

2分割したA3紙のスキャン画像からの画像復元技術の一検討

藤井勇作^{†1} 堀田悦伸^{†1}

自動紙送り機能付きドキュメントスキャナの普及とともに、ペーパーレス社会が浸透しつつある。紙文書を電子化すると、保管スペース削減や、テキスト検索など多くの利点が生まれる。ところが、普及しているA4用小型スキャナでは、A3サイズの原稿を簡単に電子化できず、不便を強いられる。そこで、複数枚のA3原稿を手早く簡単にA4用スキャナで電子化する新しいスキャン方式を提案する。提案方式ではA3原稿を半分に切断しA4サイズに揃えたのち、自動紙送り機能により高速スキャンし、疑似A3スキャン画像を生成する。本方式では、切断された複数枚のA3原稿がまとめてスキャンされても、切断境界で類似した印刷パターンが隣接する様に結合すべきA4スキャン画像の組を自動的に推定する。また、一枚のA3原稿を切断した後二回に分けてスキャンすると紙搬送速度のムラにより結合後の画像には図形や文字のずれが発生するが、提案方式では、切断境界をまたぐ罫線やテキストなどを利用して局所的な伸縮補正を行い、ずれを解消した疑似A3スキャン画像を生成する。評価実験により提案方式は、従来方式の手作業の負担を7割程度軽くしながらA3原稿を手早く電子化できることを確認した。

A study of how to restore a whole A3-size image from two A4-size scanned images of the divided A3 paper

YUSAKU FUJII^{†1} YOSHINOBU HOTTA^{†1}

Recently, a Document scanner with ADF is widespread and the paperless environment is getting popular. Computerization of paper documents brings various advantages like the preservation space reduction and a text search. However, the computerization of the A3 size paper cannot be easily done with a spreading small A4 scanner. Then, we propose a new method to computerize two or more A3 size papers with the A4 scanner quick and easily. In the proposed method, after each of A3 papers is cut into the half to make the size A4 and scanned by ADF of high speed, pseudo A3 scanning images of the original A3 papers are restored. During this process, the batch processing of restoring two or more A3 papers is achieved by automatically finding and uniting a pair of A4 scanning images that have a similar print pattern around the cutting boundary adjacently. Moreover, a local expansion and contraction correction is done by using the ruled line and the text, etc. that step over the cutting boundary so that the pseudo A3 scanning image is generated that has no gap at the cutting boundary, which is caused due to irregularity of the paper transportation speed between the two portions of a A3 paper. It was confirmed the proposed method reduce costs for computerizing of two or more A3 papers with the A4 scanner compared with the conventional method by about 70 percent.

1. はじめに

パソコンの普及と外部記憶装置の低価格化に伴い、紙文書をドキュメントスキャナで電子化し、元の紙文書を廃棄するペーパーレス化が浸透してきている。紙文書を電子化することにより、紙文書の保管スペースが不要になり、また、USBメモリなど小さな可搬記憶媒体でも多くの文書を持ち運ぶことができるようになる。更に、OCRを活用したテキスト検索も可能になるなど、多くの利点が生まれる。

最近では、紙文書のスキャンに自動紙送り機能(Auto Document Feeder)付きのA4サイズ用小型ドキュメントスキャナが広く使われるようになってきた。ADFが内蔵されているため、大量の紙文書も手軽に簡単にスキャンできる。小型であるため机に常設でき、様々な書類や配布物をいつでも素早く電子化し手元のPCに保存できるようになる。更にスキャンの済んだ紙文書をすぐに廃棄でき、整理整頓も進む。

ところが、当然ながらA4サイズ用ドキュメントスキャナでは、A4を超えるサイズの紙文書をそのままスキャンす

ることはできない。一旦、A4サイズに縮小コピーしたり、スキャンできるサイズに折ってからスキャンするなど、何らかの工夫をしなければならず、不便をしいられている。

従来から、大きなサイズの紙文書を小さなスキャンデバイスでスキャンする方法は研究されている。例えば、伊勢らは、A3紙文書の余白を折り込み、さらに中央付近に「連結マーク」を書き込んでスキャンする方法を提案した[1]。連結マークが含まれるように2回に分けてスキャンし、スキャン画像に写っている連結マークなどを頼りに、2つの画像を結合する。Liangらは、デジタルカメラを用いて紙文書の部分領域を撮影し、共有して写っている領域を利用して各部分画像を補正し、連結する方法を提案した[2]。SantoshKumarらは、紙文書を破いてそれぞれの紙片をスキャンし、紙のエッジ形状が一致するように紙片のスキャン画像を並べ、元の紙文書のスキャン画像を生成する方法を提案した[3]。しかし、いずれの方法も、1枚のスキャンに手間がかかり、複数枚のスキャン時は手作業の負担が大きくなる問題がある。また、結合後の復元画像の画質が劣化する場合もある。

現在、使われている最も実用的なスキャン方法は、原稿を

^{†1} 株式会社富士通研究所
FUJITSU LABORATORIES LTD.

半分に折り、それを両面スキャンして得られた2枚のスキャン画像、即ち、原稿の左右（上下）部分のスキャン画像を結合し、元の原稿の疑似スキャン画像を生成する方法である。この方法は、A4サイズ用ドキュメントスキャナでA3紙をスキャンする方法に広く使われている。しかし、依然、複数枚の原稿をスキャンする場合には、手作業の負担が大きくなる問題がある。ドキュメントスキャナには、ADFの機能が内蔵されているが、原稿を二つ折りした場合は、ADFを用いることができない。ADF機能を使うと、二枚に重なった紙を分離して引き込もうとするため、二つ折り原稿を挿入すると必ず詰まってしまう。そのため、二つ折り原稿をスキャンする時は、透明シートに挟んで一枚の紙に見せかけるか、ADF機能を働かないようにハードウェアをセットし、一枚ずつの手差し両面スキャンをしなければならない（図1）。この時、原稿の復元画像における画像結合部分の乱れを抑えるため、透明シートへの挟み込み作業や手差しスキャン作業を丁寧にしなければならない。また、原稿が両面印刷であった場合は、折り直して再度スキャンする必要がある。これらの理由から、二つ折りにしてスキャンする方法でも、原稿が複数枚になると手作業の負担が大きくなる。

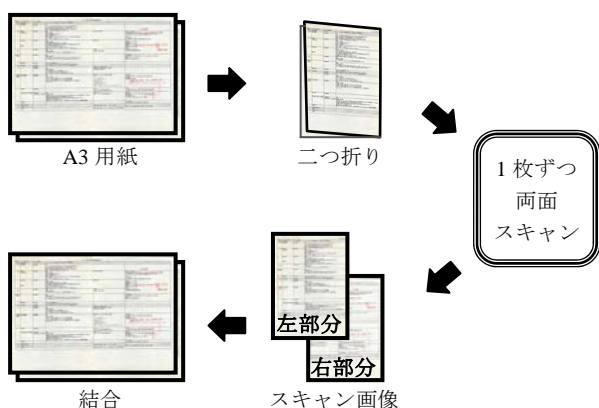


図1 A3紙のスキャン方法

また、二つ折りにする方法では、厚手の紙をスキャンする時、折り目の部分が厚みのためスキャンできず、画像の結合境界が不連続となりやすい問題もある（図2）。

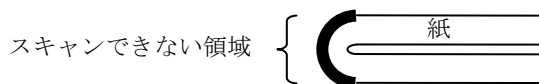


図2 厚手の紙を折った状態

今回、複数枚のA3紙を従来の方法に比べ軽い負担の手作業でスキャンできるスキャン方式を提案する。本論文の構成は以下の通りである。まず、第二章で提案する方式と課題について述べ、第三章で開発した技術について説明す

る。第四章において評価実験の説明を行い、第五章で結論を述べる。

2. 提案方式と課題

複数枚のA3紙を従来の方法より手軽にA4サイズ用ドキュメントスキャナで電子化する方法とその実現への課題を説明する。

2.1 提案方式のスキャン手順

提案方式では、A3紙を次の手順でスキャンする（図3）。

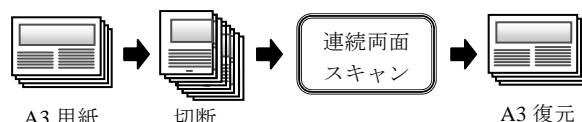


図3 スキャン手順

まず、A3紙を裁断機やカッターで切断し、スキャナの読み取れるA4サイズに変更する。次に、切断されたA3紙、即ち、A4サイズ紙をADF機能を用いて両面スキャンする。最後に、得られたスキャン画像を適切な組合わせで画像結合し、元のA3紙の疑似A3スキャン画像を得る。提案方式では、従来方式の原稿を一枚ずつ二つ折りする作業に比べ、裁断機などにより一度に複数枚のA3紙を切断できるので手作業の負担が軽くなる。また、透明シートへの挟み込みや手差しスキャンの負担がなくなり、ADFを用いることができるようになるため、画像の傾きの小さい安定したスキャン画像を高速に得ることができる。更に、A3紙が両面印刷であっても、その作業負担は変わらない。

2.2 課題

提案方式では、一枚のA3紙を二回に分けてスキャンし、更に、複数枚を一括してスキャンするため、次の二つの課題が新たに発生する。

課題1. 画像の組合わせ推定

切断された複数枚のA3紙を、ADFを用い一度にスキャンするが、この時、結合すべき順にA4スキャン画像が得られるとは限らない。むしろ、切断した状態でそれを束ねてスキャンすると、結合すべき画像は離れてしまう（図4）。そこで、元のA3原稿を構成するための結合すべきA4スキャン画像の組合わせを特定する必要がある。また、切断されたA3原稿の中に、単独のA4原稿が混ざる可能性も考慮し、結合対象とならないスキャン画像の判定も必要になる。

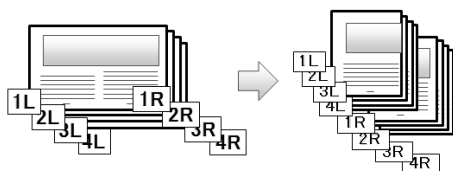


図 4 原稿を切断して束ねた様子

課題 2. 画像の局所伸縮補正

イメージセンサを固定し紙を搬送させてスキャンするタイプのドキュメントスキャナでは、紙の搬送速度に僅かなムラが含まれるため、スキャン画像に局所的な伸縮が発生する。搬送速度ムラは、搬送ローラと紙の滑りや、排紙トレイと排紙される紙のぶつかるタイミングの違いなど様々な要因で発生する。その為、A3 原稿を二回に分けてスキャンし得られた A4 スキャン画像をそのまま結合すると、局所的な伸縮の影響で画像の結合部分の文字や図形にずれが発生する。切断した A3 原稿から得られた A4 スキャン画像をそのまま結合した結果を図 5 に示す。罫線に注目すると、伸縮の影響がよくわかる。さらに、これを目視により上部の罫線と下部の罫線がつながるように全体に伸縮補正を行ったのち結合した結果を図 6 に示す。依然、中程の罫線にずれが生じていることから、局所的に画像が伸縮していることがわかる。このことから、A3 紙を二回に分けてスキャンした A4 スキャン画像を結合するときに、局所的に発生している画像伸縮を補正する必要があることがわかる。

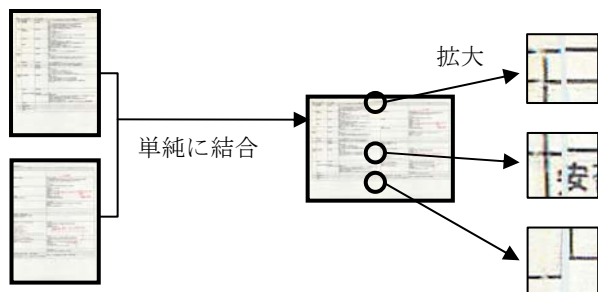


図 5 結合画像

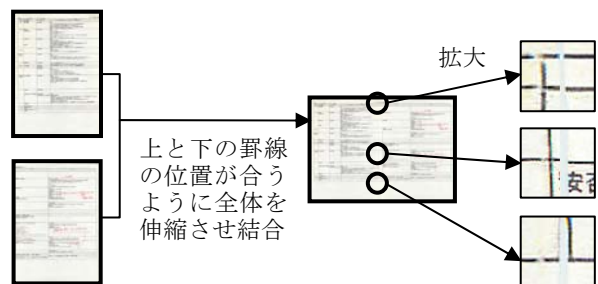


図 6 目視による調整後の結合画像

3. 開発技術

二章で説明した二つの課題を解決するために、画像の組み合わせ推定技術と、局所的伸縮補正技術を開発し、疑似 A3 スキャン画像を生成するシステムを試作した。

3.1 システム構成

試作システムの処理手順を図 7 に示す。

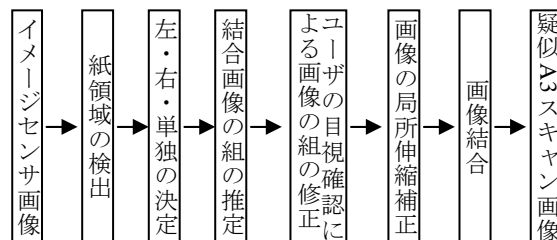


図 7 試作システムの処理手順

まず、イメージセンサにより切断された A3 紙のスキャン画像が取得される。A4 スキャナに搭載されているイメージセンサは、確実に A4 紙の端まで撮影できるように A4 サイズ幅よりも大きく作られており、イメージセンサの出力には、紙の存在しない領域の画像も含まれている。そこで、センサ画像において紙のエッジを検出し、A4 サイズのスキャン画像にトリミングする。

次に文字を利用して原稿の向きを特定し、紙のエッジまで印刷要素が存在するか否かを確認することで、A3 紙の左・右(上・下)の画像、もしくは、A4 単独原稿のいずれであるかを判定する。なお、スキャンする A3 文書には、四辺に余白があり、切断境界のみ印刷要素があると仮定している。次に、A4 単独原稿でないと判定されたスキャン画像において、結合すべき組み合わせを推定する。推定方法は後述する。組み合わせ推定後は、その推定結果をスキャン画像と共に PC の画面に表示し、ユーザの目視により、推定結果が正しいか否かの確認が行われる。誤っている組み合わせがあった場合は、ユーザ操作により訂正される。その時の GUI の例を図 8 に示す。マウスのドラッグアンドドロップ操作により、カードを並べ替えるようにスキャン画像の組合せを変更できる。その後、画像の局所的伸縮補正、および、画像結合を行い、疑似 A3 スキャン画像を生成する。局所伸縮補正方法については、後述する。



図 8 組み合わせ修正の GUI 例

3.2 組み合わせ推定

A3 紙を半分に切断するとき、その境界をまたいで文字や図形が存在することを仮定し、元の A3 原稿を構成するためのスキャン画像の組み合わせを推定する。なお、試作システムでは、境界をまたぐ印刷要素が全くない場合は、他のスキャン画像と結合する必要はないと考え、単独の A4 紙とする。または、図 8 で示される GUI において、結合する他のスキャン画像を指定することもできる。

組み合わせの推定では、切断境界を挟んで類似したパターンが隣接するスキャン画像を探索し、それらを結合すべき画像の組とする。例えば、図 9A に示すような細かなパターン（文字）が存在した場合は、画像を連結すると切断境界を挟んで同じく細かなパターンが隣接するようなスキャン画像を探索し、組とする。その他のパターンの例として、図 9B、図 9C に示すような太い線（罫線）、一様な背景パターンや、パターンが存在しない領域（紙の地色）などがある。

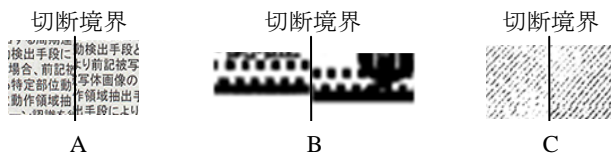


図 9 切断境界をまたぐパターンの例

スキャン画像の組み合わせの推定手順を図 10 に示す。

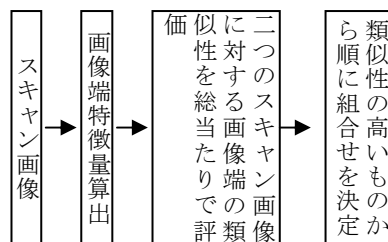


図 10 組み合わせ推定手順

それぞれのスキャン画像において、切断境界である画像端に対し、画像端特徴量を算出する。次に、スキャナ画像

同士の全ての組合せに対し、画像端特徴量を用いて類似性を評価したのち、類似性の高いものから順に画像の組を決定していく。

画像端特徴量の算出手順を図 11 に示す。まず、A4 スキャン画像において、切断境界付近（画像端）を n 画素角の大きさにブロック分割する。次に、各ブロックで周波数解析を行い、全方向に対して平均化した平均スペクトル分布を求める。また、そのブロックにおける重みを決定する。重みは、印刷要素が多ければ多いほど大きな数値となるように決定する。求めた平均スペクトル分布と重みを画像端特徴量とする。

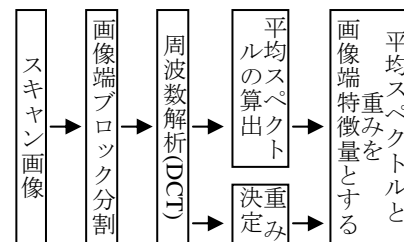


図 11 画像端特徴量の算出手順

二つのスキャン画像の画像端の類似性は、画像端特徴量から求められる相違度で評価する。相違度は、式 1 で与えられる。

$$\text{相違度 } D = \sum_i \left\{ \alpha_i \sum_v |S_{i,v}^1 - S_{i,v}^2| \right\} \quad (\text{式 1})$$

$S_{i,v}^n$ は、(ブロック番号 i 、周波数 v) におけるスペクトル値を表し、 n は A3 紙を切断したときの左右（上下）の画像のいずれかを示す。 α_i は重みを表す。

得られた A4 スキャン画像の全てに対し、総当たりで相違度を求め、相違度の小さいもの、即ち類似性の高いものから画像の組を順次決定していく。

3.3 局所伸縮補正

A3 紙を二回に分けてスキャンし、得られた二つの A4 スキャン画像において、画像ラインの対応関係を求め、それらの座標が一致するように片方の画像を局所伸縮補正する (図 12)。

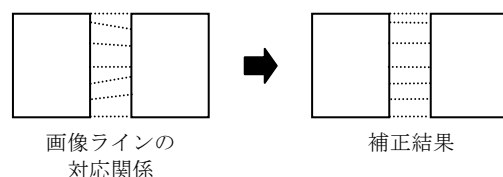


図 12 局所伸縮補正

局所伸縮補正の処理手順を図 13 に示す。画像ラインの対応関係は、ラインごとに特徴量を求め、その特徴量の差が小さくなるように動的計画法 (Dynamic Programming) で求める。

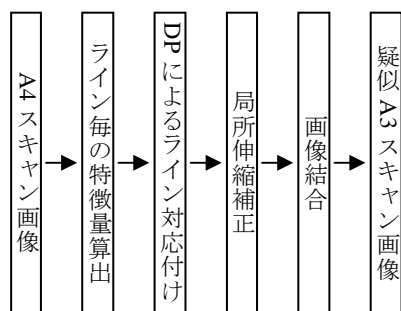


図 13 伸縮補正の処理手順

画像ラインの特徴量には以下の量を用いる。

1. A4 スキャン画像の端 (紙のエッジ) から延びる印刷要素のエッジ方向
2. 画像の端から連続して水平方向に並んでいる前景画素 (黒画素) を数え、上下のラインと比較してその差分が閾値を超えたときを 1, それ以外を 0
3. 画像の端から連続して水平方向に並んでいる背景画素 (白画素) を数え、上下のラインと比較してその差分が閾値を超えたときを 1, それ以外を 0

DP でのパスのコスト計算では、上記の個々の特徴量の差に所定の重みを乗算し、累積した値をコストとしている。また、スキャン画像に発生する局所的伸縮量は、僅かであるため、DP の探索ルートに傾斜制限を設ける[4]。今回用いた傾斜制限の模式図を図 14 に示す。

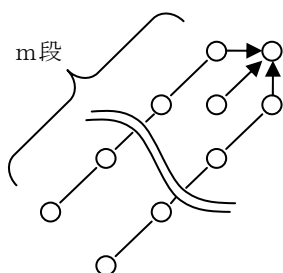


図 14 DP における傾斜制限

DP により二つの A4 スキャン画像間でラインの対応関係が求まった後は、そのラインが同じ位置になるように片方の画像を伸縮補正し、画像を結合することで疑似 A3 スキャン画像を得る。

4. 評価実験

提案方式の有効性を検証するために評価実験を行った。評価実験では、結合すべき A4 スキャン画像の組み合わせの成功率と、画像結合時の局所伸縮補正の成功率、および、提案手法と従来手法によるスキャン時の手作業の負担量を測定する。

4.1 サンプルデータ

企業内で利用される A3 印刷物や、A3 サイズの図面、商品のパンフレット、保険申込書などを収集し、サンプル紙文書とした。サンプル数は、A3 用紙 120 ページ分であり、それらを 10 ページ毎にわけ、それぞれを一つのデータセットとした。即ち、各データセットは、切断して得られた A4 スキャン画像 20 枚から構成され、その範囲内での組み合わせ成功率と、伸縮補正成功率を測定する。

4.2 組み合わせ成功率

全データセットに対する組み合わせ成功率の測定結果を表 1 に示す。比較対象として、ジグソーパズルにおいて絵の連結模様から最適な並べ方を決定する方法[5]による組み合わせ推定の成功率を測定した。ジグソーパズルの並べ方推定では、隣接する画像の類似性を、切断境界を挟んで隣り合う画素の RGB の差分から求めたのち、上下左右のピースの組み合わせ結果から多数決を取り、並べ方を決定している。なお、A4 スキャン画像の組み合わせ推定への適用では隣接スキャン画像は一つのみなので、多数決判定は省略した。

表 1 組み合わせ検出の成功率

	全データセットの平均	全データセット中の最悪値
提案方式	93%	70%
比較対象方式	80%	50%

表 1 に示すように平均 93% の成功率が得られ、比較対象方式より良好な結果を得た。組み合わせを誤った原因を調査したところ、主な原因は、次の通りであった。

1. 切断境界を挟んで印刷要素のパターンに連続性がない A3 原稿が混在する。
2. 切断境界付近のパターンが類似した他の A3 原稿が存在する。

原因 1 の一例を図 15 に示す。図 15 は、切断境界において文字の位置が若干異なっている図面が混在した状況である。これを切断し得られた A4 スキャン画像は図 16 となるが、これに対し、提案方式で組み合わせを推定すると切断境界の左右の領域で似たパターンとなるものを探索するため、

図 17 の結果が得られる。即ち、誤った推定結果が得られることになる。

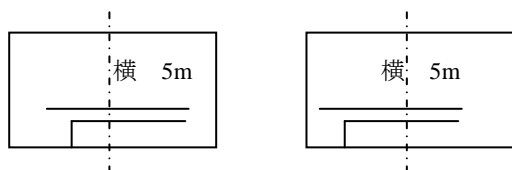


図 15 A3 原稿

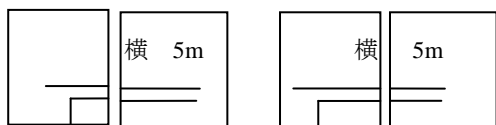


図 16 A4 スキャン画像



図 17 組み合わせ推定結果

4.3 局所伸縮補正の成功率

従来方式と提案方式による疑似 A3 スキャン画像の生成結果の例をそれぞれ、図 18 と図 19 に示す。また、局所伸縮補正の成功率の測定結果を表 2 に示す。

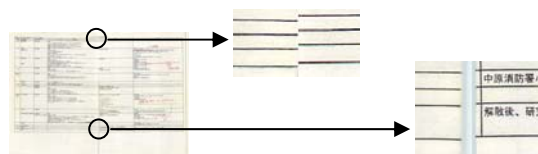


図 18 従来方式による疑似 A3 スキャン画像

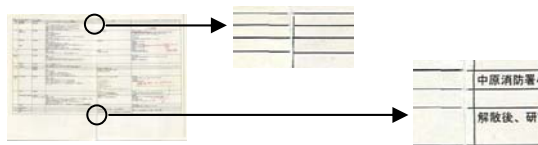


図 19 提案方式による疑似 A3 スキャン画像

表 2 局所伸縮補正の成功率

	全データセット での平均	全データセット における最悪値
成功率	95%	90%

図 18 と図 19 を比べることで、提案方式では図形のずれが解消されていることがわかる。また、従来方式では、スキャン時に原稿が傾くと図 18 に示されるような画像結合部で隙間が発生するが、提案方式では ADF で安定してス

キャンできるため、発生しにくい。

局所伸縮補正は、表 2 に示すように平均 95%の成功率が得られた。局所伸縮補正の失敗の主な原因を以下に示す。

1. 切断境界にまたがる罫線が短すぎるため、画像ラインの特徴量が求まらない (図 20)。
2. 写真や細かな図形など印刷要素が複雑、もしくは、スキャン解像度が不十分なため、画像ラインの特徴量が安定して求まらない。

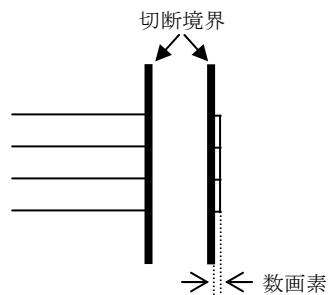


図 20 原因 1

4.4 手作業の作業時間

A3 紙 10 ページ (A3 両面印刷 5 ページ) を提案方式と従来方式でスキャンした時の PDF が出力されるまでの時間、および、手作業にかかった時間を表 3 に示す。

表 3 スキャン時間

	従来方式	提案方式
事前準備作業	55 秒 (二つ折り作業)	30 秒 (定規とカッターによる切断作業)
スキャン時間	最短 130 秒 (手差し作業・裏返し作業を含む)	45 秒 ただし、 手作業は紙のセット時間 8 秒のみ
組み合わせ推定時間	不要	15 秒
組み合わせ確認作業	不要	10 秒
PDF 出力	3 秒	10 秒 (局所伸縮補正の計算時間と PDF 生成)
PDF 出力までの経過時間	188 秒	110 秒
手作業の時間 (下線部の和)	185 秒	48 秒

表 3 によると提案方式では、手作業の時間が 185 秒から 48 秒と 7 割ほど短縮され、スキャン作業の負担が小さくな

ることがわかる。この効果は、スキャンする A3 紙の枚数が増えれば多いほど大きい。

5. まとめ

A4 サイズまでの原稿をスキャンできる A4 ドキュメントスキャナにおいて、A3 サイズの原稿を分割してスキャンし、ソフトウェアで疑似 A3 スキャン画像を生成する新しい方法を提案した。提案方式では、複数枚の A3 原稿でも手作業の負担を大きくせずにスキャンすることができる。スキャン手順は、1) A3 原稿を半分に切断する、2) 切断された原稿をまとめて ADF を用いてスキャンする、3) 推定された画像の組のうち誤ったものを修正、4) 疑似 A3 スキャン画像を生成、となる。提案方式では、切断された複数枚の A3 原稿がまとめてスキャンされても、切断境界で類似した印刷パターンが隣接する様に結合すべき A4 スキャン画像の組を自動的に推定する。また、切断境界をまたぐ罫線やテキストなどを利用して局所的な画像伸縮補正を行い、切断境界部での図形や文字のずれを解消した疑似 A3 スキャン画像を生成する。評価実験により、従来の A3 原稿を半分に折って一枚ずつスキャンする方法よりも、手早く、高品質な疑似 A3 スキャン画像を生成できることを確認した。

今後は、更に大きな原稿に対応するため、原稿を多分割し、それらをスキャンするだけで、自動的に元原稿の疑似スキャン画像を生成する技術へ拡張することを目指す。

参考文献

- 1) 伊勢広敏, 武田晴夫, 町田哲夫, 増崎秀文: 小型スキャナを利用した画像分割入力方式の開発, 情報処理学会全国大会, vol.40, No.2, pp.557-558(1990)
- 2) Jian Liang, Daniel DeMenthon, David Doermann: Camera-Based Document Image Mosaicing, ICPR 2006, Vol.2, pp.476-479(2006)
- 3) S. A. SantoshKumar, B. K. ShreyamshaKumar: Edge envelope based reconstruction of torn document, ICVGIP '10, pp.391-397(2010)
- 4) 内田 誠一, “[特別講演]DP マッチング概説 ～基本と様々な拡張～,” 信学技報, PRMU2006-166, 2006 12.
- 5) 齋城 嘉孝, 杉本 雅之, 長元 久幸, 北村 哲也, 嶋好博: ジグソーパズルの解法—マッチングによる画像復元—, 情報処理学会第 70 回全国大会, pp. "2-109"- "2-110"(2008)