジに作用する効果を弱める。反対に裏写りによって生じたエッジに高い重みを割り当てることで裏写りのエッジに作用する効果を強めている。

実際のコスト関数は式(5)の添え字の1と2を入れ替えた面2のコスト関数 C'_2 と C'_1 の和を用いる。裏写りの無い本来の画像 (t_1, t_2) とPSF (h_1, h_2) はコスト関数を用いて以下の手順で求める。

- (1) 画像 (t_1, t_2) と PSF (h_1, h_2) を初期化する.
- (2) h_1, h_2 を固定し, コスト関数 $(C'_1 + C'_2)$ が最小となるように t_1, t_2 を最適化する.
- (3) t_1, t_2 を固定する. コスト関数 C'_1 の第1項を用い, h_2 を固定して最小二乗法により h_1 を求める. 次に, コスト関数 C'_2 の第1項を用い, h_1 を固定して最小二乗法により h_2 を求める. この処理を数回繰り返す. なお, 算出には裏面に印刷物が存在する領域を用い, 表面が白紙でない領域も用いる.
- (4) (2), (3)を収束するまで, もしくは決められた回数だけ繰り返す.

4. 実験

150dpi で両面印刷された紙を用いて実験を行った. 面2 (裏面) には文字のみを印刷し, 面1 (表面) にはそれぞれ0 (印刷なし), 32, 64, 128 (濃い印刷) のグレースケールレベルで印刷した画像を用いた.

スキャンした画像と裏写り補正後の画像をそれぞれ図3, 図4に示す. なお, 面2の画像は面1との対応関係を分かりやすくするため左右反転している. また白紙の領域と濃い印刷領域の拡大画像 (6倍にコントラスト強調) を図5に示す.

表1は裏写り領域における周辺画素値との誤差である. また印刷ムラなどの影響により裏写り領域以外の背景領域でも画素値の変動が存在するため, 背景領域で同様に求めた誤差を「背景変動成分」として表のカッコ内に記載している. なお, 評価には0と128で印刷された領域を用いた.

表面が白紙の領域では, 原画像の誤差18.2に対し, 何れの手法でも5.2程度の誤差にまで補正を行うことができた. 一方, 表面が濃い印刷領域の場合, 従来手法 (図5(e)) では過度の裏写り補正により逆に明るくなっており, 誤差も原画像の3.3よりも大きい12.6となった. 改善手法では誤差2.3と, 背景変動成分と変わらない結果が得られ, 濃い印刷領域に対しても良好な補正結果が得られた.

次に, 面1の印刷の無い領域を切り取った画像で裏写り補正実験を行った. この場合も, 濃い印刷領域での裏写り領域の平均誤差は2.3と, 背景変動成分(2.3)と同程度の補正結果が得られた. 即ち, 表面に白紙領域が無い場合でも裏写り補正が行えることを確認した.

図6はより一般的な例として, 一様な印刷と文字が両面に印刷されている場合の裏写り補正結果である. この場合も裏写りをほぼ補正することができた.

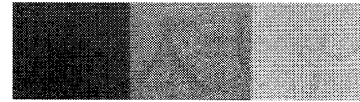
5. あとがき

表面に濃い印刷領域がある場合や白紙領域が無い場合でも裏写りを補正できる手法を提案し, 実験により有効性を確認した. 今後は, さらなる精度の向上やカラー印刷への対応などに取り組んでいきたい.

参考文献

- [1] M.S.C. Almeida, L.B. Almeida, "Wavelet based nonlinear separation of images," IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing, Maynooth, Ireland, pp.53-58, 2006.
- [2] A. Tonazzini, G. Bianco, E. Salerno, "Registration and enhancement of double-sided degraded manuscripts acquired in multispectral modality," in Proc. ICDAR 2009, Barcelona, Spain, pp.546-550, 2009.

- [3] Boaz Ophir and David Malah, "Show-through cancellation in scanned images using blind source separation techniques," in Proc. Int. Conf. on Image Processing ICIP, Vol. III, pp.233-236, 2007.
- [4] D.M. Strong, P. Blomgren, and T.F. Chan, "Spatially adaptive local feature-driven total variation minimizing image restoration," in Proc. of SPIE, statistical. and stochastic method in image processing II, vol. 3167, pp.222-233, 1997.

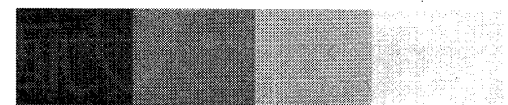


(a) 面1

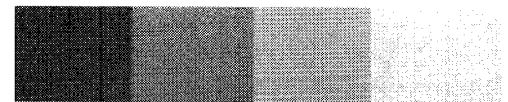


(b) 面2

図3 スキャナ画像

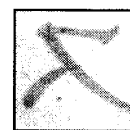


(a) 従来手法

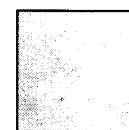


(b) 改善手法

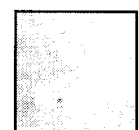
図4 各手法による裏写り補正結果



(a) スキャナ画像



(b) 従来手法



(c) 改善手法



(d) スキャナ画像



(e) 従来手法

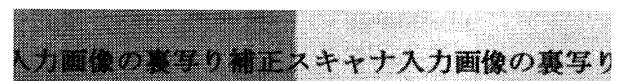


(f) 改善手法

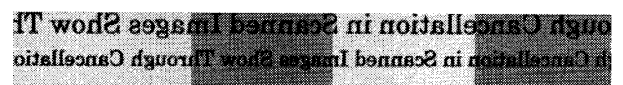
図5 補正結果の拡大画像 (6倍にコントラスト強調)

表1 裏写り領域の平均誤差(カッコ内は背景変動成分)

	表面が白紙	表面が濃い印刷物
原画像	18.2 (3.2)	3.3 (2.5)
従来手法	5.2 (3.1)	12.6 (2.4)
改善手法	5.1 (2.9)	2.3 (2.4)



(a) 面1



(b) 面2

図6 補正結果例 (一様印刷と文字が両面にある場合)