

DSPキットの講義での利用

堀 洋一（東京大学工学系研究科電気工学専攻）

相澤清晴（東京大学工学系研究科電子情報工学専攻）

アブストラクト

東京大学電気系3学科の3年生約100名（ほぼ全員）が受講する「マイクロプロセッサ応用」という講義では、DSPキットを使った実習を行っている。よく構成されきちんと運営される学生実験ではない。マイコンやDSPが専門ではない担当教官2人の合意のみで始め、2年の試行錯誤のあと6年ほどやってきた。制御工学や信号処理の教育でもなく成果はまったく不明であり、存続させるかどうかも定かでない。

1. 聴きたいが講義はたいへん

マイコンを使ったデータ収集や制御を伴う卒業研究が増え、マイコンまわりのインターフェースを自作する能力が必要になってきた数年前、そのような能力を養う講義がないことに気づいた先生方が、「マイクロプロセッサ応用」という科目の新設を決め、たまたま長期海外出張中で留守をしていた2人の若手（当時）教官をその担当に当てたところから喜悲劇が始まった。

「マイクロプロセッサ応用」という講義があれば聴いてみようという人はたくさんいるだろうがどのような講義をすればよいのか、まったく暗中模索であった。

2. 講義のみの授業で酷評をあびる

以上のような経緯で「マイクロプロセッサ応用」は93年度に新設され、専門外の2人が割り当てられた。1年目は教科書を使って講義のみを行い試験も実施した。しかし試験の感想欄で、まったく無駄な講義であるなどと酷評をあびた。

深く反省し、94年度には、講義 + 試行製作 + アセンブラ実習の形とする。実習はハードの構造を意識したプログラミングとし、たまたま、テキサスインスツルメンツ（以下TIと略記）の University Program でいただいた20台のTMS320C50のDSPスターキット（以下、必要に応じてDSKと略記）を利用した。ホストコンピュータ（これまたIBMよりいただいた20台のデスクトップ形PC）を他の実験課題と共用で使い、実行プログラムをRS232Cを使って

ダウンロードして用いる形の設備を整えた。

基本的な数値計算のあと、キットに付属のAD/DA変換器を介した実時間信号処理を課題とした。簡単なテキストも作成した。アンケート結果によるとかなり評判は回復したようであった。

3. 講義の方針と日程

講義は、3年生冬学期の火曜日8:30～10:00に行われ、教科書として「マイクロコンピュータの基礎」（森下巖著）を用いている。ターゲットは、低～中レベルの知識をもつ学生とし、マイクロプロセッサシステムのハード・ソフトの基本を講義する、と宣言してある。

講義日程は、教科書を用いたハードの基本を4回、ソフトの基本を3回、DSPキットの説明を2回、DSP実習を5回（と自宅で実施）という感じであり、冬休みには宿題を出している。

電気系では、マイクロプロセッサや周辺LSIの中身に關する論理回路、デバイス関係の講義や実験は充実している。また、本格的な計算機の仕組みやプログラミング、いわゆるソフトウェア工学の講義や演習もある。抜けているのは、マイクロプロセッサチップまわりの話である。簡単にいうと、CPUや周辺チップを買ってきてマイコンを作り上げるという部分が抜けている。学生たちが将来そのような仕事をするかどうかは別として、一回ぐらいい触れておく必要があるということ、この空白領域を扱うことにした。

4. その後の経緯

95年にはTIよりDSPスターキット20台の追加寄贈をうけ計40台とし、IBMからはラップトップ形PC ThinkPad 20台を寄付していただいた。実験用ガイドを整備し、トランジスタ技術に掲載された解説記事を参考資料とした。

94、95年を通し、100名強の学生に対して、半分以下しか準備できていない器材（DSPキット、電源アダプタ、ケーブル、マニュアル類など数点に及ぶ）を貸し出し、1週間ごとに返却させる業務に限界を感じた。PCを個人所有する学生が急増していたことから、96年からは学生にDSPスターキットを購入するよう勧め、80名弱が自分で購入した。97年にも80名弱が自費購入した。（もちろん割引してもらった。）

その後TIでは、新製品の開発によって、C50のDSPスタ

ータキットの供給が難しくなるということであったので、98年には学科で70台を購入し全部で110台とした。これで、受講生全員への実習期間を通じての貸し出しが可能になった。

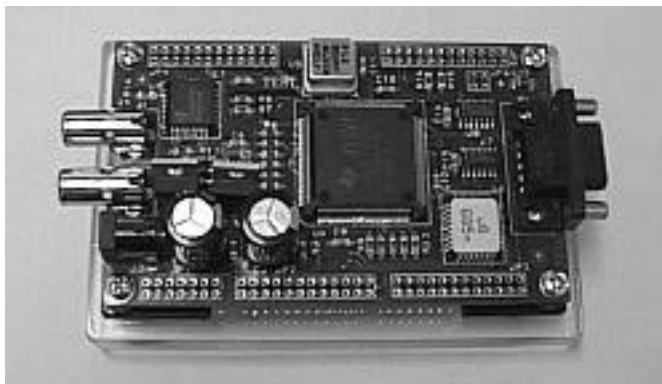


写真1 C50 DSPスターキット（95年以降）
（左にアナログ入出力端子、右にRS232C
シリアルポートが見える。）



写真2 RS232Cケーブル（実はマウス延長
ケーブル）で Think Pad に接続

5. DSP実習に関するイントロダクション

DSP実習を始める前にイントロダクションとして、

- ・ DSPの一般構造、・ C50 DSPキットの構造、
- ・ 積和演算、・ 数値表現、・ 固定小数点演算、
- ・ 命令セット、・ プログラミングメモリ、データメモリ、
- ・ アドレス指定、・ DSPキットの疑似命令 (directive)、
- ・ DSPキットのアナログインターフェース、
- ・ パラメータの設定法、・ データ送受の仕方

について説明をする。これには、DSPプログラミング入門（瀬谷）と自作実験ガイドを資料として用いている。

とくに固定小数点演算において、小数点の位置をダイナミックに変えていく手法については、詳しく説明している。これをおろそかにすると演算結果がとんでもないことになるからである。

6. 具体的な課題

具体的な課題として、

- ・ 簡単な数値演算：最大値、平均値、積和演算
- ・ 実時間信号処理：正弦波信号の生成、チャープ信号の生成、A/D・D/A変換、標本化・量子化、フィルタリング
- ・ 自由課題

の中から、数値演算と信号処理の課題を与えている。あるいは自由課題を選んでもよい。具体的な課題例をいくつか紹介する。

課題 簡単な数値演算

まずはじめに練習課題として信号処理の知識を全く必要としない次のような問題に取り組んでみましょう。

下の表を見てください。

15779	18509	13342	1346	11282	24809	24211	18697
14149	23480	1457	31137	1670	27350	13512	10811
10304	2841	25563	3498	19451	21967	513	22624
7266	29440	7989	17006	14656	11087	27023	10631
20862	6654	5962	21244	23846	32495	28865	19904
30562	12451	31341	29797	22652	11837	16104	3868
28638	20862	14572	5560	7698	8393	23891	4522
3779	16671	17687	8197	12985	2084	30547	4987

これは Visual Basic3.0を使用して作成した乱数表です。いずれも16-bitで表現可能な数ばかりですが、この乱数表をDSPに入力し、

- (1) 最大値を検出してAR7に格納し、
- (2) 最小値を検出してAR6に格納する

プログラムを書いてアセンブルしてください。

そのプログラムを実行し、結果をデバッガを使用して確認し、16進の値を計算し、上の表に合致するか確認して表の最大値と最小値を丸で囲んで下さい。

終了したら、以下の事項を記して提出して下さい。

- (1) ソースコード（アルゴリズム部には各行にコメントをいれる）
- (2) 結果の記録（最大値，最小値，16進及び10進）
- (3) 部分ごとのおおよその所要時間
- (4) 本紙（最大値，最小値に丸をつけて）
- (5) 問題点（一度目でうまくいかなかった箇所，時間のかかった箇所）
- (6) その他のコメント，提案，気付いたこと，または結果が得られなかった場合の問題分析

課題 DSKを用いた演算処理

DSPIはもともと信号処理で必要とされる演算が高速に行えるように設計されています。ここでは，積和演算の実現を行います。

ある番地以降に10進数で1から100までの数値が連続して格納してあり，これを $x(0) \sim x(99)$ とします。他の番地に $h(0)$ ， $h(1)$ ， $h(2)$ ， $h(3)$ ， $h(4)$ が格納されています。ただし， $h(0) \sim h(4)$ は，各自の学生証番号の各桁の数字とします。このとき，畳み込み演算

$$y(i) = \sum_{k=0}^4 h(k) x(i-k)$$

を計算し， $y(i)$ ($i=0 \sim 99$)を他の番地以降へ連続して格納するプログラムをつくり，動作を検証してください。なお， $x(i)$ ，($i < 0, i > 99$)は0とします。

課題 正弦波発生器の応用

正弦波発生器のアルゴリズムの応用として，下のようなチャープ信号の生成が考えられます。



写真3 チャープ信号

チャープ信号とは周波数が時間とともに線形的に増加する正弦波で，音響機器の特性測定によく使われます。

$$x(t) = \sin \{2 (f_0 + bt)t\}$$

ただし， f_0 ：周波数の初期値， b ：単位時間当たりの周波数増加率

で与えられます。そこで，これを離散化した

$$x(n) = \sin \{2 (f_0 + bnT)nT\}, T=1/8[\text{kHz}]$$

で表されるチャープ信号発生器を多項式展開を使用して設計してください。

設計が完成したら，

- (1) アセンブルする。
 - (2) デバッグする。
 - (3) 出力をオシロスコープ又はスピーカを使用して正しい音（信号）が出力されていることを確認する。
 - (4) 出力をカセットテープに録音する。
 - (6) f_0 ， b を変えて， f_0 ， b の選び方で出力がどのように変化するか(1)から(4)を繰り返しながら調べる。
- これらが終了したら，
- (1) 設計の記録（各パラメータの記録等）
 - (2) ソースコード（アルゴリズム部には各行にコメントを入れる）
 - (3) 結果の記録（カセットテープ）
 - (4) 各部分のおおよその所要時間
 - (5) f_0 ， b の選び方で出力がどう変わるのかの考察
 - (6) 問題点（一度目でうまくいかなかった箇所，時間のかかった箇所）
 - (7) その他のコメント，提案，気付いたこと，または期待した結果が得られなかった場合の問題分析

以上を提出してください。

課題 DSKによる実時間信号処理

- (1) DSKのA/D変換，D/A変換の確認

DSKで，どのように入出力を行うのかを確認するために，アナログ信号を入力し，スルーで出力するプログラムを設計し，検証してください。

- (2) 標本化周波数，量子化ビット数の変更

A/D変換に関わるパラメータである標本化周波数，量子化レベル数を変更しながら，どのように音質が変わるかを調べてください。

(3) FIRフィルタによる信号処理

簡単な実時間の信号処理としてFIRフィルタを試してみましょう。入力するアナログ信号に対して、適当なFIRフィルタを施すプログラムを設計し、その効果を耳で検証して下さい。どのようなフィルタを用いるかは自由です。ただし、その理論的な周波数特性は求めておくこと。(計算しても良いし、電気系のWS上のMatlabを用いても良い。)フィルタのパラメータを変えることで、どのように処理結果が変わるのか体験して下さい。

7. 冬休みの宿題

冬休みの宿題について学生に配布している資料を載せる。

最近の学生さんはハードウェアに弱くなっているらしいという話なので、下のような宿題を出します。諸君の先輩たちに聞いてみますとこれは大変いい試みであるとのことですので、冬休みの宿題にします。つまり、

秋葉原などに行って部品を仕入れ
最小構成のマイコンを作れ

という課題です。できあいのキットを使った電子工作は駄目です。

休日や冬休みを利用して仕上げ、内容の説明をつけたレポートを添え、年明けの最初の講義に持ってきて下さい。その日は発表会をします。いい発表をした人には大きな発表点を差し上げます。後からの提出は評価が下がります。ということは、2, 3回の遅れは認めるということです。作品は適当な部屋に展示し、案内を出して公にします。

【ご参考に】

(1) こんなのは中学生の宿題だという人もいますが、私は結構大変だと思います。

(2) まず、マイコンのチップを売っている店を探さなくてははいけません。できるだけ安くあげましょう。

(3) 秋葉原のホームページ <http://www.impress.co.jp/akibamap/> が参考になるようです。

(4) ピット数は多分小さい方が安いでしょう。ワンチップマイコンもいいでしょう。電源はどうしましょう。電池でも動くでしょう。家にパソコンがある人は、簡単なインターフェースを作ってプログラムをロードできるようにで

きますね。

(5) 実際に作るのが大変な人は、代わりに秋葉原の探検マップを作ってみましょうか。どこに行けば何があるとかかね。配線図だけ書いて、こんなものを作りたかったというようなものでもいいことにしましょうか。その場合は、どの部品はどの店でいくらで売っているというような情報をつけましょう。

(6) ROMライターが必要になったらどうしよう、とか、中には半田ごてを持ってないという人もいるかも知れません。困ったらどこかの研究室に図々しく泣きつきましょう。自分のまわりの利用できるものはなんでも利用して、人より得をするというしたたかさは、工学者に必要な能力であります。

8. 成果のほどは？

この講義の成果はまったく不明である。当然であるが、よくやる学生とやらない学生のコントラストが際立つようである。TIにはいろいろお世話になっているが、TIのDSPに触れることによって、学生たちが将来企業に入ってDSPを使うチャンスが生じたときにTI製品を選択するかも知れないという可能性をもって恩返しとしている。(そのためのUniversity Program であると思っている。)

また冬休みの宿題は、問題解答形の教育を受けてきた学生にとっては全くの初体験である。自分でやることのわくを決めなければならない。その成果はあるかも知れない。ただしすぐには効果は見えない。卒論研究で間接的に生きているかも知れない。

いま電気系では、すべての学生実験を講義にくっつけようという提案を受け、教官、助手、技術官の協力のもと、新しいシステムを考え、この冬学期から実施する予定である。そのあかつきには、この講義はハッピーエンドとしたところである。

一つおもしろいことがあった。

先輩からこのような宿題が出ることを聞いた学生が、前もって一度も行ったことのなかった秋葉原に行ってみた。ラジオデパートのおばちゃんに、こういう宿題が出るからマイコンができるような部品を見つくるってそろえてくれ、と注文したらしい。(これがまったく総合商社のノリであるところが面白い。)半田づけはしたことはあるのか、いやありません、これは何かわかるか、わかりません、コン

デンサだよ、といった問答のあと、おととい来いと言われた。もう一軒行ったら同じことを言われた。だから私はこの宿題はできません、と泣きついてきた。20軒行けと言って追い返しておいたら、仮想マイコンのエミュレータを作りました、と言ってフロッピーを1枚提出した。そのエミュレータはよくできていた。この学生を合格にしたことは言うまでもないが、こういう学生ばかり育つと考えものではある。

著者略歴

堀 洋一（東京大学工学系研究科電気工学専攻）

昭和53年東京大学工学部電気工学科卒業，昭和58年博士課程修了。助手，講師を経て昭和63年より同電気工学科助教授。平成7年より総合試験所助教授。専門は制御工学とその産業応用，とくに，モーションコントロール，メカトロニクスなどの分野への応用研究。最近は，電気モータの高速トルク応答をいかした"電気自動車ならではの"の制御に情熱をもちしている。

相澤清晴（東京大学工学系研究科電子情報工学専攻）

昭和58年東京大学工学部電子工学科卒業，昭和63年博士課程修了。助手，講師を経て平成3年より同電子情報工学科助教授。平成11年より，新領域創成科学研究科助教授。専門は，広くいって画像情報処理。基礎的な処理手法から映像通信システム，スマートセンサーの考案，実装まで興味を持つ。