



Title	マイクロコンピュータによる音声分析装置
Author(s)	山本, 強; Yamamoto, Tsuyoshi; 青木, 由直 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 82, 59-65
Issue Date	1976-12-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41384
Type	departmental bulletin paper
File Information	82_59-66.pdf



マイクロコンピュータによる音声分析装置

山本 強* 青木由直*

(昭和 51 年 6 月 30 日受理)

Voice Analyzer by Microcomputer

Tsuyoshi YAMAMOTO Yoshinao AOKI

(Received June 30, 1976)

Abstract

A voice analyzer was built by using a microcomputer system. This system is applicable not only as a voice analyzer but also as a low-frequency waveform analyzer, where the following operations can be performed, namely, sampling of analog data, calculation of power spectrum and auto-correlation function, generation of soundspectrogram and display of the processed data. The advantage of such a system with a microcomputer was discussed and the experimental results showed that this system is superior to the conventional voice analyzer with analog devices in such points as low cost and high flexibility in expanding the system.

1. ま え が き

近年急速に発展しつつあるマイクロコンピュータは、従来ハードウェアで行なうには複雑であった演算や小型計算機によらねばならなかった処理を行なうデバイスとして有力であり、計測及び制御等の分野での盛んな応用が報告されている。筆者らは実験室におけるマイクロコンピュータの応用の 1 例として、音声及び振動等の低周波波形解析システムを構成したので報告する。このようなシステムは従来からアナログ的に、あるいは小型計算機によるシステムとして得られているが、マイクロコンピュータを使用した本装置においてはコスト、装置の大きさ、拡張性等で有位な点が認められる。

2. システムの概要

試作した装置は、アナログデータのサンプリングから任意時刻のパワースペクトル分析及び自己相関関数、更に全データに対してのサウンドスペクトログラムの計算を行ない結果を CRT 上に表示する。スペクトル及び自己相関関数の計算は FFT アルゴリズム^{1),2)}による DFT を用いて行なわれる。またデータの切り出しに当たって端の効果を減ずるため重み関数としてハニング窓を乗じている。またこれらの計算は 256 サンプルを対象として行なわれる。装置は AD 変換器を備えており低周波信号はソフトウェアで規定されるサンプリングレートで入力される。データレジスタは 1 語 8 bits で 4096 語用意されており、これはサンプリングレートとして 8 kHz を

* 電子工学科

用いた場合0.512秒に相当する。各演算の実行に要する時間は、パワースペクトル分析が約10秒、自己相関関数が約12秒、サウンドスペクトログラム分析には約22分である。この速度は速いものとは言えないが、メモリーインターフェイスの都合でCPUの速度を1/2に落しているので、高速のメモリーを用いる事で現在の2倍の実行速度を得る事ができる。装置全体の動作はテレタイプライターを介して制御される。またテレタイプライターのプリンターやテープパンチャーを用いてデータのハードコピーを取る事が出来、更に高度な分析を大型計算機で行なう事もできる。装置の規模は非常に小型で消費電力も少いので他の機器の中に組み込んで使用するという事もこういったデバイスの有効な使い方であろう。

3. ハードウェア構成

試作装置のシステム構成図を図-1に示す。各周辺インターフェイスユニットは共通バスを介してCPUと結ばれており、バスの延長によって今後の周辺機器の追加及び変更に対処できる構成とした。使用したCPUは米インテル社のC8080A型マイクロプロセッサで8bit並列処理のものである³⁾。現在実装しているメモリーは7.5kbytes(1k=1024)である。この内訳はデータメモリーが4K語、システムモニタ領域として0.5K語、プログラム領域として3K語である。プログラムメモリーの内1K語分はROMとして固定してあるが残りをRAMとして今後のソフトウェアの変更に備えている。AD変換器は、システムが音声データを主として取り扱う事を目的としているため、音声帯域で十分な変換速度をもち、更に高速な現象にも対処するため10 μ 秒以下の変換速度を持たせている。またコントロール信号をコントロールバスの信号と合わせてあるためソフトウェアでの取り扱いが1命令で行なえる。1語は8bitsとしたが、これは主としてCPUが1語8bitsであるという理由に加え、精度が0.4%取れるので一般の応用には十分であろうとの結論にもよっている。DA変換器及びCRTはサンプルデータ及び処理結果のディスプレイ用として用いられる。試作装置では構成を簡単にするため、特別なハードウェアを用いる事なくCPUによってソフトウェアで直接CRT上をトレースしてディスプレイを行なっている。このため、非常に簡単な構成でデジタルデータディスプレイを含めた高度なディスプレイが可能となっている。しかしディスプレイデータの量によっては、CPUの速度のために1フレームが数秒を越える事があり、この場合にはストレージ管を用いてデータを蓄積して表示しこの欠点をおぎなっている。

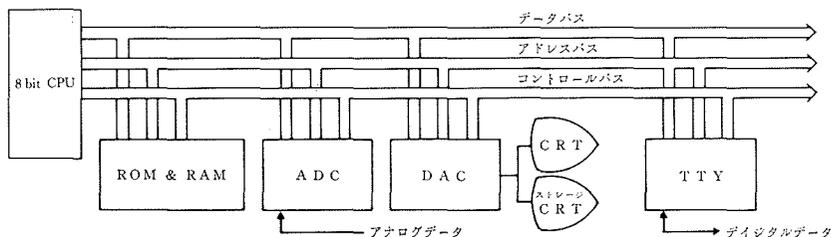


図-1 ハードウェアシステム構成

4. ソフトウェア構成

前述した処理機能はソフトウェアによって実現されているが、マイクロコンピュータの場合、特に、本装置のようなハードウェアと密着したファームウェア装置の場合は現状では高級言語を用いる事は困難があり、アセンブラないしは機械語レベルでのプログラミングが要求され

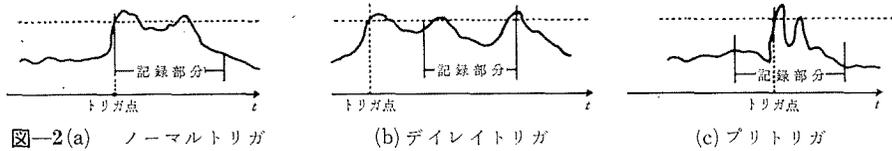
る。筆者らは試作に際して機械語レベルでプログラミングを行なった。ソフトウェアの構成は大別して3ブロックからなっている。すなわち、データサンプリング、データプロセッシング、ディスプレイの三つである。以下これについて若干述べる。この他にシステムモニタが常駐するがこれについては省略する。

4.1 データサンプリング

データサンプルは、AD変換器に入力されるアナログデータをデジタル化しソフトウェアで規定されるサンプリングレートでデータレジスタに格納する事によって行なわれる。通常はサンプリングレートは8kHzに固定されているがプログラム変更である程度増減できる。試作装置でサンプリングレートを規定しているのはCPUのタイミングクロックとプログラム実行に際に要するクロック数である。従って十分高精度のクロック発振器と実行速度を考慮したプログラミングを行なわねばならない。試作装置においては水晶制御のクロック発振器を用いて1クロックピリオドを1 μ 秒としているので最高1 μ 秒の分解能で時間を設定できる。データメモリは4,096語用意されているのでデータサンプリングのループを4,096回で脱出しなければならないが、CPU内のレジスタが8bitsであるため単純にレジスタを使ってループカウントさせたのでは $2^8=256$ 回毎にプログラム実行時間に不連続を生じてしまう。このため倍長加算命令によってループ回数を数える方法を用いて4,096回のループを時間間隔を変えることなくカウントさせている。表-1にサンプリングレート8kHzに調整した場合のプログラム例を示す。データサンプリングはAD変換器にソフトウェアで指定されるトリガレベルを越える入力が入った場合にスタートする。このスタートの仕方は3種類用意されている。これらはノーマルトリガモード、デイレイトリガモード、プリトリガモードの3つである(図-2)。前2者は従来のシンクロスコープ等で用いられているものと同様な記録方法であるが、最後のモードはトリガ点以前の現象を含めて記憶するもので過渡現象や単発現象をとらえる場合に有力である。データサンプリングが終わった後は、自動的にディスプレイモードに移りサンプルしたデータを開始点から順にディスプレイする。

表-1 8kHz サンプリングレートのソフトウェア実現例

インストラクション		クロック数		
	LXI B	0208 0008	10	set (B, C)
	LXI D	0000 0001	10	set (D, E)
	LXI H	3600 0000	10	set (H, L)
LOOP 1	OUT	0002	10	A/D converter start command
LOOP 2	MVI A	0200	7	} timing generation
	ADD A		4	
	JNC	LOOP 2	10	
	NOP		4	
	NOP		4	
	IN	0002	10	read A/D converter
	STAX B		7	store data
	INX B		5	increment (B, C)
	DAD D		10	(H, L)=(H, L)+(D, E)
	JNC	LOOP 1	10	jump if no carry
	END			



4.2 データプロセッシング

データプロセッシングはディスプレイされている区間データについて行なわれる。現在用意されているのは、パワースペクトル分析・自己相関関数・サウンドスペクトログラム分析である。いずれもフーリエ変換を基本として求められている。試作装置ではFFTでアルゴリズムによるDFTをソフトウェアで実現している。FFTを用いて周波数分析を行なう場合、データの切り出しによる端の影響を考慮しなければならない。これをさけるために重み関数として式(1)で表わされるハニング窓を乗じている。

$$w_N(t) = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi t}{T} \right) \quad \text{for} \quad -\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} \quad (1)$$

用意したFFTは256点のもので8kHzサンプリングレートでは周波数分解能31.9Hzに相当する。演算結果は複素数で求められ、絶対値の計算がなされディスプレイへ送られる。自己相関関数は関数 $f(t)$ に対して式(2)のように定義される。

$$\Phi(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)f(t-\tau) dt \quad (2)$$

自己相関関数はそのまま計算しても良いがFFTを用いて短時間の計算が可能となる。すなわち $f(t)$ のフーリエ変換を $F(\omega)$ とすれば式(3)が成立する。従ってパワースペクトルの逆フーリエ変換

$$F[\Phi(\tau)] = F(\omega) \cdot F^*(\omega) = |F(\omega)|^2 \quad (3)$$

換から求める事ができる。 $|F(\omega)|^2$ は偶実関数であるからその逆フーリエ変換も偶実関数であるのであえて逆フーリエ変換を用いなくともフーリエ正変換を用いても結果は同じである。このため逆フーリエ変換(IFT)は用意していない。なおこれらの演算に際して演算レジスタはデータレジスタとは独立に与えられており、演算の前後でデータは破壊されない。サウンドスペクトログラムは x 軸を時間、 y 軸を周波数座標とする面に強度を輝度で与えたものであり、従来からアナログ的に得られているものである。試作装置では一連のデータのフーリエ変換を順次求めて最終的に時間に対するスペクトル変化としてディスプレイを行なう。FFTを行なう際にハニング窓を乗じているため両端の情報が失われる事及び、スペクトログラムの時間軸での連続性を良くする事を考慮して256点FFTを32点ずつ時間軸を移動させて128回のスペクトル分析を実行させる。さらに得られた周波数領域でのデータを、式(4)で示すウィンドウ付の平均化を行ない、32点の周波数データに圧縮を行なう。

$$S_k = \sum_{n=0}^{127} W_{(n,k)} |F_n| \quad k=0, 1, \dots, 31$$

$$W_{(n,k)} = \begin{cases} \frac{1}{4} & k \leq \frac{n}{4} < k+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

更に一般の音声の分析を考える場合、高次のフォルマントはエネルギーが小さい事及び全体のエネルギーが時間とともに変化する事を考慮して、最高周波数において零周波数に対して6dbのエンファシスを行ない、32点の1フレームについてその最大値で正規化を行なっている。なお、サ

サウンドスペクトログラム分析では処理結果を格納するだけのメモリーが用意されていないので、サンプルデータを破壊しながら演算を行なう。このため処理が終った段階でサンプリングデータは失われてしまう。

4.3 ディスプレイ

サンプリングデータ及び処理結果はCRT上にディスプレイされる。キャラクタを含めたグラフィックなディスプレイは従来ハードウェアで行なうには相当複雑であったが、CPUを制御に用いた事で非常に簡単な構成で自由度の高いディスプレイが行なえるようになっている。サンプリングデータディスプレイにおいては、256点分を1フレームとして時間原点を前後に移動、停止でき、同時に記録が開始した点からの時間遅れを m 秒単位でデジタル的にディスプレイを行なう。周波数領域でのディスプレイでは任意に移動できるカーソルを用いて周波数を直接読み取る事が可能である。周波数領域でのディスプレイに際して縦軸は電力の1/2乗となっているが、これはエネルギーの小さい周波数成分を強調するためである。また音声等では高次のフォルマント成分を強調するため必要に応じて最高周波数において6dbのエンフェシスをかける事ができる。これらのディスプレイは一度に表示する情報量が少ないので1フレームが数10 m 秒で終了するので通常のCRTで観測可能である。サウンドスペクトログラムのディスプレイはそれが2次元的なディスプレイであり、1フレームの中に含まれる情報量が格段に多くCPUに直接ディスプレイを制御させたのでは数秒を要し、肉眼での観測には不都合を生じる。このためストレージ管を用いて一度管面に記録してそれを読み出して観測する。しかしストレージ管は輝度の直線性が著しく悪いので更に改善が必要である。

5. 実験と考察

試作装置を用いた応用の1例として日本語母音の分析を示す。図-3は「ア」に対する分析で(a)が時間軸でのサンプリングデータで右肩の数字はトリガ点から16 m 秒遅れた点でのデータである事を示している。(b)はそのスペクトル分析である。ここでカーソルは第1フォルマント

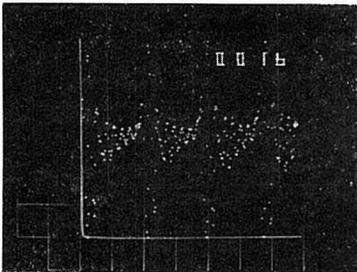


図-3(a) 「ア」の時間波形

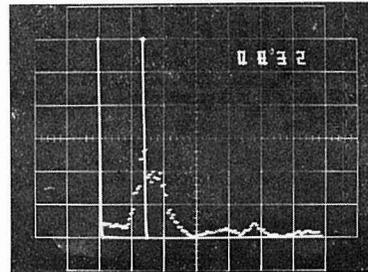


図-3(b) 「ア」のパワースペクトル分布

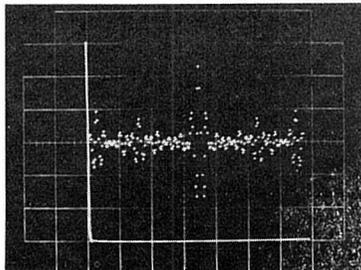


図-3(c) 「ア」の自己相関関数

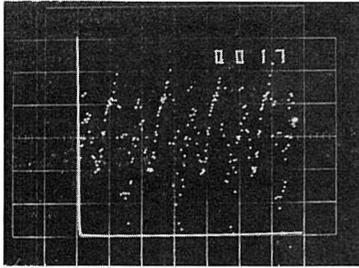


図-4(a) 「イ」の時間波形

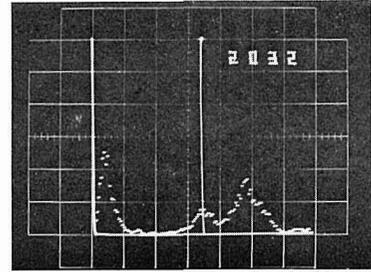


図-4(b) 「イ」のパワースペクトル分布

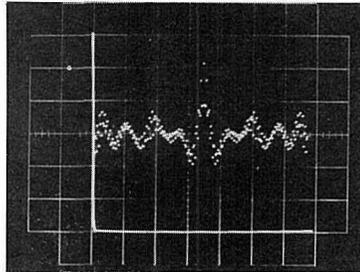


図-4(c) 「イ」の自己相関関数

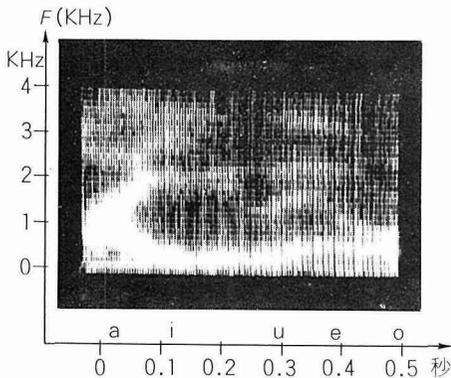


図-5 日本語母音「アイウエオ」のスペクトログラム

表-2 演算速度 (at 1 MHz clock)

演算内容	プログラム長 (byte)	平均実行時間 (平均)
8 bit×16 bit 乗算	17	381 μ sec
16 bit÷8 bit 除算	24	1.01 m sec
符号付 16 bit 加算	36	153 μ sec
複素数乗算	158	3.52 m sec
平方根	45	7.26 m sec
FFT (256 点)	338	4.50 sec

が 832 Hz 付近にある事を示している。このディスプレイでは高周波数成分を強調しているので 3 次以上のフォルマントも観察できている。(c) は (a) の自己相関関数である。同じく 図-4 は「イ」に対する同様の分析であるが、(b) においてそのフォルマント成分の違いが興味深い。図-5 は「アイウエオ」と連続発生したときのスペクトログラム分析の結果である。

マイクロコンピュータの応用にあたって問題になるのはその低速性である。これは CPU のハードウェア上の低速性及びソフトウェア的に見た場合の命令体系の弱さから生じる。現在得られている 8 bit CPU では加算タイムが内部レジスタ間で 2 μ 秒程度を要する。さらに乗除算命令は一般には持っておらず、ソフトウェアで構成した場合 200~300 μ 秒を要してしまう。今回の応用にあたって基本サブルーチンの実行時間を調べると表-2 のようになる。一般の小型計算機によって得られるものと比べてかなり遅い事がわかる。特に FFT のような多量データを取り扱う演算において顕著である。この点を改善する方法は各種提案されているが信号処理あるいは

行列演算を考えると処理単位を分割できるので CPU を多数用いてマルチプロセッサシステムを構成するのが有利であると思われる。

6. あとがき

音声・振動分析装置を通してマイクロコンピュータの応用を論じた。試作装置は主として FFT の応用計算を行なうが、FFT は非常に応用範囲の広い演算であり、このような小規模な演算装置は FFT プロセッサとしてもホログラムからの像再生⁴⁾、信号処理等への応用が考えられる。また従来ハードウェアで試作を行なっていたような実験装置はマイクロコンピュータの応用により、ハードウェア部分の共通化が行なえ、時間及びコストが節約できるものと思われる。

文 献

- 1) Cooley, J. W. and J. W. Tukey: Math. of Comput., Vol. 19 (1965), pp. 297-301.
- 2) 青木由直: 工学部研究報告, 67 (昭 48), pp. 73-82.
- 3) Intel Corporation: Intel 8080 Microcomputer Systems User's Manual, September (1975).
- 4) 山本 強, 青木由直: 電子通信学会論文誌-D, 59-D (昭 51), No. 8, pp. 590-592.