

# 局所濃淡パターンを利用した 線図形の抽出と二値化

## Extraction and Binarization of the images of Line drawings using Local gray-level patterns

岡崎 洋 美濃 導彦 坂井 利之

Hiroshi OKAZAKI Michihiko MINOH Toshiyuki SAKAI

京都大学 工学部

Faculty of Engineering, Kyoto University

**ABSTRACT** This paper describes a binarization method for the images of line drawings of poor quality. We define local gray-level patterns in  $2 \times 2$  pixels window, which represent the orientations of local plains. The constraint that the object image consists of lines makes the arrangement of local gray-level patterns regular. Using this regularity, we are able to extract the pixels consisting of lines. The threshold vales for binarization is calculated only from the gray vales of extracted pixels. This threshold vale is applied to the pixels near the extracted ones. The experimental results showed us that this method had much advantage especially in binarizing the images of line drawings of poor quality.

### 1 はじめに

近年、図面認識や文字認識などの分野が代表例であるように、線図形画像(図面・文書など)を対象とする計算機処理の研究が盛んに行われ、多くの成果が得られてきた。線図形画像は本来、白(地)と黒(線)の二値で表現できるものなので、その処理においては二値画像として扱われており、これは計算機の記憶容量・処理速度や伝送におけるデータ量などの点から望ましいものである。一般に線図形画像を計算機に入力する場合、二値化処理はファクシミリやスキャナ等の画像入力装置内で単純な信号処理により行われている。従って、実用化された装置も存在するが、その対象画像は品質の良いものに限られていて筆記用具や紙などに制約を設ける場合もある。

しかし、現実の世界に存在する図面・文書は筆記用具のむら、紙の汚れ、コピーの繰り返しによる画質の低下などの原因により、品質の悪いものも存在し、図面においては青焼き(ジアソコピー)が使用されている場合も少なくない<sup>1)</sup>。そこで、その入力対象に制約を設けることなく、種々の品質の図面や文書を計算機で取り扱いたいという要求が高まっている。

この種の問題に対して現在までに、良質の二値画像を得るための手法が幾つか検討されてきた。二値化の最適なしきい値を求める手法<sup>2)3)</sup>、最適なしきい値決定と同時に結果の二値画像の補正を行う手法<sup>4)</sup>、原画像の濃淡値を補正後二値化を行う手法<sup>5)</sup>などが提案されていて、ある程度の品質の悪い対象に対する有効性を示している。しかしこれら提案されてきた手法でも、濃淡値のむらが大きいものなど特に低画質な対象に対しては、満足のいく二値画像を得ることは困難である。

そこで我々は、従来の手法では対応が困難であった低画質な線図形画像を対象とした二値化手法を提案する。本手法は大きく分けて線抽出処理と二値化処理の二つの段階からなっている。線抽出処理では線が持つ拘束をラベル(局所的な濃淡値のパターンによって決定される)の配列条件として表現し、それを利用して線図形画像から線らしい部分を抽出する。その後、その抽出された部分の周辺に、局所的に求めたしきい値を適用することにより二値化処理を行う。

以下、まず2.では線抽出処理について、3.では二値化処理について説明し、4.で実験結果を示し、5.で本手法の特徴を列挙しまとめとする。

## 2 線抽出処理の手順

一般に濃淡画像から線抽出を行う場合、線要素の検出後に雑音を除去し、追跡を行うのが一般的である<sup>10)</sup>。ここでは二値化処理の前段階として線抽出を考えるので、比較的簡単な手法で、しかも対象が線図形画像であることを有効に利用した手法が必要となる。

まずデジタル濃淡画像(適当なサンプリング間隔でサンプリングし、濃淡値を量子化した画像)として入力された線図形画像を順次走査し、 $2 \times 2$ 画素のサンプリング点に現れる濃淡値のパターン(局所濃淡パターンと定義する)を観測する。この $2 \times 2$ 画素上の局所濃淡パターンが作る三次元局所平面を最大傾斜方向により分類し、ラベル付けすることでラベル画像を作成する。次に線の持つ拘束が線部分でのラベルの配列に与える影響を明確にし、それに基づいてラベル画像上で線らしい部分の抽出を行う。

### 2.1 ラベル画像の作成

$2 \times 2$ 画素のメッシュに現れる濃淡値のパターン(局所濃淡パターン)を、その三次元局所平面の最大傾斜方向(0~7)[図1]に対応する8つの局所傾斜パターンと局所水平パターンの合計9つに分類する。具体的には[図2]のように実際にサンプリングにより得られた画素とラベル画像の作成のため便宜上、付加された仮想的な画素からなる8方向に対応する8つの画素を考え、 $i$ 方向に対応する画素の濃淡値を $g(i)$ として次のようにその値を計算する。

1)  $i$ が奇数の時 (実際の画素)

$g(i)$ はその位置での実際の画素の濃淡値。

2)  $i$ が偶数の時 (仮想的な画素)

$g(i) = \{g((i+1) \bmod 8) + g((i-1) \bmod 8)\} / 2$ により計算する。(ここで $x \bmod 8$ は $x = 8q + r$  ( $0 \leq r \leq 7$ )なる $r$ を意味する。)

これら $g(i)$ をもとに局所平面の各方向における傾斜度( $grad(i)$ と書く)を、画素間距離の補正を考慮した上で(方向によって画素間の距離が異なる)次のように計算する。

$i$ :奇数  $\rightarrow grad(i) = \{g(i) - g((i+4) \bmod 8)\} / \sqrt{2}$

$i$ :偶数  $\rightarrow grad(i) = g(i) - g((i+4) \bmod 8)$

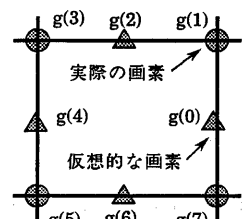
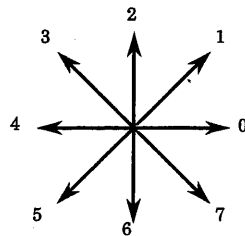
この傾斜度 $grad(i)$ に関する次の条件によって局所濃淡パターンを9つに分類しラベルを与える。

①  $\max(grad(i)) < T$ なら局所水平パターンとしてラベル $\Phi$ を与える。

②  $\max(grad(i)) \geq T$ なら最大の $grad(i)$ に対応する

$i$ を最大傾斜方向として持つ局所傾斜パターンとしてラベル $i(0 \sim 7)$ を与える。

即ちラベル画像は $\Phi$ と0~7の9つのラベル(三次元局所平面の最大傾斜の方向)で各 $2 \times 2$ メッシュを単位としてラベル付けしたものとなる。この傾斜度を求める操作は[図3]に示す一種の差分型オペレータ(テンプレート型)<sup>11)</sup>の適用として捉えることもできる。



[図1] 8方向

[図2] 8方向に対応する画素

-1	1	0	$\sqrt{2}$	1	1	$\sqrt{2}$	0
-1	1	$-\sqrt{2}$	0	-1	-1	0	$-\sqrt{2}$
0		1		2		3	
1	-1	0	$-\sqrt{2}$	-1	-1	$-\sqrt{2}$	0
1	-1	$\sqrt{2}$	0	1	1	0	$\sqrt{2}$
4		5		6		7	

[図3] 差分型オペレータ

666666666	6	666666666666666
7766666666666555		77666666666666655
77666666666665555		7766666666666665555
07776666666666655555		77666666666666655555
00077 322222 55555		0007765 322221 55554
0000 33222211 5555		00000 33322211 5445
0000 3333222111 5545		0000333332221114444
0000 34433 110 5445		00004444 000 444
0000 4444 1100 445		0000 55566667774444
0000 4444 0000 4444		0000 555666666 3343
0000 4444 000 4444		0000 5666666 33333
0000 4444 00004444		00000 22 433333
0000 4444 00004444		00002332211333333
0000 4444 000 4444		0000333211134444
0000 4444 700 4444		000 3332111 4454
0000 4444 7700 4444		000 44431111 5555
000 5555667777 3333		000 444 111155554
0000 5555666777 3333		0000 4444 1110 5555
0000765566666643333		000054444 111045545
00000 55566 33333		0000 4444 0111 5555
00000 33322223333		0000 4444 111144544
0000 3332222233		000133444 0111 4444
001123332222222		011123333 11123344
011223333		1122333 1112233
1122233		12222 222223
2222		

[図4] ラベル画像の例(0~7のみ表示)

ここで局所水平パターンと局所傾斜パターンのしきい値となるTの値については、対象画像の品質により微妙に調整することはせず、3段階程度の値を前もって決定しておき、その内のどれかを選択する程度にとどめておく。

ラベル画像の例を[図4]に示しておく。(0~7のラベルのみ表示)

## 2.2 ラベル画像上での線抽出

デジタル濃淡画像上で観測可能な線の特徴を次に示す。

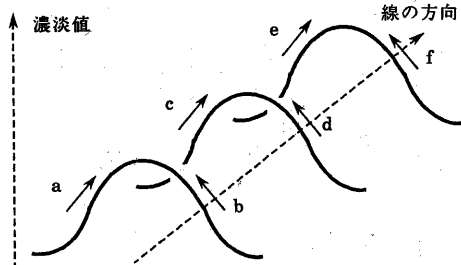
### I) 線の方向と垂直に観測

ほぼ線幅以内の間隔を隔てて、互いに反対方向を持った傾斜が存在する。

([図5]のaとb;cとd;eとfを参照)

### II) 線の方向と平行に観測

同じ方向を持った傾斜が線の方向と平行に連続して並ぶ。( [図5]のaとcとe;bとdとfを参照)



[図5] 線の特徴

この特徴を線の持つ拘束として利用する。ラベル画像上で線を抽出するため、上述の線の特徴における「傾斜」を2.1で述べた「局所傾斜パターン」と置き換えて考えることにより線が存在する部分でのラベルの配列条件を得る。

### ラベルの配列条件

「ラベルが示す方向の垂直方向に、ある個数以上並んでいる同じラベルを持った局所平面の並びを傾斜面と呼ぶことにする。線が存在するところでは、ほぼ線幅以内の間隔を隔てて平行に並んだ傾斜面のペアがラベル画像に出現する。そのペアは互いに逆方向のラベルを持ち、一方から見るとそのラベルが示す方向に他方が存在している。」

このような配列条件を満たすラベルの配列をラベル画像上で見つけることにより線らしい部分(線候補画素)を抽出する。その手順を以下[図6(a)]~[図6(c)]を参照しながら説明する。(lをパラメータとする)

まず記号を定義する。「同じラベルがそのラベルが示す方向に垂直にl個(0,2,4,6方向[図1参照]の時)または $l/\sqrt{2}$ 個(1,3,5,7方向[図1参照]の時)並んでいる時のそのラベルの並び」を $label(i)^l$ で表現する。(iはそのラベルが示す方向)

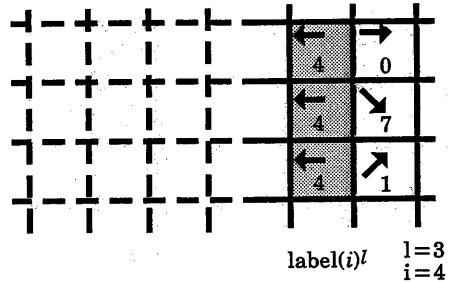


図6(a) 線抽出の過程[(1)~(2)]

(1) ラベル画像をラスタ走査しながら、4方向( $i=1\sim 4$ )[図1参照]のラベルのみに注目して、 $label(i)^l$ を見つける。

「[図6(a)]では、ハッチングしてあるラベル4の並びが $label(4)^3$ に対応。」

(2) その見つけた $label(i)^l$ に対して、 $i$ の逆方向に隣接する $label(i)^l$ がなければ次のステップへ進み、あれば(1)に戻り走査を続ける。

「[図6(a)]では、ハッチング部分の右隣に、同様のラベル4の並びがないので、次のステップへ進む。」

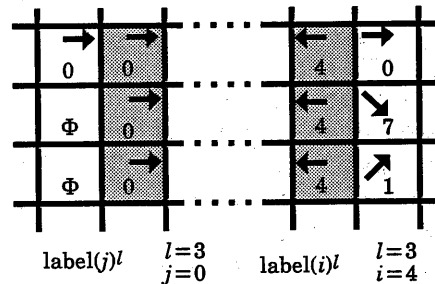


図6(b) 線抽出の過程[(3)~(4)]

(3)  $label(i)^l$ を見つけた位置を起点として、 $i$ 方向に $label(j)^l$ (但し $j=(i+4)\bmod 8$ )を探しにいく。この時、画像上に現れる線の最大線幅を与えておき $label(j)^l$ を探す過程でこれを越えれば(1)に戻り走査を続ける。

「[図6(b)]では、右側のハッチングしてあるラベル4の並びから、4の方向へ探しにいき、左側のハッチングしてあるラベル0の並びが $label(0)^3$ としてみつかる。」

(4) 見つけたlabel(j)lに対して、jの逆方向に隣接するlabel(j)lがなければ次のステップへ進み、あれば(3)に戻りさらにi方向にlabel(j)lを探しに行く。

「[図6(b)]では、左側のハッチング部分の左隣に、同様のラベル0の並びがないので、次のステップへ進む。」

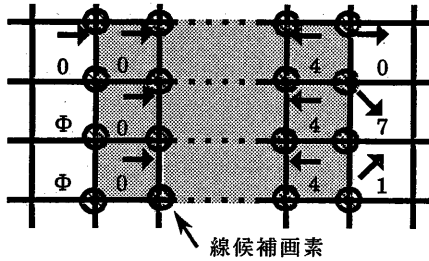


図6(c) 線抽出の過程[5]

(5) label(i)lとlabel(j)lの間の画素を線候補画素として抽出する。すべての画像を走査し終わるまで(1)に戻り以上の線抽出処理を繰り返す。

「[図6(c)]では、ハッチング部分のまるで囲んだ画素が線候補画素として抽出される。」

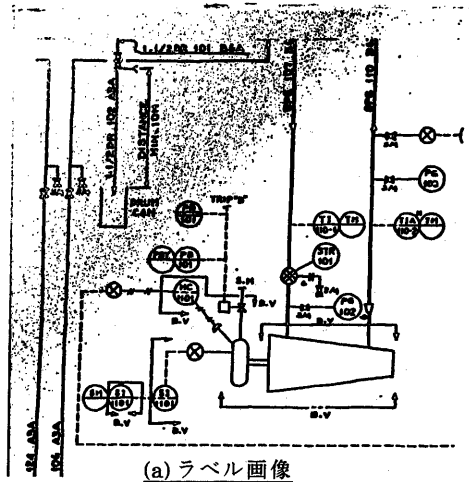
ここでパラメータlの値が大きければ、雑音を除去する効果は大きくなるが、文字など複雑な線図形部分ではそのすべての抽出が難しくなり、逆にlの値が小さければ逆に複雑な線図形部分も抽出できるが雑音には弱くなると思われる。

ラベル画像(0~7を黒、Φを白として二値で表現)と線抽出結果を[図7]に示す。(原画像は[図12(a)])

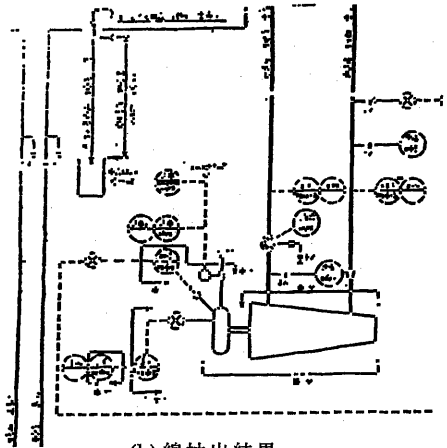
### 3 二値化処理

線図形は本質的に線からなるものであるが上述の線抽出処理では全ての線図形を抽出できない。即ち交点、屈折点や特に文字部分など構造が複雑な部分においては、全ての部分をここで述べた処理だけで抽出することは難しい。しかし、そのような部分においてもその一部は抽出されるので、その周辺領域も含めると全ての線図形がそこに含まれる可能性は非常に高い。よって、線として抽出された部分の各画素の濃淡値から求めたしきい値によって、その周辺領域も含む部分を二値化する。

しきい値適用範囲は線抽出処理で抽出された各線分(label(i)lとlabel(j)lにはさまれた部分)ごとに対して設定され、線幅に比例した大きさを持つ。その比例定数(k1,k2)は線の方角に対して平行・垂直に別々に設定する([図8]参照)(現在はk1=k2=1で固定)。また、しきい値も抽出された各線分ごとに決定され、抽出された線候補画素の濃淡値の平均値を

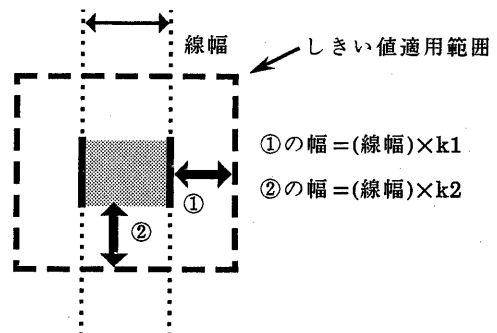


(a) ラベル画像



(b) 線抽出結果

[図7] 線抽出結果の例(原画像[図12(a)])



[図8] 二値化処理

しきい値としている。幾つかのしきい値適用範囲が重なった箇所では、その重なったしきい値適用範囲の複数のしきい値の平均をとる。

#### 4 実験結果と考察

本二値化方式のシュミレーション実験を行った。計算機はスーパーミニコンピュータNEC・MS190を使用し、入力装置はブックスキャナ(RICOH IS864)、出力装置は(RICOH LP4120)を使用した。対象画像としては、1)画像全体がかすれた青焼き図面(原画像は図9(a))、2)画像全体が汚れた青焼き図面(原画像は図10(a))、3)コピーの繰り返しによって画像全体に細かい粒状雑音がかかった図面(原画像は図11(a))、4)濃度値のむらが存在する青焼き図面(原画像は図12(a))の4種類の原画像を、それぞれ8本/mm,64階調(6bit)でサンプリングした1600×1600画素(20cm×20cm)の4枚の画像を使用した(以後、原図1,原図2,原図3,原図4と呼ぶ)。

本手法による二値化結果を図9～図12の(b)に示す。また画像全体をほぼ同一のしきい値で二値化できると予想される原図1～原図3に対してのみ、差分ヒストグラム法および判別分析法<sup>10)</sup>(画像処理サブルーチンパッケージSPIDERを利用)<sup>10)</sup>で求めた最適しきい値による二値化結果のうち良好な方を図9～図11の(c)に示した。

図9～図11の(b)(本手法)と(c)(最適しきい値による固定しきい値法)を比較すると、本手法は二値化のしきい値選択という点から見ても、雑音除去という点から見ても比較的良好な結果が得られている。また本手法の大きな特徴として、図12(b)に示すように画像全体を同一しきい値で二値化できないようなむらのある画像に対して良好な二値化結果が得られることが挙げられる。

なお画像一枚にかかるCPU時間は約20分程度である。

#### 5 あとがき

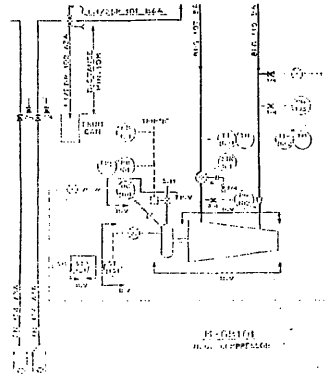
局所的な濃淡値のパターンをラベル化し、線の拘束によりラベルが規則的に配列することを利用して線を抽出し、その抽出された部分の周辺のみを局所的に求めたしきい値により二値化する二値化手法について述べた。

本手法の特徴を列挙すると、

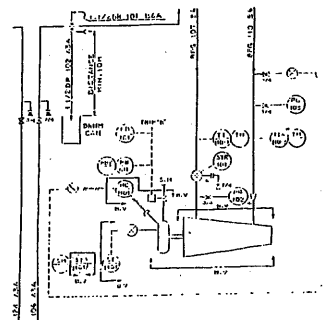
- 1) 線の濃淡値(絶対値)によらない手法なので、画像全体に濃淡値の高いものや低いものが存在しても、それに対処できる。
- 2) 局所的にしきい値を決定するので、固定しきい値では二値化できないむらのある画像に対して、有効である。
- 3) 細かい粒状雑音に対して、雑音除去の効果がある。

る。

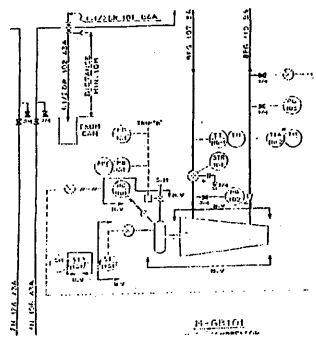
また二値化結果の問題点は線抽出の誤りに起因するので、今後の課題としては線抽出結果の改善が挙げられる。



(a) 原画像(全体的にかすれた青焼き図面)



(b) 本手法による二値化結果



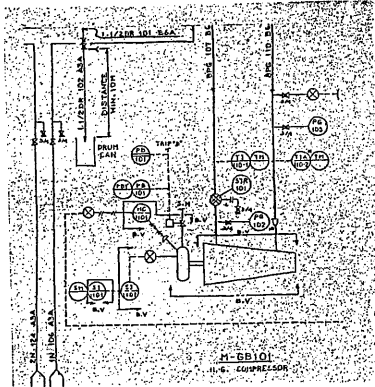
(c) 最適しきい値による二値化結果(固定しきい値)

【図9】 実験結果

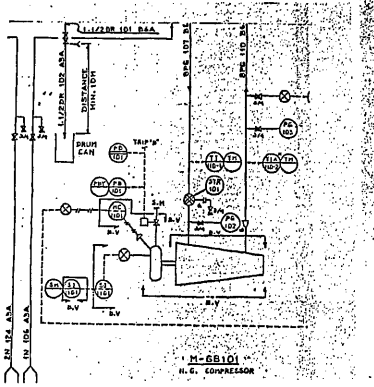
参考文献

- [1] 大村:“図面認識機能をもったEWSの中小企業における有効性調査分析”,情報処理学第31回全国大会,3K-6,pp.1751-1752(1985)
- [2] J.S.Weszka:“A Survey of Threshold Selection Techniques”,CGIP,7,2,pp.256-265(1978)
- [3] 大津:“判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法”,電子通信学会論文誌,Vol.J63-D,No4,pp.349-356(1980)
- [4] 岡田 他:“尾根点・谷点方式による文書画像の前処理入力装置”,電子通信学会技術研究報告書,EC82-5(1982)

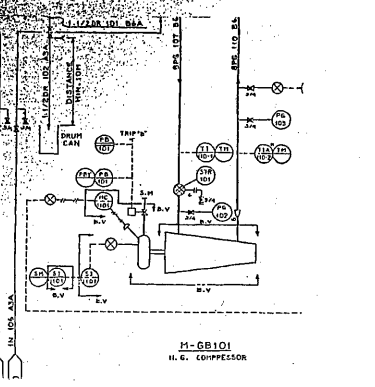
- [5] 上田,名倉,森:“多値読みとり図面の画質改善手法の検討”,電子通信学会技術研究報告書,IE84-94(1984)
- [6] 長尾,金出:“パターン認識における線線の抽出”,信学誌,55,pp.1618-1627(1972)
- [7] 坂根,田村:“SPIDER開発を通して見たデジタル画像処理アルゴリズムの現状(3)-エッジと線の検出-”,情報処理学会研資,コンピュータビジョン,4-4(1980)
- [8] “画像処理サブルーチンパッケージ SPIDER USER'S MANUAL”,電子技術総合研究所



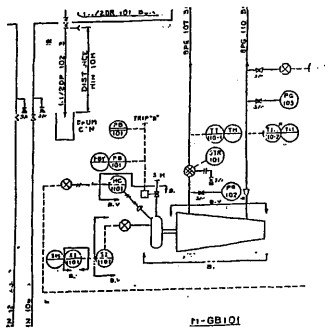
(a) 原画像(全体的に汚れた青焼き図面)



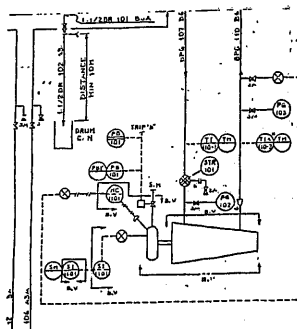
(a) 原画像(粒状雑音の載った図面)



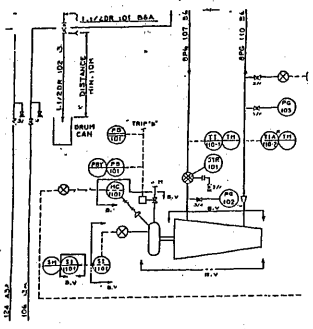
(a) 原画像(濃淡値にむらのある青焼き図面)



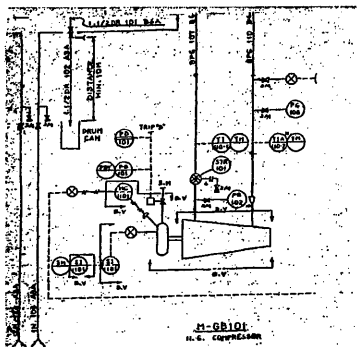
(b) 本手法による二値化結果



(b) 本手法による二値化結果

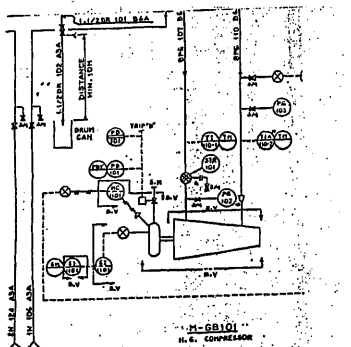


(b) 本手法による二値化結果



(c) 最適しきい値による二値化結果(固定しきい値)

[図10] 実験結果



(c) 最適しきい値による二値化結果(固定しきい値)

[図11] 実験結果

[図12] 実験結果