

マルチマイクロプロセッサによる弦楽合奏合成

池野 信一

(日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所)

はじめに

マイクロコンピュータの特徴は、何と云っても小型安価であるということである。この特徴を生かして、各種機器の制御用として広く使われるようになったが、独立したコンピュータとしても、超小型のものから、次第にミニコンの領域までひろがり始めている。そしてこれは、時間を気にせず個人で占有して自由に使うことができるという、これまでにならぬ恩恵を与えてくれるようになった。パーソナルコンピュータ、ホームコンピュータなどという言葉も生れて、家庭にまで広がろうとしている。家庭での用途は教育、家庭内機器コントロール、簡単な事務処理から、ゲーム、音楽演奏などの楽しみのためというものが多い。我が国ではまだ極めて限られた家庭にしか存在しないが、新しいおもしろい用途が見つければ、急速に普及することになるであろう。

この世界は技術の進歩のはけいり世界である。家庭用としては融通性のあるものが望まれる。システムはコンポーネントからなり、新しいコンポーネントの追加拡張も自由で、部分的グレードアップもできるというのが望ましい。そのために、バス配線など、規格の統一をしてほしいものである。

性能の拡張はやがてプロセッサの追加によるマルチプロセッサへと発展してゆくことであろう。ここではこのような時代への試みとして簡単なマルチプロセッサシステムと、その音楽合成への応用について報告する。

マルチプロセッサ

マイクロプロセッサは小型安価であるが、それだけに性能的には不満足のことも多い。そこでプロセッサをいくつか並べて性能をアップしようという試みがいろいろ行われている。しかし一般にマルチプロセッサシステムは、資源の割り当て法、プロセッサ間の通信、OSの作り方など、問題が多いといわれている。たしかに、汎用システムとして高い性能を発揮させるのはむづかしいことであろう。しかし、CPUコストが驚くほど安くなった現在、能率などがあまり気にせず、部品としてどしどし気軽に使うべきであろう。それなりに特定の仕事をまかせ、簡単な機能分担構造でも、結構役に立つものである。

筆者のシステムは実験用のもので、完成されたものではないが、拡張性をもたせることを基本方針としており、あまり大きくない基板を並べた構成としている。マルチプロセッサにした理由は、もちろん性能向上もそのひとつであるが、8080系と6800系のどちらのプログラムもかけられるということもあった。こうして現在

M6800 1個 , Z80 2個

という構成になっているが、さらに6502も近く追加する予定である。

マルチのセリ方は、簡単なマスター・スレーブ式といえるもので

Z80₁ → M6800 → Z80₂

の順に主導権をもちている。マスタ側はスレーブを HALT させて、DMA 的にスレーブのメモリにアクセスし、スレーブ側はフラグ、あるいは割りこみによりマスタ側に信号を送るというものである。

図1はこの構成を示したもので、周辺装置やメモリの大半は M6800 につながった形になっているが、これは最初 M6800 だけであったため、I/O 用のシステムプログラムが完備しているからで、Z80 は M6800 を I/O プロセッサとしても利用できるし、また、M6800 を HALT させて直接 I/O にアクセスすることもできる。

各プロセッサは独立にクロックジェネレータをもちており、バスの切りかえはそれぞれのクロックに同期して行なうようにしてある。(図2)

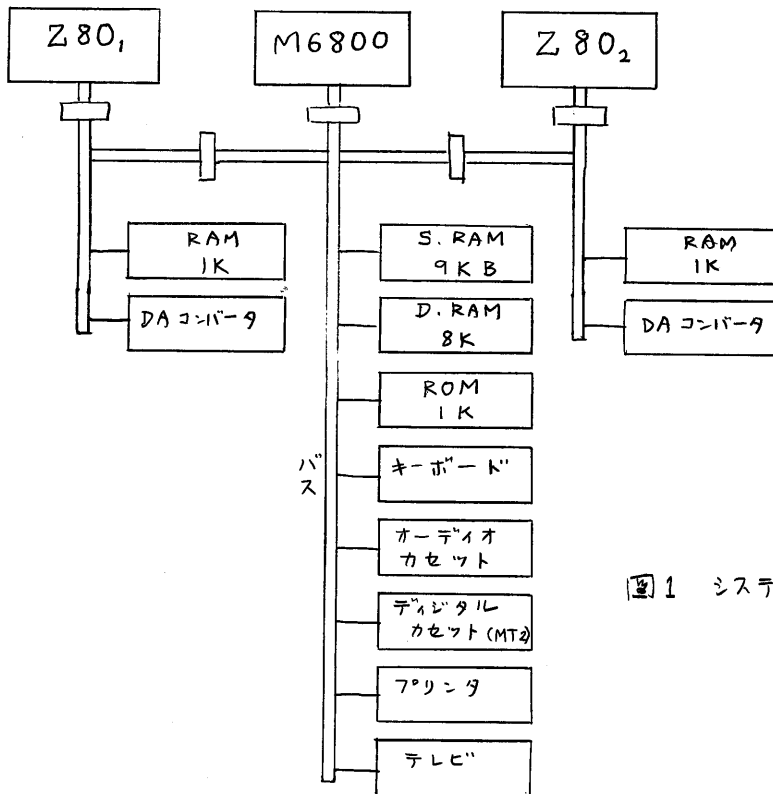


図1 システム構成

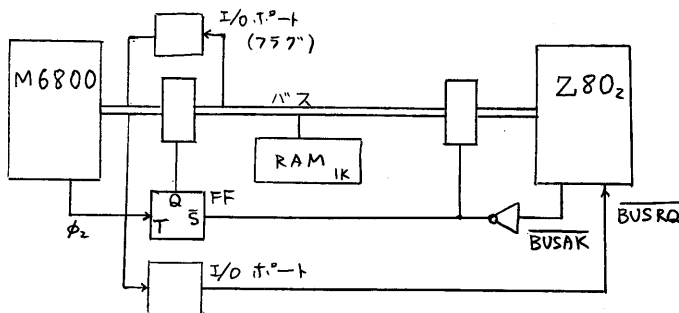


図2 バス切替

音楽演奏

コンピュータによる音楽演奏は、デモンストレーション用として、昔からよく行なわれてきた。

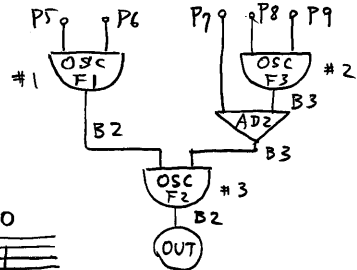
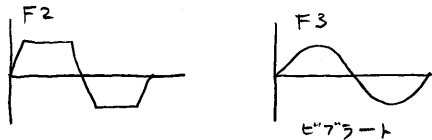
マイクロコンピュータの場合も、とにかくアンプとスピーカさえあれば、特別なインタフェースはいらないうる簡単さのために、盛んに試みられ、キツトには大抵音楽演奏プログラムがついている。

そのやり方は、プログラムにより時間をカウントして出力をオンオフすることにより音の波形を作るというのであつた。矩形波しかえられず、あまりよい音色とはいえない。また、その時間中はカウントプログラムのループをまわす回数で決めておけるから、高い音になると音程がかなりあやしくなる。よりに、メロディだけのシングルトーンでは、いかにも単調で、音楽として観賞するには程遠い。

良い音にする方法のひとつは、12音発振器、カウンタ、フィルタなどからなるハードウェアのシンセサイザを作り、これをマイクロコンピュータで楽譜に従ってコントロールするというもので、アナログ回路を組合わせれば、かなりの技巧ができるようである。(1) 既製のミュージックシンセサイザを使ったり、電子オルガンのキーの所にリレーを並べて自動演奏させるなど、いろいろ試みられている。

もうひとつは、メモリのなかには、楽器の波形をデジタルデータとして入れておき、音の高さに応じて選り出されたデータを、DAコンバータを適して送り出す方法で、簡単に任意の波形がえられるが、リアルタイムで音を出せようとするとき、データを送出する間隔は耳でわらなくなるためには数十μ秒以下でなければならぬから、多重奏にするなどのことはできない。

出力データをデジタルのままMTに記録し、あとでMTを読みながらDA変換をするようにすれば、いろいろ高級な細工ができる。ベル研のMusic Vはこのやり方で、音の波形、弦弱エンベロープ、ビブラートの細のテクニックを加えて多重奏ができるようになっておる。(2) 下図はそのプログラム例である。



```

1  INS 0 2 ;
2  OSC P5 P6 B2 F1 P30;
3  OSC P8 P9 B3 F3 P29;
4  AD2 P7 B3 B3 ;
5  OSC B2 B3 B2 F2 P28;
6  OUT B2 B1 ;
7  END;
8  GEN 0 1 1 0 0 .99 20 .99 491 0 511 ;
9  GEN 0 1 2 0 0 .99 50 .99 205 -.99 306 -.99 461 0 511 ;
10 GEN 0 2 3 1 1 ;
11 NOT 0 2 2 1000 .0128 6.70 .067 .205 ;
12 NOT 2 2 1 1000 .0256 8.44 .084 .205 ;
13 TER 3 ;
    
```

図3 Music V

ところで、出力データは、5分間の演奏でも 10^8 ビットに近いから、MT 1巻が必要で、とてもカセットには入らない。では短時間ならよいかというと、実は再生速度がともなは合合わない。音楽のPCM録音にビデオテープが使われることも考えれば、明らかなることではある。

そこで、マイクロコンピュータによる音楽演奏は、リアルタイムでなければならぬ。そして、多重奏や、各種の技巧を加えるには、マルチプロセッサにするか、高速プロセッサを使うかのいれかになる。高速のものではまだ手頃のものがないし、メモリも高速にする必要もあるから、現状ではマルチプロセッサの方が安上がりであろう。

仕事の分担は、ひとつのプロセッサが楽譜の解釈を行ない、他のものはトーンジェネレータとして働くようにするのがよいであろう。Z80 1個で、2音のジェネレーションができるから、前記の筆者のシステムでは4重奏まで可能である。

さて、筆者のプログラムの内容について少し説明しよう。

まず、図4のような波形の1周期分を256点で8ビットにPCM化し、256バイトに記憶させておく。これを50μ秒毎に送り出せば $(256 \times 50 \times 10^{-6})^{-1} = 78.1$ Hz のバイオリン音が出る。ひとつおきのサンプルを送り出せば156.3 Hz になるわけである。もちろん整数倍だけではすべての音階を表わすことはできないから、整数でない間隔 Δ をもちいて

$$t_{i+1} = t_i + \Delta \pmod{256}$$

を順に計算し、 t_i の整数部分でサンプル長を決める。つまり、個々の間隔は整数であるが、平均として Δ になるというわけである。

筆者の場合、プログラムステップ数の関係で、送出間隔が56μ秒毎であるので、たとえば440 Hz にするためには

$$\Delta = 440 \times 256 \times 56 \times 10^{-6} = 6.308$$

とすればよい。実際には、 Δ を整数部、小数部それぞれ8ビット計16ビットで表わし、16ビットの加算をして上位8ビットをとれば、丁度 $\pmod{256}$ をとった結果がえられる。これをアドレスの

下位8ビットとして波形データのテーブルを読めばサンプル値がえられるわけである。

Z80 (8080と同じであるが)には、HLレジスタによる16ビット加算命令があるから、 Δ の値をDEレジスタに入れ、これをHLに加算し、その上位8ビットの入ったHLレジスタの内容をCレジスタに移し、BCレジスタの16ビットのアドレスでテーブルを引くようにする。

Z80には、内部レジスタが2組あって、切りかえて使えるようになっていようから、1音のデータがえられたら、レジスタを切りかえてもう1音のデータを作り、両者を加算し、1ビット右にシフトして、キャリーにはみ出した分を8ビット

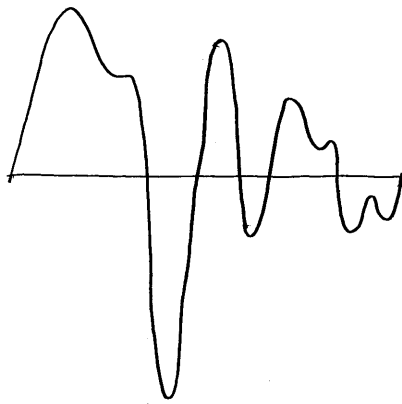


図4 バイオリン波形

に収めてから DA コンバータに送り出す。最初から波形データを 7 ビットに 12
 あければ、シフトは不要だが、若干誤差が大きくなると思われる。

文献 2 によれば、これらな音を出すには 12 ビット必要ということであるが、
 たしかに 8 ビットでは少々量子化ノイズが耳につく。しかし、12 ビットにする
 には、2 重奏も不可能になるし、DA コンバータも高価になるから、8 ビットで
 我慢することにする。ノイズがあるとしても、十分観賞に耐えるよい音がえら
 れるから、その程度にする必要はない。

もうひとつの乙 80 では現在ひとつの音だけを出してあり、合計 3 重奏になっ
 ている。4 重奏までいけるわけであるが、他の細工のために余裕をとってあるの
 である。DA コンバータは別々につけてあり、ステレオとして聞くことができる。

次に楽譜の構成であるが、図 5 のような形式とした。4 バイトが 1 単位となり、
 3 バイトが 3 音の音の高さを表わし、最
 後の 1 バイトが長さを表わしている。音
 階は C 調のドレミを 1, 2, 3, ..., 7 で表
 わし、# の有無が 1 ビット、オクターブ
 が 3 ビット (8 オクターブ) である。

	1	3	1	3
*	オクターブ	#	音階	
	"	#	"	
	"	#	"	
長 文				

図 5 楽譜データ

* が 0 なら楽譜データ、1 ならコントロ
 ールデータで、強弱、楽器 (波形) 指定
 録返し、サブルーチンコールなどを表わ
 す。休止符は音階を 0 として表わす。

M6800 はこのデータを解読し、そ
 の山や水の音の高さに応じた Δ を計算して
 乙 80 に渡す。

以上がそのありまじであるが、ではこれでえられる音はというと、波形はたし
 かにバイオリンのものであるが、あまりバイオリンらしくは聞かれない。むしろ
 オルガンという感じである。その原因はいろいろあるが、振巾が全く一定で、突
 然立ち上がり、突然止るといった形だからである。楽器の音を出すには、その振巾
 のエンベロープも楽器に合わせることが必要であるし、微妙なゆらぎなども大切
 なようである。

なめらかなエンベロープをディジタル処理でやるのはむづかしい。DA コンバ
 ータのレフェレンス電圧を制御するなど、アナログ的な処理が必要になってくる。
 しかし、DA コンバータ以外はすべてディジタル処理でという方針でやってきた
 ので、ハードをふやすことはあまり気が進まない。

とにかく、このシステムで、賛美歌などの合唱曲や、モーツァルトのトルコ行
 進曲などを演奏しているが、和音がきれいにひびいて一応満足できる結果がえら
 れた。波形を正弦波、矩形波、三角波などと変えて見たが、やはりバイオリンの
 波形が断然きれいであつた。

(文献)

- (1) 安田寿明: コンピュータ音楽のプログラム bit 臨時増刊 1978-2
- (2) M. V. Mathews: The Technology of Computer Music, MIT Press 1969