

Haar 変換に基づく新しい濃淡画像の2値化表現法†

黒 沢 由 明** 飯 島 泰 彦***

白黒2値の画像表示装置によって画像の濃淡を表現する問題は、画像処理技術の中でも重要な問題であり、これまでも多くの方法が提案されている。しかしそれらの方法ではドットパターンがそれぞれ独特のクセを持っており、特に表示点の少ないときには必ずしも良い画質を得ることができなかった。

本論文で提案する2値化法は Haar 展開係数による評価量を設定し、これを逐次最小化する形で黒点の配分を決定していく方式である。

具体的な方法は、まず画像の表示されている全領域における原画の平均値を求め、この数値を近似する整数個の黒点を用意する。次に全領域を4分割してこの黒点を各ブロックに配分する訳だが、このとき各ブロック内の黒点の数が、原画のそのブロックにおける平均値に近くなるように黒点を配分する。さらにこのブロックを4分割してサブブロックを作り、同じことを行う。これを逐次繰り返すことによって最終的に各点における黒点の配分、すなわち、その点の黒、白が決定される。

本論文ではこの方式のいくつかの改良点について述べ、比較的良好な画質が得られた本方式の出力結果について、従来の方式との比較もあわせて報告している。

1. はじめに

白黒の2値の画像表示装置で濃淡画像を表現するという問題は画像処理技術の中でも重要な問題である。このような問題が扱われる分野としてはコンピュータの画像表示装置および印刷装置、ファクシミリ通信、複写装置、写真製版などがある。これまでにこの問題に対していくつかの方法が提案されており、それらのうちのいくつかを次に示す。

- (1) 網点法
- (2) 固定パターン法¹⁾
- (3) ディザによる方法²⁾

他にも Δ - Σ 法、組織的ディザ法など、いろいろと提案されているが、ここではこの3方式を代表例としてあげておく。一般にはこれらを組み合わせた形で提案されることも多い。

(1) 網点法は従来から写真製版に使われてきた方法であり、黒点の面積の大きさをもってその画素*のレベルとするものである。

(2) 固定パターン法は画素を $n \times n$ の点で表現し、それらの点のうち、黒点の個数をその画素のレベルとするものである。これは網点法の拡張として考え

ることもできる。

(3) ディザによる方法は閾値を乱数にして量子化する方法である。

これらの方法に共通の考え方は、ある領域内での黒い部分の面積が、その領域内における画素のレベルの総和に等しくなるように量子化していることである。本論文で提案する多段分割量子化法もやはり同様の考え方に基づいている。

従来の方法では表示点の数が少ない場合に、ぼける、ムラが出る、縞模様が現われるなどの画質劣化が著しいことが問題であった。これに対して多段分割量子化法は表示点の数が少ない場合でも良好な画質を得るようによくふうされた方法である。そのために、多段分割量子化法では、画像の画素は表示装置の点と同じ細かさで与えられているものと仮定している。この仮定は、すなわち、画像はいくらでも細かく調べることができるということであり、(1)(2)の仮定とは違うものである。

本論文では、まず簡単な具体例で多段分割量子化法を説明し、次に Haar 変換との関係を述べ、最後に実験結果について報告する。

2. 多段分割量子化法の考え方

2.1 具体例による説明

画像は図1(a)に示すような $2^n \times 2^n$ のメッシュ上に定義されているとする。また画素上の値は「白」を0に、「黒」を1に対応させている。図1(a)に示す128.4なる数値は全領域における各画素の値の総和である。この値は2値画像で考えると全領域における黒

† A New Bilevel Display Technique of Continuous Tone Pictures Based on Haar Transform by YOSHIKI KUROSAWA (Toshiba Research and Development Center) and TAIZO IJIMA (Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology).

** 東京芝浦電気(株)総合研究所

*** 東京工業大学工学部情報工学科

* 画像の定義されている領域の最小単位を画素(メッシュ)、表示装置の表示点を点(ドット)と呼び、一応区別しているが、対応する画素と点が1対1の場合には両者を混同して用いている。

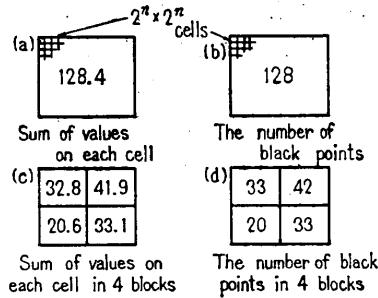


図1 黒点の配分例

Fig. 1 An example of disposition of black points.

点の占める割合を表わすと考えることができる。それ故にこの数値を四捨五入し、全領域の黒点の数が128個であるというのは自然な考え方である。しかし、まだこの黒点が領域の中にどのように配置されるかは未定である。そこで図1(c)のように全領域を4つの部分領域に分割し、そのそれぞれの部分領域において画素上の値を総和する。そしてその数値を参考にして4つの部分領域における黒点の数を決定するのである。図1(c)の具体例では図1(d)のように黒点の個数が決められる。ただしこの例では画面全体の黒点の個数が128個であるから、4つの領域における黒点の数の合計は128でなければならない。この例では32.8と41.9を切りあげ、残りを切り捨てて整数化することによって総和が128になるようにしている。

さて、次の問題はそれぞれの部分領域における黒点の配置である。この配置を決定するのにも図1で説明した方法とまったく同様の方法を使用する。すなわち部分領域をさらに4分割して黒点を分配するのである。この方法を順次繰り返せば、最終的に各画素上の黒点の配置が決定できる。すなわちその点に黒点が配分されれば黒、そうでなければ白である。

このようにして黒点の配置を決定していけば、ある領域における黒い部分の占める割合はその領域内の画素レベルの平均値に近くなる。その結果このパターンは濃淡画像を表示しているように見えるのである。またこの方法は最終ステップにおいて1つ1つの画素の値まで参考にして黒点の配置を決めているので、この方法によって作り出される2値画像は細かい所でもぼけない、シャープな画質になることが期待できるのである。

2.2 Haar 変換

多段分割量子化法は Haar 変換と密接な関係にある。はじめに Haar 変換を説明する。Haar 直交関数系は1910年に A. Haar によって提案された。しか

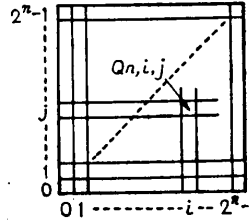


図2 画素 $Q_{n,i,j}$
Fig. 2 Cell $Q_{n,i,j}$.

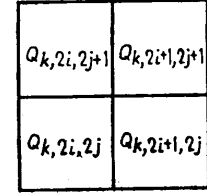


図3 ブロック $Q_{k-1,i,j}$
Fig. 3 Block $Q_{k-1,i,j}$.

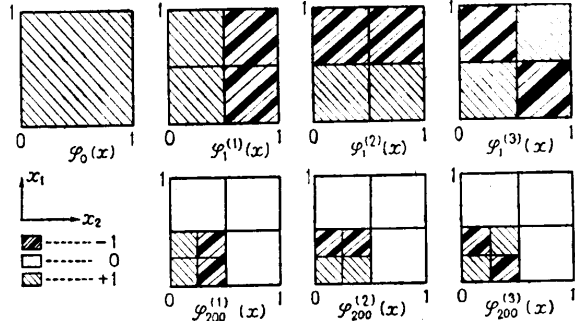


図4 2次元 Haar 関数系の一部

Fig. 4 Two dimensional Haar functions.

し、その工学的研究はまだそれ程なされていないのが現状のようである³⁾。

2次元の Haar 直交系は1次元の Haar 直交系の積として表現されるのが普通である。しかし、ここでは画像処理に適した次のような形式の直交系を定義する。まず領域 $Q_{k,i,j}$ を定義する。

$$\begin{cases} Q_0 = \{(x_1, x_2) | 0 \leq x_1 \leq 1, 0 \leq x_2 \leq 1\} \\ Q_{k,i,j} = \{(x_1, x_2) | i/2^k \leq x_1 < (i+1)/2^k \\ j/2^k \leq x_2 < (j+1)/2^k\}. \quad (0 \leq i, j \leq 2^k - 1) \end{cases} \quad (1)$$

(ただし $i, j = 2^k - 1$ の場合は右側の不等式に等号が入る。)

$Q_{k,i,j}$ は正方形の領域 Q_0 を順次4分割して求めたものである(図2, 図3)。この $Q_{k,i,j}$ を使って2次元の Haar 直交関数系を定義する。(図4参照)。

$$\varphi_0(x) = 1 \quad (x \in Q_0)$$

$$\begin{cases} \varphi^{(1)}_{k,i,j}(x) \\ = 2^{k-1} \times \begin{cases} +1 & (x \in Q_{k,2i,2j} \cup Q_{k,2i,2j+1}) \\ -1 & (x \in Q_{k,2i+1,2j} \cup Q_{k,2i+1,2j+1}) \\ 0 & (\text{else where}) \end{cases} \\ \varphi^{(2)}_{k,i,j}(x) \\ = 2^{k-1} \times \begin{cases} +1 & (x \in Q_{k,2i,2j} \cup Q_{k,2i+1,2j}) \\ -1 & (x \in Q_{k,2i,2j+1} \cup Q_{k,2i+1,2j+1}) \\ 0 & (\text{else where}) \end{cases} \\ \varphi^{(3)}_{k,i,j}(x) \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} = 2^{k-1} \times \begin{cases} +1 (x \in Q_{k,2i,2j} \cup Q_{k,2i+1,2j+1}) \\ -1 (x \in Q_{k,2i,2j+1} \cup Q_{k,2i+1,2j}) \\ 0 \text{ (else where)} \end{cases} \\ (0 \leq i \leq 2^k - 1, 0 \leq j \leq 2^{n-k} - 1). \end{array} \right. \quad (2)$$

この直交系による関数空間から係数空間への変換が Haar 変換である。さて、 $Q_{k,i,j}$ 上で定数値を取る区分的定数関数全体を V_k と書くと、これは 2^{2n} 次元のベクトル空間になる。実は Haar 直交系は V_n の正規直交基底になっている。あきらかに、

$$V_n = [\{ \{ \{ \varphi_{k,i,j}^{(p)}(x) \}_{p=1,2,3} \}_{i,j=1}^{2^{k-1}-1} \}_{k=0}^n] \quad (3)$$

である ($[\cdot]$ は \cdot の張る空間を意味する)。また、

$$K_k = [\{ \{ \{ \varphi_{k,i,j}^{(p)}(x) \}_{p=1,2,3} \}_{i,j=0}^{2^{k-1}-1} \}] \quad (4)$$

と置くと、 V_n は次のように直和分解される。

$$V_n = K_0 + K_1 + \dots + K_n. \quad (5)$$

ここであきらかに

$$V_k = V_{k-1} + K_k \quad (6)$$

が成り立つ。従って K_k は V_k に対する V_{k-1} の直交補空間であると見てよい。 $f(x)$ の K_k 上への正射影のノルム C_k はちょうどフーリエ変換でのパワー・スペクトルに対応しており、 k が小さいときの C_k が低周波成分、大きいときの C_k が高周波成分に対応していると考えることができる。このことは $\varphi_{k,i,j}^{(p)}(x)$ が振動する (± 1 を取る) 領域の幅が k が大きくなると狭くなることからあきらかである。

2.3 多段分割量子化法と Haar 変換

ここでは多段分割量子化法を数式を用いて正確に表現し、Haar 変換との関係を調べる。 $Q_{k,i,j}$ が画像の定義されている領域の 1 画素であるとする。すなわち画像が $2^n \times 2^n$ メッシュで表現されていると考える。画像 $f(x)$ は次のように定義される。

$$0 \leq f(x) \leq 2^{2n}, f(x) \in V_n. \quad (7)$$

また、求めるべき 2 値画像は次のようになる。

$$g(x) = 0, 2^{2n}, g(x) \in V_n. \quad (9)$$

ここで 1 のかわりに 2^{2n} としたのは (10) で定義する $G_{k,i,j}$ の取る値が整数になるようにするためである。

$$F_{k,i,j} = \int_{Q_{k,i,j}} f(x) dx \quad (9)$$

$$G_{k,i,j} = \int_{Q_{k,i,j}} g(x) dx \quad (10)$$

と置く。こうすると $F_{k,i,j}$ は $0 \leq F_{k,i,j} \leq 2^{2(n-k)}$ の実数となり、 $G_{k,i,j}$ は $0 \leq G_{k,i,j} \leq 2^{2(n-k)}$ の整数となる。

多段分割量子化法が行っていることは $G_{k-1,i,j}$ が

決まっていることを条件にして、 $F_{k,i,j}$ の値から $G_{k,i,j}$ を求めるということである。この $F_{k,i,j}$, $G_{k,i,j}$ は (9) (10) から分かるようにそれぞれ $f(x)$, $g(x)$ の V_k への正射影に対応していると見ることができる。具体的には P_k を V_n から V_k への正射影と考えて次式のようになる。

$$(P_k \cdot f)(x_{i,j}) = F_{k,i,j} \cdot 2^{2k} \quad (11)$$

$$(P_k \cdot g)(x_{i,j}) = G_{k,i,j} \cdot 2^{2k} \quad (12)$$

(ただし $x_{i,j} \in Q_{k,i,j}$)

従って、 $F_{k,i,j}$ を $G_{k,i,j}$ で近似することは空間 V_k において (何らかの評価規準に基づいて) $f(x)$ を $g(x)$ で近似することに相当している。一方、 $G_{k-1,i,j}$ があらかじめ条件として与えられているが、これはすなわち $g(x)$ の V_{k-1} への射影成分 $(P_{k-1} \cdot g)(x)$ があらかじめ与えられているということである。従って多段分割量子化法は $P_{k-1} \cdot g$ が一定という条件のもとで、 $P_k \cdot f$ を $P_k \cdot g$ で近似する方法であるといえる。 $P_k \cdot g = (P_k - P_{k-1}) \cdot g + P_{k-1} \cdot g$ と考えれば、これは $(P_k - P_{k-1}) \cdot f$ を $(P_k - P_{k-1}) \cdot g$ で近似する方法、すなわち空間 K_k で $f(x)$ を $g(x)$ で (何らかの評価規準に基づいて) 近似していることに他ならない。このように多段分割量子化法は $K_0, K_1, K_2, \dots, K_n$ の順にそれぞれの空間で $f(x)$ を $g(x)$ で最良近似する方法である。このとき、この順序が重要である。番号の小さいものから順に誤差が最小化されるから、番号の小さいもの程誤差の最小化が優先されて、誤差は小さくなる。一方、番号の大きい方は比較的大きめの誤差になる。これはフーリエ変換の言葉でいえば低域の誤差を小さめにし、高域の誤差を大きめにしているということであり、視覚の持つローパス・フィルタの特性にうまく適合している事実である。

このように多段分割量子化法は空間 V_n の中で見れば部分空間 K_k における最適化なのである。一方、この空間 K_k を記述するのに、自然で便利な直交基底は Haar 直交基底である。その意味で多段分割量子化法を Haar 直交系に基づいて表現することは自然である。Haar 変換を用いなくとも多段分割量子化法を述べることは可能である。しかし、多段分割量子化法の根本的な考え方を知るには Haar 変換、あるいは空間 K_k の考え方が必要なのである。

2.4 多段分割量子化法の手順

多段分割量子化法の手順を述べるために記法を簡単化する。まず、適当に k, i, j を固定して (9) (10) における $F_{k,i,j}$, $G_{k,i,j}$ を次のように略記する。

$$F = F_{k-1, i, j}, \quad G = G_{k-1, i, j} \quad (13)$$

$$f_{\mu, \nu} = F_{k, 2i+\mu, 2j+\nu}, \quad g_{\mu, \nu} = G_{k, 2i+\mu, 2j+\nu} \quad (14)$$

($\mu, \nu = 0, 1$)

このとき、 $F, G, f_{\mu, \nu}$ は既知であり、そこから

$$g_{00} + g_{01} + g_{10} + g_{11} = G \quad (15)$$

の条件のもとで $f_{\mu, \nu}$ に近い $g_{\mu, \nu}$ を求めることになる。ここでは $f_{\mu, \nu}$ に近い値として $f_{\mu, \nu}$ の切り上げか切り捨てを仮定した*。従って、

$$g_{\mu, \nu} = [f_{\mu, \nu}] + D_{\mu, \nu} \quad ([\cdot]) \text{ はガウス記号} \quad (16)$$

と置くと $D_{\mu, \nu} = 0$ or 1 である。この仮定を「 $D_{\mu, \nu} = 0, 1$ の仮定」と呼ぶ。

以下に多段分割量子化法の手順を示す。

手順

- [1] F_0 を四捨五入して G_0 とする。
- [2] $k=1, 2, \dots, n$ について [3] を繰り返す。
- [3] $i=0, 1, \dots, 2^{k-1}-1; j=0, 1, \dots, 2^{k-1}-1$ について [3.1]~[3.4] を繰り返す。
 - [3.1] $G = G_{k-1, i, j}$
 - [3.2] $f_{\mu, \nu} = [F_{k, 2i+\mu, 2j+\nu}]$
 $\varepsilon_{\mu, \nu} = F_{k, 2i+\mu, 2j+\nu} - f_{\mu, \nu} \quad (\mu, \nu = 0, 1)$
 ($[\cdot]$ はガウス記号)
 - [3.3] $F' = f_{00}' + f_{01}' + f_{10}' + f_{11}'$, $l = G - F'$ と
 して $l = D_{00} + D_{01} + D_{10} + D_{11}$ を満たす
 ように $\varepsilon_{\mu, \nu}$ を参考にして $D_{\mu, \nu} = 0$ or 1
 を決める。
 - [3.4] $G_{k, 2i+\mu, 2j+\nu} = f_{\mu, \nu} + D_{\mu, \nu}$
- [4] 終り。 $G_{n, i, j}$ が求めるものである。

この手順中、 $0 \leq l \leq 4$ が保証されていなければならないことを注意しておく。($0 \leq l \leq 4$ は容易に確かめられる。)

さて、[3.3] における $D_{\mu, \nu} = 0$ or 1 の配分法が未定であったが、実はこれがこの方法の重要な要素である。この配分法の違いによって量子化したパターンもまた違って来るので、原画像にあわせてうまい配分法を考える必要がある。この配分法の具体的な例を次に述べることにしよう。

3. 具体的な配分法と実験結果

3.1 多段分割量子化法の例 (方法I)

まず、Haar 展開係数を次のように定義する。

$$C_{k, i, j}^{(\varphi)} = \int_{Q_k} (f(x) - g(x)) \varphi_{k, i, j}^{(\varphi)}(x) dx \quad (17)$$

* 評価規準 (3章で述べる) の取り方によっては $f_{\mu, \nu}$ の切り上げ、切り捨てが解にならないこともある。特に(15)の条件がつかず普通の評価規準でもそのようなことがあり得る。

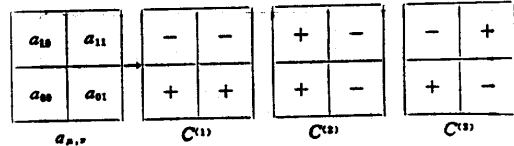


図 5 $a_{\mu, \nu}$ と $C^{(\varphi)}$ の関係

Fig. 5 The relation between $a_{\mu, \nu}$ and $C^{(\varphi)}$.

k, i, j を省略し、(13)と同様にしてこの $C_{k, i, j}^{(\varphi)}$ を $C^{(\varphi)}$ と書く。(φ は正規化していないものを考える。)

$$a_{\mu, \nu} = f_{\mu, \nu} - g_{\mu, \nu} \quad (18)$$

として、次式が成り立つ。

$$\begin{cases} C^{(1)} = a_{00} + a_{01} - a_{10} - a_{11} \\ C^{(2)} = a_{00} - a_{01} + a_{10} - a_{11} \\ C^{(3)} = a_{11} - a_{01} - a_{10} + a_{11} \end{cases} \quad (19)$$

この $C^{(\varphi)}$ と $a_{\mu, \nu}$ の関係は図 5 のようになる。評価量として次の J を定義する。

$$J = \{C^{(1)}\}^2 + \{C^{(2)}\}^2 + \{C^{(3)}\}^2 \quad (20)$$

この評価量を最小にするように $g_{\mu, \nu}$ を決める。

$$k = F - G = a_{00} + a_{01} + a_{10} + a_{11} \quad (21)$$

と置くと、 F, G がすでに与えられた数値なので、これを利用すれば次のようにして $g_{\mu, \nu}$ を求めることができる。これは手順の中の [3.3] に相当している。

- [3.3] $\varepsilon_{\mu, \nu}$ の大きいものから順に $D_{\mu, \nu} = 1$ を 1 個配分し、残りには $D_{\mu, \nu} = 0$ を配分する。

なお、この結論は $D_{\mu, \nu} = 0, 1$ の仮定をはずしても成り立っている。また、(20) のような形式の評価量の取り方は空間 K_k でユークリッド・ノルムを採用して、 $\|P_k(f-g)\|$ を最小化していることに他ならない。

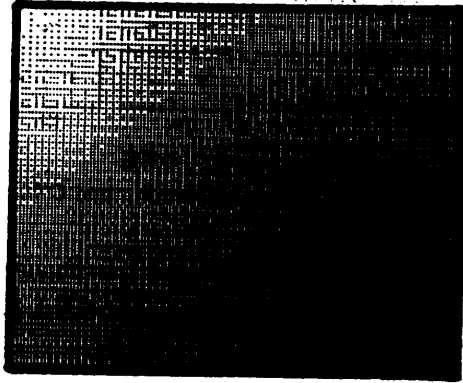
この方法をここでは方法 I と呼ぶことにする。方法 I の結果を図 6 (a) に示す。この結果を見ると短い線分が縦横にランダムに現われており、画像に様な感じがなく見にくくなっている。この原因は $l=2$ のときに図 7 (a) に示すような配分の場合と図 7 (b) に示すような配分の場合をまったく同等に扱っているところにある。すなわち、図 7 (a) のようなパターンの出現回数が多すぎるのである。そこで、図 7 (a) のようなパターンを出にくくするために、 $C^{(1)}, C^{(2)}$ に対して $C^{(3)}$ の重みを小さくする方法 II を考えた。

3.2 配分法の改善 (方法II)

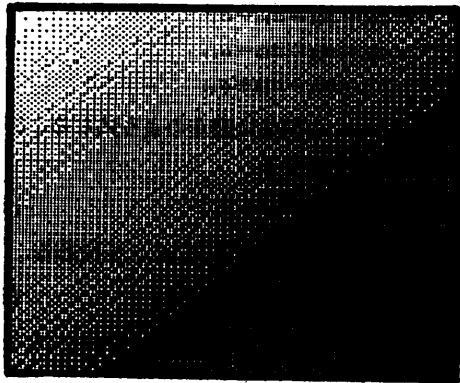
新しい評価量を次のように設定する。

$$J = \{C^{(1)}\}^2 + \{C^{(2)}\}^2 + \alpha \cdot \{C^{(3)}\}^2 \quad (\alpha \leq 1) \quad (22)$$

この J を最小にする $D_{\mu, \nu}$ は次のようにして与えられる。



(a) Type I



(b) Type II ($\alpha=1.0$)

図 6 新しい2値化法による結果

Fig. 6 Results of new bilevel display technique.

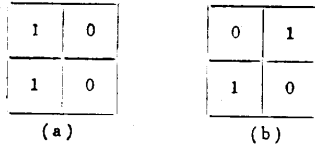


図 7 2通りの黒点配分法

Fig. 7 Two ways of black points disposition.

$$\begin{cases} \epsilon_{00}^* = (\alpha+1)\epsilon_{00} + (\alpha-1)\epsilon_{11} \\ \epsilon_{01}^* = (\alpha+1)\epsilon_{01} + (\alpha-1)\epsilon_{10} \\ \epsilon_{10}^* = (\alpha+1)\epsilon_{10} + (\alpha-1)\epsilon_{01} \\ \epsilon_{11}^* = (\alpha+1)\epsilon_{11} + (\alpha-1)\epsilon_{00} \end{cases} \quad (23)$$

と置いて、

$$D_{00}\epsilon_{00}^* + D_{01}\epsilon_{01}^* + D_{10}\epsilon_{10}^* + D_{11}\epsilon_{11}^* + (\alpha-1)(D_{00}D_{11} + D_{01}D_{10}) \quad (24)$$

を最大にする $D_{\mu,\nu}$ を選べば良い (たとえば、 $l \neq 2$ ならば $D_{00}D_{11} + D_{01}D_{10} = \text{const.}$ だから $\epsilon_{\mu,\nu}^*$ の大きい順に $D_{\mu,\nu} = 1$ を配分すれば良い)。ただし、この場合には $D_{\mu,\nu} = 0, 1$ の仮定をはずすことはできない。

この方法だと $D_{\mu,\nu}$ の決定のしかたが複雑になるので実験では次のような方法を取った。(この方法を方

法IIと呼ぶ。) 実験結果ではこの方法IIは(22)式で定義した評価規準による方法とほぼ同じ結果を得ることが分かっている。方法IIは手順中の[3.3]を次のように変える。

- [3.3] (i) $l \neq 2$ のときは方法Iと同じ。
 (ii) $l=2$ のとき、まず(19)で $a_{\mu,\nu}$ から $C^{(p)}$ を作ったのと同様に、 $\epsilon_{\mu,\nu}$ および $D_{\mu,\nu}$ から $\epsilon^{(p)}$, $D^{(p)}$ を作る。もちろん $C^{(p)} = \epsilon^{(p)} - D^{(p)}$ である。 $l=2$ のとき、 $D_{\mu,\nu}$ の値の取り方は6通りであり、その取り方によって $D^{(p)}$ は、

$$\begin{cases} D^{(p)} = \pm 2 \\ D^{(q)} = 0 \quad (q \neq p) \quad (p=1, 2, 3) \end{cases} \quad (25)$$

の6通りの結果が得られる。 $D^{(p)}$ の符号は、 $\epsilon^{(p)}$ の符号と一致していると考えて、 $\epsilon^{(p)}$ の絶対値を取り、

$$|\epsilon^{(1)}|, |\epsilon^{(2)}|, |\epsilon^{(3)}| + \alpha \quad (\alpha \geq 0) \quad (26)$$

をそれぞれ計算し、そのうち最大のものの番号を r として、

$$\begin{cases} D^{(r)} = \pm 2 \text{ (符号は } \epsilon^{(r)} \text{ の符号と同じ)} \\ D^{(q)} = 0 \quad (q \neq r) \end{cases} \quad (27)$$

とする。この $D^{(p)}$ から $D_{\mu,\nu}$ を逆算して $D_{\mu,\nu}$ を求める。

この方法によれば $C^{(1)}, C^{(2)}$ は(22)の評価規準の考え方と同じく、 $C^{(3)}$ に対してより頻繁に小さくなり、その意味で方法IIは(22)の評価量と同じ性格を持っているのである。

この方法IIによる実験結果を図6(b)に示す。図6(a)に比べて画質は(細かい線分が現われなくなったという意味で)改善されている。

3.3 雑音強調の低減

図8(a)は多段分割量子化法(方法II)によって手書きの絵を2値化したものである。この結果を見ると画面に不規則なちらつきが目だつ。これは原画像の持つ雑音成分の影響である。多段分割量子化法は高域強調の効果があるので小さな雑音を強調することになり、そのために画面がちらつくのである。

この効果を弱めるために $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, β なるパラメータを導入して方法IIを改めることにした。

[3.3] に次の操作を加える。

- (i) $l \neq 2$ のとき、 $\epsilon_{00}, \epsilon_{01}, \epsilon_{10}$ にそれぞれ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ を加える。 ($\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$)

- (ii) $l=2$ のとき、式(27)において $D^{(r)} = \pm 2$ の

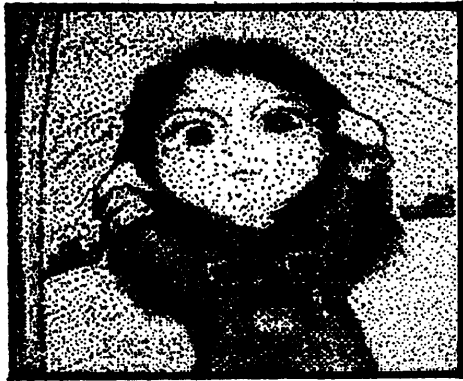
(a) $\alpha=(0, 0, 0), \beta=0$ (b) $\alpha=(0.04, 0.01, 0.01), \beta=0.02$

図 8 方法Ⅱの結果

Fig. 8 Results of Type II with parameter.

符号を決めるときに、あらかじめ $\varepsilon^{(r)}$ に β を加えておいてから符号を決める。

この α, β の導入はいずれも黒点の配置を規則的にして雑音の影響を少なくするという考え方に基づいている。 $\alpha=(0.04, 0.01, 0.01)$ $\beta=0.02$ の結果が図 8 (b) である。確かに図 8 (b) の方が点の並び方が一様で見やすいパターンになっている。

このパラメータを大きくすれば雑音の影響は少なくなる訳だが、しかしあまり大きく取りすぎると今度は画像がぼけてしまうので、画像の質に応じて適当にパラメータを選ばなければならない。

以上雑音強調の低減法について簡単に触れたが、最適なパラメータの選び方、パラメータの設定法についてはさらに深く研究する必要がある、これは今後の研究課題である。

3.4 従来の方式との比較実験

方法Ⅱによる顔写真の実験結果の例を図 10 に示す。この画像は図 9 に示す写真を 256×256 のメッシュで区切り、画素の値を 16 レベルに量子化したもの

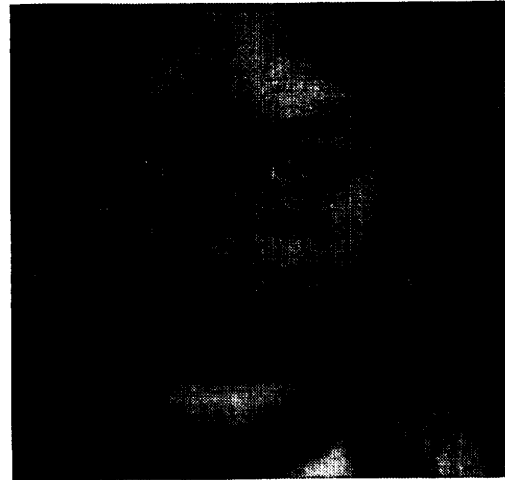


図 9 原画

Fig. 9 Original picture.

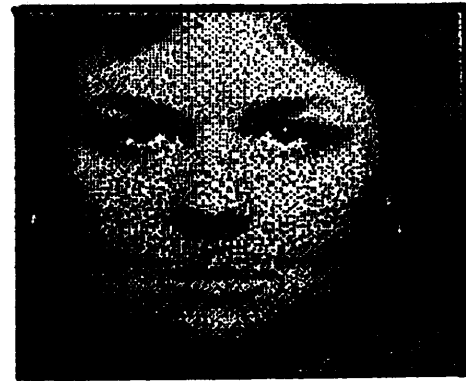


図 10 新しい2値化法(方法Ⅱ)

Fig. 10 New bilevel display technique.

Type II $\alpha=(0.02, 0, 0), \beta=0.02$

を原画とし、それを多段分割量子化法(方法Ⅱ)によって2値化して 256×256 の点で表示したものである。ただし、実験では全領域を 64 分割し、各ブロック (32×32) ごとに多段分割量子化法を用いた。計算時間は約 2 分である。(FORTRAN プログラム、計算機: TOSBAC 40-C)

図 11 は固定パターン法である。(4×4 ドットで 1 画素とした。) 図 10 に比べて滑らかではあるが、その分ぼけていて鮮明さにおいて多段分割量子化法より劣る。また図 8 などから分かるとおり、多段分割量子化法では細い線もかなり鮮明に表現されることを付け加えておく。図 12 はディザ法である。図 10 に比べてムラが多い。ディザ法ではこのようにドット数が少ないと画質劣化が著しい。

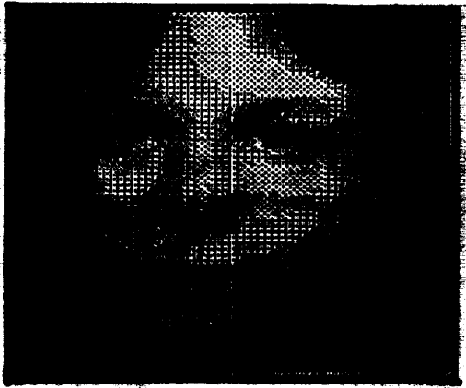


図 11 固定パターン法
Fig. 11 Fixed pattern method.

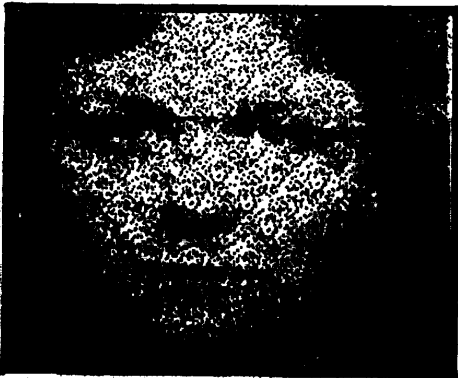


図 12 ランダムディザ法
Fig. 12 The method using dither.

4. む す び

具体的な配分法の例による実験の結果、多段分割量子化法の有効性が認められた。また、多段分割量子化

法は2値以外に多値の場合にもそのまま応用可能であり、特にレベル数の少ない場合に有効であることが実験により確かめられている。

今後に残される課題として、多段分割量子化法の改良、画質の定量的評価法、カラー画像への拡張、処理速度向上のための専用ハードウェアの開発、情報圧縮や雑音問題などとの関連についての研究を進めている。この方法はピラミッド型データ構造⁴⁾とも関係が深い。Haar 変換との関連を含めて、これらの考え方を基礎にした理論的な研究も重要である。

この方式を意味あるものにするために、多段分割量子化法をどのように装置化し、どのような分野に応用していくかという問題を考えることが、当面の最重要事項であると考えている。

参 考 文 献

- 1) 長谷川, 安田: 最適ドットパターンを用いた中間調ある画像の表示記録, 通信学会全国大会予稿集, No. 1379 (1974).
- 2) 藤村是明: ドット式表示装置による濃淡図形表示の方法, 情報処理, Vol. 15, No. 7. pp. 503-509 (1974).
- 3) Beauchamp, K. G.: Walsh Function and Their Applications, pp. 72-86, Academic Press (1975).
- 4) Tanimoto, S. and Pavlidis, T.: A Hierarchical Data Structure for Picture Processing, Computer Graphics and Image Processing 4, pp. 104-119 (1975).

(昭和 53 年 5 月 18 日受付)

(昭和 53 年 11 月 6 日採録)