

Hough 変換を利用したファクシミリ画像の直線補正

富 川 武 彦

Line Normalization in Facsimile Images
by Hough Transformation

Takehiko TOMIKAWA

Abstract

Spurious steps along straight lines caused by scanning inclined document at the input of facsimile transmission give undesirable sense of sight. Affine transformation, however, is not powerful enough to rearrange these stepped lines into straight ones due to sampling resolution. This paper describes how to regenerate the straight lines in document images by Hough transformation. The features of this method are, 1) functionally regenerated lines instead of correcting original lines, 2) individually handled lines and characters. While, 1) lines connected with characters, 2) curves besides straight lines are not acceptable at present.

1. は じ め に

ファクシミリなどの走査系により図面を傾けた状態で入力すると、水平・垂直の直線成分に段差が生じる。これは、量子化時の解像度に起因したもので視覚上見づらい画像となる。僅かな傾きであっても、文字部分の回転歪は気にならないが、直線成分のそれは違和感を与える。更に、傾きにより生じた段差部分は、標本点の間げきに位置しているため、擬似的な中間調の濃度として量子化され¹⁾、2値化する際に欠けやヒゲなどを含む要因となり得る。しかしながら、画像を量子化する際に、走査系と入力画像との傾きをなくすことは、機構的に実現性があるとは思えない。一方、解像度を上げて対処しようとするればデータ量が増すばかりでなく、データ送・受信の速度や時間の点で得策とは言えない。

このような背景から、今回は、僅かな傾きのある直線の量子化後における整形を目的として、ハフ変換を用いた手法を試みた。類似した発想による従来の方法として、1) ハードウェアを用いた回転処理^{2)~4)}、2) 線図形のみを対象とした整形処理⁵⁾、3) 記号のみを対象とした整形処理⁶⁾、4) 文字列の傾きの補正処

理^{7)~10)}、などが既に報告されている。

本稿は、文字と直線の混在する文書画像が傾いて量子化された際に生ずる線分の段差ひずみを整形するという点で従来の目的とは異なる。ここで述べる内容は次の仮定を前提としている。

- 1) 傾きは約 $\pm 1^\circ$ 以内であること。
- 2) 文字と線分とは連結していないこと。
- 3) 整形する線分は水平・垂直成分とすること。

である。また、実験で用いた画像は、解像度 4~8 本/mm でイメージスキャナより入力した、 256×256 pixels の 2 値化データである。

2. 画像の傾き

画像の傾きは、1) ハフ変換¹¹⁾、2) 周辺分布³⁾、3) DDA⁸⁾ などにより定量的な手がかりを得ることができる。そこで、傾きを知った上でそれを補正する場合を考えてみる。画像の傾きは、アフィン変換による座標点の移動として次式により表すことができる。

$$\begin{pmatrix} x^* \\ y^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (\theta: \text{傾き}) \quad (1)$$

但し、 (x^*, y^*) , (x, y) は、画像データのそれぞれ変換前および後の座標を表す。座標値を整数扱いとした場

合、(1)式は非可逆変換となって傾いた画像を逆回転させても元に戻るとは限らない。特に、傾いた直線を元に戻す手段として、アフィン変換による傾き補正をそのまま適用しても十分でない場合が考えられる。例えば、4~8本/mmの解像度を持った走査型入力より得た、幅1画素程度の直線では段差歪となって表われる。また、座標の回転の中心を正確に特定しなければならないという困難さも伴う。実際にアフィン変換を行った例を図1に示す。この図で、(a)、(b)はそれぞれ変換前および後の場合であるが、傾き補正しても直線の段差問題を処理できないことが判る。

一般に、僅かな傾き時における見ずらさの程度は、視覚上、水平・垂直の段差線分に対して顕著である、反面、文字に対して鈍感であると言える。すなわち、直線の整形を検討する必要性が生じる。

サービス課(係)										チーム			
氏 名													
顧 客 名													
訪問日	月 日		機械No										
UM.		SM.		NOG.		PRO.				ACT			
機 種				CTR.									
Int. 1				KC/V		Int. 2				日 前 接			

(a) input image

サービス課(係)										チーム			
氏 名													
顧 客 名													
訪問日	月 日		機械No										
UM.		SM.		NOG.		PRO.				ACT			
機 種				CTR.									
Int. 1				KC/V		Int. 2				日 前 接			

(b) normalized image of 0.5° rotation

Fig. 1. Example of affine transformation.

3. 直線の抽出

直線の段差を整形するためには、まず、文書画像中より線分を抽出する必要がある。ここでは、直線を抽出するために有効なハフ変換を利用する¹¹⁾。原画像の座標を (x, y) 、変換後の座標を (ρ, θ) とすれば、原画像の点 (x, y) は、次式の θ を0から π まで変化させた時に生ずる ρ - θ 平面上の関係として表現できる。すなわち、

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

これは、 x - y 平面上の一点を ρ - θ の平面上の正弦曲線へ、また、 x - y 平面上の同一直線上に存在する点は ρ - θ 平面上のある一点に重複して写像される変換である。換言すれば、 ρ - θ 平面における累積度数を手がかりとして、 x - y 平面上の直線の式が導けることになる。すなわち、 ρ - θ ヒストグラムを $H(\rho, \theta)$ とすれば、あるしきい値 k_H 、および任意の点 (ρ_0, θ_0) に対して、

$$\begin{aligned} \text{if } H(\rho_0, \theta_0) > k_H \\ \text{then } y = -(\cot \theta_0)x + \rho_0 \operatorname{cosec} \theta_0 \end{aligned} \quad (3)$$

となる。但し、

$$\begin{aligned} |\rho| &\leq (x_{\max}^2 + y_{\max}^2)^{1/2} \\ 0 &\leq \theta \leq \pi \end{aligned}$$

であり、 (x_{\max}, y_{\max}) は、原点を画像の中心とした時の最大座標点である。図2(a)、(b)は、図1(b)にハフ変換を施して得られたそれぞれ ρ - θ ヒストグラムおよび直線群である。この例では、 $k_H = 100$ 、 $x_{\max} = y_{\max} = 256/2$ 、 ρ のきざみ=1画素とし、水平・垂直方向の不要な線分除去を ρ - θ 平面上で行った。すなわち、 $\Delta\theta$ を θ のきざみ幅とすれば、

$$\begin{aligned} \text{if } 0 + \frac{\Delta\theta}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} - \frac{\Delta\theta}{2} \\ \text{or } \frac{\pi}{2} + \frac{\Delta\theta}{2} \leq \theta \leq \pi - \frac{\Delta\theta}{2} \\ \text{then } H(\rho, \theta) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

となる。今回は $\Delta\theta = 10^\circ$ に設定してあるため、 $\pm 1^\circ$ 前後の僅かな傾きは吸収されることになる。これは、文書画像中の線分傾斜が 10° 以内きざみ幅の問題にする状況が少ないという実状からである。

ここで、本稿の目的を考えた場合、得られた直線をベクトル量として利用することはできて、直線の端点を特定しないと不要な線分が残ってしまう。次に、こ

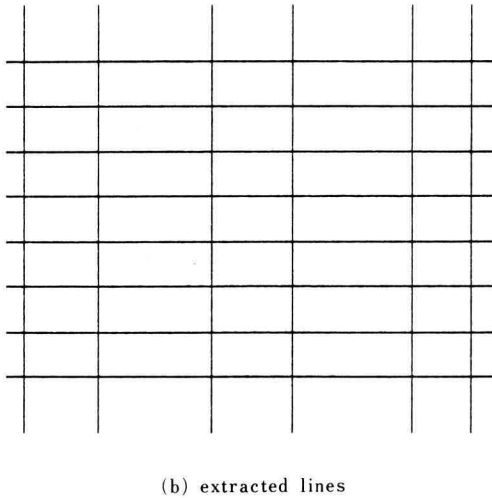
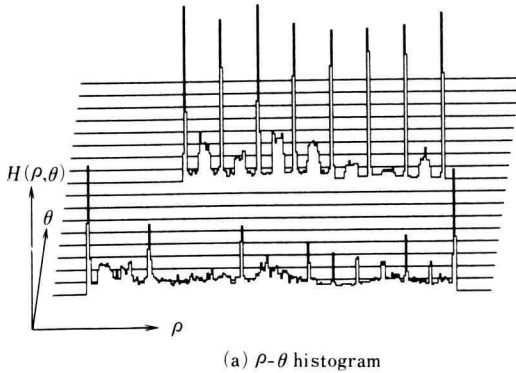


Fig. 2. Example of Hough Transformation.

の問題を取り上げる。

4. 直線の整形

3. で得られた直線群から、不要な部分を削除する過程を述べる。単純に、原画の線分から端点を抽出すれば良いが、線分のヒゲや欠けなどの問題があって容易ではない。そこで、原画に膨張処理を施して、削除対象とするハフ直線群との論理積をとることにした。原画に膨張を施す理由は、傾きにより段差を含んだ直線とハフ直線との重ねによる位置ずれを吸収するためである。図 3(a), (b) は、図 1(b) のデータを膨張させて、図 2(b) のハフ直線群との EOR および AND をとったものである。但し、膨張処理は 4 近傍の拡張を 2 回くり

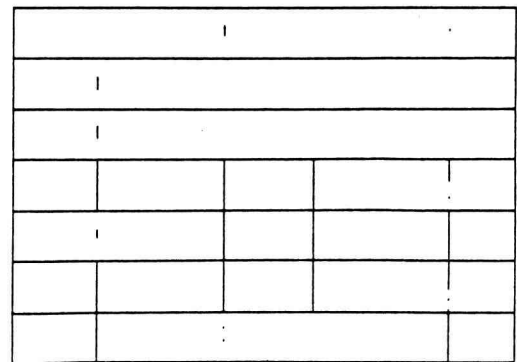
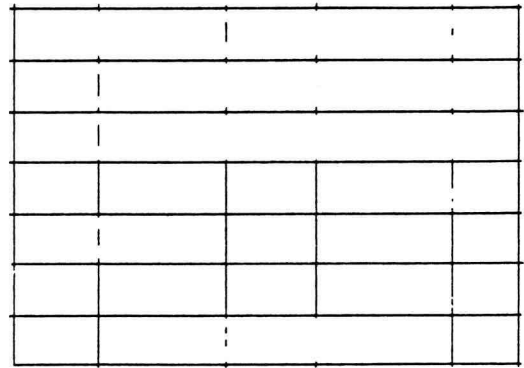
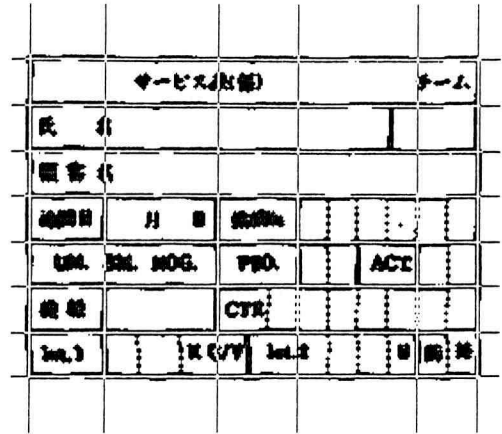


Fig. 3. Example of adjusted edge points.

返してある。

また、同図(c)は、膨張により生じたヒゲをマスク処理により除去したものである。ANDの結果から分かるように、文字とハフ直線群との重複部分として残った不要な線分がノイズとなって散在している。これは後述のラベル付け時に、並行して対処することができる。

5. 文字の分離

分離・整形して求めた直線群と原画に含まれた文字部分とを合成して、最終的な結果を得ることができる。以下、文字と直線との形状差に着目して、合成すべき文字部分を分離する方法について述べる。4. では必要な直線部分のみ残す操作として重ねを行ったが、ここでも同様にして原画と直線群との重ねを行う。重複部分を分類すると、1) 線分と線分、2) 線分と文字に分けられる。そこで、原画像にラベル付けを行って、ラベル面積に対する重複部分の割合を求めることにより、前述の1)と2)を区別する。すなわち、原画像を0または1の値をとる2値関数 $g(x, y)$ 、($g(x, y) = \{0, 1\}$)とし、隣接して1をとる連結領域の集合に対してラベル付けを行い、それをラベルの集合 $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots\}$ とする。また、図3(c)の直線画像を表わす2値関数を $h(x, y)$ とすると、ラベル λ_i を持つ連結領域 S_{λ_i} において、 $g(x, y)$ と $h(x, y)$ とで1が重なる部分の面積の、全領域(S_{λ_i})に対する面積比(R_{λ_i})は、

$$R_{\lambda_i} = (g, h) / \|g\| \cdot \|g\| \quad (5)$$

となる。但し、 (\cdot, \cdot) 、 $\|\cdot\|$ はそれぞれ内積およびノルムを表わし、これらは領域 S_{λ_i} に含まれる点 $((x, y) \in S_{\lambda_i})$ だけについての積和をとるものとする。以上より、 $R_{\lambda_i} \leq 1$ であることは明らかである。表1は、図1(b)と図3(c)との重ねから(5)式を算出した抜粋値である。

当然、直線と重複部分のない文字に関しては、 $R_{\lambda_i} = 0$ となる。文字と線分とは次のように判定される。すなわち、 k_λ を任意のしきい値とすれば、

$$R_{\lambda_i} \begin{cases} \leq k_\lambda: \text{文字} \\ > k_\lambda: \text{直線} \end{cases} \quad (6)$$

となる。図4は、表1の結果をもとに、(6)式の判定に従って線分除去したものである。但し、 $k_\lambda = 0.1$ 、および、連結の定義として斜め隣接を許す8連結のラベリングを用いた。

6. 傾き整形アルゴリズム

以上の論議より、図面の整形アルゴリズムとしてまとめると、

- 1) アフィン変換による傾き補正
- 2) 8連結のラベル付け
- 3) ハフ変換による直線検出
- 4) 1)より得たデータの4連結膨張

Table 1. Example of overlapped rate

label λ_i	area $\ g\ \cdot \ g\ $	common (g, h)	ratio R_{λ_i}
1	3,908	2,196	0.56
4	44	5	0.11
7	16	1	0.06
19	30	3	0.10
24	32	4	0.13
29	2	2	1.00
45	2	1	0.50
63	26	1	0.04
83	2	2	1.00
87	2	2	1.00
95	2	2	1.00
99	2	2	1.00
102	2	2	1.00
109	2	2	1.00
113	1	1	1.00
126	22	2	0.09

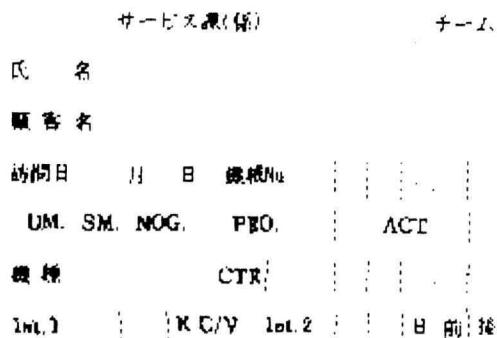


Fig. 4. Example of deletion of stepped lines.

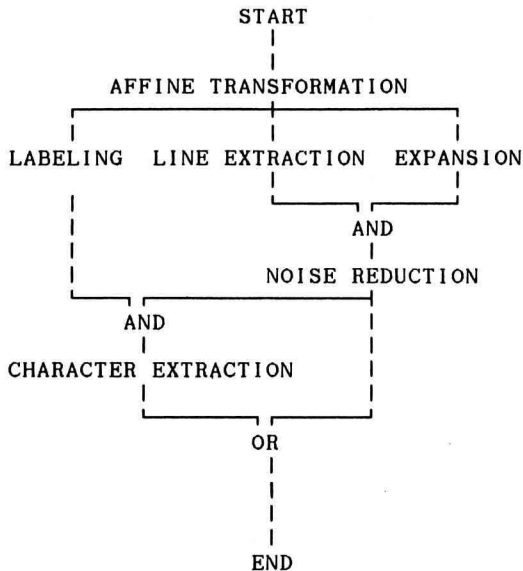


Fig. 5. overall flow.

- 5) 3), 4) の出力を AND した線分の端点処理
- 6) 1), 5) の出力より (6) 式に従った文字分離
- 7) 5), 6) の出力を合成

となる。図 5 は、これら一連の処理過程をフローチャートとして示したものである。ここで、1), 3), 6) の処理を行うためには、それぞれ、角度、累積度および重複度を定めるしきい値が必要となる。本アルゴリズムを適用した図 1 (b) の最終結果を図 6 に示す。

7. ま と め

直線を含んだ文書画像が、傾いて量子化された場合に生じる線分の段差問題を解決すべく一手法について提案した。以下に、本手法の特徴および現在の状況下における問題点を示す。

特 徴

- 1) ソフトウェアのみで処理可能
- 2) 線分と文字とを区別した符号化が可能
- 3) 1 次関数による直線の再生

問題点

- 1) 線分と文字とが接触した図面は不向
 - 2) 曲線の整形は不向
 - 3) しきい値の妥当性
- などである。今回は、段差が目立つ水平・垂直に限つ

サービス課(係)					チーム
氏 名					
顧客名					
訪問日	月	日	機械No.		
UM.	SM.	NOG.	PEO.	ACT	
機種			CTR		
Int.1		RC/Y	Int.2	日	前/後

Fig. 6. Example of obtained results.

て直線の整形を行ったが、ハフ変換の機能を考慮すれば任意の傾きを持った直線や曲線へ容易に拡張できると思われる。

尚、本実験は本学電気工学科の特別研究費を用いた。最後に、本論をまとめるに当り有益な助言をして下さった本学情報工学科の内野俊治教授に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 富川, 松本: ラブラシアン・ヒストグラムによる画像の属性判定, TV 学会誌, Vol. 41, No. 5, p. 453~460 (昭 62-5)
- 2) 田畑他: ラスタ走査とテーブル参照による画像回転の高速処理, 信学論, Vol. J69-D, No. 1, p. 80~90 (昭 61-1)
- 3) チェンタイ・ロバート・ジイ: 光学式文字認識装置, 特公昭 61-675, p. 243~248 (昭 61-1)
- 4) 村岡他: ファクシミリ入力原稿の傾き補正, 昭和 56 年信学総全大, 1131, p. 5~108 (昭 56-3)
- 5) 清末, 西村: 手書き線図形の自動浄書法, 第 34 回情処全大, 2E-6, p. 1813~1814 (昭 62-3)
- 6) 西嶋他: 線図形の整形方式, 第 34 回情処全大, 2E-7, p. 1815~1816 (昭和 62-3)
- 7) 中野他: 文書画像の傾き補正のための一方式, 信学論, Vol. J69-D, No. 11, p. 1833~1834 (昭 61-11)
- 8) 上野他: DDA を用いた直線座標から極座標への変換—物体の回転角検出への応用, 信学論, Vol. J69-D, No. 4, p. 532~541 (昭 61-4)
- 9) 長谷, 星野: 2 次元フーリエ変換を用いた文書画像領域抽出法, 信学論, Vol. J67-D, No. 9, p. 1044

～1051 (昭 59-9)

- 10) 秋山, 増田: 書式指定情報によらない紙面構成要素抽出法, 信学論, Vol. J66-D, No. 1, p. 111～118 (昭 58-1)

- 11) R.O. Duda, P.E. Hart: Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures, C. ACM, Vol. 15, p. 11～15 (1972-1)