

平均濃度近似による濃淡画像の2値化表示方式†

黒 沢 由 明††

本論文は濃淡画像の2値表示の新方式について述べたものである。濃淡画像を黒と白の2値により疑似的に表示する代表的な方式として、組織ディザ法や平均誤差最小法がすでに知られている。しかしながらこれらの方法ではそれぞれ画質や処理量の多さが問題となっていた。本方式はこれらの問題を解決したもので、画質は平均誤差最小法と同程度、またハードウェア容量は組織ディザ法よりわずかに多い程度であり、さらに表示ドットの大きさや配列に依存することなく2値化を行え、また中間調の文字など微細構造を有する画像も鮮明に表示できる。本方式は小領域内における黒点の占める面積比、すなわち平均濃度に基づいて2値化を行う方式である。この平均濃度はこれから2値化するドットとその周囲のすでに2値化の終了したドットについて計算され、これから2値化するドットの黒、白の決定は、それが黒のときの平均濃度と白のときのそれを計算して、どちらが入力信号に近いかを調べ、近いほうを採用することにより行われる。これを実現するハードウェアは基本的にはすでに2値化の終了したドット情報を蓄えるラインバッファと、ROM、比較器のみでよい。このように本方式のハードウェア化は簡単であり、しかも画質がよいので、ファクシミリ、コピー、写真製版等の各方面への応用が期待できる。

1. ま え が き

黒と白の2値による濃淡表現とは、多階調出力ができないドット出力装置に濃淡画像を疑似的に出力する場合に用いられる方法で、ファクシミリ、複写、写真製版、画像処理装置の出力部等に应用される。これまで数多くの方式^{1)~3)}が提案されてきたが、その代表例は組織ディザ法⁴⁾である。組織ディザ法は方式が簡単であるが、Bayerのパターン⁴⁾等では階調性(なめらかさ)に問題があり、網点型のパターンでは解像度に問題がある。画質のよい平均誤差最小法⁵⁾は処理量が多すぎてハードウェア化が困難であり、筆者らがこれら2方式の中間的な存在として提案した多段分割量子化法^{6),7)}も同様である。本報告で提案する方式は、階調性、解像度が良好で、しかも簡単なハードウェアで実現できるものである。また、出力プリンタのドットの重なりが多い場合に、従来方式では分散型パターンを用いると階調性が悪くなるために、解像度を犠牲にした網点型のパターンが用いられてきたが、本方式ではこのような場合にも適用することができ、良好な画質を得ることができる。

本方式の特長は実現方法が単純なことから、出力画像として平均誤差最小法と同等のものが得られることと、組織ディザ法のそれと比べて画質がよいことである。また、本方式では出力ドットの形状、配列に依存せずに濃淡の2値化が可能であり、このことは組織ディザ法、平均誤差最小法には見られなかった新しい特長である。これらの特長は、2値化済のドット情報を単純な形式でフィードバックさせる、新しい考え方によって実現されている。

2. 平均濃度近似法

2.1 基本 概念

白と黒の2値のみで濃淡を疑似的に表現する方法の基本的アイデアは従来のどの方式にも共通している。それは次のような考え方である。すなわち、ある小領域における黒面積の占める割合をコントロールすることによって、その小領域の濃淡を表現するという考え方である。このとき、この黒面積の占める割合はその小領域の濃度と見なされ、この濃度を原画に近づけることにより濃淡画像の疑似表示が行われる。本方式がこの考え方に基礎を置いていることはもちろんであるが、本方式の特徴はこの考え方をさらに明確に理論化しているところにある。以下に本方式の概念を述べる。

小領域における黒面積の占める割合を平均濃度と呼ぶことにする。さて、本方式ではある位置のドットを黒か白かに決定するとき、そのドットの近傍領域を上述した小領域と定め、その平均濃度を計算し、この平均濃度が原画にもっとも近くなるようにそのドットの黒、白を決める。このとき、平均濃度を計算する近傍領域としては、現在2値化しようとしている点とすでに2値化の終了している点を採用する。また、平均濃度計算では単純な黒面積ではなく、2値化しようとしている点に近いほど大きな値をとる重み付け平均値を

† A Bilevel Display Technique for Gray Pictures Using Mean Density Approximation by YOSHIKI KUROSAWA (Toshiba Research and Development Center).

†† (株)東芝・総合研究所

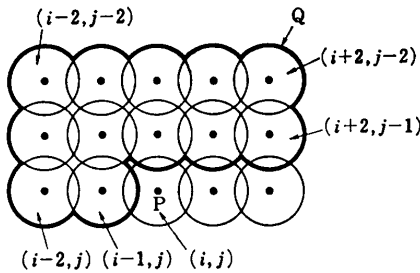


図1 出力ドットの配置と形状
Fig. 1 Output dot's figure and placement.

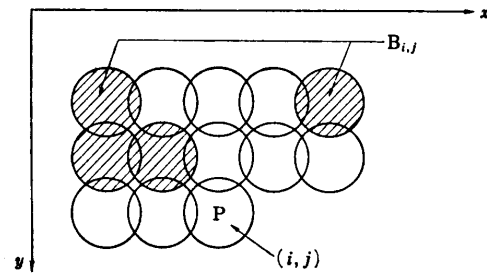


図2 黒ドットが出力された例
Fig. 2 An example of black dots output.

使う。次にこの方法を詳細に説明していく。

2.2 平均濃度計算の方法

ここでは本方式における平均濃度の計算方法の原理について説明する。まず出力装置のドットの形状と配置の例を図1に示す。この例ではドットは格子状に並んでおり、隣り合うドットが若干の重なりをもっている。画面全体が $N \times M$ のドットで覆われるとし、この面内におけるドットの位置を (i, j) で表すことにする (i : 横, j : 縦)。あるドット (i, j) の近傍のドットの集合を近傍領域と呼ぶ。またこの領域のうち、 (i, j) を含まない領域を参照領域と呼ぶことにする。図1の例でドット P の周囲に位置するドットの領域 (太線で囲まれた領域) Q が P の参照領域である。この例では P の位置を (i, j) とするとき Q は、

$$Q = \{(i+\alpha, j+\beta), \alpha = -2 \sim 2, \beta = -2 \sim -1\} \cup \{(i+\alpha, j), \alpha = -2 \sim -1\} \quad (1)$$

と表せる。 $P+Q$ が近傍領域であり、この領域上で平均濃度を定義する。

図2は $(i-2, j-2), (i+2, j-2), (i-2, j-1), (i-1, j-1)$ の各ドットが黒く出力されたときの近傍領域の例である。この図の斜線で示した部分が黒く出力される部分であり、その他が白のままの部分である。本方式ではこの黒部分の小領域全体に対する面積比を重み付けで計算することによって平均濃度を計算する。まず、平面内に x 軸, y 軸を導入する。ドット (i, j) の中心の位置をこの x - y 座標で (x_i, y_i) と表す。次にドット (i, j) の値を決定するとき、この x - y 平面上において斜線部で1、その他で0をとる関数 $h_{i,j}(x, y)$ を定義する。この $h_{i,j}(x, y)$ の定義方法としては種々ありうるが、図2の例では以下のような方法による $h_{i,j}(x, y)$ の定義が可能である。

まず、この関数を定義するためあるドットを1点のみ黒く出力したとき、その黒部分の形状をドット半径 r の黒円として、ドット関数 $g(x)$ を次のように定

義する。

$$g(x) = \begin{cases} 1 & (x^2 + y^2 \leq r^2) \\ 0 & (\text{else}) \end{cases} \quad (2)$$

次にドット (i, j) の近傍領域に含まれるドットのなかで黒のもの集合を B とする。図2の例では

$$B = \{(i-2, j-2), (i+2, j-2), (i-2, j-1), (i-1, j-1)\} \quad (3)$$

である。これらにより $h_{i,j}(x, y)$ を次式のように定義する。

$$h_{i,j}(x, y) = \sum_{B \ni (i-\alpha, j-\beta)} g(x-x_{i-\alpha}, y-y_{j-\beta}) \quad (4)$$

ただし \sum は OR 演算の繰返しを意味する。

次に重み関数を定義する。この関数としては中心ほど値が大きく、中心から離れるほど値が0に近づく関数である必要がある。たとえば、

$$W(x, y) = \begin{cases} (l - \sqrt{x^2 + y^2})/l & (\sqrt{x^2 + y^2} \leq l) \\ 0 & (\sqrt{x^2 + y^2} > l) \end{cases} \quad (5)$$

のような関数が考えられる。これは中心 $(0, 0)$ で1、半径 l の円周上とそれより外側で0の値をとる円錐形の関数である。

このような $h_{i,j}(x, y)$ と $W(x, y)$ とにより近傍領域上の平均濃度は次式により定義される。

$$m = \frac{\iint W(x-x_i, y-y_i) \cdot h_{i,j}(x, y) dx dy}{\iint W(x-x_i, y-y_i) dx dy} \quad (6)$$

図2の例では (i, j) のドットが白であるとして計算しているが、実際にはこのドットの2値化は終了していないので白か黒かはまだわからない。それゆえに、白の場合と黒の場合の2通りの平均濃度を計算し、 (i, j) のドットが白のときの平均濃度 m_0 、黒のときの平均濃度 m_1 をあらかじめ計算しておく。これに対してドット (i, j) の位置に対応する入力信号 $f(i, j)$ は 0~1

の値をとる，濃度を表す関数である．これを m_0, m_1 のいずれかで近似するのだが，この決定は次式によって行われる．

$$\begin{cases} |m_0 - f(i, j)| \leq |m_1 - f(i, j)| \Rightarrow G(i, j) = 0 \\ |m_0 - f(i, j)| > |m_1 - f(i, j)| \Rightarrow G(i, j) = 1 \end{cases} \quad (7)$$

ここで $G(i, j)$ はドット (i, j) の黒 (値1)，白 (値0) を表す関数である．この式を変形して次式が得られる．

$$\begin{cases} f(i, j) \leq (m_0 + m_1)/2 \Rightarrow G(i, j) = 0 \\ f(i, j) > (m_0 + m_1)/2 \Rightarrow G(i, j) = 1 \end{cases} \quad (8)$$

この $(m_0 + m_1)/2$ は B が決まれば計算できるものであり，入力信号 $f(i, j)$ には依存していない．したがって B に対応する $(m_0 + m_1)/2$ をあらかじめ求め，テーブルを作成しておけば，実際に入力信号の2値化を行う過程では過去の2値化結果から B を求める処理と，これに基づいてテーブルを参照し入力信号と比較する処理のみとなる．すなわち，本方式では平均濃度の計算がいかに複雑であろうと，それとは無関係に単純化された2値化プロセスを構成でき，簡単な方式で高性能の2値化が可能となる．

3. 具体的な構成方法

以下具体的な構成法について述べるが， $h_{i,j}(x, y)$ や $W(x, y)$ の具体例としては(4)，(5)を用いる．

3.1 ドット径ピッチ比1の場合

ドット径ピッチ比とは出力ドットの直径とドット配列ピッチの比であり，その値が大きいくほどドットの重なりが多くなるものである．ドット径ピッチ比が1，すなわちドット径とピッチが等しいときにはドット間の重なりは近似的にないものと見なせる．すなわち(4)の各 g について $g=1$ の部分が重ならないわけだから(4)における Σ の OR 演算は加算と見なすことができ，(4)，(5)を(6)に代入することにより次式が得られる．

$$\begin{aligned} m &= \sum_{B \ni (i-\alpha, j-\beta)} \iint W(x-x_i, y-y_j) \\ &\quad \cdot g(x-x_{i-\alpha}, y-y_{j-\beta}) dx dy \\ &\quad / \iint W(x-x_i, y-y_j) dx dy \\ &= \sum_{Q+P \ni (i-\alpha, j-\beta)} \iint W(x-x_i, y-y_j) \\ &\quad \cdot g(x-x_{i-\alpha}, y-y_{j-\beta}) dx dy \cdot G(i-\alpha, j-\beta) \\ &\quad / \iint W(x-x_i, y-y_j) dx dy \quad (9) \end{aligned}$$

なお，この式の変換では，

$$\begin{aligned} &\sum_{B \ni (i-\alpha, j-\beta)} g(x-x_{i-\alpha}, y-y_{j-\beta}) \\ &= \sum_{Q+P \ni (i-\alpha, j-\beta)} g(x-x_{i-\alpha}, y-y_{j-\beta}) \\ &\quad \cdot G(i-\alpha, j-\beta) \quad (10) \end{aligned}$$

なる変換式を使っている．(9)の積分の値は W および g により求められるものであるが，この値を次のような値に置き換え，しかもその値を積分の計算によらずあらかじめ与えてしまうことにすれば，(9)は(12)のように簡単化される．

$$\begin{cases} A_{\alpha\beta} = \iint W(x-x_i, y-y_j) \\ \quad \cdot g(x-x_{i-\alpha}, y-y_{j-\beta}) dx dy \\ B = \iint W(x-x_i, y-y_j) dx dy \end{cases} \quad (11)$$

$$m = \frac{\sum_{Q+P \ni (i-\alpha, j-\beta)} A_{\alpha\beta} \cdot G(i-\alpha, j-\beta)}{B} \quad (12)$$

ここで $B = \sum_{Q+P} A_{\alpha\beta}$ の仮定をいれておけば合理的である．これは重み関数の値が0でない領域を，配列されたドットが覆いつくし，すき間のないこと，また重なりのないことを仮定するものである．

(12)に基づいて $(m_0 + m_1)/2$ を計算すると，従来の平均誤差最小法に似た式が得られる．まず m_0, m_1 はそれぞれ，

$$\begin{cases} m_0 = \{\sum_Q A_{\alpha\beta} \cdot G(i-\alpha, j-\beta)\} / B \\ m_1 = \{\sum_Q A_{\alpha\beta} \cdot G(i-\alpha, j-\beta) + A_{00}\} / B \end{cases} \quad (13)$$

であるから

$$(m_0 + m_1)/2 = \{\sum_Q A_{\alpha\beta} \cdot G(i-\alpha, j-\beta)\} / B + A_{00}/2B \quad (14)$$

(8)と $B = \sum_{Q+P} A_{\alpha\beta}$ の仮定により，

$$\begin{aligned} f(i, j) - [\sum_Q A_{\alpha\beta} \cdot \{G(i-\alpha, j-\beta) - f(i, j)\}] / A_{00} \\ \cong 1/2 \\ \Rightarrow G(i, j) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (15) \end{aligned}$$

が得られる．一方，平均誤差最小法は，

$$\begin{aligned} f'(i, j) = f(i, j) - [\sum_Q A_{\alpha\beta} \cdot \{G(i-\alpha, j-\beta) \\ - f'(i-\alpha, j-\beta)\}] / \sum_Q A_{\alpha\beta} \quad (16) \end{aligned}$$

と置き，

$$f'(i, j) \cong 1/2 \Rightarrow G(i, j) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (17)$$

として2値化するものである．(15)および(16)を比べて見たときの大きな違いは(15)の $\{ \}$ 内の $f(i, j)$ が

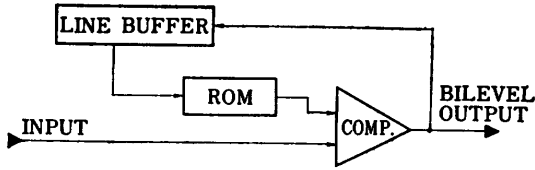


図3 ハードウェア構成
Fig. 3 Hardware construction.

Σ の外に出せるのに対し、(16)の{ }内の $f'(i, j)$ は外に出せないところにある。(15)では Σ の計算が $f(i, j)$ に依存することなく行えるわけで、これが本方式の簡単さの理由となっている。

図3に本方式をハードウェア化したときのブロック図を図示する。入力信号は、ラスタスキャンによって得られる画像信号を A/D 変換したものである。ラインバッファにはすでに2値化されたデータが格納されていて、現在2値化の対象となっている位置の周囲にあるドットの値を出力し ROM へ送っている。ROM の出力は上述したこの近傍領域の平均濃度に基づく閾値であり、これと入力信号とを比較することによって2値化の決定を行う。このように本方式は簡単なハードウェアで実現できる。

3.2 ドット径ピッチ比2の場合

多くのドットプリンタでは出力画像の画質の向上を図るためにドットとドットの重なりを多くするようにしている。そのため、このような出力装置で濃淡表示を行うとき、組織ディザにおける Bayer のパターンのようなドットが分散するタイプの2値化法では、網の部分がつぶれてベタになり画質が著しく劣化するという欠点がある。これは平均誤差最小法でも同じである。この問題を避けるためには入力信号レベルを下げればよいが、それでは根本的解決にはならず、むしろそれでも網点型のパターンのように点が集中するタイプのほうが画質がよいことが多い。本方式はこの問題に対する根本的解決法にもなっている。本方式の基本的な考え方はドット配列、ドット形状、ドットの大きさに依存しないものであり、ただその一様性だけを要求している。したがって本方式はドット径ピッチ比が1以外の場合にも適用可能であり、たとえば、これが2であるようなドットの重なりが非常に多いケースにも適用できる。以下その具体的な構成法を示す。

単純な方法として、たとえば図1に示すような5×3の近傍領域を使い、(6)により閾値計算を行い、(8)により2値化を行う方法があるが、これだと濃度の低い部分での階調表現能力がまったくなくなってしまう。

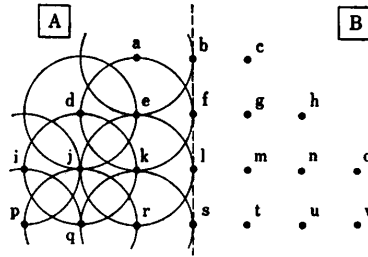


図4 分割された参照領域
Fig. 4 The reference region separated two part.

う。それはドット径ピッチ比の大きさに比べて近傍領域が小さいためである。近傍領域が小さいと周囲のドットがすべて白でも、1点の黒があればたちまち平均濃度が上昇してしまい、濃度の低い入力信号を近似しえなくなってしまうので、濃度の低いところではすべてドットは白に決定されてしまうのである。すべて白になる限界濃度は次式により求まる。

$$f_L = \frac{1}{2} \frac{\iint W(x, y) \cdot g(x, y) dx dy}{\iint W(x, y) dx dy} \quad (18)$$

すなわち一点のみが黒のときの平均濃度の1/2である。この問題点を解決するためには、入力信号の低いところを上げるなどの方法が考えられるが、根本的には近傍領域を広げるのが最良の方法である。しかしこれにも次のような問題がある。

図4は7×4の近傍領域の例である。角の6ドットを除き、近傍領域は a~s の20ドット、参照領域は a~r の19ドットである。これで単純にテーブルを参照しようとするアドレスは19ビットとなり、これは500 kword のテーブルを意味し、ハード化はもちろんソフト化もむずかしくなる。この問題は次のようにして回避することができる。

近傍領域を図4の点線で示すようにAとBの2領域に分ける。そしてこのそれぞれについて独立に平均濃度を求める。Aの領域の平均濃度計算に関係するドットはドット径ピッチ比が2であれば、(a, b, d, e, f, i, j, k, l, p, q, r) の12ドットおよびs、一方、Bのほうは(b, c, f, g, h, l, m, n, o) の9ドットおよびsである。これらにより求まるAの平均濃度を m_{A0} (sが0) と m_{A1} (sが1) とし、Bのほうを同様に m_{B0} , m_{B1} とする。このとき閾値は

$$T = (m_{A0} + m_{A1})/2 + (m_{B0} + m_{B1})/2 \quad (19)$$

により与えられる。右辺第1項は上記12ドット、第

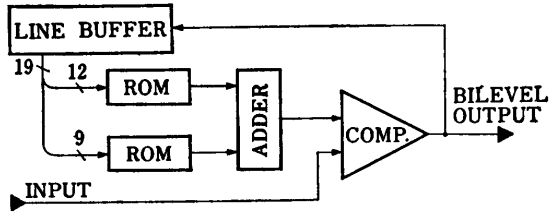


図5 分割された参照領域を用いるハードウェア
Fig. 5 A hardware construction using separated reference region.

2項は9ドットにより計算できるものであり、したがってあらかじめ第1項と第2項を別々に計算し、テーブルを作成することができる。このそれぞれのテーブルを12ビットおよび9ビットのアドレスにより参照することによって(19)の閾値を得ることができ2値化が可能となる。図5はそのときのハードウェア構成を示すものであり、この方法が図3に比べて若干の回路追加で可能になることがわかる。

4. 実験結果と評価

4.1 実験結果

実験は図6に示す原画を512×512のドット数で出力することによって行った。出力装置はバーサテックのMPPを使用した。

(15)によって2値化した例を図8に示す。 $A_{\alpha\beta}$ の重みとしていろいろな重みテーブルの実験を行ったが、比較的良好な結果が得られる図7の値を実験条件とした。なおこの値は一般に平均誤差最小法で用いられているものである。また比較のために原画(I)について組織ディザ法(Bayerのパターン)の出力結果および平均誤差最小法の出力結果をそれぞれ図9、図10に示す。これによれば本方式の出力結果は組織ディザ法の結果より優れ、しかも平均誤差最小法の結果とほとんど同じである。

次にドット径ピッチ比が2の場合についての実験結果を示す。図11は領域拡大を行っていないときのもので参照領域は5×3である。たしかに濃度の低い部分での階調表現能力がなくなっている。図12は参照領域を7×4に拡大したときのものである。これにより濃度の低い部分の階調表現能力は図11に比べてよくなっていることがわかる。このように本方式ではドット径ピッチ比がどのようなものであっても2値化方式の構成が可能であり、高品位の画質を得ることができる。原理的にはさらにドットの形状や配列が異なった場合でも本方式は適用できる。



I



II



III

図6 原画
Fig. 6 Original pictures.

4.2 処理時間の比較

本方式のソフトウェアによる処理時間を実際のプログラムによる実行速度によって測定した。この結果を図13に示す。これは512×512 (1画素 8 bit)の1枚の画像を処理するのに要する時間である。なおフ

1	3	5	3	1
3	5	7	5	3
5	7	9		

図7 重みテーブルの例
Fig. 7 An example of weight table.



I



II



III

図8 新しい2値化法
Fig. 8 New bilevel display technique.



図9 組織ディザ法
Fig. 9 Ordered dither method.

ァイルアクセスの時間は含まれていない (計算機: TOSBAC-40 C, システム: TOSPICS-EXEC[®], 言語: PL-40). この結果, 処理速度では方式の単純な組織ディザ法が優れていることがわかるが, 本方式は平均誤差最小法に比べて9.2倍の処理速度をもつことが確認できる. 本方式が組織ディザ法に比べ処理時間の大きい理由は本方式のソフトウェア処理において参照領域におけるビットパターンを得る操作に時間がかかるためである. ただし図3のハードウェアでは一度にビットパターンが得られるので, この問題がなく,



図 10 平均誤差最小法
Fig. 10 Minimized average error method.



図 12 ドット径ピッチ比=2 のときの結果 (領域拡大型)
Fig. 12 The result in the condition that the diameter pitch ratio=2. The reference region is extended.



図 11 ドット径ピッチ比=2 のときの結果
Fig. 11 The result in the condition that the diameter pitch ratio=2.

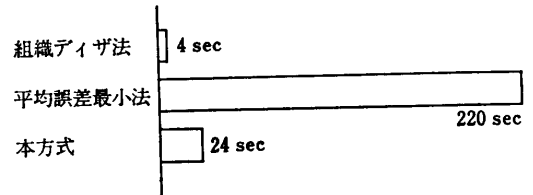


図 13 ソフトウェア処理時間
Fig. 13 Processing time by software.

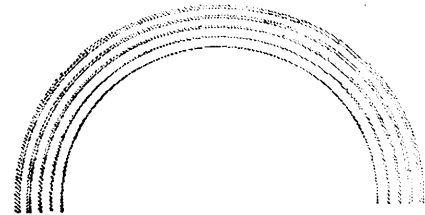


図 14 新方式による同心円 (濃度=1/4)
Fig. 14 Concentric circles by new technique. (Density=1/4)

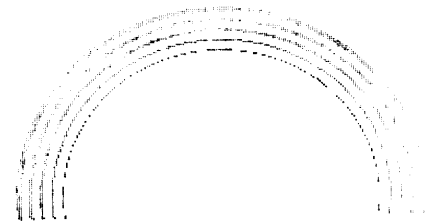


図 15 組織ディザ法による同心円 (濃度=1/4)
Fig. 15 Concentric circles by ordered dither method. (Density=1/4)

ハードウェアにおける処理速度は組織ディザと同等である。

4.3 中間調線分の再現性

濃淡画像に中間調の文字が含まれることがあり、このような文字の再現性は表示法の性能評価の重要な要素である。ここでは文字の代りに太さの異なる同心円を2値化することによってこの性能を調べることにした。図14がその結果である。図14, 図15の入力画像は内側からそれぞれ、1, 2, 3, 4, 5ドット分の幅の同心円で、濃度が0.25のものである。図15は組織

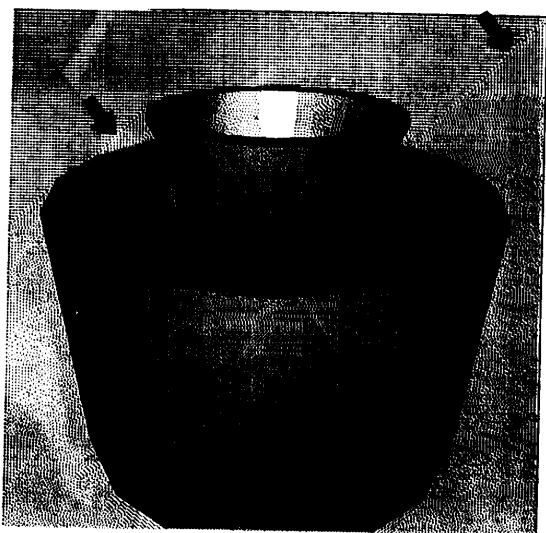


図 16 新しい2値化法

Fig. 16 New bilevel display technique.

ディザ法による結果である。組織ディザ法による出力では線分に切れが生じているのに対し、本方式では切れはめだたない。この結果からわかるように本方式では中間調線分の再現性がよく、したがって中間調文字の再現性が優れていることが予想できるのである。

本方式ではエッジの強調があるためにこのような中間調線分の再現性がよいのであるが、一方そのために図 14 のいちばん外側の円周を見てわかるように太い線分が2重線になる傾向が現れている。これは本方式の問題点である。

4.4 偽輪郭の出現

図 8 を見てわかるように本方式ではほとんど偽輪郭が現れない。しかし、人工的に作り出したような規則的な濃淡画像の場合には偽輪郭が現れることがある。

図 16 はその例である。矢印の部分に偽輪郭が現れている。これは原画にノイズを加えるか、組織ディザ法との組合せにより避けることができると考えられるが、注意しなければならない問題点である。

5. ま と め

本報告で提案した濃淡画像の2値化表示方式の特徴は次のようにまとめられる。

(1) 出力ドット装置のドット径ピッチ比、ドット配列、ドット形状に依存しない。—いままでにはない新しい特長。

(2) 中間調の文字表現が良好である。

(3) 鮮明でなめらかな画像が得られる。—平均誤差最小法とほぼ同じ結果が得られる。

(4) ハードウェア化が簡単である。—最小構成は数～十数個の IC で構成でき、これは組織ディザ法よりわずかに多い程度。

(5) ソフトウェア処理でも処理速度が速い。—平均誤差最小法の約 10 倍の速さ。

一方、本方式の今後の検討課題のうち重要なものは次のようなものである。本方式で得られるドットパターンは不規則であり、データ圧縮が他の方法（たとえば組織ディザ法）に比べてむずかしい。また、エッジ強調による太線の二重線化、人工的な画像に見られる偽輪郭、全般的に見られる独特な縞模様なども問題点である。また、さらに次の目標としてカラー化や3値以上の多値出力装置への応用等の拡張がある。

このように本方式にはまだいくつかの検討課題が残されているものの、上に述べたように多くの特長もっている。現状でも従来方式に比べて十分実用上のコストパフォーマンスは高く、今後の画像処理システムの出力手段として有効に活用されていくことが期待される。

謝辞 本研究を進めるにあたって有益な助言をいただいた東京工業大学飯島泰蔵教授、(株)東芝・情報通信システム技術研究所渡辺貞一郎長に感謝する。

参 考 文 献

- 1) Jarvis, J.F. et al.: A Survey of Techniques for the Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays, *Comput. Gr. Image Process.*, Vol. 5, No. 1, pp. 13-40 (1976).
- 2) 安田: ドットによる濃淡表示, 電気四学会連大, No. 154, pp. 4-33 (1976).
- 3) 小野: ディザ法, 画像電子学会誌, Vol. 10, No. 5, pp. 388-397 (1981).
- 4) Bayer, B.E.: An Optimum Method for Two-level Rendition of Continuous-Tone Pictures, *International Conference on Communications*, Vol. 1, pp. (26.11)-(26.15) (1973).
- 5) Floyd, R. et al.: An Adaptive Algorithm for Spatial Gray Scale, *Society for Information Display, Digest of Symposium*, pp. 36-37 (1975).
- 6) 黒沢, 飯島: Haar 変換に基づく新しい濃淡画像の2値化表現法, 情報処理学会論文誌, Vol. 20, No. 3, pp. 218-224 (1979).
- 7) 黒沢, 飯島: 濃淡画像の2値化表示の方式, 画像電子学会誌, Vol. 10, No. 2, pp. 68-74 (1981).
- 8) 麻田他: 会話型画像処理システム—TOSPICS—, 信学会研究会, PRL 75-51, pp. 19-30 (1975).

(昭和 58 年 9 月 22 日受付)

(昭和 59 年 9 月 20 日採録)