

〔研究〕

2 値化用しきい値情報の作成とこれを使ったゆう度規準の性能評価

Creation of Threshold Information for Binarization and Performance Evaluation of Likelihood Criteria Using This Information

齊藤 泰一 山田 博三
T. SAITO H. YAMADA

In order to evaluate performance of binary thresholding methods, ground truth (a threshold information for binarization) is created on hand-written character database ETL1. The threshold information contains upper and lower bounds of threshold ranges that are classified in accordance with goodness of binarization. On the most part of samples of the database, the threshold information is automatically determined by computer using the number of contours of binarized images. On samples whose information can not be determined by computer, the threshold information is determined by human eyes. Using the threshold information, the performances between binarization methods by likelihood criteria are compared. The comparison result equals to the other comparison without the threshold information. This means the threshold information for binarization is reliable.

§ 1 はじめに

濃淡画像から2値画像を求めるアルゴリズムは、既知の手法¹⁻⁶⁾や、これから開発される手法を含めると、数多くの手法が存在することになる。既知の手法の性能を比較したり、新しく開発した手法がどの程度の性能であるかを判断するために、2値化手法の評価を行うことが必要となる。

評価を行うたびに評価値が異なるのは望ましくないため、最低限、再現性を確保することは重要である。再現性を確保し、再現を容易にするには、計算機で処理できる評価基準を与えればよい。しかし、その評価基準の与え方によっては、正当性・客観性を失ってしまう場合がある。

例えば、2値化する前の濃淡画像と、評価される2値化手法で2値化した画像を使い、この2画像の関係を計算機処理し、2値化の良さの評価を行うことを考える。この評価法は、ほとんどの場合、もはや、正当性・客観性をなくしてしまっている。この評価アルゴリズムは、表面的には異なっても、評価される2値化手法と結果的に同値なことがあり得るのである。Sahooらによるしきい値選定法のサーベイ³⁾において、各種の2値化手法を評価するため

に用意した尺度の一つであるuniformity measureは、与えられた計算式は異なるものの、結果的に、判別および最小2乗規準による手法^{1,2)}と同値であることが判明している。この評価アルゴリズムを使うと、これと同値な2値化手法がかならず最適である、という評価結果を出すことになる。したがって、2値化手法を評価する基準は、評価される2値化手法とは無関係にすることが必要である。また、それと同時に、できるだけ2値化アルゴリズム自身とも関連が無いようにすることも必要である。というのは、評価アルゴリズムを見つけようとしているにも関わらず、評価アルゴリズムではなく、別の新しい2値化アルゴリズムを開発することになりかねないからである。

パターン認識に関連した分野では、ほとんどの場合、計算機だけで評価を行うことには無理があり、人間が見て判断することが、最も信頼できる評価法となる。例えば、文字認識において、各文字画像が属する正解文字カテゴリを人間が与えていることにより、認識アルゴリズムの評価値である認識率を計算することができるのである。

2値化法の中で、1画面1しきい値の最適しきい値を見つけるアルゴリズム(global thresholding)の場合、その評価

を行うためには、可能であるなら、最適な2値化しきい値を1つだけ与えればよい。しかし、異なるしきい値でも、まったく同じ2値化画像が得られる場合があり、また、2値化画像の形は違っているが、どのしきい値による2値化画像がもっとも良いか判断できない場合もある。したがって、最適しきい値として1つだけを選ぶことには無理がある。より一般的には、各しきい値に対して、2値化の「良さ」を示す値を与える、つまり、しきい値としての濃度レベルを定義域とした「良さ」関数を与えることになる。ただし、前述したように、パターン認識に関連した分野では、人間が介入せざるを得なくなることから、この「良さ」関数も人間が与えられる形式にしておくことが必要である。以上のことを考慮し、ここでは、2値化の「良さ」の程度に応じてしきい値を区分し、その区分範囲を決めることで、2値化しきい値の「良さ」関数を与えることにする。

2値化の対象となる濃淡画像のサンプル数が非常に多い場合、「良さ」関数をすべて人間が目視により与えることは、時間的に不可能なことがある。たとえ、すべてを人間が作成しようとしても、人間の疲労による客観性低下、つまり、信頼性の低下が生じることから、データの信頼性を下げないためにも、「良さ」関数を、可能な限り自動的に作成することが求められる。

2値化の対象となる濃淡画像サンプルが非常に多くても、その中に、どの2値化手法でも同様に良好な2値化結果を与えるサンプルがあれば、これらは、人間をかせせず、計算機のみで、適当な2値化しきい値を求め得ることが期待できる。特に、対象が、一般画像でなく、文字画像のような、2値化したときの形の特徴が記述しやすいものに限定されるなら、「良さ」関数は、文字画像の特徴量を調べることによって、ある程度、自動的に判断することができる。計算機で自動的に求められるものを除くことにより、人間が目視するサンプル数を少なくすれば、作業時間の短縮と、得られるデータの信頼性の増加が期待できる。できるだけ2値化アルゴリズム自身とは関係しないことを念頭に置き、「良さ」関数を自動的に求めるために、ここでは、各濃度レベルで2値化した画像の輪郭線の数、主に連結成分数⁷⁾を判断材料にする方法を採用する。

「良さ」関数としてのしきい値の区分範囲情報は、計算機により自動的に求めたものと、人間の目視により求めたものを合わせて保存し、これを「2値化用しきい値情報」とよぶことにする。

本報告では、global thresholdingに属する2値化手法の評価を行えるようにするため、「手書き文字データベース E T L 1」^{8,9)}の文字画像の全サンプルを対象とした、2値化用しきい値情報を作成する方法を説明している。手書き

文字データベース E T L 1 を選んだ理由は、2値化しやすいサンプルから、2値化が非常に難しいサンプルまで、広範に含んでいるため、2値化手法を評価するのに適していると思われるからである。

また、この2値化用しきい値情報を使い、ゆう度規準による2値化手法⁴⁻⁶⁾の性能比較を行っている。この比較実験から、ここで作成した「2値化用しきい値情報」の信頼性が高いことが示される。

§ 2 2値化用しきい値情報の作成

2.1 処理の概要

2値化法の中で、1画面1しきい値の最適しきい値を見つけるアルゴリズムの場合、濃淡画像毎に2値化しきい値としての「良さ」関数を決めておけば、評価される2値化手法によって求められるしきい値が、どの程度の「良さ」であるかを調べるだけで、その2値化手法の評価値を自動で計算することができる。そこで、各濃淡画像に対し、この「良さ」関数を与えることを考える。ただし、この「良さ」関数は、人間でも与えられる形式にしておくことが必要であることから、2値化画像の「良さ」の程度に応じて、しきい値としての濃度レベルを区分し、その区分範囲を2値化しきい値の「良さ」関数を示す情報として採用する。

ここで、 $f(x,y)$ を2値化の対象となる濃淡画像とし、 $f(x,y)$ の濃度レベルは、 $0 \sim L - 1$ まで分布しているとす。 L は、 $f(x,y)$ の濃度レベル数である。

また、この濃淡画像を濃度レベル l (エル)で2値化するとは、 $f(x,y) > l$ のとき黒(値1)、 $f(x,y) \leq l$ のとき白(値0)にすることとする。したがって、2値化しきい値として意味があるのは、 $0 \sim L - 2$ となる。

これより、2値化しきい値としての「良さ」の違いにより、濃度レベルを区分する方法を述べることにする。その区分範囲を示したのがTable 1である。各濃度レベルを2値化しきい値として選んだときにできる2値化画像の奇麗さの程度に応じて濃度レベルを区分し、各区分範囲を良い方から「優」、「良」、「可」、「限界」、「不可」とする。これは、学校で用いられた通知票評価の「可」と「不可」の間に「限界」という評価を加えたものである。以下で、各範囲を定義付けする。

まず、基本的なしきい値範囲として、2値化画像が「良」となる範囲を、「良」下限 (gl)、「良」上限 (gu) で囲まれる「良」範囲 $[gl, gu]$ とし、この範囲の濃度レベルで2値化すると奇麗な2値化画像が得られる、とする。

2値化画像が「優」となる範囲を、「良」範囲の中でも、特に推奨したい2値化濃度レベルの範囲とし、「優」下限 (rl)、「優」上限 (rh) で囲まれる「優」範囲 $[rl, rh]$ と

表 1 2値化の良さに応じたしきい値の範囲
Table 1 Ranges of thresholds in accordance with goodness of binarization.

範囲 (Range)		上下限	説明	計算機処理
「優」	recommendatory $rl \leq t \leq ru$ ($t=\text{threshold}$)	ru rl	「良」の中でも特に綺麗な2値画像が得られる	-----
「良」	good $gl \leq t \leq gu$	gu gl	この範囲のしきい値で2値化すると綺麗な画像が得られる	標準しきい値で2値化した画像と同じ連結成分数になるしきい値
「可」	permissible $gu < t \leq pu$ $pl \leq t < gl$	pu pl	「良」よりは少し劣るものの、2値画像として十分使える	綺麗な画像に孤立点ノイズのみが付加している2値画像を与えるしきい値
「限界」	marginal $pu < t \leq mu$ $ml \leq t < pl$	mu ml	品質は悪いものの、意味のある画像としてどうか使えそう	-----
「不可」	impermissible $mu < t$ $t < ml$	(iu) (il)	2値化しきい値として採用するには不適當	上記以外

する。これは、最適しきい値を1つ選びたいときに採用しようとして設けたものであるが、異なるしきい値でもまったく同一の2値化画像が得られる場合や、1つのしきい値だけを最適として選べないことがあるため、範囲として与えている。

「良」下限の下に「可」下限(pl)、「良」上限の上に「可」上限(pu)を設定し、「可」範囲[pl, pu]を与える。ただし、[pl, pu]内の「良」範囲[gl, gu]は除く。この「可」範囲のしきい値を使って2値化した画像は、「良」範囲よりは少し劣るものの2値化画像として十分使える状態である、とする。

さらに、「可」下限の下に「限界」下限(ml)、「可」上限の上に「限界」上限(mu)を設け、この範囲で2値化した画像は、品質は悪いものの、意味のある画像としてどうか使えそうな限界画像である、とする。

これより外側は、2値化しきい値として採用するには不適當な「不可」である、とする。

これら上下限の関係は、 $0 \leq ml \leq pl \leq gl \leq rl \leq rh \leq gu \leq pu \leq mu \leq L - 2$ となる。ただし、ある範囲に属するしきい値がない場合は、その上下限値に負数を入れて区別する。

以上のような上下限の決め方は、「良さ」関数が単峰性であることを仮定している。画像データによっては、2値でなく3値や4値などにした方が無理がないものがあり、この場合、2値化としての「良さ」関数は、双峰、あるいは複数の山ができることになる。ただし、例えば、文字画像を対象とした場合は、もともと、文字は2値の性質が強いことから、単峰性であることを仮定してもさしつかえないであろうと考えられる。また、もし双峰性であったとしても、2つの山を1つの山と見なしても構わないようなデータであることが予想される。

各濃淡画像について、これらの上下限を決めなければ

ならないが、これを、人間が画像を見て決めようとする、サンプル数が非常に多い場合は、時間的にほとんど不可能であり、また、もし、すべてのサンプルを人間が見て上下限を求めようとした場合には、人間の疲労による信頼性の低下を招く恐れがある。

そこで、これをある程度、自動的に求めることを考える。ただし、ここでは、2値化の対象として、文字画像を扱うこととする。これは、文字画像の場合、理想的2値画像を考えることができ、その特徴量を記述することが非常に簡単だからである。ここでは、その特徴量として、意味が明確で、抽出しやすい、輪郭線の数、主に連結成分数⁷⁾を採用し、各濃度レベルで2値化した画像の輪郭線数の違いを比較することにより、各々の上下限を決めるを試みる。

まず、 $0 \sim L - 2$ の各濃度レベル*l*で2値化した画像を作り、黒の輪郭を8連結で追跡し、チェーンコード¹⁰⁾⁷⁾を求める。1つながりのチェーンコードをもつ輪郭線は、黒部分の外側を追跡した外輪郭線と、黒部分の内側を追跡した内輪郭線とがある。外輪郭線の本数は連結成分数であり、内輪郭線はループとよぶこともある。

1つの輪郭線のチェーンコードの本数は、ほぼ、その輪郭線の周長になり、これを輪郭線の長さとしてよぶことにする。ただし、便宜上、内輪郭線(ループ)の場合、チェーンコード数に負符号を付けた値を輪郭線の長さとする。そこで、 $NC(l)$ を、濃淡画像を濃度レベル*l*で2値化した画像の輪郭線の総数、 $NF(l, c)$ を、濃淡画像を濃度レベル*l*で2値化した画像の各輪郭線*c*の長さとする。ただし、 $l = 0 \sim L - 2$ 、 $c = 1 \sim NC(l)$ 。また、 $NB(l)$ を外輪郭線の数(連結成分数)、 $NW(l)$ を内輪郭線の数(ループ数)とする。このとき、 $NB(l) + NW(l) = NC(l)$ である。

なお、輪郭線の長さ $NF(l, c)$ が0の場合は、黒が1点のみの孤立点ノイズであるため、 $NF(l, c) = 0$ なる輪郭線を

除いたものの個数を $NB1(l)$ とすると、これが黒の孤立点ノイズを除いた外輪郭線の数となる。輪郭線の長さが -4 の場合は、白が1点のみの孤立点ノイズであり、 $NF(l, c) - 4$ なる輪郭線を除いたものの個数を $NW1(l)$ とすると、これが白の孤立点ノイズを除いた内輪郭線の数となる。

与えられた文字画像サンプルがもともと綺麗な状態で、2値化が容易な画像であると仮定すると、どの2値化手法を用いても、綺麗な2値化画像を与えるしきい値が得られるであろうと考えられ、これらによって求められる2値化しきい値は、「良」以上のしきい値となることが期待される。そこで、適当に2値化手法を1つ選び、この手法において求められる2値化しきい値を標準しきい値 k とする。

標準しきい値から、しきい値を下げていくと、文字の線幅が大きくなり、やがては、離れていた線がつながってしまい、しきい値を上げていくと、文字の線幅が細くなり、線が切れてしまうと考えられる。ここでは、画素の値を濃度値として扱っており、輝度値の場合は、大小関係を逆にして考えればよい。このように、標準しきい値から上下にしきい値を変えていったときの2値化画像は、あるしきい値を境に、連結成分数が変わることになる。連結成分数が変わることは、文字の形が大きく変化したことの1つの現れであり、逆に、しきい値を変えても連結成分数が変わらない場合は、文字の形があまり変わっていないことが多いであろうと考えられる。

したがって、標準しきい値で2値化した画像と、連結成分数が同一の2値画像を与える2値化しきい値の範囲を「良」に対応させ、その下限を gl 、上限を gu とする。つまり、 $NB(l) = NB(k)$ なる l の下限が gl 、 $NB(l) = NB(k)$ なる l の上限が gu である。

しきい値の違う2値化画像の連結成分数が同じだからといって、かならずしも、画像の形が同様であるとは限らないが、実際のサンプルを見ると、しきい値を少しずつ変えるにしたがい、2値化画像の形も少しずつ変わっていくものが多いため、この方法で不都合な結果を与えるサンプルは、非常に少ないと考えられる。

実際のサンプルには、しみや、観測時の悪条件などにより、ノイズが現れる場合がある。その中で、1点だけで孤立しているノイズは、いくつあっても除去は簡単なため、孤立点ノイズのみが付加された2値画像をつくるしきい値は、「良」範囲よりは少し劣るものの、2値化しきい値としては十分使えるレベルである、といえるであろう。

そこで、 $NB1(k)$ と同じ値をとる $NB1(l)$ の下限を pl 、 $NB1(k)$ と同じ値をとる $NB1(l)$ の上限を pu とし、範囲 $[pl, pu]$ から「良」範囲を除いた範囲を、「良」範囲よりは少し劣るものの、2値化しきい値としては十分使える「可」範囲である、とする。

例として、Fig.1(a)のサンプルを見てみる。Table 2で示しているように、Fig.1(a)は、「良」範囲の下限が $gl = 3$ 、上限が $gu = 6$ 、「可」下限が $pl = 2$ 、「可」上限が $pu = 6$ として求められる。このときの標準しきい値は、 $k = 4$ であった。Fig.1の各サンプルは、各濃度レベル $0 \sim 8$ をしきい値として2値化した画像を表示したものである。

Fig.1(a)の例は、標準しきい値 k で2値化した画像に孤立点ノイズがない場合であるが、孤立点ノイズがある場合、つまり、 $NB1(k) \neq NB(k)$ の場合は、次のようにする。上で求められた、 gl, gu, pl, pu のうち、 gl と gu を変更する。まず、 $gl = k, gu = -1$ とし、 $gu = -1$ のときは「良」範囲が存在しない、とする。この場合の例がFig.1(b)で、計算機による処理結果は、 $k = 4, gl = 4, gu = -1, pl = 3, pu = 8$ となる。

標準しきい値 k より高いしきい値でも孤立点ノイズがある場合は、孤立点ノイズがなくなるしきい値より1つ低いしきい値を gl とする。この場合の例がFig.1(c)で、結果は、 $k = 3, gl = 4, gu = -1, pl = 2, pu = 6$ となる。このように、 $gu = -1$ の場合、「良」範囲がなく、 $[pl, gl]$ と $[gl + 1, pu]$ を「可」範囲である、とする。

ただし、こうすると、Fig.1(d) ($k = 3, gl = 4, gu = -1, pl = 2, pu = 4$) や Fig.1(e) ($k = 2, gl = 2, gu = -1, pl = 2, pu = 2$) のように、 $gl + 1 > pu$ となって、しきい値が高い方の「可」範囲が不定になる場合が生じてしまう。この場合のサンプルは、あとで人間が目視で判断するよう、はじき出しておくことにする。

このようにして、計算機処理により、2値化しきい値の、「良さ」を分ける上下限 pl, gl, gu, pu を自動的に求めることができる。

しかし、ここで求められた上下限値は、標準しきい値 k が正しい2値化しきい値であると仮定した場合のものであり、実際には正しいとは限らず、不適当な場合も含んでいると考えられる。そこで、不適当な場合をはじき出すことが必要となる。対象を文字画像としているため、文字の理想的2値画像を考え、その輪郭線の数を決めることができる。

例えば、文字カテゴリ「0」(ゼロ)の2値画像が、Fig.2(a)のようなサンプルの場合、輪郭を追跡すると、Fig.2(b)のようになり、この画像の特徴量は、 p で示される外輪郭線が1つと、 m で示される内輪郭線が1つである。しかし、文字「0」でも、Fig.3(a)のように左上が切れている画像もあり、これを輪郭追跡すると、Fig.3(b)のようになり、 p で示される外輪郭線が1つだけで、内輪郭線となる特徴はない。これより、文字「0」については、与えられた2値化しきい値により作られた2値化画像は、外輪郭線の数が1、内輪郭線の数が0か1となることが必

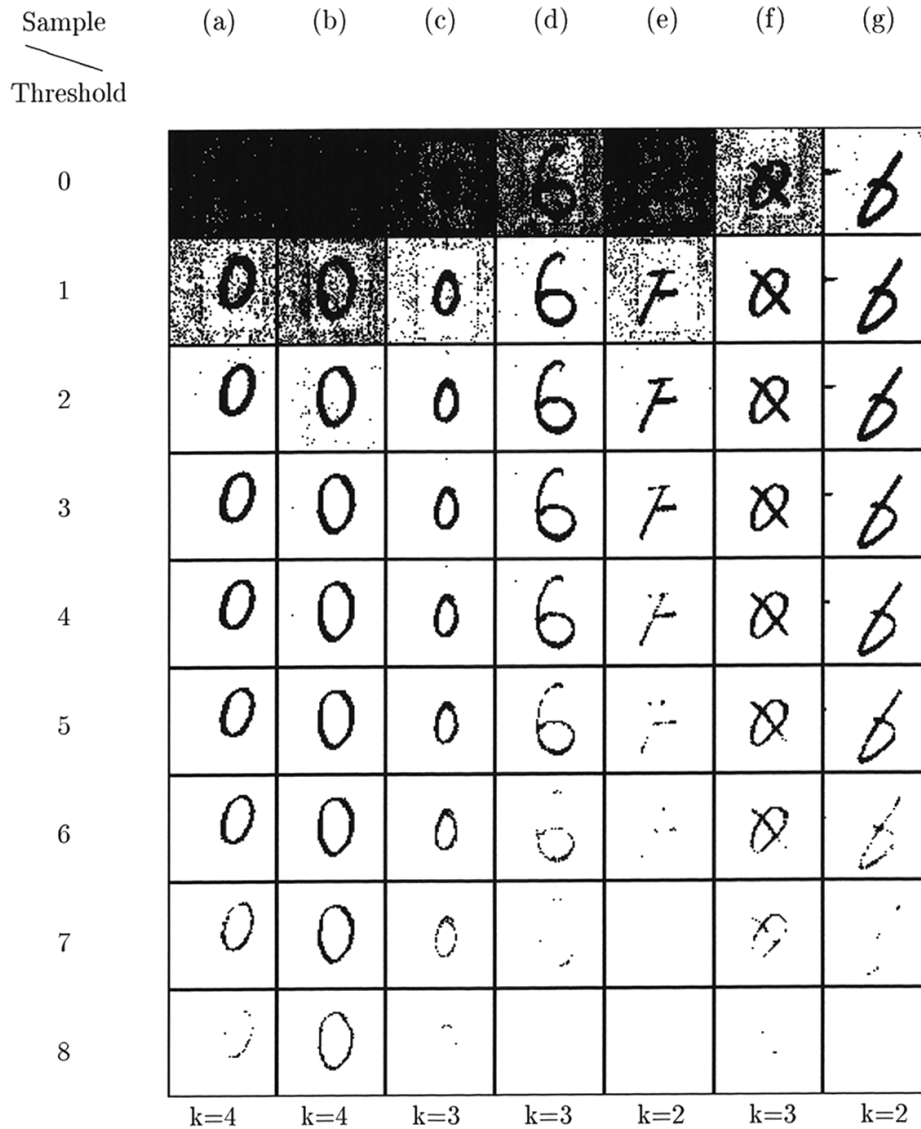


図1 各しきい値で2値化した画像例
 Fig.1 Examples of images binarized with each threshold. (k: standard threshold)

表2 計算機処理により求めた2値化しきい値の上下限
 Table 2 Upper and lower bounds of binary thresholds by computer.(pl: lower permissible bound, gl: lower good bound, gu: upper good bound, pu: upper permissible bound, mu: upper marginal bound, k: standard threshold)

Sample	pl	gl	gu	pu	mu	k	Character Category	File Number	Data Number
(a)	2	3	6	6	-	4	0	01	1
(b)	3	4	-1	8	-	4	0	01	66
(c)	2	4	-1	6	-	3	0	01	635
(d)	2	4	-1	4	-	3	6	01	8887
(e)	2	2	-1	2	-	2	F	02	10423
(f)	1	2	4	6	-	3	0	01	1285
(g)	0	1	4	4	-	2	6	01	8915

2.2 手書き文字データベースETL1への適用

2値化用しきい値情報を作成する対象として、数字・英大文字・特殊記号・片仮名、合計99種の文字カテゴリを含み、総サンプル数が約14万の「手書き文字データベースETL1」^{8,9)}を採用した。このデータベースETL1は、2値化しきい値が少し低すぎてもノイズが現れ、少し高すぎてもかすれてしまうような、2値化が難しいサンプルから、2値化しやすい綺麗なサンプルまで幅広く含んでいる。このことから、2値化手法を評価するためのデータとしては、文字データベースETL1が大変適していると考えられ、これを採用したのである。また、一般的な画像の多くは、濃度レベル数が256あるが、文字データベースETL1は、有効濃度レベル数が最大でも12レベルしかなく、目視を行う場合、人間が見なければならぬ2値化画像数が少ないため、信頼性の高い2値化用しきい値情報を作成できる見通しがあったことが、ETL1を採用した一因でもある。

2.3 計算機による2値化用しきい値情報の作成

前述したように、まず、標準しきい値によって2値化した画像を基本とし、その輪郭線数から、2値化用しきい値情報のうち、2値化の「良さ」が「良」と「可」の上下限を、文字データベースETL1の全141,319サンプルに対して、計算機により求める。求められた上下限は、人間がエディタを使って変更できるように、テキストデータで保存している。

なお、標準しきい値 k を求める手法は、現在、最も安定している2値化法である、判別および最小2乗規準による方法^{1,2)}を採用した。

計算機によって自動的に求められた上下限の中には、そもそも、標準しきい値が適当でないために、不適当な上下限が求められていることがあると考えられる。これをはじき出すために、文字カテゴリ別の許容輪郭線数を設定する。それが、Table 3である。

Table 3のデータは、次のようにして作成した。各文字カテゴリごとに、理想的な文字の形をいくつか考え、それぞれの外輪郭線と内輪郭線を数えて範囲を決めた。このとき、文献¹¹⁾により、文字データベースETL1の統計量として、連結成分数、ループ数が求められていることから、これを参考にし、目視するためにはじき出されるサンプル数が多すぎないように調整した。連結成分数は外輪郭線数であり、ループ数は内輪郭線数である。

例えば、文字カテゴリ「2」において、通常、連結成分数(外輪郭線数)は1、ループ数(内輪郭線数)は0と考えられるが、文献¹¹⁾では、ループ数が1となるサンプルが231個もあることが示されている。実際のサンプルを見て

みると、筆記時に、通常鋭角で折り返すところが曲線で書かれループができてしまい、ループ数が1になる場合が多いことが分かった。このことから、文字カテゴリ「2」の許容範囲は、外輪郭線数 $N1I = 1$ 、 $N1A = 1$ 、内輪郭線数 $N0I = 0$ 、 $N0A = 1$ とした。

文字カテゴリ毎の輪郭線数が許容範囲に含まれない場合と、先に述べた、「良」範囲が存在しないときの、「可」の高い方の範囲が不定となる特別な場合($gl + 1 > pu$)に該当するサンプルをはじき出しておく。

Fig.1の各サンプルは、文字データベースETL1から取り出したサンプルであり、自動的に求められた上下限をTable 2に示している。この中で、Fig.1(d)とFig.1(e)は、 $gl + 1 > pu$ となる場合の例であり、これらのサンプルは目視することが必要であるとして、はじき出される。

Fig.1(f)のサンプルは、文字カテゴリ「0」として書かれたものであるが、ななめのストロークがあるため、内輪郭線数が2となっている。文字カテゴリ「0」では内輪郭線数の許容範囲を $[0, 1]$ としており、Fig.1(f)のサンプルは、許容範囲外であるためにはじき出される。

また、Fig.1(g)のサンプルは、枠の左から別の文字がはみ出しているため、外輪郭線数が2となり、文字カテゴリ「6」の外輪郭線数の許容範囲 $[1, 1]$ を越えてしまい、はじき出されたものである。

2.4 目視による2値化用しきい値情報の作成

文字データベースETL1の全141,319サンプルについて、前記の計算機処理による方法で、2値化の「良さ」が「良」、「可」の範囲が求められた。この中で、 $gl + 1 > pu$ となる場合と、標準しきい値で2値化した画像の輪郭線数が許容範囲外の場合に該当するサンプルがはじき出されている。はじき出されたサンプルの数は、Table 3の中に、文字カテゴリ別に示しており、合計4,644サンプルであった。

このはじき出されたサンプルについて、全濃度レベルをしきい値とした2値化画像を作り、すべて表示し、人間がこれを見て、2値化しきい値としての「良さ」に応じた上下限を求めるのである。感覚的には、前述した「優」、「良」、「可」、「限界」の定義に沿っているが、具体的な目視作業マニュアルを次に示す。

(a) となりの文字のストロークが文字枠内に入ってきたものは、無視する。

(b) 文字の一部でない余分な点やストロークがあっても、文字の一部のように書かれている場合、原則として、ノイズとしない。

(c) 2値化画像が綺麗な画像となるしきい値の上限、下限を決め、この範囲を「良」範囲とする。ここで、綺麗な

表3 文字カテゴリ別輪郭線数の許容範囲

Table 3 Approval ranges of the numbers of contours in each character category.
 ([NII,N1A]: approval range on outer contours, [NOI,N0A]: approval range on inner contours.)

Character Category	NII	N1A	NOI	N0A	No. of Samples	Character Category	NII	N1A	NOI	N0A	No. of Samples
0	1	1	0	1	60	ア	1	2	0	1	21
1	1	1	0	0	23	イ	1	2	0	0	14
2	1	1	0	1	24	ウ	1	3	0	0	18
3	1	1	0	0	27	エ	1	2	0	0	17
4	1	1	0	1	24	オ	1	2	0	1	24
5	1	2	0	0	15	カ	1	1	0	1	68
6	1	1	0	1	92	キ	1	1	0	0	64
7	1	2	0	0	13	ク	1	2	0	0	30
8	1	1	1	2	49	ケ	1	2	0	0	24
9	1	1	0	1	57	コ	1	2	0	0	16
A	1	1	0	1	37	サ	1	1	0	0	48
B	1	1	0	2	26	シ	2	3	0	0	62
C	1	1	0	0	47	ス	1	2	0	0	25
D	1	2	0	1	30	セ	1	1	0	1	32
E	1	2	0	0	120	ソ	1	2	0	0	91
F	1	2	0	0	25	タ	1	2	0	1	41
G	1	2	0	1	59	チ	1	2	0	1	48
H	1	2	0	0	29	ツ	2	3	0	0	113
I	1	2	0	0	21	テ	2	3	0	0	43
J	1	2	0	0	24	ト	1	2	0	0	14
K	1	2	0	0	24	ナ	1	1	0	0	39
L	1	1	0	0	30	ニ	2	2	0	0	41
M	1	2	0	0	35	ヌ	1	1	0	1	82
N	1	2	0	0	22	ネ	1	3	0	0	47
O	1	2	0	1	49	ノ	1	1	0	0	88
P	1	2	0	1	24	ハ	2	2	0	0	36
Q	1	1	0	3	26	ヒ	1	2	0	0	11
R	1	2	0	2	20	フ	1	1	0	0	65
S	1	1	0	1	56	ヘ	1	1	0	0	49
T	1	2	0	0	15	ホ	1	3	0	1	95
U	1	1	0	0	49	マ	1	2	0	0	31
V	1	1	0	1	52	ミ	2	3	0	0	59
W	1	1	0	2	57	ム	1	2	0	0	21
X	1	1	0	0	81	メ	1	1	0	0	63
Y	1	1	0	0	43	モ	1	2	0	0	24
Z	1	1	0	1	41	ヤ	1	1	0	1	103
¥	1	2	0	1	31	イ	1	2	0	0	32
+	1	1	0	0	28	ユ	1	2	0	0	12
-	1	1	0	0	63	エ	1	2	0	0	42
*	1	1	0	0	52	ヨ	1	2	0	0	49
/	1	1	0	0	38	ラ	2	2	0	0	29
=	1	2	0	1	25	リ	2	2	0	0	46
(	1	1	0	0	43	ル	2	2	0	0	52
)	1	1	0	0	27	レ	1	1	0	0	296
・	1	1	0	0	270	ロ	1	2	0	1	23
,	1	1	0	0	51	ワ	1	2	0	0	34
□	1	2	0	0	7	キ	1	1	0	1	65
▽	1	1	0	1	24	ウ	1	3	0	0	42
						エ	1	2	0	1	39
						ヲ	1	2	0	0	54
						ン	1	2	0	0	77
						total					4644

画像というのは、(1) ノイズがない、(2) つぶれていない、(3) ストロークがなめらか、(4) ストロークに穴がない、(5) ストロークが切れていない、ものとする。

(d) 「良」範囲がある場合、その中の一番綺麗な画像を与えるしきい値を「優」範囲とする。「優」範囲は、可能な限り範囲を狭くし、通常は、1しきい値のみになるようにする。

(e) 「良」範囲がない場合は、ないことを示すために、「良」上限値を - 1 にする。

(f) 文字本体が綺麗であっても、1点でも孤立点ノイズがあれば、そのしきい値は「可」範囲に入れる。

(g) ノイズがたくさんあっても、ほとんどが孤立点ノイズなら「可」範囲に入れる。

(h) ストローク間がつぶれていても、程度が小さい場合は、「可」範囲に入れる。

(i) ストロークがなめらかでなく、ギザギザが激しいときは、「可」範囲に入れる。

(j) 穴がたくさんあっても、ほとんどが孤立点ノイズな

表4 人間の目視により求めた2値化しきい値の上下限

Table 4 Upper and lower bounds of binary thresholds by human eyes.

(pl: lower permissible bound, gl: lower good bound, gu: upper good bound, pu: upper permissible bound, mu: upper marginal bound, k: standard threshold, (value) means the upper or lower bound by computer.)

Sample	pl	gl	gu	pu	mu	k	Character Category	File Number	Data Number
(d)	1 (2)	2 (4)	-1 (-1)	4 (4)	5 (-)	3	6	01	8887
(e)	2 (2)	2 (2)	-1 (-1)	3 (2)	- (-)	2	F	02	10423
(f)	1 (1)	2 (2)	3 (4)	5 (6)	6 (-)	3	0	01	1285
(g)	0 (0)	1 (1)	3 (4)	5 (4)	6 (-)	2	6	01	8915

ら「可」範囲に入れる。

(k) ストロークが切れていても1ビット程度の小さい切れなら「可」範囲に入れる。

(l) 汚いけれども意味のある画像としてどうにか使えそうならば、「限界」範囲に入れる。

以上のように、目視では、形を重視し、連結成分数を厳密に数えることはしないため、計算機により求めたものとは、意味が若干異なったデータとなる。しかし、目視によって求めた値は、計算機によるものよりは、正確なものとなる。

目視作業は、1回目、1時間に50~60サンプル位の処理量であり、4,644サンプルで、正味約90時間を要した。保存データの修正も含め、この作業を3回行ったが、2回目、3回目の作業時間は、1回目の半分で済んだ。また、目視評価に偏りが出ないように、上記の作業は3回とも、すべて同一人物が行った。ちなみに、4,644サンプルで90時間の作業を全14万サンプルについて行うことを見積もると、1日6時間とし、土日休まず働いて、15ヶ月かかる。

求められる「良さ」関数としての範囲情報は、「良さ」関数が単峰性であることを仮定している。目視作業を行った画像データの中には、「良さ」関数が双峰になりそうなものが見受けられたが、その数は少なく、また、2つの山を1つの山と見なしてもさしつかえない程度の差であった。

Fig.1の中で、(d),(e),(f),(g)のサンプルは、目視を行ったもので、その結果をTable 4に載せている。比較のために、計算機により求められたもの(Table 2)を下段の括弧内に示している。表には載せていないが、サンプル(f)の「優」範囲は[2, 2]、サンプル(g)の「優」範囲は[1, 1]とした。

これにより、文字データベースETL1の全141,319サンプルのうち、136,675サンプルは、計算機により自動的

に求められた上下限を保存し、4,644サンプルは、人間が目視によって求めた上下限を保存する。このようにして作成したデータが、「2値化用しきい値情報」である。ただし、4,644サンプル中、102サンプルは、文字が無い、あるいは、ノイズのみのデータであるため、この2値化用しきい値情報の有効サンプル数は、141,217サンプルである。

2.5 文字データベースETL1の評価値

ここでは、この2値化用しきい値情報を使って、手書き文字データベースETL1のデータの性質を示す量を求めることにする。ここで求められた範囲情報は、「優」、「良」、「可」、「限界」に分けられるが、サンプルによっては、あるしきい値ではノイズがあり、その1つ上のしきい値ではかすれてしまうような、最良の2値化画像でも「良」範囲に入らないものが出てくる。最良の2値化画像がどの範囲に入るかを調べ、その個数を数えることにより、ETL1の全体的な奇麗さの指標を与えることができると考えられる。

最良の2値化画像を与えるしきい値が、「優」、「良」、「可」、「限界」に入るサンプルの個数は、それぞれ、3,463、133,172、4,575、7であった。これから、データベースETL1の一つの評価値を求めてみる。「優」、「良」、「可」、「限界」の範囲に対して、それぞれ、1.0、1.0、0.8、0.5の重みを与え、個数との積和を有効サンプル数141,217で割った値を計算すると、0.993495になる。この値は、重みを上記にした場合における、データベースETL1の奇麗さを示す評価値である、ということができる。(これらの数値は、Table 5、Table 6にも載せてある。)

§ 3 2 値化用しきい値情報を使った 2 値化法の性能評価

ここでは、文字データベース E T L 1 について作成した、2 値化用しきい値情報を使用して、対数ゆう度規準による 2 値化法^{4,5)}と、濃度階調補正を施したゆう度規準による 2 値化法⁶⁾の性能評価を行うことにする。

各規準による 2 値化しきい値の評価値を求める方法は、次のようにした。全サンプルについて、各規準によって求められる 2 値化しきい値を保存する。この 2 値化しきい値と、2 値化用しきい値情報の範囲を比較し、それぞれの範囲に入るサンプルの個数をカウントする。「優」、「良」、「可」、「限界」、「不可」に対する重みとして、それぞれ、1.0、1.0、0.8、0.5、0.0 を与え、個数と重みの積和を有効サンプル数 141,217 で割った値をその規準の評価値とする。この評価値は、0 ~ 1 の範囲の値をとるが、最良でも、前記の重みにおけるデータベース E T L 1 の奇麗さを示す評価値 0.993495 を越えない。そこで、最大が 1 になるよう正規化するため、E T L 1 の評価値 0.993495 で割った値を、その規準の評価値とする。この正規化は、求められる評価値自身が 2 値化手法の「良さ」を示す尺度になることを意図している。ここで採用した重みの値は、目視を行ったときの評価基準に沿う値になるように適当に選んだものである。

3.1 対数ゆう度規準による 2 値化法の性能比較

対数ゆう度規準による手法⁴⁾では、濃度に関する度数分布が混合正規分布であると仮定し、生起確率と分散についての各正規分布間の関係が、等しいか、異なるかによって、4 つの異なる手法に分けられる。

2 値化の場合において、2 つの正規分布の、生起確率も分散も等しいと仮定した場合の規準を J_O 、生起確率は等しく、分散が異なると仮定した場合の規準を J_Q 、生起確率は異なり、分散が等しいと仮定した場合の規準を J_D 、生起確率も分散も異なると仮定した場合の規準を J_K とすると、それぞれの規準は、以下のような式で表され、規準が最大となるしきい値 t が、その規準での最適 2 値化しきい値となる。⁴⁾

ただし、ここでは、しきい値 t で、クラス 0 とクラス 1 の 2 クラスに 2 値化することを想定し、 $\omega_0 = \omega_0(t)$ はクラス 0 の生起確率、 $\omega_1 = \omega_1(t)$ はクラス 1 の生起確率、 $\sigma_0^2 = \sigma_0^2(t)$ はクラス 0 に関する分散、 $\sigma_1^2 = \sigma_1^2(t)$ はクラス 1 に関する分散、 $\sigma_W^2 = \sigma_W^2(t)$ は級内分散であるとする。このとき、

$$\sigma_W^2(t) = \omega_0(t)\sigma_0^2(t) + \omega_1(t)\sigma_1^2(t)$$

の関係にある。

$$J_O = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{\sigma_W^2}$$

$$J_Q = \omega_0 \ln \omega_0 + \omega_1 \ln \omega_1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{\sigma_W^2}$$

$$J_D = \frac{1}{2} \left\{ \omega_0 \ln \frac{1}{\sigma_0^2} + \omega_1 \ln \frac{1}{\sigma_1^2} \right\}$$

$$J_K = \omega_0 \ln \omega_0 + \omega_1 \ln \omega_1 + \frac{1}{2} \left\{ \omega_0 \ln \frac{1}{\sigma_0^2} + \omega_1 \ln \frac{1}{\sigma_1^2} \right\}$$

2 値化用しきい値情報を作成するときに選んだ、標準しきい値を求める手法は、この中の規準 J_O を採用している。

また、関田らは、これらの各対数ゆう度規準に対して、濃度レベル数が少ない場合にその影響が大きい量子化誤差を考慮した方法⁵⁾を提案している。濃度レベル間隔をとると、量子化誤差を考慮した場合の、前記 4 つの規準は、次のように変形され、右肩に * を付けて区別する。

$$J_O^* = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{\sigma_W^2 + \frac{\delta^2}{12}}$$

$$J_Q^* = \omega_0 \ln \omega_0 + \omega_1 \ln \omega_1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{\sigma_W^2 + \frac{\delta^2}{12}}$$

$$J_D^* = \frac{1}{2} \left\{ \omega_0 \ln \frac{1}{\sigma_0^2 + \frac{\delta^2}{12}} + \omega_1 \ln \frac{1}{\sigma_1^2 + \frac{\delta^2}{12}} \right\}$$

$$J_K^* = \omega_0 \ln \omega_0 + \omega_1 \ln \omega_1$$

$$+ \frac{1}{2} \left\{ \omega_0 \ln \frac{1}{\sigma_0^2 + \frac{\delta^2}{12}} + \omega_1 \ln \frac{1}{\sigma_1^2 + \frac{\delta^2}{12}} \right\}$$

この中で、 J_O^* の最大検出は、 $\sigma_W^2 + \delta^2/12$ の最小検出となるが、 $\delta^2/12$ は定数であるため、 σ_W^2 の最小を見つけることになる。これは、 J_O と同じ規準となり、 J_O^* の最大検出は、 J_O の最大検出と同値であることがわかる。以上より、考慮するのは、 $J_O, J_Q, J_Q^*, J_D, J_D^*, J_K, J_K^*$ の 7 つの規準でよい。

これら 7 つの規準によって求められる 2 値化しきい値の良さを評価することにする。その評価結果を Table 5 に示す。まず、各規準で求められたしきい値が、2 値化用しきい値情報の範囲、「優」、「良」、「可」、「限界」、「不可」のどこに入るかを調べる。その個数をカウントしたものを Table 5 に載せている。「可」、「限界」、「不可」については、濃度レベルが低い方と高い方に分け、それぞ

表5 ゆう度規準の性能比較 (各規準によるしきい値が各範囲に入るサンプル数とその評価値)

Table 5 Performance evaluation of likelihood criteria.

(The number of samples whose thresholds by the criteria are in each range and these evaluation values.)

(re: recommendatory range, go: good range, pl: lower permissible range, pu: upper permissible range, ml: lower marginal range, mu: upper marginal range, il: lower impermissible range, iu: upper impermissible range)

規準 Criterion	評価値 Evaluation Value	「優」 recommendatory		「良」 good		「可」 permissible		「限界」 marginal		「不可」 impermissible	
		re	go	pl	pu	ml	mu	il	iu		
		Weight	1.0	1.0	0.8	0.8	0.5	0.5	0.0	0.0	
(ETL1)	(.993495)	3463	133172	4575		7		0			
J_O	.9947	918	134659	4410	536	35	2	656	1		
J_Q	.9931	959	133887	3256	2331	12	12	10	750		
J_Q^*	.9914	897	133590	3003	2724	12	22	1	968		
J_K^*	.9402	1872	108651	26332	376	35	8	3940	3		
J_K	.6407	1248	72120	20415	163	108	1	47162	0		
J_D^*	.2203	292	19299	13864	0	461	0	107301	0		
J_D	.1672	137	5841	21549	1	474	0	113215	0		

れ, pl, pu, ml, mu, il, iu欄に示している。「優」,「良」,「可」,「限界」,「不可」の各範囲の個数と,与えられた重みとの積和を有効サンプル数で割り,正規化して,各規準の評価値を求める。この評価値も Table 5 に載せてある。重みの与え方により,この場合は,評価値が大きいものほど良い2値化法である,ということになる。規準 J_O の場合,0.993495 で正規化した評価値は,0.9947であった。これを良い方から順に並べると,

$$J_O > J_Q > J_Q^* > J_K^* > J_K > J_D^* > J_D$$

のようになった。Table 5 では,各規準を,上からこの順序に並べて表示している。ただし,表の上位には,正規化するとき使用した,データベース E T L 1 の奇麗さを表す評価値 0.993495 を参考に載せている。

斉藤は,この2値化用しきい値情報を作る以前に,手書き文字データベース E T L 1 について,ゆう度規準による2値化手法の性能比較を行っている¹²⁾。そこでは,ゆう度規準による2値化法の評価を,各2値化法で求められるしきい値が全体的に高めになるか低めになるかを判断材料にして比較を行い,また,各手法による2値化画像を人間が見比べて,その2値化の良さを順位付けしている。

今回の2値化用しきい値情報を使用した評価結果を見ると,各規準の良さの順位は,文献¹²⁾での順位とまったく同一の結果を与えている。このことは,ここで作成した2値化用しきい値情報の信頼性が高いことを示している,といえるであろう。

3.2 濃度階調補正を施したゆう度規準による2値化法の性能比較

文献⁶⁾では,前記,対数ゆう度規準の中の,生起確率は等しく,分散が異なると仮定した場合における,量子化誤差を考慮した規準 J_Q^* に対し,濃度階調補正を施した2値化法を提案している。濃度階調補正を施した場合の規準には,右上に m を付けて表すことにし,この規準を J_Q^{*m} と表す。この手法は,与えられた画像の濃度階調が非線形変換を受けていることを考慮し,階調補正を行い,最良の階調補正のところで求められる,ゆう度規準による2値化しきい値を,最適とするものである。

今回は, J_Q^{*m} だけでなく,前節の7つの規準それぞれについて,濃度階調補正を施した7つの規準を求め,これによって求められる2値化しきい値の良さを,2値化用しきい値情報を使って評価することにする。ここでは,前節の7つの規準も含め,全部で14規準を比較してみる。その評価結果を,Table 6 に示す。これも,上から,評価値が良い順に並べてある。

この表を見ると,文献⁶⁾で採用した規準 J_Q^{*m} の評価値が4番目で,これに対し,量子化誤差を考慮しない規準 J_Q^* が2番目となっている。どちらも濃度階調補正を行う規準であるが,文字データベース E T L 1 では,量子化誤差を考慮しない方が高い評価値になった。濃度階調補正を行う方法では,全分散による補正を行っており,これが量子化誤差を考慮した場合に似た働きをしてるため,過度の効果が加わったからではないかと思われる。

しかし, J_Q^* でも J_O には及ばないため,濃度階調補正を行う方法については,更なる改良を必要とすることが示唆される。

表6 濃度階調補正を施したゆう度規準の性能比較
(各規準によるしきい値が各範囲に入るサンプル数とその評価値)

Table 6 Performance evaluation of likelihood criteria with grau scale modification.
(The number of samples whose thresholds by the criteria are in each range and these evaluation values.)
(re: recommendatory range, go: good range, pl: lower permissible range, pu: upper permissible range, ml: lower marginal range, mu: upper marginal range, il: lower impermissible range, iu: upper impermissible range)

規準 Criterion	評価値 Evaluation Value	「優」 recommendatory		「良」 good		「可」 permissible		「限界」 marginal		「不可」 impermissible	
		re	go	pl	pu	ml	mu	il	iu		
		Weight	1.0	1.0	0.8	0.8	0.5	0.5	0.0	0.0	
(ETL1)	(.993495)	3463	133172	4575		7		0			
J_O	.9947	918	134659	4410	536	35	2	656	1		
J_Q^m	.9939	1094	133867	3810	1768	14	11	201	452		
J_Q	.9931	959	133887	3256	2331	12	12	10	750		
J_Q^{*m}	.9915	903	133627	3075	2633	12	20	61	886		
J_Q^*	.9914	897	133590	3003	2724	12	22	1	968		
J_O^m	.9713	1279	129601	6461	253	34	0	3577	12		
J_K^*	.9402	1872	108651	26332	376	35	8	3940	3		
J_K^{*m}	.9375	1900	107367	27454	343	34	8	4111	0		
J_K^m	.6470	1291	73421	19851	166	106	1	46381	0		
J_K	.6407	1248	72120	20415	163	108	1	47162	0		
J_D^{*m}	.2213	332	22602	9886	1	417	0	107979	0		
J_D^*	.2203	292	19299	13864	0	461	0	107301	0		
J_D^m	.1793	155	7746	21270	1	468	0	111577	0		
J_D	.1672	137	5841	21549	1	474	0	113215	0		

3.3 考察

2値化用しきい値情報を使った、前述の7個の規準の比較と、階調補正を含めた14個の規準の比較とも、最良の結果を与えた規準は J_O であった。2値化用しきい値情報を作るときに、標準しきい値を求める手法として採用した規準が J_O であったことから、この影響で、 J_O が最良となってしまったとの懸念がある。標準しきい値用に採用したから J_O が最良となったのか、 J_O が本当に最良であったからなのか、の判断は、 J_O より高性能な2値化手法が出てくることにより確かめられるであろう。ただ、2値化用しきい値情報を作るとき、すべての処理を計算機で行ったのではなく、人間が目視することにより、計算機処理の訂正を行っていることが、 J_O の影響を小さくしていることになる。また、文献¹²⁾での人間による判断でも J_O が最良になっている。これらのことは、上述の懸念を否定する材料になっていると考えられる。

§4 おわりに

2値化手法を評価するため、文字データベースETL1について、2値化しきい値の「良さ」に応じた、「優」、「良」、「可」、「限界」、「不可」の範囲を、計算機により自動的に、また、人間の目視によって求め、2値化用しきい値情報を作成した。そして、この2値化用しきい値情報を使い、ゆう度規準による2値化法の性能評価を行い、

各規準の評価順位が求められた。この結果は、2値化用しきい値情報を使わずに行われた性能評価と、まったく同一の評価結果となり、ここで作成した2値化用しきい値情報の信頼性が高いことが示された。

ただし、この性能評価において最良となった手法は、判別および最小2乗規準であった。2値化用しきい値情報を自動作成するときに採用した、標準しきい値を求める手法は、判別および最小2乗規準による方法であるため、その影響で、判別および最小2乗規準による方法が最良という結果を出したのではないかと懸念が残ってしまった。しかし、現在、判別および最小2乗規準が最も安定し高性能な2値化法であることは、周知のとおりであるため、これが最良という結果を出すのは当然のこととも考えられる。今後、判別および最小2乗規準よりも高性能な2値化手法が出現することにより、この2値化用しきい値情報が、さらに、信頼性の高いものであることが示されるであろう。

なお、手書き文字データベースETL1について作成した2値化用しきい値情報と、この情報の自動作成プログラム・評価計算プログラムは、公開することを予定している。ここで採用した、2値化用しきい値情報を計算機で求める方法は、最適であるとは言い難く、より良い方法があると考えられる。このプログラムを公開することにより、改良がなされることを期待する。

謝 辞

本研究の機会を与えて頂いた,大津展之 知能情報部長,
坂上勝彦 対象認識ラボ・リーダーに感謝致します。

参 考 文 献

- 1) N.Otsu: "Discriminant and Least Squares Threshold Selection," 4IJCP, Kyoto, 11 (1978) 592-596.
- 2) 大津展之: "判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法", 「信学論(D)」, 63-D, 4 (1980) 349-356.
- 3) P.K.Sahoo, S.Soltani, A.K.C.Wong and Y.C.Chen: "A Survey of Thresholding Techniques," CVG&IP, 41, 2 (1988) 233-260.
- 4) T.Kurita, N.Otsu and N.Abdelmalek: "Maximum likelihood thresholding based on population mixture models," Pattern Recognition, 25, 10 (1992) 1231-1240.
- 5) 関田巖,栗田多喜夫,大津展之,ナビー アブデルマルク: "画像の量子化誤差を考慮したしきい値選定法", 「信学論(D-II)」, J78-D-II, 12 (1995) 1806-1812.
- 6) 斉藤泰一: "濃度階調補正を施したゆう度規準による2値化しきい値選定法", 「信学論(D-II)」, J80-D-II, 6 (1997) 1343-1351.
- 7) A.Rosenfeld, A.C.Kak,(監訳)長尾真,(翻訳)長尾真,金出武雄,木戸出正継,田村秀行,松山隆司: 「デジタル画像処理」(近代科学社, 1978).
- 8) 山田博三,森俊二: "手書文字データベースの解析(I)", 「電総研彙報」, 39, 8 (1975) 580-599.
- 9) 斉藤泰一,山田博三,森俊二: "手書文字データベースの解析(III)", 「電総研彙報」, 42, 5 (1978) 385-434.
- 10) Herbert Freeman: "On the Encoding of Arbitrary Geometric Configurations," IRE Trans. Electron. Comput., EC-10, 6 (1961) 260-268.
- 11) 山田博三,森俊二: "手書文字データベースの解析(II)", 「電総研彙報」, 40, 6 (1976) 513-529.
- 12) 斉藤泰一: "手書き文字データベースETL1を使ったゆう度規準による2値化手法の性能比較", 「電総研彙報」, 61, 2 (1997) 97-109. (1998. 8.29)

著 者 紹 介



斉 藤 泰 一
Taiichi SAITO
知能情報部 対象認識ラボ
E-mail: saito@etl.go.jp
画像処理, 文字データベースの解析, 文字・画像
に対するパターン認識の研究に従事。



山 田 博 三
Hiromitsu YAMADA
知能情報部 対象認識ラボ
E-mail: yamada@etl.go.jp
2次元画像の形状認識を中心として, 幾何学的特
徴抽出, 並列演算, 動的計画法による形状マッ
チング手法の研究に従事。