

二値画像の画質判定

美濃 尊彦 ・ 坂井 利之
(京都大学 ・ 工学部)

1. まえがき

文書画像の処理技術の発展に伴って対象画像に対する制限はゆるめられなければならない。この場合、すべての入力画像に対して画一的な処理を施しても、よい結果は期待できない。

現実には存在する文書は、大きく分けると次の3種類になる。

- (i) 描かれている文字が薄くなった“かすれ”文書
- (ii) 文字のつぶれ・紙の地による雑音・その他種々の汚れの混在した“汚染”文書
- (iii) 文字がつぶれたりかすれたりしていない“良質”文書

現在、計算機で処理されている文書画像は主に(iii)の分類に属するものであり、(i)や(ii)に属する画像は取扱いの対象外となる事が多い。しかし、(iii)に属する画像を処理する場合でも、入力装置に起因する雑音や二値化の閾値など種々の原因により入力された画像が、(i)や(ii)に近づくこともある。このような問題に対しては、現在までに種々の研究があり、主として二値化の問題・データ圧縮の問題として扱われている。

実際、事務所や工場などで利用されている文書は、コピーの繰り返しなどのために汚れが激しい。また、新聞紙面なども紙の質が悪く裏の印刷が透き通って見える。これらの画像は、計算機に入力すれば、ほとんどが(i)(ii)の分類に属する画像となる。これらの画像に対しては、二値化の部分での前処理だけでは十分な効果は期待できない。

(i)(ii)の分類に属する画質の低下した文書をも扱う場合、以後の処理の方向づけを行う意味で、3種類(黒を付加

する・黒を落とす・その中間、(i)(ii)(iii)に対応)に分類する必要がある。我々は、2値の線図形を扱う理論として、MOLD理論(Mesh Oriented Line Drawings Theory)を提案し、サンプリング間隔が対象とする線の太さに対して充分細ければ、2値の線図形が3x3の単位メッシュで定義された66個の合法パターンのみで記述できることを示し、²⁾合法パターンは、局所的に正しい線を表現していると考えられるので、この合法パターンを基礎として画質が判定できると思われる。³⁾

2. MOLD理論²⁾

2.1 MOLD理論概要

2値の線図形は自然画像と違って、人工的に生成された画像であり、強い拘束をもっている。この拘束条件を単位メッシュにおいて表現することを考えたのがMOLD理論である。

ファクシミリなどにより入力された2値の線図形を構成している線は、デジタル幾何学において定義されるようなデジタル弧にはならない。これらの線は、一般に幅のある現実的な線である。MOLD理論では対象とする線をデジタル線と名付ける。デジタル線は、それに含まれる任意の黒画素が4隣接の意味で2つ以上、相互に8隣接の意味で隣接した黒画素を持ち、かつ、その補集合の白画素も同一の条件を満たすものとして定義される。²⁾

現実には存在する線は、サンプリング間隔を十分細くすれば、必ずデジタル線になる。そのための必要十分条件はサンプリング定理で定まるサンプリング間隔の半分以下の細かさでサンプリングすることである。

ディジタル線をそれより細かい単位メッシュ（一般的には $m \times m$ の正方形の意、ここでは、 8×8 に固定する²⁾）で観測すると、その中に起こり得る白黒パターンは限定される。すなわち、対象がディジタル線であるという拘束に合致するパターン（これを合法パターンと呼ぶ）とそれ以外のパターン（これを非合法パターンと呼ぶ）に分割できる。図1に 3×3 の単位メッシュに対する合法パターン66個を掲げる。

線の太さが単位メッシュより大きいという仮定が満たされている場合、この66個の合法パターンのみの累積率は現実にある2値画像を調査した結果、全体の99%以上になった。最も頻度の高いオール白のパターンを除外しても95%以上の値を示す。このことを考慮すれば、2値の線図形をメッシュに分割し、個々の単位メッシュが合法パターンのみからなる画像が作成できる。この時に対象画像の画質に関する知識があれば、処理の方向づけが可能であり、非合法パターンを合法パターンに置き換える変換が画質改善処理となる。

2.2 画質判定における制限

一般に性質の異なるものが入力された場合に、それを分類することは色々な方面で重要である。ここでは、後の処理を黒画素を付加する方向へ進めるか、黒画素を落とす方向か、対称に扱うかを決定するために画質判定を行う。ところが、一枚の画像は全体的に「汚染」したり「かすれ」たりしていることもあるが、一般的にはその一部分だけの

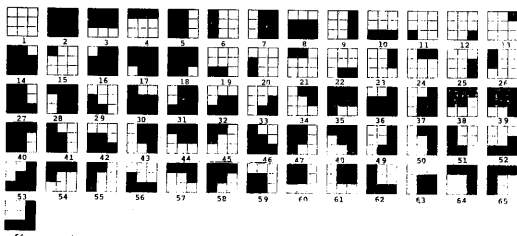


図1 合法パターン

画質が落ちていると考えなければならぬ。これは入力装置などのシェーディングにより頻繁に起こる現象である。この問題を考慮すれば、画質の判定はできるだけ小さな領域で行う必要がある。しかし、この領域を小さくとりすぎると画質の判定が困難になることが予想される。従って、今回の実験ではA4サイズ（フツシミリ高画質モードで入力した時、 1728×2352 画素）の画像の約60分の1に相当する 288×288 画素（合法パターンが 8×8 のため8の倍数とした）の大きさで判定を行う。

3. 画質と特徴パラメータ

3.1 画質の分類

2値の画像が「汚染」「良質」「かすれ」などの状態であるかという問題は、概念的なものであり、その判断の境界は明確ではない。

そこで、画質の判定基準を「地」での雑音と線の欠け・途切れに置くことにする。つまり、線のない部分に黒画素

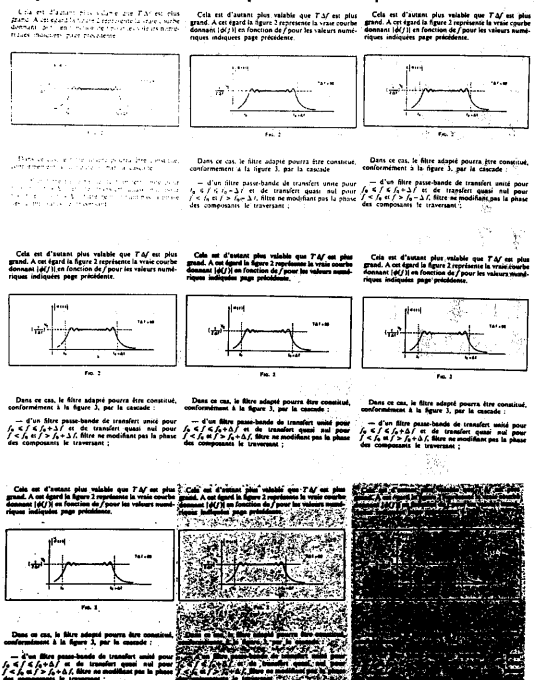


図2 画質の例（上：かすれ 中：良質 下：汚染）

がある程度存在すればこれを“汚染”とし、線が欠けたり途切れたりしていればこれを“かすれ”とする。以上の特徴的性質の目立たない（詳細に観察して初めてわかるような状態は考えない）ものを“良質”と分類する。

この基準は主観的で、“良質”と“汚染”、“良質”と“かすれ”の境界が判断する人によって多少変動する。しかし、境界の辺りにある画素は、対称処理をしても黒落とし処理、黒埋め処理をしてもそれほど大差はなく、実用上問題はないと思われる。図2に種々の画質の画像の例を示す。上段の3枚を“かすれ”の分類に、中段の3枚を“良質”の分類に、下段の3枚を“汚染”の分類に入れる。（図2の画像は、種々のレベルの青焼きをコピーして作成した。紙質の悪い原稿をコピーしたところ、図2の下段と大さは違えばはかった。）

3.2 合法パターンの特徴

図1に示した66個の合法パターンは、形状で分類すれば図3に示した7つのグループに分かれる。すなわち、合法パターン内すべてが同種類画素のグループ（合法パターン番号1-8）、白画素と黒画素が1対8のグループ（合法パターン番号11~18）などに分類できる。

また、方向性で分類すれば図4に示す7つのグループに分類できる。例えば、デジタル線と3x3の窓の位置関係に基づいて、デジタル線の右下に窓が位置している時に出現する合法パ

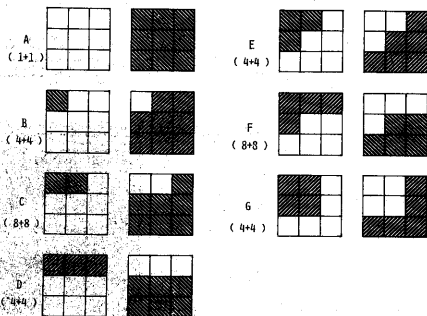


図3 合法パターンの形状による分類

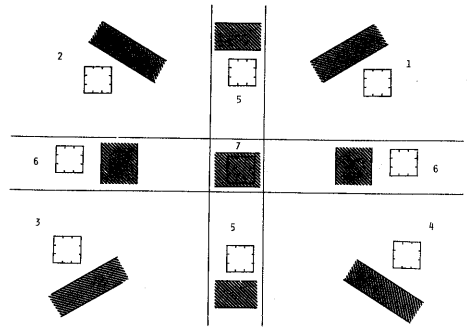


図4 合法パターンの方向性による分類

ターンのグループが図4の④である。斜め線を表現する4つのグループに対しては、窓を1画素単位で移動させて統計をとった際、対象画像内に存在する線がすべて基本仮定『デジタル線の太さ≧単位メッシュサイズ(窓)』を満たしているならば、図5に示すものの関係（④グループの例）が成立する。

実際のデータに対して、66個の合法パターンに対する統計量が、対象画像の画質の劣化とともにどの程度変化するかを調べた。CCITTのフフシミソ用テスト原稿 NO1（英字活字）の3種類の品質（かすれ・良質・汚染）の画像に対して統計をとった結果の一部を図6に示す。画像サイズは1728x2352、3x3の窓を1画素毎に走査させたのでサンプル総数4056,100個である。

図6を形状の分類と関連づけて考える。④グループの合法パターン（3~10）の出現頻度は、“良質”画像ではほぼ一定であったのに対して“汚染”画像“かすれ”画像では凹凸が激しくなって

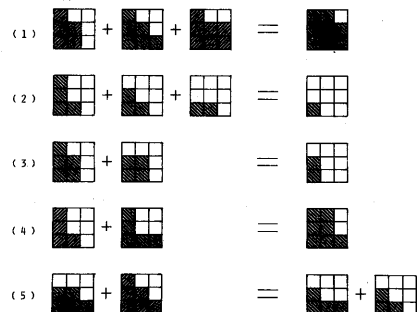


図5 合法パターン間の関係

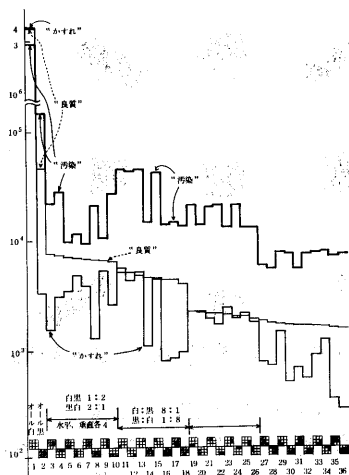


図6 合法パターン出現頻度

いる。これは、対象画像上にあるデジタル線に雑音ののっていることを意味する。すなわち、窓を1画素単位で移動させた場合、例えば合法パターン6(田)が存在すれば必ず合法パターン5(田)もその隣で存在する。従って、“良質”画像の統計では、対象画像内にある線がほぼデジタル線であるので、Dグループ内での出現頻度が平坦になっている(ただし、線の方に傾りがある場合は例外)。

Bグループの合法パターン(11~18)の出現頻度分布も“良質”画像に比べて“汚染”画像や“かすれ”画像で凹凸が大きい。デジタル線が途切れたり、孤立点が多いと、Bグループ左側の田の形状をもつ合法パターンが増加することは容易に理解できる。右側の田の形状をもつ合法パターンは“汚染”画像では“良質”の場合より全体的に増加する(これは、ノイズの内にもこれらのパターンが出現するためである)が、“かすれ”画像の場合は、かなり減少すると考えられる。Cグループの合法パターンについても同様の傾向がみられる。

図4の方向性による分類では、その程度大きな特徴は統計量から見出すことはできない。しかし、この分類により対象がアルファベットか、日本語であ

るかを類別できる可能性がある。

図5の関係は“良質”の画像では、近似的に成立するが、“汚染”・“かすれ”画像の場合は、ズレが大きくなっていく。これは、これらの規則が局所的に線の形式をチェックすることに起因する。例えば(2)の規則では、田(合法パターン5)が出現した時、次に窓が右へ1画素移動すれば、対象が基本仮定を満たしているデジタル線である場合、必ず田(合法パターン11)になる。これ以外のパターンになる場合は、デジタル線ではない。これが規則(2)における左辺と右辺のズレにつながる。

3.3 特徴パラメータの定義

画質を判定する時に有効であると思われる特徴パラメータを上記の合法パターンに基づいて考察する。我々の前提条件は、 255×255 のサイズの2値画像1枚が与えられた時にその画像の画質を判定することである。従って“良質”の画像と比較することはできない。さらに、その中に含まれている黒画素の割合を表すパラメータも使用できない。なぜならば、対象画像の中には文字が多く存在する場合もあり、図面の一部で線がわずかに存在しないこともあるからである。これは、処理の方向づけのために行う前処理であるから複雑な処理も好ましくない。また画像サイズが小さいので統計に基づく処理をする場合は注意が必要である。

ここでは、前節の統計と上記の考察に基づいて表1に示す29個のパラメータを特徴として定義する。これらのパラメータは、すべて 3×3 の窓を対象とする画像上に1画素単位で走査させて取得した統計に基づいて計算する。

1番目のパラメータは、合法パターンの比率である。 3×3 の窓内がすべて白のパターン(Wパターン)を統計から除いて計算することにより、対象画像内の黒画素の量に依存しないパラメ

表1 特徴パラメータ

パラメータ番号	内 容	パラメータ番号	内 容
1	合法パターン比率	19	合法パターン規則4
2	Bグループ内比率 	22	
3	Cグループ内比率 	23	合法パターン規則5
4	オール黒パターン頻度順位	26	
5	Wパターン連続度比(走査方向)	27	
6	Wパターン連続度比(空間内)	28	Bグループ/Dグループ
7	合法パターン規則1	29	方向性(④/⑤)
10			
11	合法パターン規則2		
14			
15	合法パターン規則3		
18			

ータが得られる。

2,3番目のパラメータは、図3におけるB・Cグループ内の比率である。これらは、対象画像内に含まれている黒画素のまとまり具合を示していると考えられる。“かすれ”に画像では分母のパターン(黒・黒)が減少し、分子のパターン(黒・白)が増加する。

4番目のパラメータは、合法パターン2(オール黒のパターン)の統計における順位である。デジタル線の境界の部分は64個の合法パターンに分割されてしまうが、線の内部では必ず合法パターン2が現れる。従って線が途切れたリかすれたリしてはいけぬば、オール黒のパターンは必ず2位になる(これは線の太さにも依存する)。

5,6番目のパラメータは、Wパターンとの連続性を示す。5番目は走査方向に30個Wパターンが連続して存在する比率、6番目は縦15個・横15個の正方形領域内がすべてWパターンである比率である。これらの比率は対象画像内に存在する文字や線の量に依存する。

7~26番目までは、図4に示した斜め方向成分に対する合法パターン間の関係に基づくパラメータであり、すべて左辺/右辺の比率で定義する。1つの規則の関係は図4に示す4方向(①②③④)で成立するので、それぞれ4つのパラメータをもつ。画質の低下によりこの比は1から離れてゆく。

27番目と28番目のパラメータは、直線性のパターンと斜め線αパターンとの比率である。画質の低下は直線性パターンの減少と斜め線αパターンの増加に結びつく可能性があるため、このパラメータを入れている。

29番目のパラメータは、Dグループ内での凹凸を判定するためのパラメータである。

4. 画質の判定

4.1 特徴パラメータの評価

表1に示した29個の特徴パラメータの評価基準として、次式で示す画質クラス間での分散に対する画質クラス内での分散の比(F-ratio)を考える。

各番目の特徴パラメータのF比は次のようになる。

$$F_k = \frac{\frac{1}{m} \sum_{r=1}^m (\bar{X}_r(k) - \bar{X}(k))^2}{\frac{1}{(n-1)m} \sum_{r=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{rj}(k) - \bar{X}_r(k))^2}$$

ただし $X_{rj}(k)$: クラスrのj番目のサンプルのk番目の特徴パラメータ

$\bar{X}_r(k)$: $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{rj}(k)$
クラス内平均値

$\bar{X}(k)$: 全クラスに対する平均値

n: 各クラスのサンプル数

m: クラスの数

図2に示した内で中央の列の画像をそれぞれのクラスの代表サンプルとして選ぶ。使用した画像はCCITTのファクシミリ用テスト原稿 NO.1(英文手紙)、NO.2(手書き線画)、NO.4(欧文活字)、NO.5(欧文文書)の4種類で、各々から40枚の255×255の画像を切り出して

表2 フラス間のF比

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a-b-c	0.7464	0.2289	0.1849	0.1073	0.7230	0.6438	0.5653	0.3686	0.1102	0.0800	1.1367	1.1535	1.0862	1.2213	1.0035
b-c	1.0528	0.1506	0.2231	0.0060	0.9717	0.7000	0.1192	0.1866	0.0618	0.2146	2.3934	2.0640	2.0714	2.1334	1.5398
a-b	1.1321	0.3320	0.2219	1.1681	0.0236	0.0026	0.4564	0.2957	0.2648	0.7791	0.8134	0.1820	1.0002	0.9450	1.3434
a-c	0.0018	0.0679	0.0702	0.9026	0.9534	0.9617	0.4099	0.7579	0.2088	0.5705	0.1345	0.2038	0.0636	0.1919	0.0025

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
a-b-c	0.9478	1.0530	0.8777	0.7413	0.4437	0.4509	0.4149	0.6002	0.5653	0.6909	0.7380	0.2838	0.2783	0.0083
b-c	1.4998	1.5543	1.1927	0.2417	0.1976	0.2132	0.2676	0.7597	0.7908	0.6191	0.8780	0.3794	0.4196	0.0061
a-b	1.2441	1.4457	1.1576	0.6502	0.3717	0.3892	0.3458	0.6355	0.7111	0.9737	1.0814	0.1241	0.1681	0.0086
a-c	0.0013	0.0051	0.0003	0.4783	0.2969	0.2918	0.2775	0.0262	0.0502	0.1325	0.0642	0.1140	0.0792	0.0038

特徴パラメータを計算した。

3フラス全体と2フラスの組み合わせの種類に於てF比を計算した結果を表2に示す。3フラスを分離するF比は、3つ9フラスを別々に分離する能力をおっかどうかは明確ではない。

そこで、2フラス間を分離するパラメータのF比も計算した。この結果をみれば明らかのように、“良質”を“汚染”、“かすれ”から区別するのに有効なパラメータは、1番の合法パターン比率と10～13番の合法パターン規則2、14～17番の合法パターン規則3の9つのパラメータであると思われる。図2に示した9枚の画像の中で中央を除いた8枚と同程度の画質の画像について統計をとり各フラス内のパラメータの平均値を求めた。図7(a)に1・10・14番についてのグラフを示す。

このグラフからわかるように、これらのパラメータは良質の付近で最大になっており、良質画像を分離する上で有効であることがわかる。

“汚染”と“かすれ”を分離するのに有効なパラメータは、4番のオール黒パ

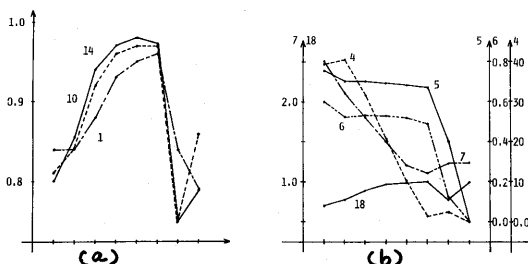


図7 特徴パラメータの平均値のグラフ

ターン強度順位と5・6番のWパターンの特徴性、7～10番の合法パターン規則1、18～22番の合法パターン規則4の11個であると思われる。前の場合と同様、図7(b)にパラメータ4,5,6,7と18について平均値をグラフで示す。

パラメータ2・3はあまり有効ではないが、対象画像がかすれにくくと大きな値を示す。従って極端にかすれ画像を検出する時には役に立つ。

パラメータ23～29は、表2から考えると、画質の判定にはほとんど無効であることが判明する。

合法パターン規則(1)・(4)が“汚染”と“かすれ”を区別し、規則(2)・(3)が“良質”を他と区別するのに有効であることの原因は、次のように考えられる。

合法パターン規則(1)には図3、(4)には図4のパターンが含まれている。これらのパターンは画像がかすれにくくと、極端に少なくなってくる。これは図6のグラフより読みとれる。“汚染”と“良質”では、これらのパターンはそれぞれ変化しない。従って、合法パターン規則(1)・(4)は“汚染”と“かすれ”を区別できる。

これに対して、合法パターン規則(2)には図5、(3)には図6のパターンが含まれている。これらの2つのパターンは、画質が低下して汚れたりかすれたりすると、他のパターンに比べて極端に増加していることが、図6のグラフより読み取れる。このことは、これらの規則が“良質”を“汚染”・“かすれ”から分離するのに有効である原因と考えられる。

4.2 画質判定の方法

前節で有効であると判定されたパラメータは、ほとんどが良質の付近で極値をとっている。このことより、“汚染”・“かすれ”・“良質”の3つのクラスを優先順位をつけずに分類するよりも、二段階の判定を行う方が有効であると考えられる。すなわち、未知画像が入力されたとき、まずそれが“良質”であるか

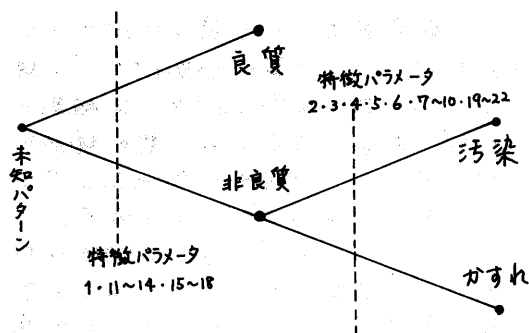


図8 画質の判定法

どうかを判定し、“良質”でないとして判定されたものについて“汚染”か“かすれ”かを判定するという二段階の分類を行う。(図8参照)

図2に示した9種類の画質に対して各4枚、それぞれの画像から最大40サンプルを抽出し、29個の特徴パラメータに対して統計をとり、各クラスの特徴パラメータの平均値をとって標準パターンとした。同時に各々のパラメータに対して、そのクラス内での分散の値も計算しておく。未知のサンプルにより計算した特徴パラメータを、それぞれ独立に評価する。評価の方法は、標準パターンとのユークリッド距離とマハラナビス距離の平均距離に基づいて、あるクラスに属する可能性をフジ値として評価する。

個々のパラメータに対する評価値を荷重平均し、ある閾値と比較することにより最終判定を行う。重みはF比に基づいて決定する。

エラーに対する評価は、“良質”と“汚染”間、又は、“良質”と“かすれ”間の誤は多少程度実害がなく許容されるとした。しかし、“汚染”と“かすれ”間の誤りは、後の処理が全く反対方向に進むため、実害が大きく許容されないとする。従って、このエラーの可能性のある場合は拒否する(又は、“良質”と判定させる)方がよい。また、画質は“かすれ”から“汚染”へと連続的に変化するが、その中間にある“良質”が先に分離でき

れば、次の段階での“かすれ”、“汚染”の判定は、かなり簡単になる。単調減少を示す特徴パラメータでは、その効果は特に有効である。

4.3 実験結果

実験のためのシステムは、サイクルタイム650msのパナファコムU300計算機システム(主記憶容量64Kバイト)上でFORTRANを用いて作成した。切り出した255×255画素の画像はDISK上にある。1枚の画像の判定に要する時間は約80秒であった。

このシステムでは、まず良質であるかどうかを、合法パターン比率と合法パターン規則2・3を用いて判定する。

“汚染”または“かすれ”と判定された画像に対してのみ、Bグループ内の比率(2)、Cグループ内の比率(3)、オール黒の頻度順位(4)、Wパターンの連続性(5・6)、合法パターン規則1(7~10)、4(19~22)を用いて2回目の判定を行う。

2・3・4の3つのパラメータは、デモニックな働きをする。つまり、これらのパラメータは、分散が大きいので、本来はあまり有効でない。しかし、これらのパラメータ値がある閾値をこえると、それはかなり高い確率であるクラスに属していると判断できる。それ以外の場合は、判定に全く寄与しない。この判定では誤りは許容されないもので、リジェクト率が少く高くなってもよいとする。

実験データとしては、標準パターンを作成時に使用した画像(ファクシミリで再入力したので厳密には同一ではない)の中から無作為に145サンプル、他の画像から20サンプルを抽出し、分類実験を行った。その結果を表3に示す。正解は人間の判断により決定した。

“汚染”を“かすれ”と判定した例が4つある。この内の2例を図9に掲げる。図9からもわかるように、この場合は抽出された画像内に本来の文字や線の

表3 認識実験結果

		実験システムの判定			
		かすれ	良質	汚染	拒否
未知パターン正解	かすれ	36	1	0	8
	良質	0	53	0	4
	汚染	4	0	43	16

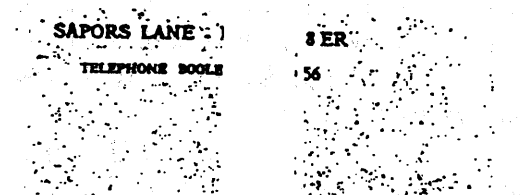


図9 画質判定誤りの例

含まれている割合が小さく、極端な“かすれ”と区別が付き難い。合法パターンで近似できない細い線を含んでいる場合もこの誤りが起こっている。

エラー率を低くするため、このシステムでは拒否率がかなり高くなっている。画質判定の主な目的は、その後の処理の方向づけである。従って、明確な“汚染”や“かすれ”が予め区別できればよいが、拒否の約80%が“汚染”と“かすれ”を判定する所で発生している点が大きな問題である。すなわち、前の判定で“良質”でない判定された画像が“汚染”であるか、“かすれ”であるかの判定で拒否される。これは、この判定で大きな量をもつ特徴パラメータが対象画像に含まれる線の量に依存していることが、主な原因である。

この手法は、MOLD理論に基づいた合法パターンに基礎をおいている。表3の実験結果をみれば、合法パターンは“良質”を“汚染”、“かすれ”から区別する時に大変有効であり、線の知識表現としての有効性が確認できる。

5. おわりに

2値の線図形を記述するMOLD理論の

情報処理分野への応用として、合法パターンに基づく画質の判定法について述べた。対象画像の画質の分類は、人間が行う場合でも判断の境界あたりは明確でないが、機械による判定が以後の処理を3方向に方向づける（黒を付加する・黒を落とす・その中間）ためのものであるならば、この手法は十分に適用できる。

計算機の利用が拡大するにつれ、扱う文書も種々雑多なものになることは明らかである。その時に入力される画像を予め分類し、以後の処理に対して方向づけを行うという考え方は、ますます重要になると思われる。この手法は、その時の1つの有効な方法となり、それぞれの画質に適応した処理を施すことが可能となる。また、入力装置にこの手法を適用し、入力された画像ができるだけ“良質”文書となるように閾値を自動調整することやシェーディングの除去など、雑音と信号が混在する環境での処理を中心に種々の方面でこの手法が応用できると思われる。

今後は、“汚染”と“かすれ”を分離する特徴パラメータの強化と学習機能を付加し、判定能力を強化してゆく。

【参考文献】

- 1) David TING and Birendra PRASADA: Digital Processing Techniques for Encoding Graphics, Proc. of IEEE vol.68 no.7, pp.757-769, 1980
- 2) 美濃導彦・坂井利之: MOLD理論—二値線図形の一記述法—信学技報 IE81-81, 1981, 11月
- 3) 坂井利之: パターン認識システムの体系的な研究 文部省科学研究費研究成果報告書, 1981, 2月