

## Array Processor について

日本 IBM サイエンス・センター

飯 坂 譲 二

波 谷 政 昭

### I はじめに

計算機の発達にはめざましいものがありその性能の点では特に高性能化している。一方高速の計算能力を必要とする分野も増えつつあり現行の計算機の速度が必ずしも満足のものではないことは改めて述べるまでもない。例えば数値的に大気循環のシミュレーションやスパクトル解析では大きな数列を扱っているがその大きさは1つには計算速度によって制限される事情にある。

この種の計算はデータ・アレイに対して同種の演算をくり返しに行う性質がある。計算機の演算装置の速度は1つの装置自体の速度の向上はそれほど急速になつてはいない。また、オペレーティング・システムの高性能化—マルチタスキング—に伴い、CPUの使用効率はたかまつている。汎用の

CPUを複数にするに12も例外をのこして高々数個であり、多くの高速演算を必要とするもの、大半は、変量データに対する典型的な演算を行うのが中心である。

そこでこの典型的な演算——例之は行列演算、ラプラス変換、フーリエ変換等——を行う専用の処理装置を従来の計算機に附置しようという考えのまゝで考えられたのが Array Processor である。

Array Processor は CPU の演算回路に直接組込まれるのではなく、独立したユニットとして接続される。計算機との接続の方式には、

- 1) チャンネルと同一の位置
- 2) 入出力装置と同一の位置

の二種がある。

主な利用分野としては、観測測定データの処理(分析、振動、生体情報、地震、天文)、プロセス・シミュレーション(プロセス・コントロール)、ホログラフィ、パターン認識、画像情報処理等、極めて広範囲にわたっている。デジタル・フィルタ、フーリエ変換、パワースペクトル解析、自己相関等の処理に主に利用されている。

II. Array Processor 2938 について.

a) 計算機との結合.

IBM 2938 Array

Processor は右図のように  
 計算機の 4 チャンネルと同じ位  
 置にあり、セレクト-4 チャンネル、  
 エル 4 フレキシ-4 チャンネル  
 と並列に接続される。接  
 続できる機種は、4 チャンネルの  
 速度の点から、

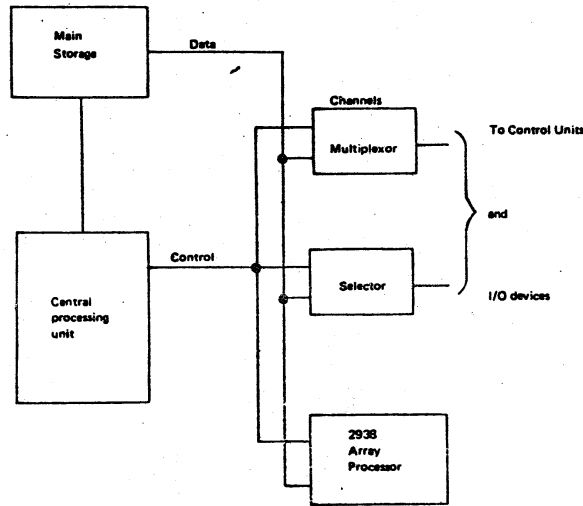


図 1.

1. 2938 Array Processor basic interface with System/360

S/360-M65, M75 (2938-M2) または M44 (2938-M1) である。

b) 基本的なオペレーション

Array Processor のオペレ

ーションは、SIO (Start I/O)  
 命令によってはじめられる  
 Array Processor が SIO を受け  
 入ると、Array Processor は、コ  
 アより CAW (channel Address Word  
 - CCW の Address) を取り CCW  
 (Channel Command Word - command,  
 data address length etc) を受ける。

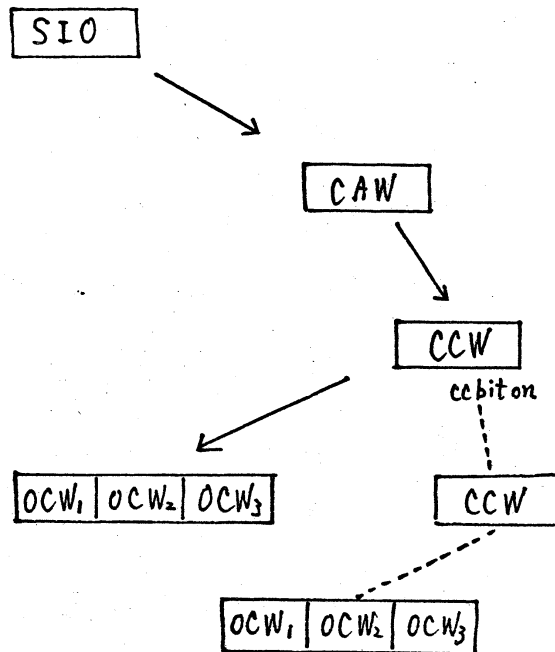


図 2. Array Processor のオペレーション

受け入れ CPU と独立にオペレーションを開始する。

Array 演算の種類は command code により、2 区別された。  
(CCW の中の)

知られる Array の性質は OCW (Operand Control Word) に記述されており、Array の始点の番地、Array の大きさ、インデックス、データモード (浮動小数点、固定小数点) 等の情報が、これら

### C) 基本的な命令

IBM 2938 Array Processor は次のようなハードウェア固定小数点およびソフトウェア浮動小数点演算を実行できる。なおこれら演算の結果はレジスタによって指定された result field へ加算して置くこと (Stacking) が可能で

- ① データ形式の交換を伴うベクトルの転送
- ② ベクトル演算
- ③ マトリックス演算

の 3 種に分けられる。

#### 1. Vector Move / Convert

i) 固定小数点と進数とをそのまま、あるいは浮動小数点に変換して Move する。

ii) 浮動小数点をそのまま、Move する。

#### 2. Vector Floating Point to Fixed-Point Convert

浮動小数点を固定小数点に変換する。

## 3. Convolution Multiply (Stacking 可能)

2つの Data Array の連続する Element の積の和を result field に入れる。

$$Y(i) = Y(i) + \sum_{j=1}^n [U(j) X(i+j-1)]$$

(例)

$$Y(1) = U_1 X_1 + U_2 X_2 + U_3 X_3 + \dots + U_n X_n$$

$$Y(2) = U_1 X_2 + U_2 X_3 + U_3 X_4 + \dots + U_n X_{n+1}$$

$$Y(3) = U_1 X_3 + U_2 X_4 + U_3 X_5 + \dots + U_n X_{n+2}$$

.....

$$Y(m) = U_1 X_m + U_2 X_{m+1} + \dots + U_n X_{m+n-1}$$

## 4. Partial Matrix Multiplication (Stacking 可能)

第1マトリックスの1つの row と第2マトリックスの2つの column とを乗算して、結果を result field に入れる。

$$Y(i) = Y(i) + \sum_{j=1}^n [X(j) U((i-1)p+j)]$$

(例)

$$Y(1) = X_1 U_1 + X_2 U_2 + \dots + X_n U_n$$

$$Y(2) = X_1 U_{n+1} + X_2 U_{n+2} + \dots + X_n U_{2n}$$

$$Y(3) = X_1 U_{2n+1} + X_2 U_{2n+2} + \dots + X_n U_{3n}$$

.....

$$Y(m) = X_1 U_{(m-1)n+1} + X_2 U_{(m-1)n+2} + \dots + X_n U_{(m-1)n+n}$$

## 5. Vector Inner Product (Stacking 可能)

2. つの Vector の対応する element の積の総和を result field に  
入れる。

$$Y = Y + \sum_{j=1}^n [U(i) \cdot X(i)]$$

### 6. Sum of Squares (Stacking 可能)

1 つの Array の各 element の 2 乗の和を result field に入れる。

$$Y = Y + \sum_{j=1}^n X(i)^2$$

### 7. Sum of Vector Element (Stacking 可能)

1 つの Array の各 element の総和を result field に入れる。

$$Y = Y + \sum_{j=1}^n X(i)$$

### 8. Convolution Additions (Stacking 可能)

$$Y(i) = Y(i) + \sum_{j=1}^n [X(i+j-1) + U(j)]$$

例

$$Y(1) = |X_1 + U_1| + |X_2 + U_2| + |X_3 + U_3| + \dots + |X_n + U_n|$$

$$Y(2) = |X_2 + U_1| + |X_3 + U_2| + |X_4 + U_3| + \dots + |X_{n+1} + U_4|$$

$$Y(3) = |X_3 + U_1| + |X_4 + U_2| + |X_5 + U_3| + \dots + |X_{n+2} + U_n|$$

.....

$$Y(m) = |X_m + U_1| + |X_{m+1} + U_2| + |X_{m+2} + U_3| + \dots + |X_{m+n-1} + U_n|$$

### 9. Vector Element-by-Element Multiply (Stacking 可能)

2 つの Array の対応する各 element の積により、新しい  
Array を作る。

$$Y(i) = Y(i) + U(i)X(i)$$

## 10. Signed, Vector Element-by-Element squared (Stacking可能)

1つの Array の各 element が二乗されるか。符号は保持される。

$$Y(i) = Y(i) + X(i) |X(i)|$$

## 11. Vector Element-by-Element Sum or Difference (Stacking可能)

2つの Array の対応する各 element の和あるいは差が result field に入れられる。

$$Y(i) = U(i) \pm X(i)$$

## 12. Scalar Multiply (Stacking可能)

1つの Array の各 element にそれぞれ定数がかけるか result field に入れられる。

$$Y(i) = Y(i) + X(i)U$$

上記1~12. のオペレーションの他に更に特殊装置を設けることにより特別な演算を行うことができる。

## A. 定数係数線形四階差分方程式の演算

$$Y(k) = Y(k) + aU(k) + \sum_{i=1}^4 a_i X_i(k)$$

## B. FFT (Fast Fourier Transform)

8. の "Convolution add" とはそれか一方の装置か可。

複素数のデータのフーリエ変換を cool-Tukey の方法で変換する。従来の直接的方法では標本点数  $N$  に対し  $N^2$  に比例した計算が必要だが Tukey-Cooley の方法では、

$N \log N$  に比例して 1213 ので、大規模なフーリエ変換に適してあり、しかも Array Processor のハードウェアとしてこれを実行する。

例: 1024 の標本に対するフーリエ変換 60~90 msec.

C. SCAN MAX

FFT および convolving add が必要な場合に設置可

III. Array Processor のソフトウェア

Array Processor のソフトウェアには、

1. Array Processor の IOCS に

相当する APAM. (Array Processor Access Method) OS/360 (44PS), 及びユーザープログラムなど。

Array Processor の中間に位置するものがある。

2. Array Processor の主な利用分野である信号処理に共通な処理を subroutine 化した Signal Processing Subroutine が用意されている。(図3)

1) あるいは FORTRAN-CALL の形式で利用可能である。

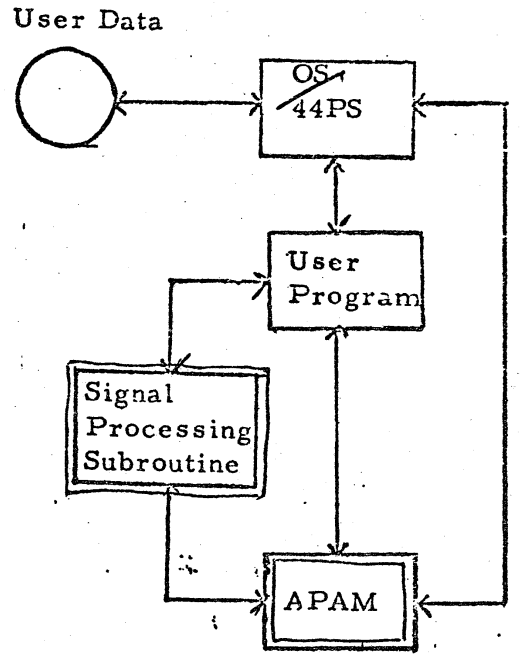


図3. Array Processor のソフトウェア



## a) 所要構成

APAM. Signal Processing subroutines の何れも Fortran  
G 又は H (又は PS-Fortran) Assembler とで利用できる  
所要コア容量は APAM 8Kバイト ~ 6.5Kバイト.

Signal Processing Subroutines  
12Kバイト

である。

## b) APAM の利用法

ユーザー・プログラムの中で、CALL ステートメントによって利用  
する。

一般形

```
CALL APAM ('mmm's' ISTATE, HVAL, YARR, ICTY,  
INDY, IFMY, XARR, ICIX, INDX, IFMX, VARR,  
ICTU, INDU, IFMU, YARR2)
```

mmm: operation code    s: extensions

## c) Signal Processing Subroutines の種類

Signal Processing Subroutines は

- (1) Frequency Selective digital filter
- (2) Signal Selective Filter

の二種がある。後者は主として地震波の解析が中心である。

前者の Frequency Selective Digital Filter には、1次元と2次元

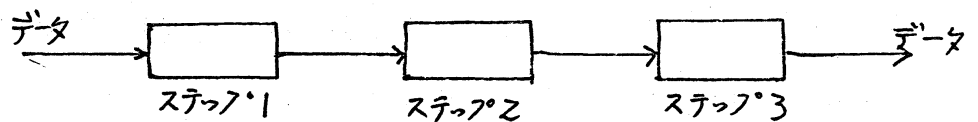
のものがあり、二次元の filter には 窓形フィルター 及び扇形フィルター の二種がある。

一次元のフィルターについては、

Low Pass, High Pass, Band Pass, Band Reject のタイプがあり Butterworth, Chebyshev, elliptic 近似法に対応した sub-routines がある。

### Ⅲ 性能

2938 Array Processor の演算装置は、短精度浮動小数点のデータに対し  $Z = U \cdot X + Y$  の演算を行う。この演算装置は組み立てラインと同様、演算装置を通してフローセスされるとき部分的に待たれた結果を保持している。



演算装置: 208 nsec  $U \cdot X + Y$

この演算装置に対し最高レートでデータが入ってくると、上記演算は約 208 nsec で行われる。Array Processor がある特定のオペレーションを行う全体の時間は、この演算装置の基本となる速度の他に、この装置に入力されるデータの遅延によって変化する。中間結果の保存のため 32ビットのレジスタ 2 個を有し

演算装置と同じ速度で同期する。2938 Array Processorは、4パネルと同様にCPUのデータバスに接続されるので Array Processorがデータを送受できる速度は、データバスの許容速度と使用率によって制限を受ける。

M75の場合の性能。

A. 行列積

100 x 100 次元の行列積

- a. CPU only 43. sec.
- b. Array Processor 1.44
- c. 性能比 29倍

B. デジタル・フィルター

3000 サンプル毎に 500 オペレーターを使用した convolution

- a. ?
- b. ?
- c. 性能比 30倍

1. \* IBM System/360 Custom Feature Description: 2938 Array Processor, Model 1 -RPQ W24563 and Model 2 -RPQ 815188 (A24-3519)
2. R. M. Golden and J. F. Kaiser, "Design of Wide-band Sampled-Data Filters", Bell Systems Technical Journal, July, 1964, pp. 1533-1546
3. J. E. Store, Passive Network Synthesis, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1960.
4. M. E. Van Valkenburgh, Modern Network Synthesis, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1960
5. E. A. Guillemin, Synthesis of Passive Networks, John Wiley and Sons Inc., New York, 1957
6. P. E. Mantey, "Eigenvalue Sensitivity and State-Variable Selection" IEEE Trans on Automatic Control, Vol. AC-13, No. 3, June, 1968.
7. \* IBM System/360 Scientific Subroutine Package (360 A-CM-03X) Version III Programmer's Manual (H20-0205)
8. M. M. Bakus, "Water Reverberations-Their Nature and Elimination" Geophysics, Vol. 24, 1953, p. 233.
9. R. J. Watson, "Decomposition and Suppression of Multiple Reflections", Geophysics, Vol. 30, 1965, p. 54.
10. G. Kunetz, "Generalisation des operateurs d antiresonance a un nombre quelconque de reflecteurs", Geophysical Prospecting, Vol. 12, 1964, p. 283.
11. D. Middleton and J. R. B. Whittlesley, "Seismic Models and Deterministic Operators for Marine Reverberation", 35th Annual International Meeting of the Society of Exploration Geophysicists, 1965, Dallas, Texas.
12. W. T. Ford and J. H. Hearne, "Least-Squares Inverse Filtering", 35th Annual International Meeting of the Society of Exploration Geophysicists, 1965, Dallas, Texas.
13. P. Embree, J. P. Burg, and M. M. Backus, "Wideband Velocity Filtering - The Pieslice Process", Geophysics, Vol. 28, 1963, pp. 948-974.

14. S. Treitel, J. L. Shanks, and C. W. Frasier, "Some Aspects of Fan Filtering", Geophysics, Vol. 32, 1967, pp. 780-800
15. J. P. Fail and G. Grau, "Les Filtres en Eventail", Geophysical Prospecting, Vol. 11, 1963, pp. 131-163.

\* IBM Sales Reference manual