

ミニコンを用いたスペクトル解析について

正 名城大学理工学部 〇官 村 篤 興
同 立 川 剛

§1. まえがき

近年、電子計算機の発達と共にいわゆるミニコンピュータの利用が容易となり、従来では困難とされた諸問題の直接解析が可能となりつつある。特に、時系列データの解析処理、それも実時間あるいはそれに近い処理を要する場合、必ずしも大型計算機による端末処理よりも、比較的廉価なミニコン処理システムの方が効果的な場合もある。保守管理を含め経済的側面ばかりでなく、第一次記憶領域を補強される、利用ソフトの開発をまわって従来の単一的機能とばかりがちな解析装置より便利な点を示せる場合が少なくない。さらに、OEM 的利用という観点から効果がないと考えられる。ここでは、A-D 変換処理も含めた時系列データのスペクトル解析という立場から見たミニコン処理システムについて報告する。

§2. 解析システムについて

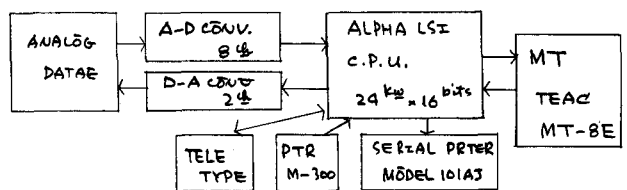
※2-1 図は本解析システムの中心となるミニコンピュータ (ALPHA LSI) の持つ基本的なソフトウェアを一覧したものである。いわゆるアセンブラ言語は、ここでいう BETA ASSEMBLER に相当するが、入出力をより一貫効果的とするため各種の編集機能をもちせた OMEGA CONVERS. ASSEMBLER は会話形式での処理が可能となっているのでプログラミング作業がより容易となる。このアセンブラーは※2-2 図に示すように合計 168 種の基本インストラクションを有しており、これらは 7 Class に分けられる。このようなソフトウェアを有するミニコンを用いた解析システムは※2-3 図に示すような装置より構成される。すなわち、ミニコン (ALPHA LSI) の C.P.U. を中心に入力装置として PTR および TTY を用い、出力装置として SERIAL PRINTER および TTY を用い、他、補風記憶装置として微気ターボが付加される。このようなシステムによる解析を行うに当り、通常想定される対象データとして例えば地震波形記録あるいは常時微動記録等時系列データに属するようなものの場合、アログ量としてデータレコーダ等に一次貯蔵がなされることが多い。このため、本システムでは図示のようにはミニコンを介した 8ch の A-D 変換、あるいは 2ch の D-A 変換装置をもっている。この場合の記憶媒体は C.P.U. 内の Buffer Core Memory および微気ターボが当てられる。およびハードウェアソフトウェアシステムは周知した先述のアセンブラ言語に基づく諸プログラム

- 1 AUTO-LOAD
- 2 BLD / BINARY LOAD
- 3 BDP / VER BINARY DUMP / VERIFY
- 4 OBJECT LOAD
- 5 BETA ASSEMBLER
- 6 OMEGA CONVERSATIONAL ASSEMBLER
- 7 DBG / DEBUG
- 8 SOURCE TAPE PREPARATION PROG.

※2-1 図

Class 1	MEMORY REFERENCE	27
Class 2	DOUBLE WORD MEMORY REFERENCE	3
Class 3	BYTE IMMEDIATE	10
Class 4	CONDITIONAL JUMP	13
Class 5	SHIFT	16
Class 6	REGISTER CHANGE CONTROL	48
Class 7	INPUT / OUTPUT	33

※2-2 図



※2-3 図

びに BASIC FORTRAN にステム (中 2-4 図参照) 等々わけのプログラマーによる MACRO-INSTRUCTION ROUTINE とこの MACRO 命令を用いた後述のような例ではソフトウェア解析に属する諸プログラム群のような Application Prog. となるソフトウェアに分類される。さらに、中 2-4 図に示されるソフトウェアはミコンの諸制約条件 (演算速度、記憶容量) のもとに最適なものではないから、同図のソフトウェアについて若干の説明を加えれば、① FILE MANAGER はいわゆる Monitoring prog. の一種であり、② ③ ④ ⑤ ⑥ は二次記憶領域にあり、磁気テープ上の任意の登録プログラム中の一つを C.P.U. Core Memory 上に移すことと主として機能する他、プログラマーは FORTRAN で書かれたプログラム群計 200 個の登録、抹消、読み出しを TTY を介して行う機能をも具えている。このプログラム群の占有領域は 1031×16 bits であり、Full Core Area の中には除いたものが実質の working Area となる。

- 1 FILE MANAGER
- 2 DATA ACQUISITION
- 3 MF LOADER
- 4 STP100
- 5 BASIC FORTRAN
- 6 DACQ MT READ

中 2-4 図

② DATA ACQUISITION では前述の A-D 変換およびその逆を行う機能を持ち、 $\pm 1.0 \sim 10.0^\circ$ の入力信号を ± 20 mV 程度の周波数 $10 \sim 5$ kHz の範囲で MOS IC を介して符号 + 9 bits の digital signal に変換あるいは逆変換するものである。取得された Digital signal を記録し磁気テープを名古屋大学大型計算機に入力せしめられ、 $1 \text{ BLK} = 1152 \text{ char}$ を記録単位として、磁気テープ先頭は所定の Header 書込みできるようにする。これらの動作は TTY を介して会話形式で行われる。③ MF LOADER は磁気テープ上のいわゆる OBJECT PROG. あるいは BINARY PROG. を LEAD し LOAD することになり、ここから BASIC FORTRAN も OBJECT PROG. の形で記録されたりして LOAD することになる。④ STP100 PROG. は SOURCE TAPE PREPARATION 機能をもつもので具体的には後述の応用プログラム開発に際して要求される修正は有効となる。⑤ BASIC FORTRAN はいわゆる FORTRAN II に属するものでレベルそのものは高くないが、MT 入出力命令を付加している点に特色をもつ。これには FORTRAN MACRO に属する RUN TIME SUBROUTINE 群があり、これの占有する領域は 3544×16 bits である。⑥ DACQ MT READ では先述の DATA ACQUISITION プログラムによる A-D 変換後の磁気テープ上の Digital 信号を CPU Core Area 上に読み出すプログラム命令によって、 $1 \text{ rec} = 1152 \text{ char}$ を単位として読み出し先頭及終端 BLK NUMBER を入力パラメータとして、データ群は 1152 char の CPU 内 Buffer Area を経て然るべき Memory 領域に順に書込まれることとなる。

§3. ソフトウェア解析プログラムについて

上述のような諸 MACRO 命令群に基づく Application Prog. の一例として時系列データのソフトウェア解析に属する例を述べる。いわゆる BASIC FORTRAN により書込み、Debug 後完成プログラムに属しては既述の FILE MANAGER を利用して、OBJECT PROG. の形で磁気テープ上に登録されている (中 3-1 図参照)。

- 1 FREQ. ZERO CROSSING
- 2 FREQ. PEAK
- 3 PROBABILITY DENSITY
- 4 FOURIER TRANS.
- 5 FAST FOURIER TRANS
- 6 POWER SPECTRA
- 7 AUTO-CORRELATION
- 8 WINDOW SMOOTHING

中 3-1 図

周知のように頻度分布曲線に花びらには、Zero Crossing ならぬ peak to peak 法があり、後者は前者に比しより高い周波数領域まで解析が可能である。時系列データの Irregularity Index ϵ は下式で与えられる。

$$\epsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{N_0}{N_m} \right)^2} \quad \dots \dots \dots (3-1)$$

上式にて、 N_0 は波形が正の割合に基準線と交る回数、 N_m は波形の極大点すなわち peak の回数と表わす。波形振幅に属する確率密度関数は次式で定義される。

$$\hat{P}_x = \frac{N_x}{NW} \dots (3-2)$$

上式に、 W は x を中心とする狭区間、 N_x は $x \pm W/2$ の範囲にあるサンプル数である。

あるサンプリング周波数 f_s による等間隔時系列データ $x(nh)$, $n=1, \dots, N$ の Fourier 級数は下式で与えられる。

$$X(nh) = \sum_{m=0}^N X(f, T) \exp(j2\pi f n h) \dots (3-3)$$

$$X(f, T) = h \sum_{n=0}^{N-1} X(nh) \exp(-j2\pi f n h) \dots (3-4)$$

周知のように、J.W. Cooley および J.W. Tukey による FFT は変換を要するサンプル数が 2^M となる場合には極めて高速にこの係数を求めることができる。 2^M 個とならぬデータ群に対しては trailing zero を加えて適合化することになる。 上式より推定されるパワースペクトル $S(f)$ は下式で表わされる。

$$S_x(f_k) = \frac{2}{Nh} |X(f_k, T)|^2 = \frac{2h}{N} |X_k|^2 \dots (3-5)$$

$$f_k = R/T = k/nh, \quad k=0, 1, \dots, N-1$$

一方、このデータ $x(nh)$ に関する自己相関関数 (Auto-correlation function) の推定量は下式で与えられる。

$$\hat{R}_x(rh) = \frac{1}{N-r} \sum_{n=1}^{N-r} x(nh) x(nh+r) \quad r=0, 1, \dots, m \dots (3-6)$$

$$\text{すなわち,} \quad \hat{R}_x(0) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [x(nh)]^2 = \langle x^2(nh) \rangle \dots (3-7)$$

上式に、 r はおくれ数、 m は最大おくれ数であり、 $\hat{R}_x(0)$ はデータの2乗平均値である。

パワースペクトル (3-5)、自己相関関数 (3-6) 式との間には、次を示す Wiener-Khinchine の関係が成立つ。

$$\tilde{S}_x(f) = 2h \left[\hat{R}_0 + 2 \sum_{r=1}^{m-1} \hat{R}_r \cos\left(\frac{\pi r f}{f_c}\right) + \hat{R}_m \cos\left(\frac{\pi m f}{f_c}\right) \right] \dots (3-8)$$

上式に、 $\hat{R}_r$ はおくれ数 r に関する自己相関関数、 $f_c = 1/2h$; Nyquist 振動数を表わす。 一方、パワースペクトルの推定量 $\tilde{S}_x(f)$ は真のパワースペクトル $S_x(f)$ と Window Function $U_{rm}(f)$ と a Convolution で表現できる。 すなわち、

$$\tilde{S}_x(f) = \int_0^\infty S_x(\alpha) U_{rm}(f-\alpha) d\alpha \dots (3-9)$$

$$\text{こゝに,} \quad U_{rm}(f) = \int_{-\infty}^\infty u_{rm}(\tau) \exp(-j2\pi f \tau) d\tau \dots (3-10)$$

$u_{rm}(\tau)$ は時間領域における平均化関数である。 このようなウィンドウ関数は、周知のように例えは、長方形、Bartlett, Parzen, Hamming 等各種あるが、採択に当り「それのウィンドウ関数が最適か」という検討はないようである。

以上既述したスペクトル解析のためのプログラム名は表 3-1 に示すところであるが、11 行のプログラムは重要な領域を過ぎる限り縮小するように努めている。 表 3-2 図は時系列データとして、名古屋市内における常時微動測定記録を既述の DATA ACQUISITION PROG. の A-D 変換後、パワースペクトル解析した例である。

Parzen 形のウィンドウ関数を用いた Window closing による平滑化の採相を示したもので、ウィンドウ中に対応するスペクトル曲線の変化程度を理解することからできる。

§4. 結 語

学部学生を対象としたカリキュラム「構造実験」および学部卒業研究の一部として用いられたことをここに記す。

析システムの内、時系列データのフーリエ解析プログラムに因り報告を行なったが、CPU 及 MT の組合せにシステムを既述の FILE MANAGER PROC. にて制御する方は設計当初想定した水準以上にすぐれた結果を呈しているようである。現時点で研究中の利用法として、本号設置の地震形加振台の入力制御、すなわち既往の強震記録あるいは適切な条件のもとに作製された人工地震波を再現することおよび加振台上の模形各部の出力データの解析があるが、その詳細については後述を改めたい。

なお、本システム作成に因り、中日電子工業所・平岩氏より多大の尽力を頂戴しました。

<参考文献>

1. DAS 1000C 形データ集録装置取扱説明書 中日電子工業所 昭和50年6月
2. FILE MANAGER 取扱説明書 中日電子工業所 昭和50年9月
3. Software Manual for ALPHA LSI Computer Auto. Inc. 1974
4. エト学全 地震応答解析と実例 昭和48年
5. 得丸部 Bendat, J.S. Piersol, A.G. ランダムデータの統計的処理 培月館 昭和51年
6. 竹内吉弘 建築構造物における地震応答の確率過程に関する研究 京都大学博士論文 昭和49年
7. Cooley, J.W. Tukey, J.W. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series Math. Comp. 19, April 1965

