

周辺濃度集積再配分法(CAPIX 法)による擬似中間調再生プロセッサ

松下技研株式会社 正会員 黒 沢 俊 晴
 // 丸 山 祐 二
 // 土 屋 博 義
 // 中 里 克 雄

〈あらまし〉 2×2 画素の窓を走査しながら 4 画素の画素濃度を加算し、4 画素の原画データの順位付けにしたがって黒画素を再配分する周辺濃度集積配分法 (Correlative Density Assignment of adjacent Pixels-CAPIX) の擬似中間調再生アルゴリズムを提案し、LSI (ハーフトーンプロセッサ MN 8357) を開発した。

CAPIX 法は、高階調特性と高解像度特性を両立し、印刷物等の網点画像再生時に発生するモアレを抑制できる優れた性能を持つことを示した。

CAPIX 法の LSI 化は、“ピット配分法により各走査窓のラインバッファメモリに一時記憶するデータの記憶容量を削減することによって、出力再生画像の劣化なく実現できることを示した。

CAPIX 法を搭載した MN 8357 は、最高処理速度 350 ns/画素を達成し、文字、図形、写真や網点写真等の混在した文書画像の 2 値再生専用プロセッサとして OA 分野での幅広い応用が期待出来ることを示した。

〈Summary〉 This paper describes a new bi-level halftoning algorithm, named CAPIX, which pixels density is added within the scanning window in succession and the output pixel density is assigned in order of higher input pixels density within the scanning window of 2×2 pixels on the original plane.

This algorithm has been realized in a newly developed LSI, named halftone-processor MN 8357.

CAPIX has showed superior performance in the representation of both continuous tone and fine details.

To realize in the LSI chip, the data bit length of the line-buffer memories has been reduced from 27bit-width/pixel to 16 bit-width/pixel, without deterioration of the output image quality by the technique of optimum bit assignments.

MN8357 has achieved a maximum processing speed of 350ns/pixel, and is easily applicable to the office equipments such as digital hardcopies, bi-level displays, printing systems, facsimile systems, and so on.

1. はじめに

近年、OA 機器やファクシミリの急速な普及に伴って、従来の文字や図形を主体とする白黒 2 値の文書から、階

調写真や印刷物等の網点写真の混在する文書をイメージスキャナ等を介して 1 つの文書画像として従来の白黒 2 値の画像と同様に取り扱い、蓄積、編集、伝送、複写するための文書画像処理が要望されている。とりわけ、階調画像は多値データであるためその 2 値化処理技術が注目されている。

階調画像の 2 値化処理技術 (擬似中間調処理) には、ディザ法を始め多くの方式提案がなされていたが¹⁾、総じて一長一短があり満足すべき方式は得られていない。

“Digital Halftone Processor based on Correlative Density Assignment of Adjacent Pixels-CAPIX”
 Toshiharu KUROSAWA (Member), Yuji MARUYAMA, Hiroyoshi TSUCHIYA and Katsuo NAKAZATO (Matsushita Research Institute Tokyo Inc.).

例えば、組織的ディザ法³⁾は、マトリックスサイズに依存し画像の低周波特性である階調と高周波特性である分解能が両立しない。また、印刷物等の網点画像の再生時には原画の網点周期とサンプリング周期との空間的な干渉によるモアレパターンを発生する。誤差拡散法⁴⁾は階調特性と分解能特性の両立という点で最良の方法であるが、再生画像は誤差フィルタの構造により独特の縞模様であるテクスチャが目立つ等の問題点がある。また、積和演算が必要で論理回路が重くなる。

我々は以上の問題点と特に網点画像のモアレ除去を解決するために、 2×2 画素の窓を走査しながら黒画素の再配分を行うモアレ除去法⁴⁾をすでに提案し、新聞印刷システムに応用した。そして、更に本方式の黒画素に関する配分アルゴリズムを改良することによって、高品位な擬似中間調再生画像が得られる周辺濃度集積再配分法 (Correlative Density Assignment of adjacent Pixels-CAPIX 法) を提案し、LSI 化(ハーフトーンプロセッサ, MN 8357) を実現した⁵⁾⁻⁸⁾。

本論文では、この改良された CAPIX 法と LSI 化を実現するためのアルゴリズム及びハーフトーンプロセッサについて述べる。

2. 文書画像再生の必要条件

文書画像の2値再生には、階調写真原稿に対して階調特性と解像度特性の両立と緻密で滑らかな再生、網点写真原稿に対してモアレ発生の抑制、輪郭のはっきりした文字、線画の再生等が要求される。

階調再現性は原画データを F_{mn} 、2値化後のデータを G_{mn} とすると、微小領域において $\sum F_{mn} = \sum G_{mn}$ の関係を満足すること、即ち変換前後の濃度が等しいことであり、また、滑らかさは濃度勾配の変化の少ない領域や特定の画像信号に対するテクスチャを抑制し視覚的に違和感のないことである。

高解像度特性は濃度変化の急激なところで黒画素が集中することが必要であり、文字、線画の再生には重要である。

図1は、網点写真を従来の単純2値化方式により再生したときのモアレ発生の様子を示す。同一の大きさを持った網点を円で示し、サンプリング時のアパーチャを正方向格子で示してある。また、ハッチング部分は再生時の画素を示す。原稿が同一の大きさを持った網点でも、サンプリング時のアパーチャの位置により再生画像は1~4画素の網点面積を持ち、周期性を持った配置となつて、視覚的にモアレと認識される。図1の例では、原稿の網点は3画素分の面積であるのにもかかわらず、+1~2画素分の誤差を含んで再生されていることがわ

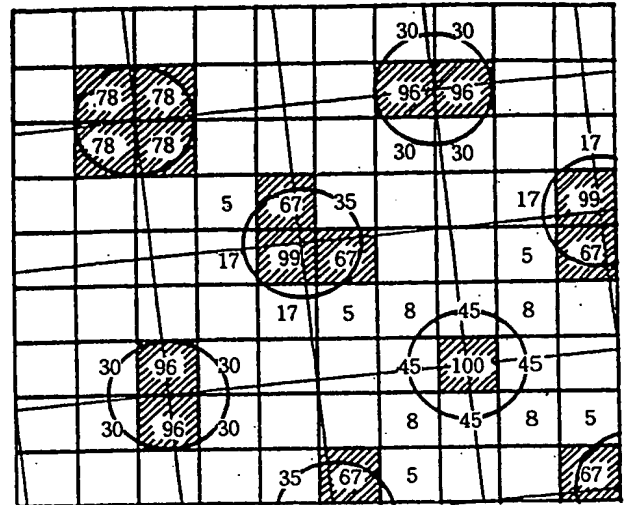


図1 網点写真原稿の再生

Fig. 1 Bilevel reproduction of photographically screendot original.

かる。網点写真再生時のモアレパターンの発生要因としては、面積誤差と位相誤差及び形状誤差が考えられるが、主要因である面積誤差を少なくすることで、モアレ抑制された高品質な再生画像が得られる⁴⁾。

3. CAPIX 法

3.1 基本原理

CAPIX 法は、注目画素の周辺濃度を集積し、隣接画素間の相互関係に基づいて黒画素を再配置させる擬似中間調処理方式で、前述の条件を満足させようとしたものである。この方式は3つの基本アルゴリズムより構成されており、図2にその基本概念図を示す。図は、3つの濃度領域の例を示してある。数字は標本化された画像信号レベルを表し、その最大値を100とした場合の例であり、Sは画像信号レベルの総和を表している。

第一の基本アルゴリズムは、優れた階調再生を実現するための濃度配分に関するものである。「量子化された注目画素濃度が最大値以下のとき、その濃度と周辺の量子化された濃度を逐次加算する。その濃度の総和が最大値以上になったとき、対応する出力画素領域に1個の黒画素を配分する。」従って、この総和の領域は限定されず高濃度領域では黒画素の発生密度が高く、低濃度領域ではその発生密度が低くなる。

第2の基本アルゴリズムは、黒画素の配置の順位に関するものである。総和の結果、出力される黒画素は原画領域の中の画素レベルの大きい順位にしたがって対応した出力画像領域に配置する。このことは濃度変化の急激な部分で黒画素を寄せ集める効果があるため、輪郭強調をもたらす高分解能になる。また、網点画像再生時に発

周辺濃度集積再配分法(CAPIX 法)による擬似中間調再生プロセッサ

生ずるモアレパターンを著しく抑制する。

第3の基本アルゴリズムは、注目画素の周辺画素で発生した誤差の平均値の一部を順位補正量として順位付データの一部の画素に加えることによって黒画素配置を制御するものである。これによって周辺に発生した誤差を小さくすることができるため、視覚的に緻密で滑らかな

擬似中間調再生をもたらす。以上の基本アルゴリズムを二次元空間で実行させるため、 2×2 画素の窓を設定し連続走査しながら総和、順位付、再配分、誤差処理を行う。

3.2 画素処理

動作原理図を図3に示す。今、4画素から構成される総和・再配分用走査窓 W_r 、順位付け用走査窓 W_o 、順位補正用走査窓 W_e とし、これらは互いに対応した位置に設定され、主走査方向に一画素毎、副走査方向にライン毎に同期して走査するものとする。

(1) 濃度配分処理

走査窓 W_r 内の画像信号レベルと一画素前の画素処理で発生した濃度配分誤差 E_a との総和 S を演算し、画像信号レベルの最大値 P を n 個と余り d に分解する。

$$S = \sum_{i=m-1}^m \sum_{j=n-1}^n f_{ij} + E_{a,m-1,n-2} = P \times n + d \quad (1)$$

ここで、 n は走査窓 W_r に濃度配分される黒画素の数を表し、 d は画像の濃度保存を満足させるための値で、画像信号レベルの最大値に満たない中間値である。

(2) 順位付け処理

濃度配分の優先順位を決定するため、順位補正走査窓 W_e 内のデータ平均値 E_{ca} の一部と走査窓 W_o の原画の画像信号レベル $f_{m-1,n-1}$ とを加算して補正した順位補正レベル $f'_{m-1,n-1}$ と、走査窓 W_o の残りの3つの原画の

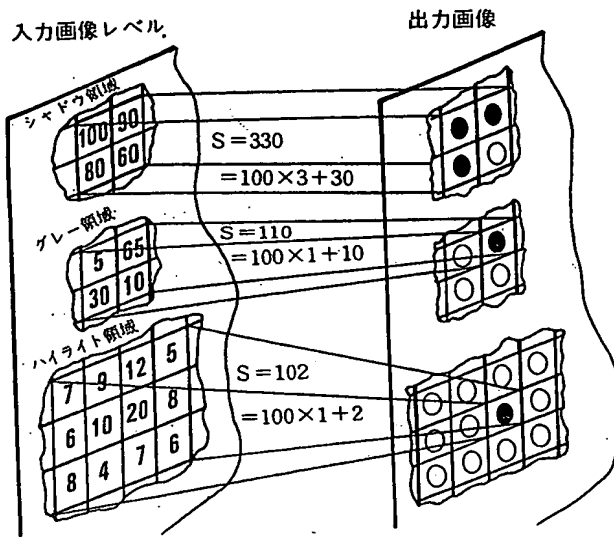


図2 CAPIX法の基本概念図
Fig. 2 Basic concept of CAPIX method.

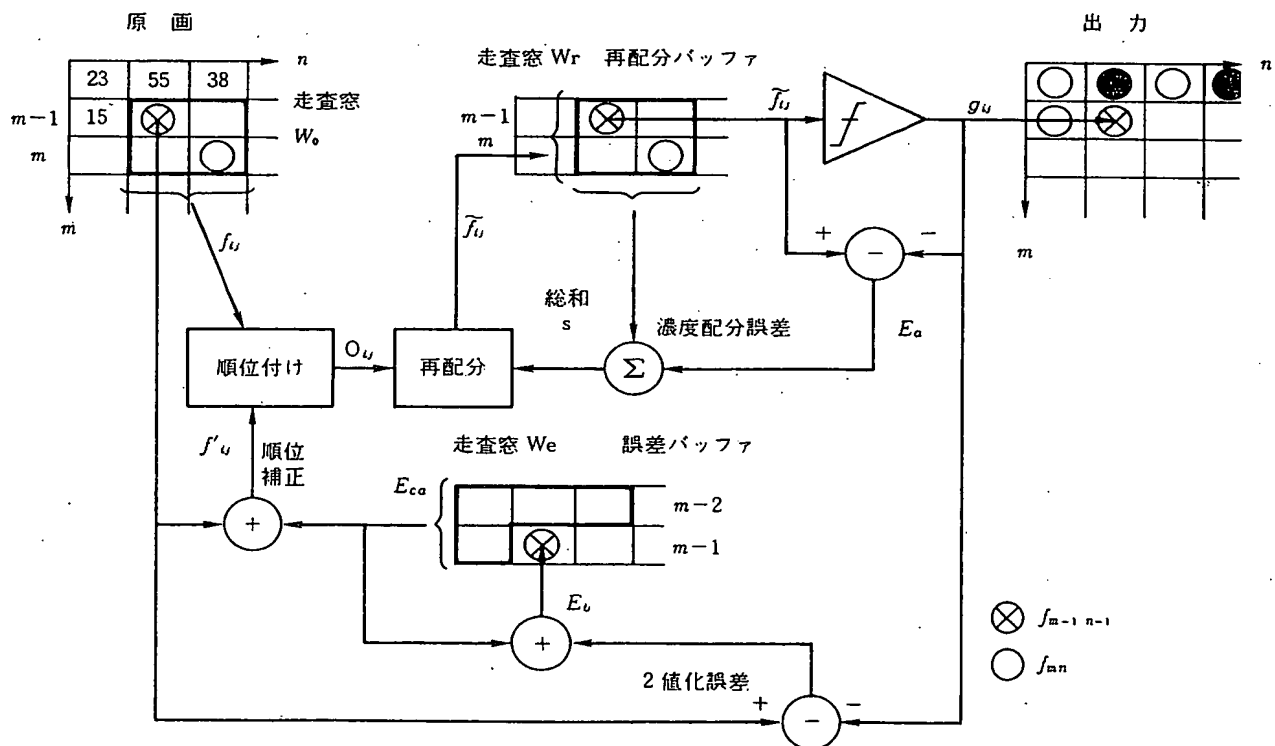


図3 CAPIX法の動作原理図
Fig. 3 Processing of CAPIX method.

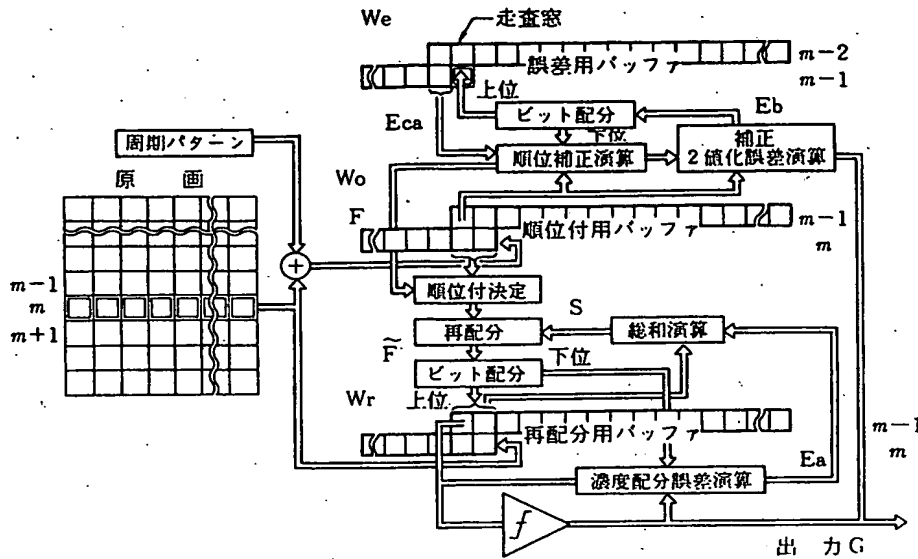


図4 CAPIX法の基本構成図
Fig. 4 Basic configuration of CAPIX method.

画像信号レベルをそれぞれ比較し、降順位数 0_U を求める。

$$f'_{m-1, n-1} = f_{m-1, n-1} + K_a \cdot E_{ca} \quad (2)$$

$$E_{ca} = \frac{1}{4} \left(\sum_{i=m-2}^n \sum_{j=n-2}^n E_{b_{ij}} + E_{b_{m-1, n-2}} \right) \quad (3)$$

$$0_U = 0 \left[f'_{m-1, n-1}, f_{m-1, n}, f_{m, n-1}, f_{m, n} \right] \quad (4)$$

$$(i=m-1, m; j=n-1, n)$$

(3) 黒画素配分処理

式(1)で求めた総和から n 個の黒画素に対して $f_U = p, n-1$ 個目の黒画素に対して $f_U = d$ を、また残りは $f_U = 0$ として式(4)で求めた大きい順位にしたがって走査窓 W_r の対応する画素に配分する。

$$\tilde{f}_U = \begin{cases} p : 0_U < n+1 \\ d : 0_U = n+1 \\ 0 : 0_U > n+1 (i=m-1, m; j=n-1, n) \end{cases} \quad (5)$$

これらの動作は走査されるたびに繰り返されるので、それぞれの画素は 2×2 画素の走査演算で4回現れる。その結果、 f_U の値はほとんどが画像信号レベルの最大値 p 又は0から構成され一部に画像信号レベルの中間値 d を残すのみである。

(4) 2値化処理

2値化は最終的に4回演算された画素 $f_{m-1, n-1}$ を固定閾値 $T = p/2$ で比較して決定される。

$$G_{m-1, n-1} = \begin{cases} 1 (\text{黒}) : \tilde{f}_{m-1, n-1} \geq T \\ 0 (\text{白}) : \tilde{f}_{m-1, n-1} < T \end{cases} \quad (6)$$

(5) 誤差処理

2値変換された段階で濃度配分誤差 E_a と順位補正に

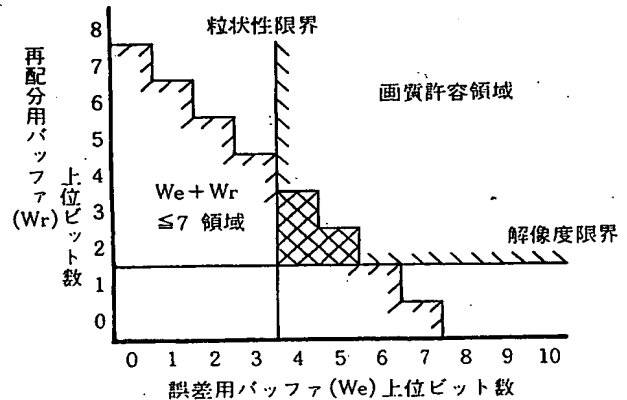


図5 記憶ビット幅と画質との関係
Fig. 5 Relationship of the output image quality between upper-bit width of the line-buffers.

寄与する補正2値化誤差 E_b を演算する。

$$E_{a_{m-1, n-1}} = \tilde{f}_{m-1, n-1} - G_{m-1, n-1} \quad (7)$$

$$E_{b_{m-1, n-1}} = f_{m-1, n-1} - G_{m-1, n-1} + K_b \cdot E_{ca} \quad (8)$$

ここで、係数 K_b は補正2値化誤差 E_b の制御ファクターであり、実験的に $0 < K_b < 1$ の範囲であたえられる。このファクターは原画像における濃度変化の特異点でのテクスチャの発生を減少させる効果がある。

4. CAPIX法のLSI化

4.1 基本構成

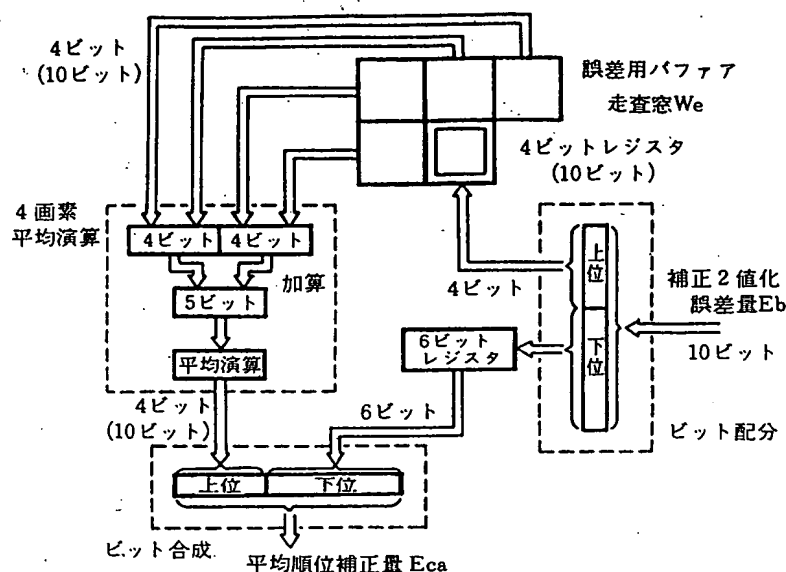
図4にLSI化するためのCAPIX法の基本構成図を示す。CAPIX法を論理回路で実現するための主な構成要素はレジスタ、加算器と各走査窓の信号を一時記憶しておくためのラインバッファである。これらの要素のうち最も問題となるのはラインバッファメモリである。今、

周辺濃度集積再配分法(CAPIX 法)による擬似中間調再生プロセッサ

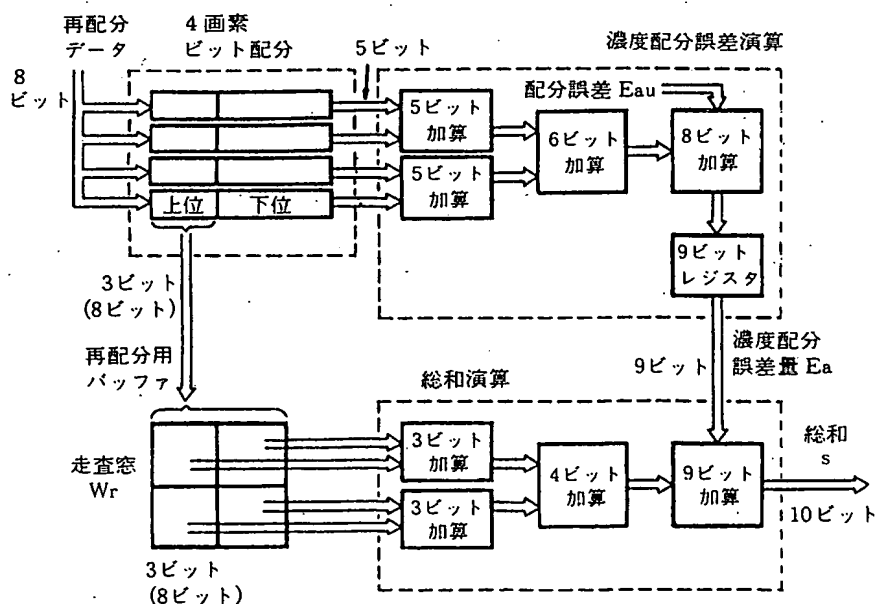
CAPIX 法を 8 ビット/画素に量子化された画像信号を処理させると、各ラインバッファメモリの最大値は、原画像信号に周期的なディザ信号を加算した順位付け信号を走査窓 W_e に記憶する 9 ビット幅、再配分信号を走査窓 W_r に記憶する 8 ビット幅、順位補正に寄与する補正 2 値化誤差 E_e を走査窓 W_e に記憶する 10 ビット幅である。従って、ラインバッファメモリの総ビット幅は、27 ビット幅/画素で構成しなければならない。

このような大きなラインバッファメモリを LSI チップに搭載することは、負担が大きいため外に出すこととし、その場合のピン構成や信号の同時変化等を考慮してこれらの信号のビット幅を出力画像を劣化させずに削減することを検討した。

走査窓 W_e の順位付け信号は、黒画素の配分位置を決定するためのものであり、その位置精度は隣接画素との相関に密接な関係を持つため削減することは出来ない。



() 内は、ビット削減前のビット数
(a) 誤差用バッファ W_e のビット削減



() 内は、ビット削減前のビット数
(b) 再配分用バッファ W_r のビット削減

図 6 ビット配分によるバッファメモリ容量の削減
Fig. 6 Bit-width reduction of line-buffer memories.

走査窓 W_r の信号は配分位置の補正ファクターであり、また、再配分信号は濃度保存信号で大部分が画像信号の最大値または0である。これらの信号は、2次元の空間的配置に寄与するもので絶対的精度をそれほど必要としない。そこで、これらの信号の内重要な上位ビット部分をラインバッファメモリに記憶し、残りの下位ビット部分をLSIチップ内のレジスタに一時的に記憶し、次の画素処理で演算するというビット配分法を用いた。

図5はラインバッファメモリ W_r と W_r に記憶する上位ビット幅と出力画質との関係の実験結果を示す。順位補正に寄与する補正2値化誤差信号 E_c の記憶ビット幅を減少していくと隣接画素相関が減少するため粒状性画質となり、再配分データの記憶ビット幅を減少していくと解像度劣化をきたす。2重斜線部分は視覚的に許容できる出力画質とラインバッファメモリの総ビット数が16ビット/画素以下で構成するときのビット幅、 $W_r + W_r \leq 7$ の両者を同時に満足する領域を示す。

図6はLSIを実現したときのビット配分演算を示す。(a)は補正2値化誤差量 E_c 10ビットの上位4ビットをバッファメモリに記憶し、下位6ビットを一時レジスタに記憶して、走査窓 W_r 上位4ビット信号の4画素平均演算をした信号4ビットとビット合成して平均順位補正量 E_{ca} 10ビットを出力する。(b)は再配分信号8ビットの上位3ビットをバッファメモリに記憶し、下位5ビット

は再配分された上位3ビットの信号を2値化した時に発生した配分誤差 E_{au} と加算し、濃度配分誤差量 E_a として一時レジスタに記憶する。そして、次の画素処理において走査窓 W_r の3ビットとの総和演算で加算し総和S10ビットを出力する。このようなビット配分演算によりメモリ容量を削減でき、且つ、高品位な画質を維持できる。

4.2 擬似中間調再生プロセッサ

CAPIX法と通常の組織ディザ法、固定閾値法を搭載したハーフトーンプロセッサMN8357を2層A1のCMOS LSIで実現し、論理回路は乗算器や除算器はなく加減算器、レジスタとランダムロジックで構成されている。最高処理速度は、350 ns/画素を達成したMN8357は、階調写真処理にCAPIX1、網点写真処理にCAPIX2、CAPIXとタイミングを合わせるためにラインバッファメモリを使用して処理するディザ1、及びラインバッファメモリを使用せず処理するディザ2の4種類の動作モードを持ち、単純2値化はディザパターンの設定で実現できる等、用途により最適な処理モードを選択できるようにした。又、画素処理空間は水平走査方向最大65, 536画素、垂直方向無制限と広くとり幅広い応用分野を考慮した。仕様を表1に示す。

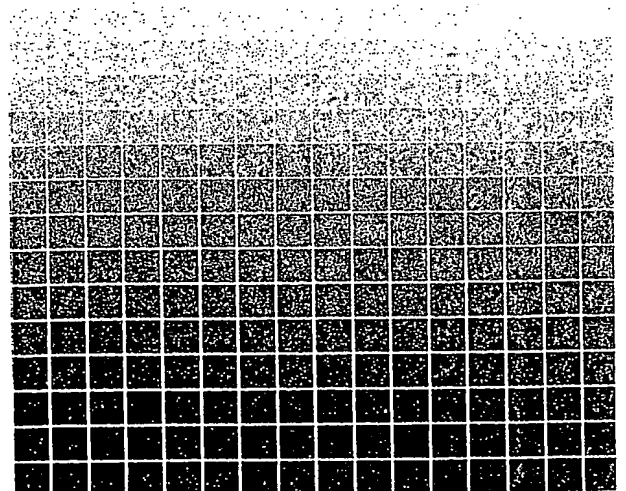
5. 再生画像

CAPIX法による再生画像例を図7, 8に示す。記録は走査線密度16本/mmでレーザビームスキャナプロッタを用いた。原画像信号の量子化レベルは、8ビット/画素である。

図7(a)は、256レベルのグレースケール、(b)は、写真

表1 ハーフトーンプロセッサのLSI仕様
Table 1 Specification of the halftone processor, MN8357

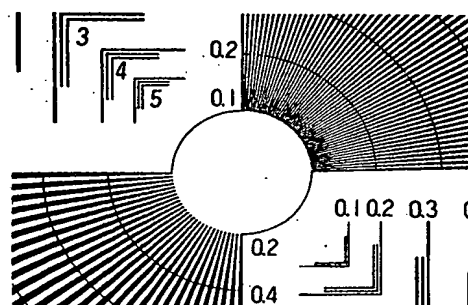
項 目	内 容
LSI技術	CMOS, 2層A1
素子数	22300 Tr.
パッケージ	84ピン, フラットパッケージ
クロック周波数	Max. 20 MHz
供給電圧	5 V
消費電力	130 mw (標準)
動作温度範囲	0 ~ 70°C
処理速度	Max. 350 ns/画素
入力画像信号	Max. 8ビット/画素
画像空間	水平走査方向 最大 65, 536画素 垂直走査方向 制限なし
動作モード	1) CAPIX 1 文字, 写真混在原稿用 2) CAPIX 2 文字, 網点写真混在用 3) 組織ディザ ディザマトリックス・ロード方式 マトリックスサイズ 1 × 1 ~ 16 × 16画素 閾値 0 ~ 255



(a) グレースケール



出右生物殊強構識量
本圧会流御断警静疊
出右生物殊強構
本圧会流御断警
出右生物殊強構
本圧会流御断警
出右生物殊強構
本圧会流御断警



(b) 階調写真と文字

図 7 CAPIX 法による 2 値再生画像例

Fig. 7 Bilevel reproduction images processed by CAPIX for continuous tone original.



組織ディザ法



CAPIX 法

図 8 網点画像の 2 値再生画像例

Fig. 8 Bilevel reproduction images processed by CAPIX and conventional ordered dither for photographically screened dot originals.

と文字の混在した画像の再生例である。高階調特性と高解像度特性を両立し緻密で滑らかな特性であることが視覚的に理解できる。

図8は網点写真(150線)の再生画像例である。比較のために従来の固定閾値法と組織的ディザ法による処理例を示す。CAPIX法はモアレパターンを大幅に抑制し、高品位且つ高分解能な再生画像を示していることがわかる。

7. む す び

階調画像や網点画像を高品位に擬似中間調再生をするCAPIX法を提案し、ハートンプロセッサMN 8357を開発した。CAPIX法は、画素濃度を集積し隣接画素間の相関のもとに出力黒画素の再配分を行うアルゴリズムにもとづいており、階調特性や分解能、モアレ抑制という点で優れた性能を持つことを示した。MN 8357は最高処理速度350 ns/画素の能力を持ち、イメージスキャナプリンタへの応用を始めとし、デジタル2値表示装置や電子印刷システム、ファクシミリ等OA分野への幅広い応用が期待される。

参 考 文 献

- 1) J. F. Jarvis, C. S. Judice, and W. H. Ninke "A Survey of Techniques for the Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays", Comput. Graphics, Image Processing, Vol. 5, pp. 13-14, 1976
- 2) B. E. Bayer "An Optimum Method for Tow-level Rendition of Continuous Tone Pictures", Proc. IEEE Int. Commun., Vol. 1, pp. 11-15, 1973
- 3) R. Floyd and L. Steinberg "An Adaptive Algorithm for Spatial Gray Scale", SID 75 Digest, pp. 36-37, 1975
- 4) K. Nakazato, H. Tsuchiya, and H. Ohtsuka "Halftoning of Continuous Tone Image Reproduction with Alias Suppression", IEEE Int. Conf. Commun., Proc. Vol. 1, pp. 228-233, 1984
- 5) 土屋, 中里: "階調画像の2値再生法", 昭和60年度信学総大, No. 1384, pp. 5-212, (1985)
- 6) 大塚, 黒沢, 丸山, 土屋, 中里: "IWPにおける中間調画像プロセッサ", 昭和60年度信学総大, No. 1336, pp. 5-164, (1985)
- 7) 黒沢, 土屋, 丸山, 大塚, 中里: "新2値再生法(CAPIX)の回路構成法", 昭和60年度信学部門大, 225, pp. 1-225(1985)

- 8) T. Kurosawa, H. Tsuchiya, Y. Maruyama, H. Ohtsuka, and K. Nakazato "A New Bi-level Reproduction of Continuous Tone Images" IEE 2nd. Int. Conf. IPA pp. 82-86, June, (1986)

(受付 昭和63年5月2日)

黒 沢 俊 晴(正会員)



昭45日大・工・電気工学科卒。同年松下電器産業(株)入社。松下技研(株)出向, ディスプレーデバイス, IR センサの研究開発に従事, 現在, デジタル画像処理分野の研究開発に従事, 電子情報通信学会, テレビジョン学会, 応用物理学会各会員

丸 山 祐 二



昭46新津工高・電子工学科卒, 同年松下電器産業(株)入社。松下技研(株)出向, 昭54東京電機大・電気通信工学科卒, 現在, 画像処理用LSI, 画像処理装置の研究開発に従事

土 屋 博 義



昭37札幌工高・電気工学科卒, 同年松下電器産業(株)入社, 同社中央研究所勤務, 昭42大阪府大・工短・電気工学科卒, 昭46松下技研(株)出向, 以来, 画像処理システム, データ圧縮, パターン認識等の研究開発に従事, 電子情報通信学会, 日本ロボット学会各会員

中 里 克 雄



昭37慶応大・工・電気工学科卒, 同年松下電器産業(株)入社。現在, 松下技研(株), 主幹技師。この間半導体MOSデバイス, LSIの研究開発を経て, 昭53よりデジタル画像処理技術の研究開発に従事, テレビジョン学会会員