

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

數位訊號處理器模組化系統之研製與教學改進計畫 (III) Modular System Design and Education Improvement Plan for Digital Signal Processors (III)

計畫編號：NSC 87-2512-S-009-005-EE

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：胡竹生教授 國立交通大學電機與控制工程系

一、中文摘要

數位訊號處理器之高速運算能力已逐漸在各工程領域中受到重視。我國以學術界為主的先進工程技術研究已有多方面之進展，然而應用其成果以提升工業能力之工作卻遲遲未能推廣，其中一主要原因乃基礎技術之人材大量缺乏。而數位訊號處理器軟硬體設計與系統整合的知識往往是控制、通訊等領域技術研究能否落實的關鍵。因此，本計畫乃針對這一問題，製作教具與教材以對人材培訓做具體之貢獻。

關鍵詞：數位訊號處理器、物件導向設計、數位訊號處理實驗

Abstract

Due to its computation power, digital signal processor (DSP) has received much attention in many engineering areas. The recent progress of advance engineering research by the academic society in our country is quite significant. However, applying these results to help local industry in order to improve their competitive edge is still very slow going. One of the main reasons is the lack of work force in the area of fundamental technology. The design of DSP hardware interface and software programming as well as their integration are often the key

step to implement research results in controls and communication etc. Thus, the goal of this project is to provide a complete and easy-to-learn teaching materials for DSP development.

Keywords: Digital Signal Processor, Object-oriented Design, DSP Experiments

二、緣由與目的

在許多工程應用上需要大量數學運算與即時反應的場合，利用傳統微處理器所建立的硬體系統已無法使用，取而代之的是一種特殊結構的微處理器稱作數位訊號處理器(Digital Signal Processor)。例如應用在長途電話線路中的迴音消除系統(Echo Canceling)[13][19]及全數位化馬達控制器等[5][12]。

數位訊號處理器乃為了應付大量且重覆的計算以及高採樣頻率，而對微處理器作最佳化的設計[2][16][17]。從理論與實際應用結合的角度而言，數位訊號處理器提供了最佳的橋樑。由於其在速度極限的突破，許多複雜且功能強的理論均有實現的可能[11][18]。因此，對工業水準之提升上，將有著十分重要的地位[20]。國內對數位訊號處理器之軟硬體設計教材十分缺乏。而國外已出版的教材卻大多數著重於訊號處理等理論的應用與軟體設計[1][3][4][6][7][8][9][10][14][15]，對系統整合人才的訓練，以及本土化教材的需求，

實在需要一套完整的軟硬體教具與教材，以提供學生全面性的學習機會。本計劃之目的即在製作一套完整的數位訊號處理器之軟硬體發展教具與教材。以期對技術人才的教育與培訓，作具體貢獻。

三、結果與討論

● 數位訊號處理器實驗電路板設計

本計劃採用美商 Texas Instrument 公司之 TMS320C50 數位訊號處理器，以模組化的方式設計硬體系統。完成之硬體模組包括：

1. 數位訊號處理器電路母板：負責執行程式，資料處理以及子板控制。
2. 馬達控制電路子板。
3. PC-ISA 介面子板。

其中母板設計並包含多種串列通訊界面，設計理念如圖 1 所示。

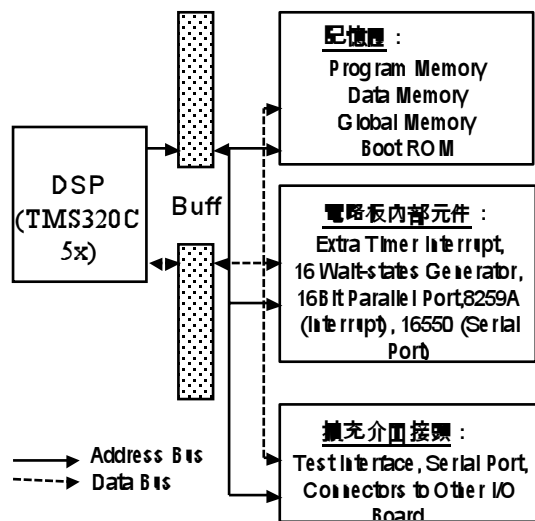


圖 1、以 TMS320C5x 為中央處理器電路母板的基本架構圖

母板並採用 4 層印刷電路製作如圖 2 所示。



圖 2、TMS320C5x 實驗電路板原型
馬達控制電路子板主要做為數位訊號處理器與伺服馬達之間的訊號轉換，整個電路以數位／類比轉換器 (D/A Converter) 以及 Encoder 訊號轉換器 (HCTL-2020) 為主要的架構。PC-ISA 介面子板則具備 16 位元平行傳輸介面，提供其在個人電腦端的平行通訊，以方便人機界面之設計。子板之設計細節請參考文獻[21]。

● 數位訊號處理器實驗教材設計

針對第一次接觸數位訊號處理器的學生，本計劃製作與撰寫一套以實驗為導向之教材。其中包括程式發展環境之套裝軟體與實驗設計。

♣ 程式發展環境

為方便教學及降低學習障礙，本計劃製作一個在個人電腦視窗環境下的數位訊號處理器程式發展整合界面軟體。包含下列功能：

1. 整合的編輯器：包含 Make、Compile、Copy、Cut、Paste、Search 等常用功能，Make 可以 Compile、Assemble 並 Link 整個 Project，而 Compile 則可以 Assemble 或 Compile 目前開啟的這個檔案。
2. 專案管理員：專案管理員 (Project Manager) 負責記錄和目前開啟的專案有關的全部資訊，使軟體發展組化。
3. 訊息視窗：所有 DSP 工具程式的命令列輸出都會被捕捉並顯示在訊息視窗內。
4. 執行工具程式：提供多種版本之數位訊號處理器工具程式之參數設定及執行。
5. 命令列操作：可以以命令列的方式執行所有已安裝的工具程式。
6. Data Analyzer：可下載數位訊號處理器硬體擷取或處理之資料，作更進一步的分析。

圖 3 顯示此套裝軟體的主要畫面。

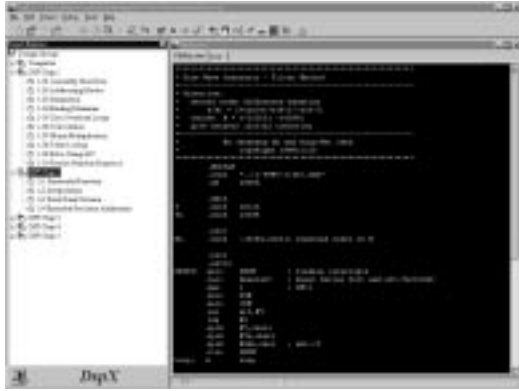


圖 3、DSP 程式發展環境之主畫面

❖ 實驗設計

本計劃對數位訊號處理器及基礎數位訊號處理理論的實作，共設計了 23 個實驗如下：

- (1) *Getting Started – 組譯器命令；
- (2) *Addressing Modes；
- (3) *基本數學運算及迴圈運作；
- (4) 尋找極值；
- (5) *乘法及零負擔迴圈運算；
- (6) *線性與環形迴積；
- (7) 矩陣運算；
- (8) 查表；
- (9) *中斷及 AIC 之規劃與使用；
- (10) 虛擬二元隨機訊號產生器；
- (11) *純小數計算:定點法求取正餘弦函數；
- (12) 內插值計算；
- (13) 定點數除法；
- (14) 倍精度運算 (32 bits)；
- (15) *FIR 濾波器之製作；
- (16) 訊號能量平均與自動增益控制；
- (17) *IIR 濾波器之製作；
- (18) 弦波產生器；
- (19) 訊號零點交越計數；
- (20) 數位調幅與解調幅；
- (21) *狀態空間表示之濾波器製作；
- (22) 弦波產生器之狀態空間執行法；
- (23) *FFT 程式之製作

其中標*的為主要實驗，可供一學期的實驗教學，其他則可視實際情況增加。本教材連同程式發展環境並已出版推廣之[22]。

● 控制軟體教學發展環境設計

針對前述之數位訊號處理器實驗電路板，本計劃嘗試撰寫一適合於控制教學之發展環境。此軟體的主要目的為輔助控制系統的規劃與實現，由於數位訊號處理器之資料處理速度遠超過一般控制系統之頻寬，因此可提供額外的計算空間來實現較高層次之軟體發展。此一作法對基礎及先進(advanced)的控制實驗教學均可提供良好的學習環境：

1. 對基礎之控制實驗，由於學生初次接觸控制的理論實現，對控制器其他硬體界面及驅動軟體(drivers)之觀念與細節尚未了解，因此必須使其所造成之學習障礙降至最低。而一高層次之軟體發展環境則將上述的障礙以通用的軟體格式包覆，讓學習者可專注於基礎控制理論的實現與驗證。
2. 對先進(advanced)的控制實驗，由於程式結構較為複雜，必須有一套系統化的發展架構，降低程式除錯所需的時間。使學習者可專注於控制法則的設計與驗證。其中最重要的部分為控制時序(如軟體硬體中斷)的掌握與各工作(tasks)間的協調，而此一發展環境則可提供上述之需求。

本計劃採用 host-target 的架構製作發展環境，圖 4 概略描述了此一架構。

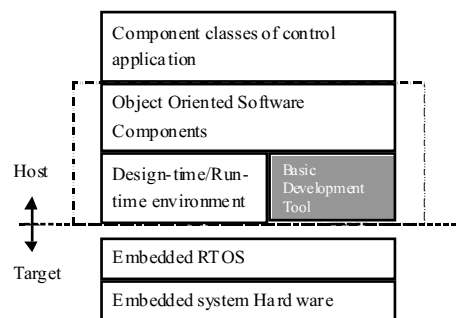


圖 4、Host-target 發展環境

圖 4 之架構符合本計劃所提出之硬體設計，也就是說執行即時控制的系統(數位訊號處理器)與程式撰寫、下載及除錯的系統(使用個人電腦)為不同之軟硬體平台。

茲就所製作的發展環境中各重要子項概略說明之：

1. Host：host 端以 Windows 95/NT 為平台，包括元件模版(component palette)、專案管理(project management)及圖控設計工具(graphical design tools)。其中使用了物件導向的設計觀念(object-oriented design)，使各種教學及實驗軟體的發展模組化。另外元件模版並加入程式碼產生器(code generator)的功能，可針對不同的硬體，自動產生必要的程式碼以降低錯誤機率，提高軟體重覆使用性，這其中並使用了bookmark的技巧。圖5為host端發展軟體的主要畫面。



圖5、host端發展軟體的主要畫面

2. Target：target 端最重要的技術為一即時多工的微核心(real-time multi-tasking kernel)。為使可移植性(portability)達到最大，大部分的核心程式碼均使用通用之C語言撰寫，圖6說明了此微核心的架構。

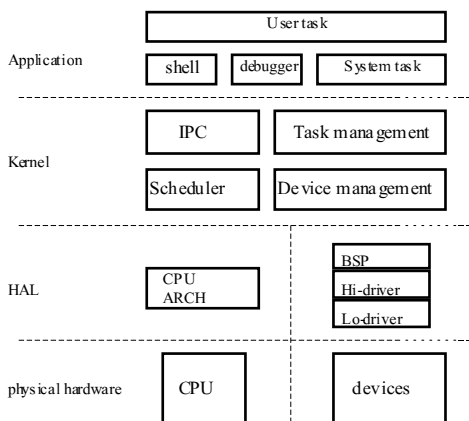


圖6、即時多工微核心的架構

其中與硬體相關的部分集中置於抽象硬體層(hardware abstraction layer, HAL)，對於不同的target硬體只需對HAL作修改即可。目前本核心已移植至TMS320c5x, f206及c3x三種不同的硬體上。

3. Host與target間通訊：我們使用通用之RS232為通訊媒介，並參考半導體製程設備之通訊標準(SECS)[23]製訂通訊協定稱之為MultiSECS—可容許單一host與多個targets間進行溝通。使用此一通訊標準的原因為其開放性(open)，不像其他通訊標準往往局限於某些特定之控制器。

利用上述之發展系統，本計劃於TMS320c31之target製作一x-y平台控制範例。學習者可快速調整控制參數並可在host端見到控制效果。

● 實驗教學成果

本計劃所製作之數位訊號處理器實驗教材已在國立交通大學電機資訊學院開設之實驗課程使用，對象為大三、四之學生選修。目前已開設三個學期。對此一領域技術人才培訓，已有具體成效。圖5為上課之實況。



圖5、實驗課上課情形

四、計畫成果自評

項目	完成情況
與原計畫相符程度	100%

達成預期目標	90%
研究成果學術價值	實驗教學
研究成果應用價值	實驗教學實用性
學術期刊發表合適否	已出版中文化 DSP 實驗教科書
申請專利合適否	目前尚不適合
主要發現 或 其他價值	1.國內第一套系統化的 DSP 實驗教學教材 2.即時多工的微核心具實際應用價值

五、參考文獻

- [1] Alkin, O., 1994, *Digital Signal Processing: a Laboratory Approach Using PC-DSP*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [2] Aliphass, Amnon and Feldman, J. A., 1987, "The Versatility of Digital Signal Processing Chips," *IEEE Spectrum*, June, pp.40-45.
- [3] Chassaing, R., 1992, *Digital Signal Processing with C and the TMS320c30*, New York, Wiley.
- [4] Chassaing, R. and Homing, D.W., 1989, *Digital Signal Processing with the TMS320c25*, New York, Wiley.
- [5] Dote, Y., 1990, *Servo Motor and Motion Control Using Digital Signal Processors*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [6] Hutchins B. and Parks T.W., 1990, *A Digital Signal Processing Laboratory Using the TMS320C25*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [7] Ingle, V.K. and Proakis, J.G., 1991, *Digital Signal Processing Laboratory Using the ADSP-2100 Microcomputers*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [8] Jones, D.L. and Park, T.W., 1988, *A Digital Signal Processing Laboratory Using TMS32010*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [9] Lin, K.S., 1987, *Digital Signal Processing Applications Using the TMS320 Family*, Vol. 1, Texas Instruments Inc., Houston, Texas.
- [10] Mar, A., 1992, *Digital Signal Processing Applications Using the ADSP-2100 Family*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [11] Mather, B.C., 1991, "Embedding DSP," *IEEE Spectrum*, November, pp. 52-55.
- [12] Meshkat, S., 1993, "Parallel Processing in the Next Generation of Controllers," *PCIM*, September, pp.54-59.
- [13] Messerschmitt, D.G. et. al., 1986, *Digital Signal Processing Applications with TMS320 Family*, Texas Instruments Inc., Houston, Texas.
- [14] Papamichalis, P., 1991, *Digital Signal Processing Applications Using the TMS320 Family*, Vol. 2, Texas Instruments Inc., Houston, Texas.
- [15] Papamichalis, P., 1991, *Digital Signal Processing Applications Using the TMS320 Family*, Vol. 3, Texas Instruments Inc., Houston, Texas.
- [16] Quamby, David, 1984, *Signal Processor Chips*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [17] Rauch, Ken, 1987, "Math Chips: How They Work," *IEEE Spectrum*, July, pp. 25-30.
- [18] Robison, R.W., 1992, "Tools for Embedding DSP," *IEEE Spectrum*, November, pp. 81-84.
- [19] Widrow, B. and Stearns, D., 1985, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [20] 胡竹生, 1995, "簡介數位訊號處理器及其應用", 電子月刊, 第3期, 第155至162頁。
- [21] 蘇柏瑞, 1997, "多功能數位訊號處理器電路板設計與其在低轉速馬達上之應用", 國立交通大學碩士論文。
- [22] 胡竹生、陳榮偉, 定點數位訊號處理器應用程式設計與實驗, 全華圖書公司, 1998年5月。
- [23] "Book of SEMI Standards: Equipment Automation/Software Volume 1," *Semiconductor Equipment and Materials International*, 1994.