

## 格子座標の周期性を利用した画像拡大縮小の高速処理方式†

田畑邦晃\*\* 町田哲夫\*\* 武田晴夫\*\*

印影・手書きメモ等の画像を含む文書編集処理を始め、各種の画像処理分野において、画像を所望の倍率で拡大・縮小（線密度変換）する機能が必要とされる。本論文では、2次元デジタル画像の高速拡大縮小方式を提案し、その基本原理、ハードウェア構成、処理時間評価について報告する。本方式は、単純なシフト操作で画像データのアクセスを制御するとともに、変換画素の濃度計算を並列処理するものである。従来、拡大縮小における座標計算は、座標変換式による算術演算を画素ごとに繰り返す方法が用いられているが、これと異なり、本方式は、格子座標の周期性を利用し、その部分列を循環シフトで参照する点に特徴がある。試算例では、変換画素あたりの処理時間は、拡大処理が  $(225+25/\beta)/K$  ns/画素、縮小処理が  $(225/\beta+25)/K$  ns/画素となる（ここに、 $\beta$  は倍率、 $K$  は並列度を示し、シフト・クロック周期を 200 ns と仮定）。この処理速度は従来方式の 1.0~2.2  $\mu$ s/画素と比較して、拡大処理が  $4K\sim 9K$  倍、縮小処理が  $4\beta K\sim 9\beta K$  倍に相当し、高速化に有効であることを確認した。

### 1. ま え が き

印影・手書きメモ等の画像を含む文書編集処理を始め、各種の画像処理分野において、画像を所望の倍率で拡大・縮小（線密度変換）する機能が必要とされる。本論文は、画像拡大縮小の高速化に関するものであるが、ここで考察する拡大縮小処理とは、2次元直角格子上の画素集合として定義されたデジタル画像を、新たな格子間隔の配列に変換する処理をいう。ただし、光学的・機械的操作による拡大縮小は対象としない。拡大縮小処理は、アフィン変換と呼ばれる線形座標変換の一種であり、基本的には次の二つのステップで構成される。第1のステップは、各変換画素について、原画像上の対応位置を求める「座標計算」であり、第2のステップは、変換画素の濃度（濃淡レベル）を近傍の原画素からの補間等で定める「濃度計算」である。このうち、濃度計算に関しては、SPC法<sup>1)</sup>、論理和法<sup>2)</sup>、投影法<sup>3)</sup>、9分割法<sup>4)</sup>等の手法が提案され、おもに、変換画像の画質評価を中心に研究されてきた。濃度計算を単純な論理演算やテーブル参照で実現することによって、これを高速化する試み<sup>4)</sup>も報告されている。

一方、拡大縮小処理の第一ステップである座標計算については、従来、座標変換式による算術演算を画素ごとに繰り返す方法が一般に用いられている<sup>5), 6)</sup>。このため、座標計算が拡大縮小処理の隘路となってい

た。本論文の方式は、この問題を解決するものであり、格子座標の周期性を利用して高速処理する点に特徴がある<sup>7)</sup>。すなわち、拡大縮小倍率を  $R/r$ （ここに、 $R$  は整数定数、 $r$  は整数変数）で示す離散値に限定すれば、変換画像と原画像の各格子点間の位置関係が周期性をもつ。この部分列を循環シフト・レジスタに格納することにより、単純なシフト操作で画像データのアクセスを制御するとともに、上記の周期性を利用して、変換画像を部分領域に分割し、濃度計算を並列に実行する方式（サイクリック・マッピング法）である。

ただし、本方式の前提条件として、下記を仮定する。

- (1) 直角格子状の2次元デジタル画像を対象とする。
- (2) 変換画像の濃度計算は、 $2\times 2$  近傍の原画素にもとづく。
- (3) 倍率は縦横独立に設定できるが、 $R/r$  で示す離散値に限定する。すなわち、厳密な意味では任意倍率ではないが、定数  $R$  を適宜選定することにより、この条件は実用上の大きな制約とならない。

以下、本論文で提案する高速拡大縮小方式の基本原理、ハードウェア構成、処理時間評価について報告する。

### 2. 2次元デジタル画像の拡大縮小

本論文では、2次元格子配列（直角格子）をもつデジタル画像の拡大縮小処理方式を提案するが、方式の原理説明に先立って、画像拡大縮小に関する用語と概念を定義する。

† A High-Speed Scaling Method of Digital Images Utilizing Periodicity of Lattice Coordinates by KUNIAKI TABATA, TETSUO MACHIDA and HARUO TAKEDA (Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.).

\*\* (株)日立製作所システム開発研究所

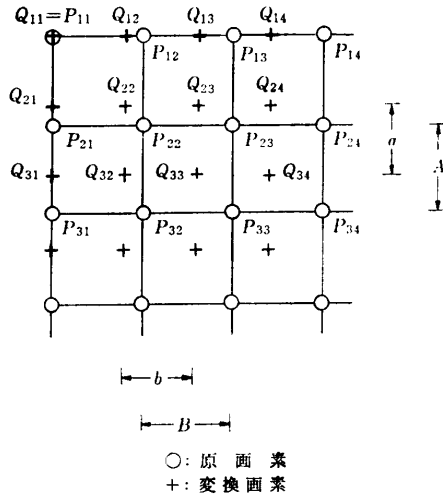


図1 原画像と変換画像の2次元格子配列  
Fig. 1 Two-dimensional lattice arrays of the original and the transformed images.

原画像の格子間隔を  $A, B$  とし、第  $i$  行  $j$  列 ( $i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J\}$ ) の原画素を  $P_{ij}$  で表す (図1参照)。画像の拡大縮小とは、新たな格子間隔で原画像を再標本化する処理をいう。拡大縮小後の画素の集合  $\{Q_{mn}\}$  を変換画像と呼ぶ ( $m \in \{1, 2, \dots, M\}, n \in \{1, 2, \dots, N\}$ )。垂直、水平各方向の新格子間隔を、それぞれ、 $a, b$  とし、拡大縮小倍率を  $\alpha, \beta$  とすれば、 $\alpha = A/a, \beta = B/b$  が成り立つ。ただし、格子間隔  $A, B, a, b$  は、適当な単位長の倍数で表現し、整数値をとるものとする。

拡大縮小処理では、各変換画素の濃度 (濃淡レベル) を近傍の原画素の濃度にもとづき定める必要があり、これを濃度計算という。濃度計算における近傍の定義については、種々の考え方<sup>4), 8)</sup>があるが、本論文では、高速処理に適した  $2 \times 2$  近傍を用いた。いま、変換画素  $Q_{mn}$  に隣接する左上の (または、 $Q_{mn}$  に一致する) 原画素が  $P_{X_m Y_n}$  であるとき、この添字の組  $(X_m, Y_n)$  を  $Q_{mn}$  の格子間座標と定義する。また、4点  $P_{X_m Y_n}, P_{X_m+1 Y_n}, P_{X_m+1 Y_n+1}, P_{X_m Y_n+1}$  が囲む矩形領域を  $Q_{mn}$  の格子域と称し、この格子域内での  $Q_{mn}$  の座標  $(u_m, v_n)$  を格子内座標と定義する (図2参照)。これらの格子間座標と格子内座標は次式で定める\*。

$$X_m = \text{integer} [(m-1) \cdot a/A] + 1$$

$$m \in \{1, 2, \dots, M\} \quad (1)$$

$$Y_n = \text{integer} [(n-1) \cdot b/B] + 1$$

$$n \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

\* 記号  $\text{integer} [ ]$  は切捨てによる整数化を示す。

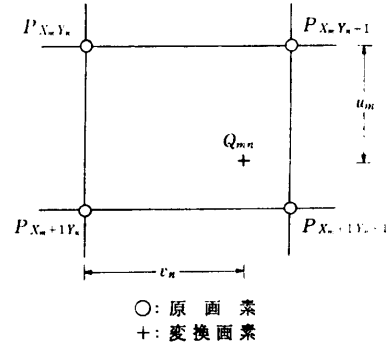


図2 変換画素の格子間座標と格子内座標  
Fig. 2 Inter- and intra-coordinates of the transformed pixels.

$$u_m = (m-1) \cdot a \quad \text{mod } A$$

$$m \in \{1, 2, \dots, M\} \quad (3)$$

$$v_n = (n-1) \cdot b \quad \text{mod } B$$

$$n \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (4)$$

画像拡大縮小処理は、各変換画素  $Q_{mn}$  に関して、(a) 格子域上の原画素  $P_{X_m Y_n}, P_{X_m+1 Y_n}, P_{X_m+1 Y_n+1}, P_{X_m Y_n+1}$  を求める座標計算と、(b)  $Q_{mn}$  の濃度を決定する濃度計算とで構成されるが、格子間座標と格子内座標は、それぞれ、上記(a), (b)の処理の基本パラメータとなる。本論文の拡大縮小処理方式は、格子間座標と格子内座標のもつ周期性を利用して処理の高速化をはかるものである (サイクリック・マッピング法)。

### 3. 格子座標の周期性を利用した画像拡大縮小の高速処理方式

#### 3.1 基本原理

前提条件として、原画像の各格子域を  $R \times S$  個の矩形領域にメッシュ分割し、この分割線の交点上にのみ変換画素が存在するものと仮定する。すなわち、原画像および変換画像の各格子間隔が次式を満たすものとする (ただし、 $A \parallel R=0, B \parallel S=0$ )<sup>\*</sup>。

$$a = r \cdot A/R \quad (5)$$

$$b = s \cdot B/S \quad (6)$$

ここに、 $r, s$  は正の整数である。

この条件は、拡大縮小倍率  $\alpha, \beta$  を次式で示す離散値に限定することにほかならない。

$$\alpha = R/r \quad (7)$$

$$\beta = S/s \quad (8)$$

このとき、任意の整数  $l$  について、

$$u_{i \cdot R + m} = u_m \quad m \in \{1, 2, \dots, M-l \cdot R\} \quad (9)$$

\* 記号  $A/R$  は、除算  $A/R$  の剰余を表す。

表 1 格子間座標と格子内座標の数値例  
Table 1 Numerical examples of inter- and intra-coordinates.

$m$	$X_m$	$\Delta X_m$	$u_m/A$
1	1	1	0
2	2	1	3/16
3	3	1	3/8
4	4	1	9/16
5	5	1	3/4
6	6	2	15/16
7	8	1	1/8
8	9	1	5/16
9	10	1	1/2
10	11	1	11/16
11	12	2	7/8
12	14	1	1/16
13	15	1	1/4
14	16	1	7/16
15	17	1	5/8
16	18	2	13/16
17	20	1	0
18	21	1	3/16
⋮	⋮	⋮	⋮

( $R=16$ )

$$v_{l \cdot S + n} = v_n \quad n \in \{1, 2, \dots, N-l \cdot S\} \quad (10)$$

$$\Delta X_{l \cdot R + m} = \Delta X_m \quad m \in \{1, 2, \dots, M-l \cdot R\} \quad (11)$$

$$\Delta Y_{l \cdot S + n} = \Delta Y_n \quad n \in \{1, 2, \dots, N-l \cdot S\} \quad (12)$$

が成立し、 $u_m, v_n, \Delta X_m (\equiv X_{m+1} - X_m), \Delta Y_n (\equiv Y_{n+1} - Y_n)$  が  $m$  または  $n$  に関して周期性をもつことが容易に導かれる。ここに、 $u_m$  と  $\Delta X_m$  の周期は  $R$  または、その整数分の一、 $v_n$  と  $\Delta Y_n$  の周期は  $S$  または、その整数分の一に等しい。一例として、 $R=16, \alpha=R/r=16/19$  の場合の  $\{u_m\}, \{X_m\}, \{\Delta X_m\}$  を表 1 に示す。数値例は省略するが、同様に、 $v_n$  と  $\Delta Y_n$  は  $n$  の周期関数となる。そこで、 $\{u_m\}, \{v_n\}, \{\Delta X_m\}, \{\Delta Y_n\}$  の各部分列  $\hat{u}, \hat{v}, \Delta \hat{X}, \Delta \hat{Y}$  を次のように定義する。

$$\hat{u} = \{u_1, u_2, \dots, u_R\} \quad (13)$$

$$\hat{v} = \{v_1, v_2, \dots, v_S\} \quad (14)$$

$$\Delta \hat{X} = \{\Delta X_1, \Delta X_2, \dots, \Delta X_R\} \quad (15)$$

$$\Delta \hat{Y} = \{\Delta Y_1, \Delta Y_2, \dots, \Delta Y_S\} \quad (16)$$

上記の周期性を  $u_m, v_n, \Delta X_m, \Delta Y_n$  がもつが、その物理的意味は次のとおりである。定義により、 $\Delta Y_n$  は、隣接画素  $Q_{mn}$  と  $Q_{m,n+1}$  に関する格子間座標の  $Y$  軸成分の差に等しい。変換画素の濃度は、格子域上の 4 点の原画素濃度から補間等により定めるが、 $Q_{mn}$  の格子域と  $Q_{m,n+1}$  のそれとの間隔を  $\Delta Y_n$  が表す。たとえば、 $\Delta Y_n = 0, 1, 2$  のとき、両格子域の位置関係は図 3 で示される。したがって、原画像の第  $X_m$  行と第  $X_m + 1$  行の各画素を、ともに、 $\Delta Y_1, \Delta Y_2, \dots, \Delta Y_N$

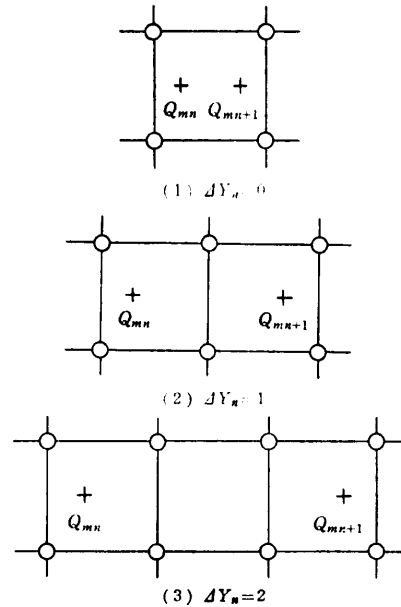


図 3 変換画素の格子域と  $\Delta Y_n$

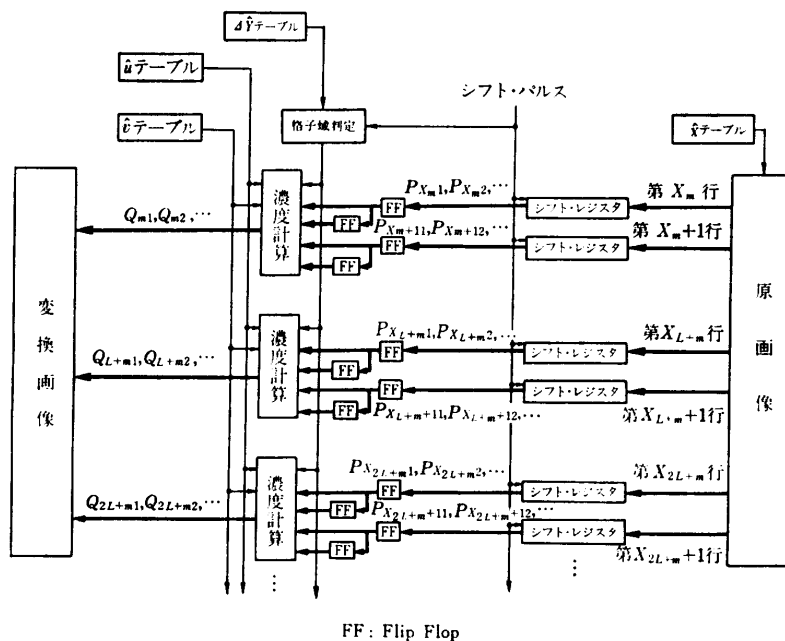
Fig. 3 Lattice areas of the transformed pixels and  $\Delta Y_n$ .

の順で左シフトすれば、 $Q_{m1}, Q_{m2}, \dots, Q_{mN}$  の濃度計算に要する原画素の濃度データが順次得られる。このシフト操作は、 $\Delta Y_n$  が  $n$  の周期関数であるので、部分列  $\Delta \hat{Y}$  をサイクリックに参照して制御できる。なお、各変換画素  $Q_{mn}$  の濃度計算には、格子域上の原画素の濃度とともに、格子内座標  $(u_m, v_n)$  のデータをも必要とする。このうち、 $u_m$  の値は、 $Q_{m1}, Q_{m2}, \dots, Q_{mN}$  の各点に共通である。また、 $v_n$  は  $n$  の周期関数であるので、部分列  $\hat{v}$  を参照すればよい。さらに、 $u_{l \cdot R + m} = u_m$  が成立するので、第  $l \cdot R + m$  行の濃度計算に要する格子内座標値は、第  $m$  行の濃度計算に要するデータと同一である。

以上の考察にもとづき、本論文の方式は、次の手段を導入して拡大縮小処理の高速化をはかるものである。

(1) テーブル参照による画素座標計算

倍率  $\alpha, \beta$  で一意に定まる部分列  $\hat{u}, \hat{v}, \Delta \hat{X}, \Delta \hat{Y}$  を拡大縮小の処理開始前に計算し、テーブルに記憶する。任意の変換画素に関する格子間座標と格子内座標は、式(9)~(12)にもとづき、テーブル参照により定める。次項に述べるように、原画像データを単純なシフト操作で濃度計算部に順次送出し、これにとまって、格子間座標と格子内座標を、変換画素の添字順 ( $m=1, 2, \dots, M; n=1, 2, \dots, N$  の順) に参照する。したがって、上記部分列をシフト・レジスタに格納し、循環シフトすればよい。従来方式のような算術演算を



FF: Flip Flop  
 図 4 本論文の高速拡大縮小方式の基本原則  
 Fig. 4 Basic principles of the proposed high-speed scaling method.

表 2 設定可能な倍率の数値例  
 Table 2 Numerical examples of realizable scale factors.

r	倍率 $\alpha (=R/r)$	
	R=16	R=32
6	2.67	5.33
7	2.29	4.57
8	2.00	4.00
9	1.78	3.56
10	1.60	3.20
14	1.14	2.29
15	1.07	2.13
16	1.00	2.00
17	0.94	1.88
18	0.89	1.78
30	0.53	1.07
31	0.52	1.03
32	0.50	1.00
33	0.49	0.97
34	0.47	0.94
62	0.26	0.52
63	0.25	0.51
64	0.25	0.50
65	0.25	0.49
66	0.24	0.48

必要としないので、画素座標計算を高速に(シフト・クロックの周期で)、また、単純なハードウェアで実現できる。なお、RおよびSの値は、それぞれ、倍率

$\alpha$  と  $\beta$  の分解能を規定する整数定数(式(7),(8)参照)であるが、表2に示すように、16~32程度を設定すれば実用上は十分であるので、部分列データの格納に要するレジスタ容量は大きな問題にならない。

(2) シフト操作による画像データのアクセス制御  
 変換画素の濃度計算に必要な原画像データは、シフトレジスタから順次、濃度計算部に送出する。すなわち、第m行の変換画素の濃度を計算する場合、原画像の第Xm行と第Xm+1行の各画素を、ともに、 $\Delta Y_1, \Delta Y_2, \dots, \Delta Y_N$ の順で左シフトする。これにともなって、 $Q_{m1}, Q_{m2}, \dots, Q_{mN}$ に対する各格子域上の原画素データが順次得られ、これを濃度計算部に送出する。原画像データのシフトパターン( $\Delta Y_1, \Delta Y_2, \dots, \Delta Y_N$ )は、Sまたは、その整数分の一を周期として繰り返すので、部分列 $\Delta Y$ をサイクリックに参照(循環シフト)して、原画像データのシフト操作を制御する。

(3) 並列処理による画素濃度計算  
 第m, L+m, 2L+m, ... 行の各変換画素に対する濃度計算を列単位に同時に実行する( $m \in \{1, 2, \dots, L\}$ )。ここに、LはR(原画像格子間隔Aの分割数)の整数倍定数であり、並列処理する濃度計算部の個数をKとすると、 $L = R \cdot \lceil M / (R \cdot K) \rceil$ と定める\*。同時に濃

\* 記号「 $\lceil x \rceil$ 」は「ceiling」、すなわち、xを下回らない最小の整数を表す。

度計算するこれらの変換画素は、列番号を  $n$  とすれば、共通の格子間座標の差分 ( $\Delta X_m, \Delta Y_n$ ) と共通の格子内座標 ( $u_m, v_n$ ) をもつ。したがって、濃度計算および原画像データのシフト操作を、これらの複数行の変換画素に対して共通に制御できる。

上記の拡大縮小処理の原理を図4に示す。本方式では、変換画像を  $L$  行ずつの領域に分割し、各部分領域ごとに一つの濃度計算部を割当てて並列処理する。このとき、第1の濃度計算部は、 $Q_{11}, Q_{12}, \dots, Q_{1N}; Q_{21}, Q_{22}, \dots, Q_{2N}; \dots; Q_{L1}, Q_{L2}, \dots, Q_{LN}$  の順に画素単位に処理し、これと併行して、第2の濃度計算部は、 $Q_{L+11}, Q_{L+12}, \dots, Q_{L+1N}; Q_{L+21}, Q_{L+22}, \dots, Q_{L+2N}; \dots; Q_{2L1}, Q_{2L2}, \dots, Q_{2LN}$  の順に処理する。以下、同様に、一般に、第  $k$  番目の濃度計算部は、変換画像の第  $(k-1) \cdot L + 1$  行から第  $k \cdot L$  行までの部分領域を処理する。濃度計算に要する原画像データ (隣接する2行) は、2個のシフト・レジスタから供給する。各シフト・レジスタの現在出力および1クロック前の出力を合わせて計4個の原画素を、シフト・クロックに同期して、順次、濃度計算部に送出する。これらの4画素が、当該の変換画素に対する格子域に一致した時点で、濃度計算部を駆動する。この格子域判定は、原画像データのシフト回数と  $\Delta Y$  テーブルを比較して行う (全濃度計算部に共通)。なお、濃度計算アルゴリズムには、従来、SPC法<sup>1)</sup>、論理和法<sup>2)</sup>、投影法<sup>2)</sup>、9分割法<sup>3)</sup>等が提案されているが、そのいずれの手法にも本方式を適用できる。ただし、濃度計算アルゴリズム自体は本論文の主題でないので、言及しない。

以上を要約すると、本論文の拡大縮小方式は、単純なシフト操作で画像データのアクセスを制御するとともに、変換画素の濃度計算を並列処理するものであり、これを実現するために、格子間座標と格子内座標の周期性に着目して、その部分列を循環シフトで参照する点に特徴がある。これに対して、従来方式は、画素単位に算術演算を繰返して座標計算するものであった。なお、本方式では、格子間座標と格子内座標が周期性をもつための条件として、拡大縮小倍率を式(7)、(8)で定める離散値に限定する。ただし、整数定数  $R, S$  を適宜定めることに

より、実用上、ほぼ任意倍率を設定できると考えてよい (表2参照)。

### 3.2 ハードウェア構成

本論文による画像拡大縮小処理装置のハードウェア構成を図5に示す。ただし、説明の便宜上、以下、2値画像を対象とする。同図の画像メモリは、 $W$  ビット/語の構成で、原画像と変換画像を1語に  $W$  画素ずつ格納する。変換画像を  $L$  行ごとの部分領域に分割し、 $K$  個の濃度計算部 (PE: Processing Element) で並列処理する。画像メモリ上の原画像データは、入力バッファ (IB: Input Buffer), 入力用シフト・レジスタ (PS: Parallel-Serial Shift Register), フリップ・フロップ (FF: Flip Flop) 経由で各濃度計算部に送出し、変換画像データは、出力用シフト・レジスタ (SP: Serial-Parallel Shift Register), 出力バッファ (OB: Output Buffer) 経由で画像メモリに格納する。ここに、入力/出力バッファ、入力/出力用シフト・レジスタはすべて  $W$  ビット幅であり、これらのレジスタ間、および、画像メモリ間のデータ転送は  $W$  ビット並列に行う。入力用シフト・レジスタ  $PS_{21}, PS_{22}$  は、変換画素の濃度計算に必要な原画像データ (隣接する2行) を濃度計算部  $PE_k$  に順次送出するもので、

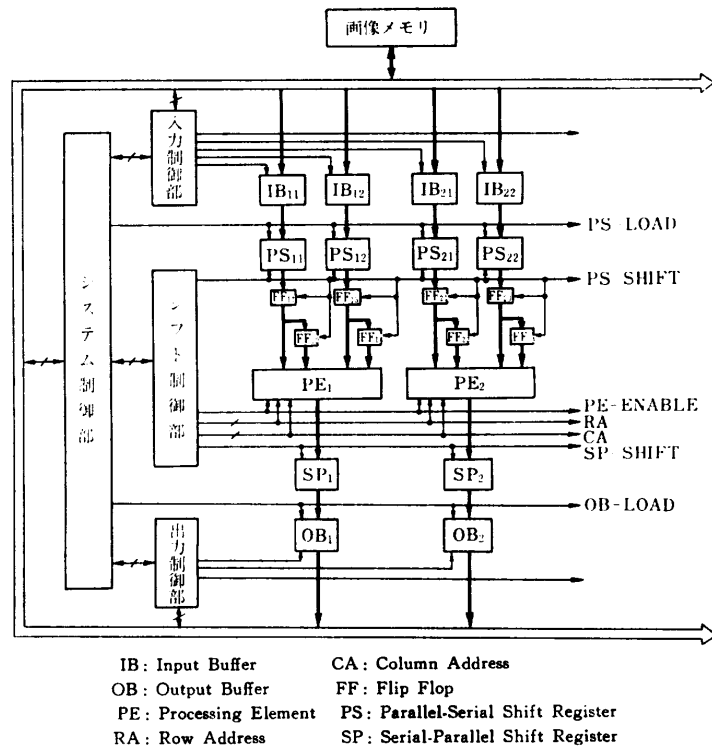


図5 拡大縮小処理装置のハードウェア構成

Fig. 5 Hardware configuration of the proposed scaling processor.

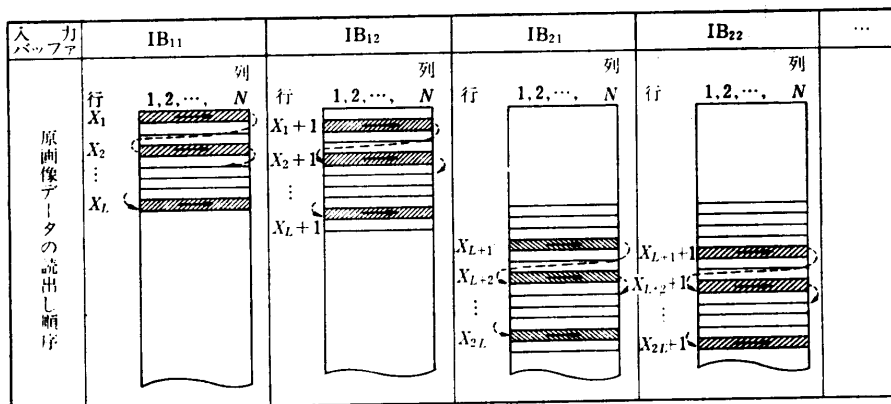


図 6 原画像データの読出し順序  
Fig. 6 Read sequence of the original image data.

そのシフト・クロックをシフト制御部が供給する ( $k=1, 2, \dots, K$ ). 入力用シフト・レジスタのおおのにおに入力バッファを設けているが、これは、原画像データのシフト操作 (すなわち、入力用シフト・レジスタから濃度計算部へのデータ転送) と画像メモリからの原画像データの読出しを並行処理するためである。本装置の動作を入力制御部、出力制御部、シフト制御部、システム制御部が制御する。各制御部の機能は次のとおりである。

3.2.1 入力制御部

入力制御部は、画像メモリから入力バッファへの原画像データの転送を制御する。入力制御部は、システム制御部が起動し、1回の起動において、入力バッファ  $IB_{11}, IB_{12}, \dots, IB_{21}, IB_{22}$  のおのにおに  $W$  ビットの原画像データを書き込む。このとき、 $IB_{11}$  には、原画像の第  $X_1$  行の画素を、行頭 (すなわち、 $P_{X_1,1}$ ) から順に  $W$  ビットずつ書き込み、第  $X_1$  行のデータ転送を終了すれば、 $X_2, X_3, \dots, X_L$  の順に、各行のデータを  $IB_{11}$  に転送する。 $IB_{12}$  には、原画像の  $X_1+1, X_2+1, \dots, X_L+1$  の順に、各行のデータを転送する。他の濃度計算部に対する入力バッファについても同様であり、 $IB_{21}$  には、 $X_{(k-1) \cdot L+1}, X_{(k-1) \cdot L+2}, \dots, X_{k \cdot L}$  の順、 $IB_{22}$  には、 $X_{(k-1) \cdot L+1+1}, X_{(k-1) \cdot L+2+1}, \dots, X_{k \cdot L+1}$  の順に原画像データを転送する ( $k=1, 2, \dots, K$ )。これを図6に示す。入力制御部は、上記のデータ転送を実現するために、画像メモリの読出しアドレスとコマンド、入力バッファのロード・イネーブル信号等を発行する。ここで、画像メモリに対するアドレス制御は、部分列  $\Delta X$  を参照して行う。

3.2.2 出力制御部

出力制御部は、出力バッファから画像メモリへの変換画像データの転送を制御する。システム制御部がこれを起動し、1回の起動において、出力バッファ  $OB_1, OB_2, \dots, OB_K$  の各  $W$  ビットの変換画素を画像メモリに格納する。一般に、第  $k$  番目の出力バッファ  $OB_k (k=1, 2, \dots, K)$  には、変換画像の第  $(k-1) \cdot L+1$  行の先頭画素から順に、以降、 $(k-1) \cdot L+2, \dots, k \cdot L$  の各行のデータが  $W$  ビットずつ書き込まれる。これを読み出して、画像メモリに格納する。

3.2.3 シフト制御部

シフト制御部は、濃度計算にとまなう原画像と変換画像のシフト操作、および、濃度計算部の起動を制御する。以下、図7を参照して、その機能を説明する。図中、 $\Delta Y, \hat{a}, \hat{b}$  の各テーブルは、格子座標の部分列を記憶するシフト・レジスタであり、左シフトの結果、溢れた最上位データは、循環して最下位桁に記憶する。 $\hat{a}, \hat{b}$  の各テーブルの最上位データは、濃度計算時の格子内座標の垂直成分 RA (Row Address)、水平成分 CA (Column Address) として、全濃度計算部に送出する。また、インタバル・カウンタは、格子域間隔を示すカウンタであり、格子域の一致判定に用いる (拡大縮小処理の開始時に、 $\Delta Y_1$  で初期化)。原画像データは、入力用シフト・レジスタ  $PS_{11}, PS_{12}, \dots, PS_{K1}, PS_{K2}$  を経由し、ビット直列で濃度計算部に供給し、濃度計算結果は、出力用シフト・レジスタ  $SP_1, SP_2, \dots, SP_K$  に蓄積する。このシフト操作に同期して、インタバル・カウンタを1ずつデクレメントする。濃度計算部への入力データ (フリップ・フロップ  $FF_{11}, FF_{12}, \dots, FF_{K4}$  上の4画素) が格子域に一致した時点

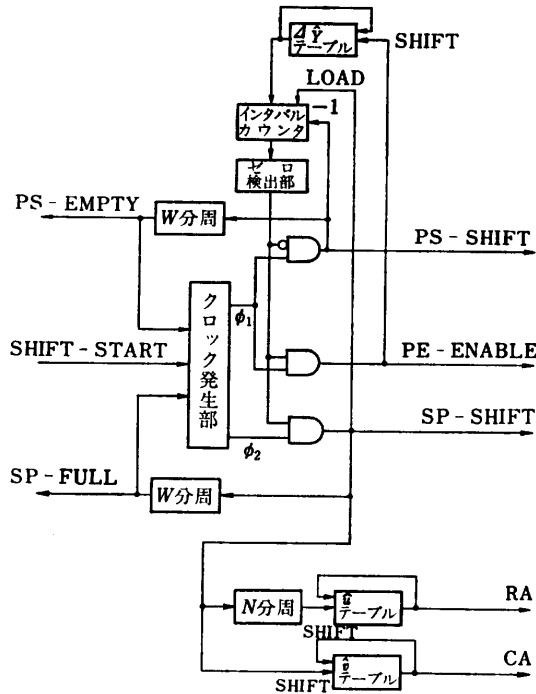


図7 シフト制御部の構成

Fig. 7 Schematic diagram of the shift-control unit.

で、濃度計算の実行を指示する。この格子域一致のタイミングは、インタバル・カウンタのゼロ検出により判定する。

シフト制御部は、システム制御部からの SHIFT-START 信号で起動され、2相クロック  $\phi_1, \phi_2$  に同期して下記の処理を繰り返す。各クロック・タイミングでの処理内容は、インタバル・カウンタの状態に応じて次のとおりである。

(a) インタバル・カウンタの値がゼロ以外の場合  
クロック  $\phi_1$  に同期して、シフト・レジスタ  $SP_{11}, SP_{12}, \dots, SP_{K1}, SP_{K2}$  に対するシフト信号 (PS-SHIFT) を発行し、同時に、インタバル・カウンタを1ずつ、デクレメントする。

(b) インタバル・カウンタの値がゼロの場合  
クロック  $\phi_1$  に同期して、 $\Delta Y$  テーブルを1ビット左シフトすると同時に、濃度計算部へのイネーブル信号 (PE-ENABLE) を発行する。濃度計算は、 $\phi_2$  までに完了する。濃度計算結果を出力用シフト・レジスタ  $SP_1, SP_2, \dots, SP_K$  に格納するためのシフト信号 (SP-SHIFT) を  $\phi_2$  に同期して送出する。また、同時に、 $\Delta Y$  テーブルの最上位データをインタバル・カウンタにロードし、 $\hat{v}$  テーブルを1ビット・左シフトする。 $\hat{v}$  テーブルのシフト数の累計が  $N$  (すなわ

ち、変換画像の列数)の倍数となる度に、 $\hat{v}$  テーブルを1ビット・左シフトする。

なお、上記(a)で発行する PS-SHIFT 信号の累計が  $W$  に一致するとき、入力用シフト・レジスタ  $PS_{11}, PS_{12}, \dots, PS_{K1}, PS_{K2}$  内の全データを濃度計算部に転送し終えたことになる。したがって、この時点で、入力用シフト・レジスタのエンプティ信号 (PS-EMPTY) をシステム制御部に送出する。同様に、上記(b)で発行する SP-SHIFT 信号の累計が  $W$  に一致した時点で、出力用シフト・レジスタ  $SP_1, SP_2, \dots, SP_K$  が満杯となるので、この状態を示す SP-FULL 信号をシステム制御部に送出する。シフト制御部は、PS-EMPTY 信号あるいは SP-FULL 信号を送出した時点で、その動作を停止する。

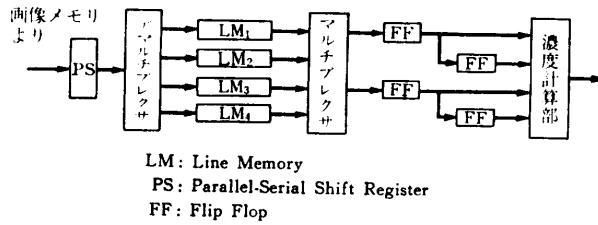
### 3.2.4 システム制御部

システム制御部は、拡大縮小処理装置の各部を統括するものであり、入力制御部、出力制御部、シフト制御部を起動するとともに、入力用シフト・レジスタ  $PS_{11}, PS_{12}, \dots, PS_{K1}, PS_{K2}$ 、および、出力バッファ  $OB_1, OB_2, \dots, OB_K$  へのロード信号を発行する。前項で述べたように、入力用シフト・レジスタがエンプティ状態になれば、シフト制御部が PS-EMPTY 信号を発行する。これを受理して、システム制御部は、入力バッファから入力用シフト・レジスタへのデータ・ロードを完了後、入力制御部とシフト制御部を起動する。また、シフト制御部から SP-FULL 信号を受理した場合、システム制御部は、出力用シフト・レジスタから出力用バッファへのデータ・ロードを完了後、出力制御部とシフト制御部を起動する。これらの動作を繰り返して、変換画像の全データを画像メモリに格納した時

表3 システム制御部の入出力信号

Table 3 Input and output signals of the system-control unit.

分類	信号名	内容	発信元/宛
入力	SYS-START	拡大縮小処理の起動	外部処理装置
	IN-END	入力制御部の実行終了報告	入力制御部
	OUT-END	出力制御部の実行終了報告	出力制御部
	PS-EMPTY	PSレジスタへのデータ転送要求	シフト制御部
	SP-FULL	SPレジスタからのデータ転送要求	シフト制御部
出力	IN-START	入力制御部の起動	入力制御部
	OUT-START	出力制御部の起動	出力制御部
	SHIFT-START	シフト制御部の起動	シフト制御部
	PS-LOAD	PSレジスタへのデータロード	PSレジスタ
	OB-LOAD	出力バッファへのデータロード	出力バッファ
	SYS-END	拡大縮小処理の報告	外部処理装置



LM: Line Memory  
PS: Parallel-Serial Shift Register  
FF: Flip Flop

図8 ライン・メモリによる原画像データのバッファリング  
Fig. 8 Buffering original image data by line memories.

点で、システム制御部は拡大縮小処理を終了する。システム制御部に対するおもな入出力信号を表3に示す。

### 3.2.5 原画像データのバッファリング

図5のハードウェア構成では、入力バッファの容量を1語 ( $W$ ビット) とした。この構成は原画像データの転送制御が単純であるが、反面、拡大処理において原画像の同一データを複数回画像メモリから読み出すことになり、画像メモリとのデータ転送が隘路になる可能性がある。このデータ転送量を削減するために、ライン・メモリを入力バッファに用いる方法が考えられ、その一例を図8に示す。この例では、各濃度計算部につき、4行分のライン・メモリを設け、画像メモリからのデータ読出しと濃度計算部へのデータ送出を同時に行う。つまり、濃度計算に必要な原画像データを画像メモリからライン・メモリに先読みするわけであるが、このデータ読出しは、 $\Delta X$  テーブルを参照して制御する。いま、濃度計算部が変換画像の第  $m$  行を処理中であるとし、原画像の第  $X_m$  行と第  $X_{m+1}$  行のデータがライン・メモリ上に存在するものとする。このとき、次行 (第  $m+1$  行) の濃度計算に必要な原画像データの読出しを  $\Delta X_m$  の値に応じて次のように行う。

#### (a) $\Delta X_m=0$ の場合

この場合、 $X_{m+1}=X_m$  となるので、ライン・メモリ上の第  $X_m$  行と第  $X_{m+1}$  行の原画像データを利用できる。したがって、画像メモリからライン・メモリへのデータ転送は不要である。

#### (b) $\Delta X_m=1$ の場合

この場合、 $X_{m+1}=X_m+1$  となるので、ライン・メモリ上の第  $X_{m+1}$  行の原画像データを利用できる。したがって、第  $X_{m+1}+1$  行のデータのみを画像メモリからライン・メモリに転送する。

#### (c) $\Delta X_m \geq 2$ の場合

この場合、第  $X_{m+1}$  行と第  $X_{m+1}+1$  行の原画像

データを画像メモリからライン・メモリに転送する。ただし、 $X_{m+1}=X_m+\Delta X_m$  である。

## 4. 処理時間評価

本論文の拡大縮小方式による処理時間を評価する。本方式では、データ入出力 (画像メモリと入出力バッファ間のデータ転送) と画素変換 (シフト操作により、原画像から変換画像を得る) を同時に実行するので、拡大縮小処理時間は、上記のうち処理時間が大なるもので定まる。以下、データ入出力と画素変換の各処理時間を、まず導出する。ただし、2値画像を対象とし、また、図5のハードウェア構成を前提とする。使用するおもな記号は次のとおりである。

$J \times I$ : 原画像のサイズ (列数  $\times$  行数)

$N \times M$ : 変換画像のサイズ (列数  $\times$  行数)

$\alpha$ : 拡大縮小倍率 (垂直方向) ( $=M/I$ )

$\beta$ : 拡大縮小倍率 (水平方向) ( $=N/J$ )

$W$ : 画像メモリのビット数/語

$\tau_{rate}$ : 1語あたりのデータ転送時間

$\tau_{setup}$ : データ転送の起動オーバーヘッド

$\mu$ : 拡大縮小処理装置のクロック周期 (マシン・サイクル)

$T_{I/O}$ : 入出力処理時間

$T_{trans}$ : 画素変換処理時間

$T_{scale}$ : 拡大縮小処理時間

$t$ : 1変換画素あたりの画素変換処理時間 ( $T_{trans}/(M \cdot N)$ )

$K$ : 濃度計算の並列度

### 4.1 入出力処理時間

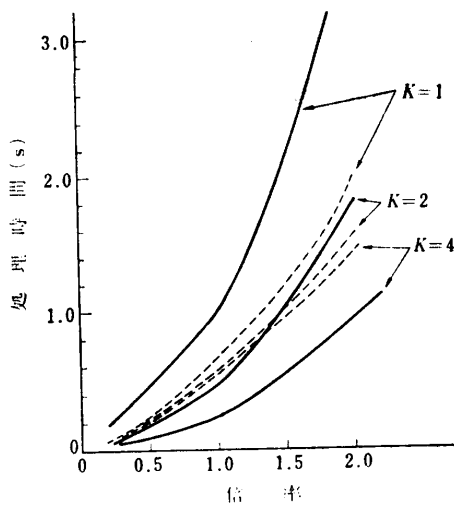
変換画像のデータ量は、 $M \cdot N/W$  語であり、変換画像の1行につき原画像を2行ずつ画像メモリから転送するので、入力データ量は  $2 \cdot M \cdot J/W$  語に等しい。1回の入出力起動で転送するデータ量は、入力時が  $2 \cdot K$  語、出力時が  $K$  語である。したがって、入出力起動回数は、 $2 \cdot M \cdot J/W/(2 \cdot K) + M \cdot N/W/K$  となる。入出力処理時間  $T_{I/O}$  は、データ転送時間と起動オーバーヘッドの和であり、次式を得る。

$$\begin{aligned} T_{I/O} &= (M \cdot N/W + 2 \cdot M \cdot J/W) \cdot \tau_{rate} \\ &\quad + \{2 \cdot M \cdot J/W / (2 \cdot K) \\ &\quad + M \cdot N/W / K\} \cdot \tau_{setup} \\ &= \alpha \cdot \{(2 + \beta) \cdot \tau_{rate} + (1 + \beta/K) \cdot \tau_{setup}\} \cdot I \cdot J/W \end{aligned} \quad (17)$$

### 4.2 画素変換処理時間

原画像と変換画像の各行の画素数は、それぞれ、





原画像:  $2,287 \times 1,728$ 画素  
シフト・クロック: 5 MHz  
並列度  $K: 1, 2, 4$

—: 画素変換処理時間  
---: 入出力処理時間

図9 画素変換処理時間と入出力処理時間  
Fig. 9 Pixel-transformation time and input/output time.

$J, N$  である。原画像と変換画像を同時にシフトするので、1行の処理は  $\max(J, N)$  マシン・サイクルで完了する。ただし、原画像および変換画像ともに、 $W$  ビットをシフトする度にシフト操作を中断するが、その再起動に2マシン・サイクルのオーバーヘッドが発生すると仮定する。各濃度計算部は、 $M/K$  行の変換画像を処理するので、画素変換処理時間  $T_{\text{trans}}$  は次式で定まる。

$$T_{\text{trans}} = \{\max(J, N) + 2 \cdot (J + N) / W\} \cdot M / K \cdot \mu \\ = \alpha \cdot \{\max(1, \beta) + 2 \cdot (1 + \beta) / W\} \cdot I \cdot J / K \cdot \mu \quad (18)$$

これを変換画素あたりの処理時間  $t$  に換算すると次のとおりである。

$$t = T_{\text{trans}} / (M \cdot N) \\ = \{\max(1, \beta) + 2 \cdot (1 + \beta) / W\} / (\beta \cdot K) \cdot \mu \quad (19)$$

#### 4.3 拡大縮小処理時間

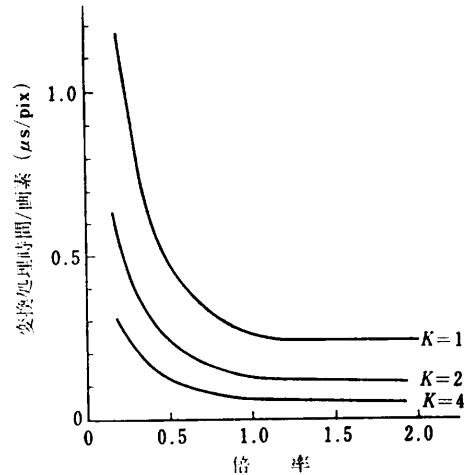
拡大縮小処理時間  $T_{\text{scale}}$  は、

$$T_{\text{scale}} = \max(T_{I/O}, T_{\text{trans}}) \quad (20)$$

により定まる。

#### 4.4 数値例

式(17)~(20)の各処理時間の数値例を示す。ここでは、原画像の大きさを  $I=2,287, J=1,728$  と仮定し、 $W=16$  ビット/語、 $\tau_{\text{rate}}=500$  ns/語、 $\tau_{\text{setup}}=600$  ns、 $\mu=200$  ns、 $\alpha=\beta$  とする。このとき、次の結果を得



原画像:  $2,287 \times 1,728$ 画素  
シフト・クロック: 5 MHz  
並列度  $K: 1, 2, 4$

図10 画素あたりの変換処理時間  
Fig. 10 Pixel-transformation time per pixel.

る。

・入出力処理時間:

$$T_{I/O} = 2.47 \times 10^{-2} \times \beta \cdot (16 + 5\beta + 6\beta/K)$$

・画素変換処理時間:

$$T_{\text{trans}} = 0.79 \times \beta \cdot \{\max(1, \beta) + (1 + \beta) / 8\} / K$$

並列度  $K$  をパラメータ ( $K=1, 2, 4$ ) として、 $T_{I/O}$  および  $T_{\text{trans}}$  と倍率  $\beta$  の関係を図9に示す。図9のとおり、 $K=1$  のとき、 $T_{I/O} < T_{\text{trans}}$  が成立し、拡大縮小処理時間は画素変換処理時間に一致する。 $K=4$  のとき、この関係が逆転し、画像メモリとのデータ転送が拡大縮小処理の隘路となることを示す。また、 $K=2$  では、 $\beta=1.4$  において、 $T_{I/O}$  と  $T_{\text{trans}}$  の両曲線が交差する。

$T_{I/O}$  は画像メモリとのデータ転送速度などの外部条件に依存するが、 $T_{\text{trans}}$  は拡大縮小処理装置に固有の値をもつ。この  $T_{\text{trans}}$  を1変換画素あたりの処理時間  $t$  に換算すれば、図10を得る。この数値例では、 $\beta > 1$  において、 $t = (225 + 25/\beta) / K$ 、 $\beta < 1$  において、 $t = (225/\beta + 25) / K$  (ns/画素) となる。図10に示すように、拡大時に比較し、縮小時の処理速度が低下するが、これは、本方式が単純なシフト操作で画像データのアクセスを制御することに起因する。つまり、変換画像の第  $m$  行を濃度計算する際、原画像の第  $X_m$  行および第  $X_m + 1$  行の全面素を濃度計算部に入力するが、 $\beta < 1$  の場合、これらの入力データには、格子域以外の原画素が含まれ、濃度計算に不要なデータをもシフト処理することになるからである。図10の数値

例では、 $\beta=0.4$  において、 $t=588/K$ 、 $\beta=0.6$  において、 $t=400/K$  (ns/画素) である。

一方、従来方式の処理速度として、 $1.0^{(6)}, 9^{(9)} \sim 2.2^{(10)}$   $\mu\text{s}$ /画素が報告されている。これに比較して、本方式の処理速度は、 $\beta>1$  において、従来方式の  $4K \sim 9K$  倍、 $\beta<1$  において、 $4\beta K \sim 9\beta K$  倍に相当し、高速化に有効であることを示している。

上記の処理速度の比較は、図10の数値例に関するものであるが、 $t$ の一般式を示せば、倍率 $\beta$ 、並列度 $K$ 、クロック周期 $\mu$ 、画像メモリのビット数/語 $W$ の関数として、式(19)のように表される。

## 5. むすび

本論文では、2次元デジタル画像の高速拡大縮小方式(サイクリック・マッピング法)を提案した。本方式は、単純なシフト操作で画像データのアクセスを制御するとともに、変換画素の濃度計算を並列処理するものである。従来、拡大縮小における座標計算は、座標変換式による算術演算を画素ごとに繰り返す方法が用いられているが、これと異なり、本方式は、格子座標の周期性を利用し、その部分列を循環シフトで参照する点に特徴がある。試算例によれば、変換画素あたりの処理時間は、拡大処理が  $(225+25/\beta)/K$  ns/画素、縮小処理が  $(225/\beta+25)/K$  ns/画素となる(ここに、 $\beta$ は倍率、 $K$ は並列度を示し、シフト・クロック周期を200 nsと仮定する)。この処理速度は、従来方式の  $1.0 \sim 2.2 \mu\text{s}$ /画素に比較して、拡大処理が  $4 \sim 9K$  倍、縮小処理が  $4 \sim 9\beta K$  倍に相当する。現在、試作装置を製作中であり、実験結果については、別途報告する予定である。

**謝辞** 最後に、本研究の機会とご指導をいただいた(株)日立製作所取締役・コンピュータ事業本部長三浦武雄博士、同社システム開発研究所所長川崎淳博士、

同主管研究長三巻達夫博士、試作装置の設計を担当された(株)日立マイクロコンピュータエンジニアリングの村上岩雄氏の方々に謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 牛坊, 桐原: ファクシミリ線密度変換の方式, 画像電子学会全国大会予稿, 10 (1975).
- 2) 新井, 安田: ファクシミリ線密度変換の一検討, 画像電子学会誌, Vol. 7, No. 1, p. 11 (1978).
- 3) 宮井, 首藤: イメージの拡大縮小方式, 情報処理学会第20回全国大会予稿, 2E-6, pp. 463-464 (1979).
- 4) 森田, 小町, 安田: 編集機能付コピーのための倍率任意の高速画素密度変換方式, 第12回画像工学コンファレンス, pp. 71-74 (1981).
- 5) 麻田, 篠田, 木戸出, 渡辺: 二次元フーリエ変換機能などを持った並列画像処理装置の試作, 電子通信学会技報, IE 78-12 (1978).
- 6) 森下, 宮井, 首藤, 小野田: 9分割法によるイメージ拡大縮小 H/W の試作, 情報処理学会第22回全国大会予稿, 3J-3, pp. 73-74 (1981).
- 7) 町田, 武田, 田畑, 津原: 格子アドレスの周期性を利用した画像拡大・縮小の高速化, 情報処理学会第25回全国大会予稿, 2B-2, pp. 865-866 (1982).
- 8) Ulichney, R. A. and Troxel, D. E.: Scaling Binary Images with Telescoping Template, *IEEE, Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol. PAMI-4, No. 3, pp. 331-335 (1982).
- 9) Nudd, G. R.: Image Understanding Architectures, National Computer Conference, pp. 377-390 (1980).
- 10) Rohrbacher, D. and Plotter, J. L.: Image Processing with the Staran Parallel Computer, *Computer*, Vol. 10, No. 8, pp. 54-59 (1977).

(昭和58年1月14日受付)

(昭和58年4月19日採録)