

## 平均隣接数の高速算出法の検討

笹川耕一 黒田伸一 池端重樹

三菱電機 産業システム研究所

661 尼崎市塚口本町8-1-1

あらまし 筆者らは、先に、しきい値を変えながら2値化したときの連結成分のまとまりの良さを表す尺度として平均隣接数を定義し、この尺度が極大となる値を適切なしきい値として決定する新しいしきい値決定法(平均隣接数2値化法)を提案した。本手法のように、しきい値を変えながら実際に2値化して適切な値を決定する適応しきい値法は、変化させるしきい値の数に比例した演算量を必要とする。この問題に対して、筆者らは、実際に2値化することなしに、平均隣接数を高速に算出する方法を提案する。本報告では、平均隣接数の高速算出法として、まずランクフィルタとヒストグラム処理の組み合わせによる方法について述べる。次にこの方法が、最小値フィルタとヒストグラム処理の組み合わせに帰着することを示す。さらに、その演算量を減らす改良法について述べる。

和文キーワード 2値化, しきい値決定, まとまりの良さ, ランクフィルタ, ヒストグラム

## Fast Algorithm for Calculating Mean Adjacent-Pixel Number

Koichi Sasakawa Shin-ichi Kuroda Shigeki Ikebata

Industrial Electronics and Systems Development Laboratory,

Mitsubishi Electric Corporation

8-1-1, Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki-shi, 661, Japan

### Abstract

We have proposed a method of selecting an appropriate adaptive threshold in binarization of a gray-level image. A measure representing compactness of a connected component in an image, "the mean adjacent-pixel number," is introduced. Conventional adaptive thresholding methods which determines the threshold by varying its value during the actual processing of binarization generally have a shortcoming in that the amount of computation is proportional to the number of thresholds. This paper proposes a method to calculate the mean adjacent-pixel number at high speed by combining the rank filters and histograms so that the amount of computation becomes independent of the number of thresholds.

英文 key words binarization, threshold selection, compactness, rank filter, histogram

## 1 はじめに

濃淡画像において、対象および背景がそれぞれ異なる濃度値をもち、かつ両者の間に有意な差があるとき、あるしきい値で0または1に2値化する処理は、画像中の対象を背景から抽出する非常に有効な処理である。2値化処理においては、対象と背景を分離するためのしきい値をどこに決定するかということが本質的な問題であり、これまでに数多くの手法 [1,2,3,4] が提案されてきているが、対象が小さく、ノイズの多い低コントラストな画像に対して、適切なしきい値が得られない等の問題点があった。

筆者らは、先に、従来の2値化処理の問題点を解決する新しいしきい値決定法（平均隣接数2値化法）を提案した [8,9]。これは、しきい値を変えながら2値化したときの連結成分のまとまりの良さを表す尺度として平均隣接数を定義し、この尺度が極大となる値を適切なしきい値として決定するというものである。

本手法のように、しきい値を変えながら実際に2値化して適切な値を決定する適応しきい値法 [5,6,7] は、変化させるしきい値の数に比例した演算量を必要とする。この問題に対して、筆者らはランクフィルタ（M個の入力データの中で、大きい方からj番目の値を出力するフィルタ）とヒストグラム処理の組み合わせにより、実際に2値化することなしに、平均隣接数を高速に算出する方法を提案する。これは最小値フィルタとヒストグラム処理の組み合わせにより、境界点の画素数を算出する鳥生らの方法 [10,11] を発展させたものであり、変化させるしきい値の数に依存しない演算量で平均隣接数の算出が可能になる。

本報告では、平均隣接数の高速算出法として、まずランクフィルタとヒストグラム処理の組み合わせによる方法について述べる。次にこの方法が、最小値フィルタとヒストグラム処理の組み合わせに帰着することを示す。さらに、その演算量を減らす改良法について述べる。

## 2 平均隣接数によるしきい値決定法

筆者らは適応しきい値法の考え方をもとに、しきい値を変えながら2値化したときの連結成分のまとまりの良さを表す尺度として平均隣接数を定義し、これを判断基準の尺度とする新たなしきい値決定法を提案した。

### 2.1 適応しきい値法の考え方

背景と対象を含む濃淡画像を2値化するのに、しきい値を変えながら実際に2値化してみて、その結果を何らかの判断基準に基づいて評価することにより適切なしきい値を決定しようとする考え方がある。このような考え方を適応しきい値法 (Adaptive thresholding) と呼ぶ。

いま点  $(x, y)$  の濃度が  $G(x, y)$  で表される濃淡画像を考える。なお濃度は0から  $N-1$  までの  $N$  レベルの値をとるとする。しきい値  $T$  を

$$T_{min} \leq T \leq T_{max} \quad (1)$$

の範囲で変えながら、この濃淡画像を2値化する。通常  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  はそれぞれ濃度の最小値、最大値を設定すればよい。しきい値  $T$  に対する2値画像を

$$\begin{aligned} B(x, y; T) &= 1 \quad G(x, y) \geq T \\ &= 0 \quad G(x, y) < T \end{aligned} \quad (2)$$

で表すと、それぞれの2値画像  $B(x, y; T)$  から計測される特徴量をもとに、その2値画像の良否を表す何らかの評価関数  $R(T)$  を算出する。この評価関数  $R(T)$  を判断基準の尺度に用いて適切なしきい値を決定する。

このような適応しきい値法においては、しきい値決定のための判断基準の尺度としてどのような評価関数を採用するかが最も重要である。評価関数としては、しきい値決定の判断が安定に行えると同時に、できるだけ簡単に計測できるものが望ましい。

### 2.2 平均隣接数の定義

背景に対して明るい（濃度値の大きい）対象を含む濃淡画像をしきい値を上げながら2値化したとき、それぞれの2値画像における0と1との配置状態はしだいに変化していく。このとき1の成分に着目すると、直観的にはその連結成分が「まとまった」領域として抽出されるしきい値が適切な値であると考えることができる。ここで「まとまった」領域とは、境界線のぎざぎざや領域内部の穴等の少ない連結成分をさす。

筆者らは連結成分のまとまりの良さを表す評価関数として、以下に示す平均隣接数を定義した。まず図1のように隣接数を定義する。すなわち  $3 \times 3$  の2値パターンにおいて、中心が1であるとき、その8近傍の1の数を隣接数と呼ぶことにする。そしてしきい値  $T$  に対する2値画像において、1の点に関して隣接数の

総和を求め、これを1の点の総数(面積)で割った値を平均隣接数と定義する。

いま、しきい値  $T$  に対する2値画像  $B(x, y; T)$  において、隣接数が  $i$  ( $i = 0, \dots, 8$ ) である1の点の個数を  $a_i(T)$  で表すと、隣接数の総和  $A(T)$  および面積  $S(T)$  はそれぞれ

$$A(T) = \sum_{i=0}^8 i \cdot a_i(T) \quad (3)$$

$$S(T) = \sum_{i=0}^8 a_i(T) \quad (4)$$

となり、平均隣接数  $R(T)$  は

$$R(T) = \frac{A(T)}{S(T)} \quad (5)$$

で表される。

このようにすれば、内部点パターンの隣接数は8である。また境界点パターンの隣接数は、その近傍形状に応じて0から7までの値をとり、内部点パターンに近いほど大きな値となる。したがって、内部点の比率が高いほど(まとまりが良いほど)この平均隣接数は大きい値をとると予想される。筆者らは、この平均隣接数を連結成分のまとまりの良さを表す評価関数として用いる。

### 2.3 しきい値の決定

しきい値  $T$  を変えながら2値化したとき、平均隣接数  $R(T)$  がどのように変化するかについて考える。たとえば対象および背景が図2のような濃度分布をもつとき、しきい値  $T$  に対する平均隣接数  $R(T)$  の変化の様子は図3のようになると考えられる。

#### (1) フェーズI

しきい値  $T$  が低いときは全画面が1の2値画像となり、 $R(T)$  は高い値を示す。

#### (2) フェーズII

しきい値を上げていくと背景のノイズの影響で2値画像に穴等が生じ、境界点の比率が高くなり  $R(T)$  は減少していく。

#### (3) フェーズIII

背景のノイズの影響がなくなるにつれて、対象がまとまった領域として抽出されてくるため、 $R(T)$  は増加していく。

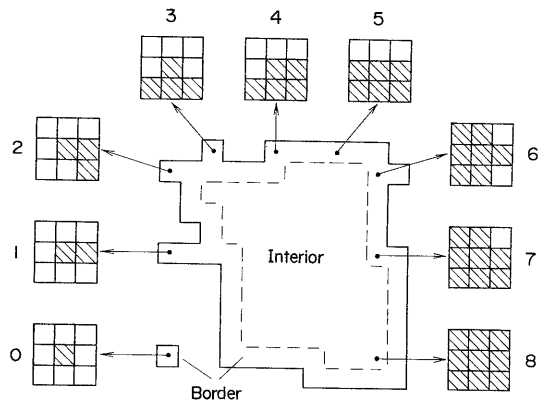


図1: 隣接数の定義

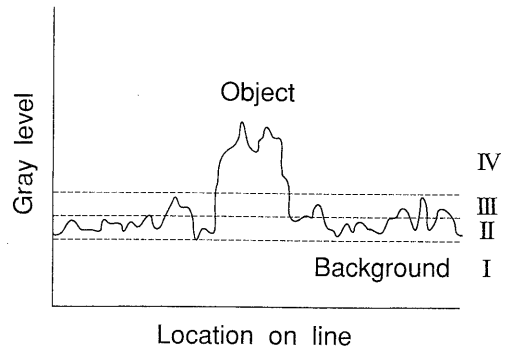


図2: 濃度分布

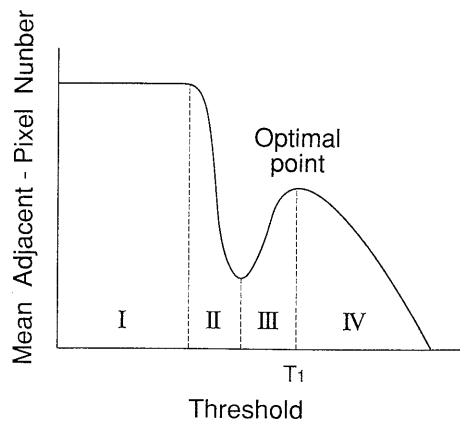


図3: 平均隣接数の変化

#### (4) フェーズIV

その後、領域に占める内部点の比率が低くなっていくので、 $R(T)$ は再び減少していく。

この場合、平均隣接数は極小点と極大点をもち、対象がまとまった領域として抽出されるときに、極大点が現れると予想される。そこで、平均隣接数が極大となるしきい値 $T_1$ を適切なしきい値として決定するようにした。

### 3 平均隣接数の高速算出法

本手法のように、しきい値を変えながら実際に2値化して適切な値を決定する適応しきい値法は、変化させるしきい値の数に比例した処理時間あるいはハードウェア規模を必要とする。これは、実際の応用における適応しきい値法に共通の欠点である。この問題に対して筆者らは、ランクフィルタとヒストグラム処理の組み合わせにより、実際に2値化することなしに、平均隣接数を高速に算出する方法を提案する。

#### 3.1 ランクフィルタとヒストグラム処理

図4に、ランクフィルタとヒストグラム処理の組み合わせにより、平均隣接数を高速に算出する手順を示す。

まず2値化すべき濃淡画像 $G(x, y)$ に対して、以下のような9種類のフィルタ処理を施した画像 $F_j(x, y)$  ( $j = 0, \dots, 8$ )を生成する。

$$\begin{aligned} F_j(x, y) &= \min(G_0, Z_j) \\ &\quad (j = 1, \dots, 8) \\ &= G_0 \\ &\quad (j = 0) \end{aligned} \quad (6)$$

$$Z_j = \text{rank}_j(G_1, \dots, G_8) \quad (7)$$

ここに、 $G_0$ は注目点 $(x, y)$ の濃度値、 $G_1, \dots, G_8$ はその8近傍の濃度値、 $Z_j$ はランクフィルタの出力である。また、 $\text{rank}_j(G_1, \dots, G_8)$ は注目点の8近傍の濃度値の中で大きい方から $j$ 番目 ( $j = 1, \dots, 8$ )の値を出力する演算を表し、 $\min(G_0, Z_j)$ は $G_0$ と $Z_j$ の小さい方の値を出力する演算を表す。

次に、9種類のフィルタ処理を施した画像 $F_j(x, y)$  ( $j = 0, \dots, 8$ )に対して、その濃度ヒストグラム $h_j(k)$  ( $k = 0, \dots, N-1$ ;  $j = 0, \dots, 8$ )を作成する。ここに

$h_j(k)$ は、フィルタ処理後の画像 $F_j(x, y)$ において濃度値 $k$ をもつ画素数を表す。そこで

$$F_j(x, y) \geq T \quad (8)$$

となる画素数を $H_j(T)$ で表すと

$$H_j(T) = \sum_{k=T}^{N-1} h_j(k) \quad (j = 0, \dots, 8) \quad (9)$$

となる。 $F_j(x, y)$ は濃淡画像 $G(x, y)$ の注目点の濃度値 $G_0$ とその8近傍のうち大きい方から $j$ 番目の値 $Z_j$ との小さい方の値であるので、式8が成り立つとき、注目点の濃度値 $G_0$ はしきい値 $T$ 以上となり、しかもその8近傍においても $T$ 以上の濃度値をもつものが少なくとも $j$ 個は存在する。したがって、 $G(x, y)$ をしきい値 $T$ で2値化すると、注目点は1に、その8近傍のうち $j$ 個以上は1に2値化されるので、この注目点の隣接数は $j$ 以上となる。つまり式8を満たす画素数 $H_j(T)$ は、しきい値 $T$ に対する2値画像 $B(x, y; T)$ において、隣接数が $j$ 以上の画素数にほかならない。

以上より、しきい値 $T$ に対する2値画像 $B(x, y; T)$ において、隣接数が $i$ である1の点の個数 $a_i(T)$ を用いて $H_j(T)$ を表すと

$$H_j(T) = \sum_{i=j}^8 a_i(T) \quad (j = 0, \dots, 8) \quad (10)$$

となる。逆に、隣接数が $i$ である1の点の個数 $a_i(T)$ は

$$\begin{aligned} a_i(T) &= H_i(T) - H_{i+1}(T) \\ &\quad (i = 0, \dots, 7) \\ &= H_8(T) \\ &\quad (i = 8) \end{aligned} \quad (11)$$

で表される。このように、しきい値 $T$ に対する2値画像 $B(x, y; T)$ において、隣接数が $i$ である1の点の個数 $a_i(T)$ は、実際に2値化して計測しなくても、式6のフィルタ処理の結果の画像 $F_j(x, y)$  ( $j = 0, \dots, 8$ )に対する9種類の濃度ヒストグラム $h_j(k)$ から算出できることがわかる。また、 $A(T)$ および $S(T)$ を $H_j(T)$ を用いて表すと

$$\begin{aligned}
A(T) &= \sum_{i=0}^8 i \cdot a_i(T) \\
&= 0 \cdot (H_0(T) - H_1(T)) \\
&\quad + 1 \cdot (H_1(T) - H_2(T)) \\
&\quad + 2 \cdot (H_2(T) - H_3(T)) \\
&\quad + 3 \cdot (H_3(T) - H_4(T)) \\
&\quad + 4 \cdot (H_4(T) - H_5(T)) \quad (12) \\
&\quad + 5 \cdot (H_5(T) - H_6(T)) \\
&\quad + 6 \cdot (H_6(T) - H_7(T)) \\
&\quad + 7 \cdot (H_7(T) - H_8(T)) \\
&\quad + 8 \cdot H_8(T) \\
&= \sum_{j=1}^8 H_j(T)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(T) &= \sum_{i=0}^8 a_i(T) \\
&= H_0(T) \quad (13)
\end{aligned}$$

となる。つまり、平均隣接数  $R(T)$  は、式 6 のフィルタ処理の結果の画像  $F_j(x, y)$  ( $j = 0, \dots, 8$ ) に対する 9 種類の濃度ヒストグラム  $h_j(k)$  から算出できる。

このように、ランクフィルタとヒストグラム処理を組み合わすことにより、変化させるしきい値の数に依存しない演算量で、実際に 2 値化することなしに平均隣接数の算出が可能となる。

### 3.2 最小値フィルタとヒストグラム処理

3.1 節では平均隣接数がランクフィルタとヒストグラム処理の組み合わせにより、実際に 2 値化することなしに高速に算出する方法について述べた。この節では隣接数の総和  $A(T)$  が、ランクフィルタより単純な最小値フィルタとヒストグラム処理の組み合わせで実現できることを示す。

まず 2 値化すべき濃淡画像  $G(x, y)$  に対して、以下のような 9 種類のフィルタ処理を施した画像  $\tilde{F}_n(x, y)$  ( $n = 0, \dots, 8$ ) を生成する。

$$\begin{aligned}
\tilde{F}_n(x, y) &= \min(G_0, G_n) \\
&\quad (n = 1, \dots, 8) \\
&= G_0 \\
&\quad (n = 0) \quad (14)
\end{aligned}$$

つまり、注目点の濃度  $G_0$  とその 8 近傍の各点の濃度  $G_n$  ( $n = 1, \dots, 8$ ) とを比較して小さい方の値を出力する演算である。

次に 9 種類のフィルタ処理を施した画像  $\tilde{F}_n(x, y)$  ( $n = 0, \dots, 8$ ) に対して、その濃度ヒストグラム  $\tilde{h}_n(k)$  ( $k = 0, \dots, N-1; n = 0, \dots, 8$ ) を作成する。ここに  $\tilde{h}_n(k)$  は、フィルタ処理後の画像  $\tilde{F}_n(x, y)$  において濃度値  $k$  をもつ画素数を表す。ここで式 6 を変形していくと、以下のようなになる。

$$\begin{aligned}
F_j(x, y) &= \min(G_0, \text{rank}_j(G_1, \dots, G_8)) \\
&= \text{rank}_j(\min(G_0, G_1), \dots, \\
&\quad \min(G_0, G_8)) \\
&= \text{rank}_j(\tilde{F}_1(x, y), \dots, \tilde{F}_8(x, y)) \quad (15)
\end{aligned}$$

つまり、 $F_j(x, y)$  ( $j = 1, \dots, 8$ ) は式 14 で表される最小値フィルタの出力

$$\tilde{F}_1(x, y), \dots, \tilde{F}_8(x, y) \quad (16)$$

を順位付けしたものである。したがってヒストグラムに関しては次の関係が成立する。

$$\sum_{j=1}^8 h_j(k) = \sum_{n=1}^8 \tilde{h}_n(k) \quad (17)$$

ここで

$$\tilde{F}_n(x, y) \geq T \quad (18)$$

となる画素数を  $\tilde{H}_n(T)$  で表すと

$$\tilde{H}_n(T) = \sum_{k=T}^{N-1} \tilde{h}_n(k) \quad (n = 0, \dots, 8) \quad (19)$$

となる。式 17 の関係を用いると、隣接数の総和  $A(T)$  は

$$\begin{aligned}
A(T) &= \sum_{j=1}^8 H_j(T) \\
&= \sum_{j=1}^8 \sum_{k=T}^{N-1} h_j(k) \\
&= \sum_{k=T}^{N-1} \sum_{j=1}^8 h_j(k) \\
&= \sum_{k=T}^{N-1} \sum_{n=1}^8 \tilde{h}_n(k) \\
&= \sum_{n=1}^8 \sum_{k=T}^{N-1} \tilde{h}_n(k) \\
&= \sum_{n=1}^8 \tilde{H}_n(T) \quad (20)
\end{aligned}$$

で表される。ここで最小値選択処理の出力である  $\hat{F}_n(x, y)$  ( $n = 1, \dots, 8$ ) は、注目点の濃度  $G_0$  とその 8 近傍のなかの 1 つの点の濃度  $G_n$  ( $n = 1, \dots, 8$ ) との小さい方の値であるので、 $\hat{H}_n(T)$  ( $n = 1, \dots, 8$ ) は濃淡画像をしきい値  $T$  で 2 値化したとき、注目点が 1 に、その 8 近傍のうち 1 点が 1 に、他の 7 点が 0 または 1 になる  $3 \times 3$  のパターン数を表している。 $\hat{H}_n(T)$  ( $n = 1, \dots, 8$ ) のそれぞれは、しきい値  $T$  に対する 2 値画像において隣接数が 1 から 8 までの  $3 \times 3$  パターン数を含んでおり、

$$\sum_{n=1}^8 \hat{H}_n(T) \quad (21)$$

は、隣接数が  $i$  ( $i = 1, \dots, 8$ ) の  $3 \times 3$  パターン数  $a_i$  をそれぞれ  $i$  回ずつ加算したものの総和となり、隣接数の総和に等しい。

また、面積  $S(T)$  は

$$S(T) = \hat{H}_n(T) \quad (22)$$

で表される。これは、平均隣接数が式 14 の最小値フィルタとヒストグラム処理の組み合わせにより実現できることを示している。つまり式 6 では、注目点の濃度との最小値選択の前に、8 近傍の点の濃度の順位付けを行う必要があったのに対して、式 14 では、注目点の濃度との最小値選択処理だけで済むことになり、演算量を大幅に削減できる。

### 3.3 高速算出法の改良

いま図 5 のように、 $3 \times 3$  の局所領域 1 とその右に 1 画素ずれた局所領域 2 を考えると、局所領域 1 の 2 点の濃度 ( $G_0, G_1$ ) と局所領域 2 の 2 点の濃度 ( $G_5, G_0$ ) は、それぞれ同じである。

したがって、局所領域 1 の

$$\hat{F}_1 = \min(G_1, G_0) \quad (23)$$

と局所領域 2 の

$$\hat{F}_5 = \min(G_5, G_0) \quad (24)$$

とは同じ値になる。つまり画像全体でみると、 $\hat{F}_1$  と  $\hat{F}_5$  のヒストグラムは同じになる。また、 $3 \times 3$  の局所領域 1 とその右に 1 画素、下に 1 画素ずれた局所領域 3 を考えると、局所領域 1 の 2 点の濃度 ( $G_0, G_2$ ) と局所領域 3 の 2 点の濃度 ( $G_6, G_0$ ) は、それぞれ同じである。したがって、局所領域 1 の

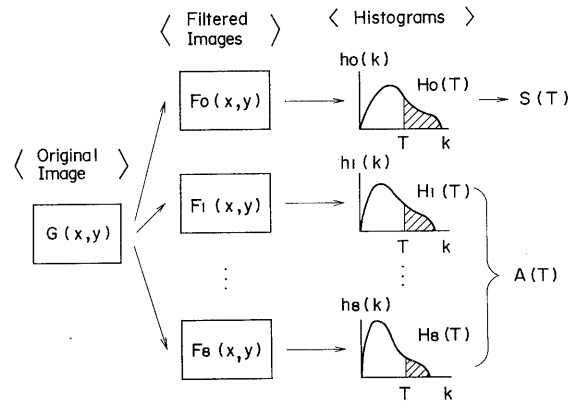


図 4: 平均隣接数の高速算出法

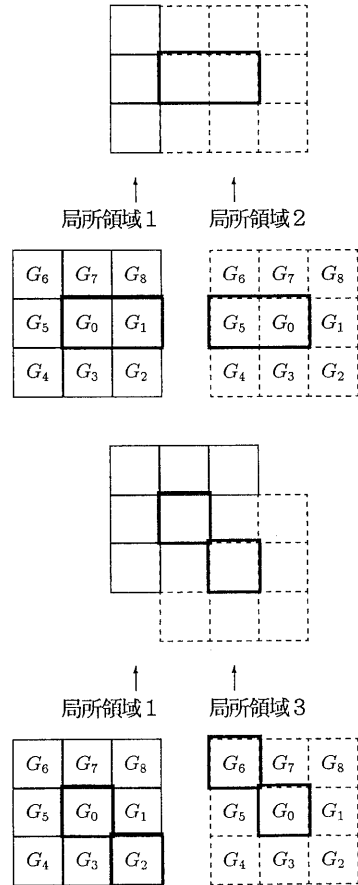


図 5: 最小値選択処理の同一性

$$\bar{F}_2 = \min(G_2, G_0) \quad (25)$$

と局所領域3の

$$\bar{F}_6 = \min(G_6, G_0) \quad (26)$$

とは同じ値になる。つまり画像全体でみると、 $\bar{F}_2$ と $\bar{F}_6$ のヒストグラムは同じになる。

同様にして、 $\bar{F}_3$ と $\bar{F}_7$ のヒストグラム、 $\bar{F}_4$ と $\bar{F}_8$ のヒストグラムは同じになる。実際に図6のような5×5の濃淡画像に対する $\bar{F}_1$ から $\bar{F}_8$ のヒストグラムは図7のようになる。

以上より $\bar{F}_n$ のヒストグラムにおいて、濃度値 $k$ をもつ画素数 $\bar{h}_n(k)$ には、

$$\bar{h}_n(k) = \bar{h}_{n+4}(k) \quad (n = 1, \dots, 4) \quad (27)$$

の関係が成立する。また式18を満たす画素数 $\bar{H}_n(T)$ にも

$$\bar{H}_n(T) = \bar{H}_{n+4}(T) \quad (n = 1, \dots, 4) \quad (28)$$

の関係が成立する。そこで、式20に式28を適用すると、隣接数の総和 $A(T)$ は、

$$\begin{aligned} A(T) &= \sum_{n=1}^4 \{\bar{H}_n(T) + \bar{H}_{n+4}(T)\} \\ &= 2 \cdot \sum_{n=1}^4 \bar{H}_n(T) \end{aligned} \quad (29)$$

と表される。すなわち、隣接数の総和 $A(T)$ と面積 $S(T)$ は、最小値選択処理の結果 $\bar{F}_n$  ( $n = 0, \dots, 4$ )に対する5種類のヒストグラムから求められ、これらをもとに平均隣接数 $R(T)$ は算出できる。また式29は、

$$A(T) = 2 \cdot \sum_{n=5}^8 \bar{H}_n(T) \quad (30)$$

と書くこともできる。この場合、隣接数の総和 $A(T)$ と面積 $S(T)$ は、最小値選択処理の結果 $\bar{F}_n$  ( $n = 0, 5, \dots, 8$ )に対する5種類のヒストグラムから求められ、これらをもとに平均隣接数 $R(T)$ は算出できる。

節3.2で述べた方法では、最小値選択処理の結果 $\bar{F}_n$  ( $n = 0, \dots, 8$ )に対する9種類のヒストグラムを作成する必要があったのに対して、この方法では、5種類のヒストグラムを作成するだけで済むため、約1/2の演算量で平均隣接数の算出が可能となる。

0	0	0	0	0
0	5	4	3	0
0	4	1	2	0
0	3	3	2	0
0	0	0	0	0

図6: 5×5の濃淡画像

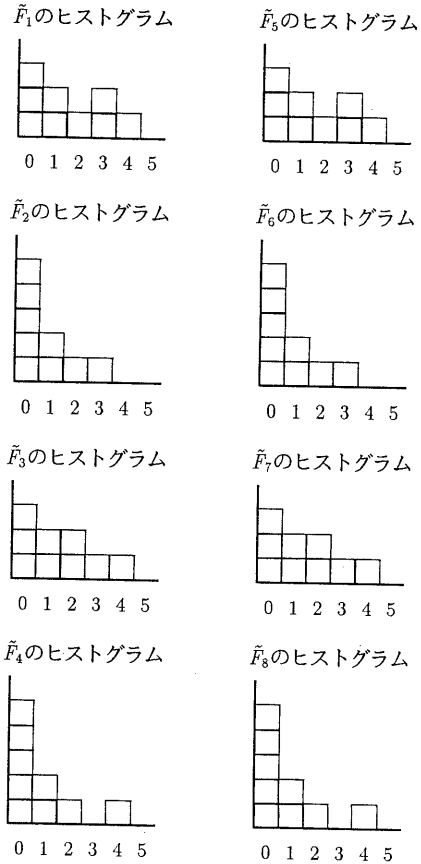


図7: 最小値選択処理後のヒストグラム

#### 4 おわりに

2値化のしきい値決定において、しきい値を変えながら2値化したときの連結成分のまとまりの良さを表す尺度として平均隣接数を定義し、この尺度が極大となる値を適切なしきい値として決定する方法を提案した。

本手法のように、しきい値を変えながら実際に2値化した結果を評価する適応しきい値法の欠点である演算量の多さの問題に対して、ランクフィルタとヒストグラム処理の組み合わせにより、変化させるしきい値の数に依存しない演算量で、平均隣接数を高速に算出する方法を提案した。またこの処理がより単純な最小値フィルタとヒストグラム処理の組み合わせで実現できることを示した。さらに、その演算量を減らす改良法について述べた。

以上で述べた方法を用いることにより、実際に2値化して計数しなくても、平均隣接数が高速に算出できるので、ハードウェア化によるリアルタイム処理が可能になる。

#### 参考文献

- [1] P. K. Sahoo, S. Soltani, A. K. C. Wong and Y. C. Chen : " A Survey of Thresholding Techniques ", CGIP, 41, pp. 233-260 (1988)
- [2] S. U. Lee, S. Y. Chung, R. H. Park : " A Comparative Performance Study of Several Global Thresholding Techniques for Segmentation ", CVGIP, 52, pp. 171-190 (1990)
- [3] 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), J63-D, pp. 349-356 (1980)
- [4] J. Kittler, J. Illingworth : " Minimum Error Thresholding ", Pattern Recognition, 19, 1, pp. 41-47 (1986)
- [5] D. L. Milgram : " Region Extraction using Convergent Evidence ", CGIP, 11, 1, pp.1-12 (1979)
- [6] Y. J. Lin : " Segmentation of Military Vehicles for FLIR Target Detection ", Conf. Proc. IEEE Southeastcon., 1981, pp. 111-114 (1981)
- [7] 谷口倫一郎, 河口英二? " 2値画像の複雑さと多値画像の閾値処理に関する考察", 信学論(D), J70-D, 1, pp.164-174 (1987)
- [8] 笹川耕一, 黒田伸一, 池端重樹? " 平均隣接数に着目したしきい値決定法", 信学技報, PRU89-25, pp.49-56 (1989)
- [9] 笹川耕一, 黒田伸一, 池端重樹? " 平均隣接数に着目したしきい値決定法", 信学論(D-II), J73-D-II, 3, pp.360-366 (1990)
- [10] 鳥生隆, 岩瀬洋道? " 最小値フィルタを利用した高速境界長ヒストグラム算出法としきい値決定への応用", 昭63信学総全大, D-219(1988)
- [11] 鳥生隆, 岩瀬洋道, 後藤敏行? " 最小値フィルタを利用した2値化のしきい値選択法", 信学論(D-II), J72-D-II, 11, pp.1800-1806 (1989)