

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫二：動態 VR 運動復健輔助系統之智慧型感測與控制

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-009-037-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系

計畫主持人：林進燈

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 92 年 5 月 28 日

泛用型動態虛擬實境操控與運動復健輔助系統研發

子計畫二：動態 VR 運動復健輔助系統之智慧型感測與控制(2/3)

計畫編號：NSC91-2213-E-009-037

執行期限：91.8.1-92.7.31

主持人：林進燈 國立交通大學 教授

執行機構：國立交通大學電機與控制工程研究所

一、摘要

本計畫為「泛用型動態虛擬實境操控與運動復健輔助系統研發」整合計畫之子計畫二，研發重點在於電動動作平台之設計與分析、運動訓練輔助機制之感測與控制及操作者運動狀況之偵測與分析。本子計畫的第一個重點擬開發一智慧型控制系統於電動動作平台的姿態控制設計，以為整個動態運動訓練輔助系統的根基平台。本子計畫的第二個重點在為了提高系統的穩定度與安全性，系統對外界訊息的反應，必須要更為迅速，以確保在系統出現問題時能立及做出適當的處理，而構成即時動態運動訓練系統的整合機構。本計畫的第三個研究主題是以 LART 實驗單板的 Intel StrongARM SA-1100 處理器之 Linux 嵌入式系統來取代舊有的 IPC 控制方式。本子計畫也將發展即時計算環境的軟、硬體，以達到整體系統的即時控制效果。

關鍵字

電動運動平台、適應性小腦模型控制器、即時作業系統、嵌入式即時硬體單板

二、目前研究進度：

針對本子計畫所將完成的三大研究主題，在今年度本子計畫目前朝向電動動作平台的控制系統、平台即時作業系統開發、嵌入式即時硬體單板之設計與發展等部分。以下就分別針對此幾個方向，來加以說明目前進度狀況。

A. 電動動作平台的控制

近二十年來電氣伺服逐步取代傳統油壓伺服在工業界的應用，因為電氣伺服可靠且容易維護，再加上精度高、成本低等優勢，表一就油壓與電氣作動之優缺點作一簡單的比較。

基於本實驗室過去開發油壓運動平台的經驗，本研究已成功完成電動運動平台的機構設計、加工及驅動系統研究，由於電動運動平台之動態模型十分複雜度，所以不易使用傳統的控制理論來達成控制的目的，為解決此問題，本研究提出一架構簡單、具快速學習且不需要受控系統動態模型的適應性小腦模型控制器

來解決此控制問題，經由實驗結果發現本研究所提出之適應性小腦模型控制器可以有效地準確控制電動運動平台之腳長長度，其方塊圖如圖一所示與設計步驟與想法如下簡單描述：

步驟一：

定義追蹤誤差 $e = \theta_d - \theta$ ，其中 θ 代表伺服馬達實際的轉子位置， θ_d 代表參考模式命令訊號，並定義一滑動表面 $s = \dot{e} + k_1 e + k_2 \int e$ 。

步驟二：

利用一小腦模型控制類神經網路線上學習近似一理想控制器。

步驟三：

依據最佳近似定理我們可得知存在一近似誤差，為了克服此誤差往往使用一切換控制器補償之，但卻因而造成控制力有嚴重的顫抖現象。

步驟四：

使用一個極限值估測器來監測不確定量邊界值，在此定義不確定量邊界值估測誤差為 $\tilde{E}(t) = E - \hat{E}(t)$ 。

步驟五：

適應性小腦模型控制系統設計成

$$u(t) = \hat{u}_{CMAC} + u_{cp}$$

其中 \hat{u}_{CMAC} 為主要追蹤控制器用來近似理想控制器；而補償控制器 u_{cp} 則被設計來消除理想控制器與小腦模型控制器之間的誤差。

步驟六：

依據李雅普諾夫穩定法則推論而得之線上學習法則

$$\dot{\hat{\Phi}} = \eta_2 s(t) \hat{\Phi}$$

$$u_{cp} = \hat{E}(t) \text{sgn}(s(t))$$

$$\dot{\hat{E}} = \eta_1 |s(t)|$$

其中 η_1 與 η_2 是學習速率。

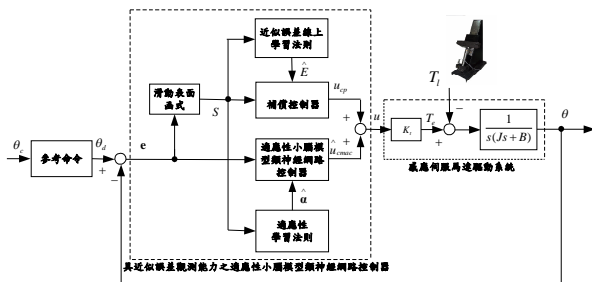
步驟七：

為了驗證所設計之控制器對於機械參數變化與外來的負載干擾的性能，我們利用方波位置命令來驗證控制器追隨控制角度變化的軌跡來觀測平台的動作是否正確，以驗證我們所發展式的小腦模型控制器設計是否正確，其實驗結果如圖二所示。

表一 油壓式/電動式平台控制系統之比較

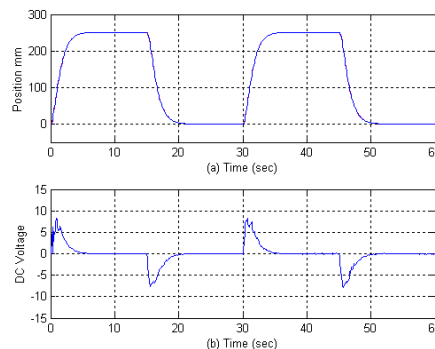
油壓式平台		電動式平台	
優點:	缺點:	優點:	缺點:

<ul style="list-style-type: none"> •可產生較高之加速度 •作動元件尺寸較小 •耐用的作動元件 •非常高的承載能力 	<ul style="list-style-type: none"> •有漏油顧慮 •效率低造成高性能之作動閥對環境要求較高 •較多的突發狀況-如閥軸卡死 •安裝較麻煩需另加油壓單元 	<ul style="list-style-type: none"> •乾淨 •不需另加其它附屬裝備 •效率高 •維護容易 •安裝容易 •不用複雜的作動閥 	<ul style="list-style-type: none"> •加速性較差 •作動缸結構複雜 •安全裝置十分複雜 •複雜的電子設計 •系統運作動力需求變化大
--	---	---	---



圖一 適應性小腦模型類神經網路控制

系統



圖二 適應性小腦模型類神經網路控制系統實驗響應圖

B. 平台即時作業系統

虛擬實境的應用非常的廣泛，例如進行飛行器的模擬，汽車的駕駛訓練，或是一些精密控制的模擬。在一個複雜的虛擬實境模擬系統中，時常需要處理大量的外界訊息，當系統呈現負載的情況時，其中有些重要的訊息必須是不能忽略或是要優先處理的，以保持模擬的精確性，其次，和實際的器具一樣，系統的穩定性、可靠性及安全性都是我們所考量的，為了提高系統的穩定度與安全性，系統對外界訊息的反應，必須要更為迅速，以確保在系統出現問題時，能立及做出適當的處理。故我們希望能提高系統中的即時性作業能力，因此，也確立了即時系統的必要性。以下是我們今年針對虛擬實境控制平台，進行即時性分析與設計的成果。

我們所使用的即時作業系統是建構在 Linux 作業系統之上的微核心模組 Real-Time Application Interface(RTAI)，這個微核心負責處理所有與硬體間的動

作，針對需滿足即時性的工作，會在這個即時核心的工作空間中處理。其特性包括：

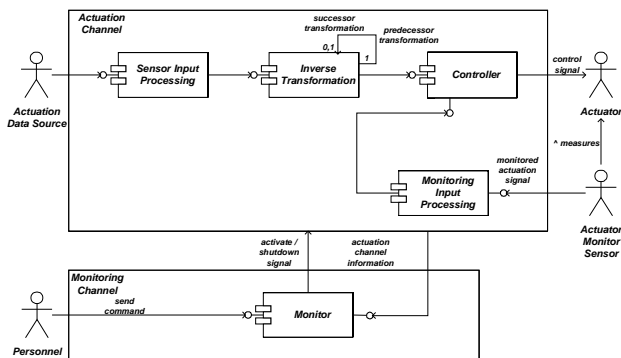
- 即時工作的排程器，可進行不同的即時性排程策略。
- 解析度更高的計時器，可供精密度更高的控制。
- 完全強取式(Preemptive)模式，使得優先權高的工作先處理。
- 豐富的程序間通訊(IPC)機制，如：FIFOs, shared memory, mailboxes。
- 維持 Linux 原有豐富資源，不需重新開發應用程式與裝置驅動程式。

首先，是有關即時控制六軸運動平台的分析，我們進行了即時 (Actuation channel 部份)與非即時 (Monitor channel 部份) 工作的分工，細部分工如圖三 UML 使用者關係圖所示。根據我們模擬系統的流程，大至上可分成五個狀態，分別是 initial, ready, running, shutdown, emergency。以下是五種狀態的在即時控制系統裡狀態轉換關係圖，如圖四所示。

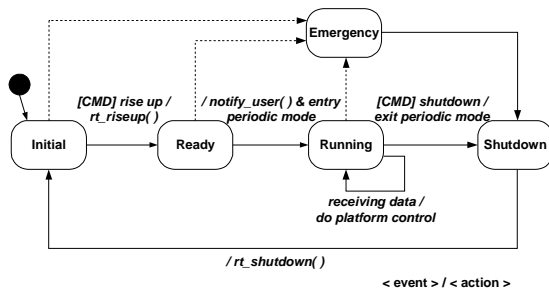
為了達到即時運算、處理的能力，我們將平台的逆向運動學及位置控制部份，放入即時系統核心中工作，另外，分別以週期性與偶發性工作來分派低階 D/A 與 A/D 硬體工作，除此之外，透過即時系統提供的程序間通訊機制，讓使用者空間的監測程式與在即時核心中運作的工作，進行資料通訊。圖五是虛擬平台即時控制系統的實現架構圖。

為了確保有些關鍵性工作能夠被優先執行，如 Shutdown 的工作，因此，我們進行了工作優先順序的指派動作，表二是有關工作優先權的分配表，其中`1`代表最高，`10`代表最低。

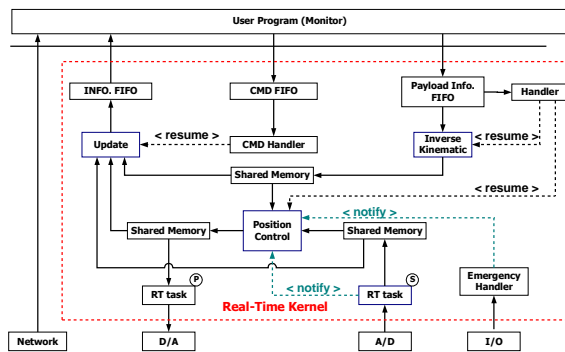
圖六為透過網路與 FlightGear 虛擬場景結合，實際截取即時控制系統之活動資料的展示，其中的 $Tick_Time = 100\mu s$ ，代表的是每隔 $100\mu s$ 即會檢驗是否有其它外部中斷發生，並迅速地做出反應，或著是否有其它週期性工作，即將要執行，則會迅速進行排程動作，以喚醒工作執行，因此，不僅提高了控制系統的反應能力，也增加了週期性工作排程的精確度。而圖中 $Period_{D/A} = 100\mu s$ ，也就是以頻率為 $10kHz$ 的速度，進行精確的平台控制。相較於一般的作業系統，就 Linux 而言，其 Tick 的時間，標準為 $1ms$ ，此段時間則視系統受負載的程度而有所變動 ($1ms \sim 100ms$)，故其延遲(Latency)時間，為 $1ms \sim 100ms$ ，因此它所能提供的控制環境，是屬於反應性較差，精確度較低的環境，不適合用來進行精密的虛擬實境模擬。而在本年度成果中，我們為了將來進行一些高精度的控制，如：電動平台的控制，而成功地增加了即時控制系統，且大大提高模擬的精準能力。



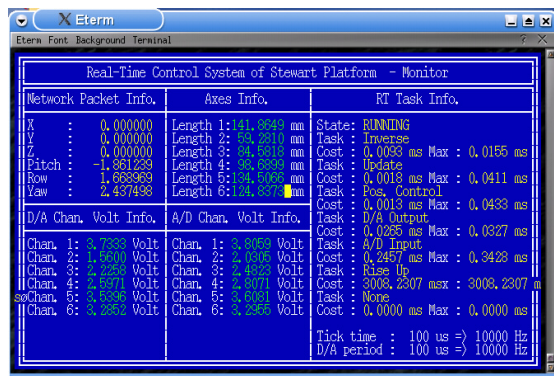
圖三 UML 使用者關係圖



圖四 即時控制系統狀態圖



圖五 即時控制系統系統架構圖



圖六 實驗圖

表二 Task 之優先順序表

Task	Priority	Comment
Shutdown platform	1	Command-driven
Inverse Kinematics	2	FIFO-driven
Rise up platform	3	Command-driven
Analog Output(D/A)	4	Periodic
Position Control	5	FIFO-driven
Analog Input(A/D)	9	Command-driven
Update	10	Command-driven

C. 嵌入式即時硬體單板之設計

在本計劃中由於在資料傳輸上受限於 RS-232 串列傳輸，同時以 LART 實驗單板的 Intel StrongARM SA-1100 處理器之 Linux 嵌入式系統來取代舊有的 IPC 控制方式，這不僅使控制系統體積大幅減少，也讓我們能在 Linux 作業系統上發展新的控制程式，並且可以達到多平台及同步接收資料。而嵌入式系統週邊亦支援 TCP/IP 網路。然而在 LART 實驗單板上並沒有 CAN bus 的控制裝置與 driver

可提供虛擬實境場景的六軸腳長 data 與 LART 實驗單板作為控制資料的連結與傳輸，所以必須另外增加 LART 實驗單的 interface 與 CAN bus 裝置.並且須要建立在 LART 實驗單板上的 CAN bus driver。然而在 LART 實驗單板上亦是沒有 A/D 及 D/A 控制器，所以也必須增加 LART 實驗單的 interface 與 A/D 及 D/A 的控制裝置，並且建立 LART 實驗單板上的 A/D 及 D/A 驅動程式。

在今年進度報告中，我們完成以下的工作：

- A/D, D/A 裝置的製作
- LART 實驗單與 A/D 及 D/A 間的 interface 電路設計
- CAN bus 裝置的製作
- LART 實驗單與 CAN bus 間的 interface 電路設計

詳細細節請見後面之敘述

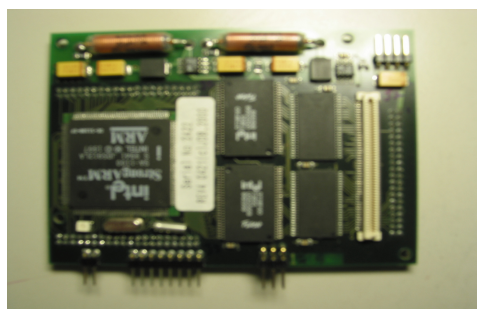
在嵌入式硬體部分，我們所採用的是 LART 實驗單板，選擇這塊板子的原因是因為它選擇這塊板子的原因是因為它有豐富的序列傳輸介面，包括 IrDA、RS-232，也有內建 10Base-T 網路，並且支援包括 Linux 嵌入式作業系統，可以發展的嵌入式種類及相關應用程式可謂相當豐富。此塊單板實體圖片如圖七所示。

除此之外，所使用的微處理器為 SA-1100，而在 LART 的計畫中亦是使用 Strong ARM 微處理器系列。所謂 LART 計畫是由國外的 Delft University of Technology 所主持的研究計畫，主要研究在消耗不到一瓦特功率而可以達到 250MIPS 指令的 Linux 嵌入式系統。它有一套較為完整的 Linux 嵌入式系統文件及 mailing list，更難得的是它亦將所有的軟硬體公開。因此在未來發展 StrongARM SA-1100 嵌入式系統時可以有較為完整的相關文件可以參考。

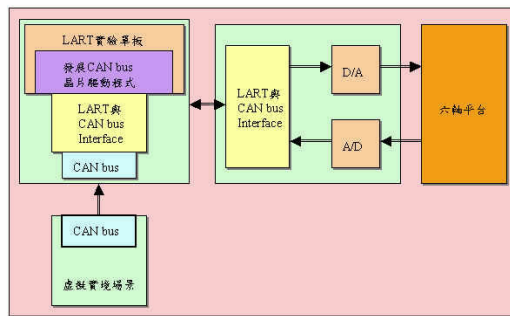
在 LART 實驗單板上發展嵌入式系統來控制虛擬實境動態模擬器，並沒有 CAN-Bus 的裝置與驅動程式，因此我們必需要發展 CAN-Bus 的裝置與驅動程式，來作為與 LART 實驗單板的傳輸介面。如此才可以與 LART 實驗單板溝通，接收由虛擬實境場景的六軸腳長 data，然後將腳長轉電壓，控制動態模擬器。其系統方塊圖如圖八所示。

在動態模擬器六軸姿態的傳遞方式上，我們將發展 CAN-Bus 通訊協定，因此必須在嵌入式系統上發展 CAN-Bus 驅動程式，A/D 及 D/A 驅動程式；除此之外，還需發展 LART 實驗單板之 CAN-Bus 程式，如此才能以 CAN-Bus 傳遞六軸控制姿態至動態模擬器驅動控制盒上。圖九為 CAN bus 實際之控制電路板。

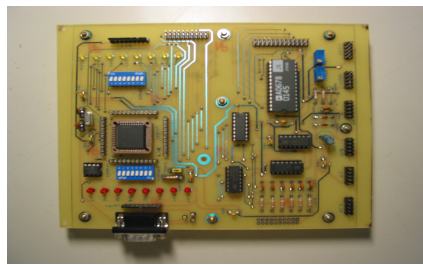
LART 實驗單板提供了 GPIO， data bus 與 address bus pin 可作為其他額外的控制裝置使用，同時我們利用 address, data bus 與 read/write 的控制信號 pin，與 ALTERA 公司所提出的 FPGA 晶片，作為 LART 實驗單板與 CAN bus 裝置間的控制。圖十為 LART 實驗單板與 CAN bus 間的 interface 電路方塊圖。



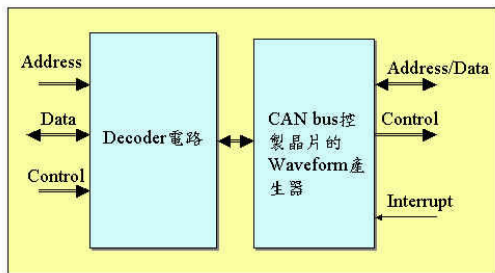
圖七 單板實體圖片



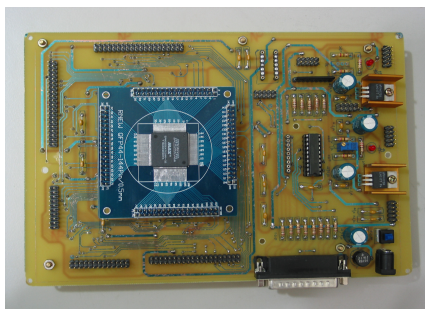
圖八 控制動態模擬器系統方塊圖



圖九 CAN bus 實際之控制電路板



圖十 LART 實驗單板與 CAN bus 之間的電路方塊圖



圖十一 實際之控制電路板

三、結論

本子計畫為了配合整個整合型計畫執行，今年度完成三大部分，研發重點在於電動六分別如下：

- (1) 開發一適應性小腦模型類神經網路控制系統做為動作平台之姿態控制系統。
- (2) 為了提高系統的穩定度與安全性及系統對外界訊息的反應，以確保在系統出現問題時，能立及做出適當的處理。我們提高系統中的即時性作業能力。
- (3) 以 LART 實驗單板的 Intel StrongARM SA-1100 處理器之 Linux 嵌入式系

統來取代舊有的 IPC 控制方式。

四、參考文獻

1. C. T. Chiang, and C. S. Lin, "CMAC with general basis functions," *Neural Networks*, vol. 9, pp. 1199-1211, 1996.
2. Y. H. Kim, and F. L. Lewis, "Optimal design of CMAC neural-network controller for robot manipulators," *IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern.*, vol. 30, pp. 22-31, 2000.
3. W. Q. D. Do and D. C. H. Yang, "Inverse dynamics analysis and simulateion of a platform type of robot", *Journal of Robotics Systems*, Vol. 5, pp. 209-229, 1988.
4. G. Lbret, K. Liu and F. L. Lewis, "Sigularities and dynamics of a stewart platform manipulator", *Journal of Intelligent and Robotics System*, Vol. 8, No. 3, pp. 287-308, 1993.