

## 進階自動吉他演奏系統之設計與實現

趙春棠 林奕志  
南台科技大學電機工程系  
710 台南縣永康市南台街 1 號  
Tel: (06) 2533131 ext. 3334  
Fax: (06) 3010073  
E-mail: tang@mail.stut.edu.tw

### 摘要

在本論文中，我們設計與實現了一個進階自動吉他演奏系統，目的在提高自動吉他的設計與應用層次。在系統的機構設計方面，主要是利用氣壓缸與交流伺服馬達控制來達到自動吉他移動把位、壓弦及撥弦的效果。在電路控制方面，我們以電腦控制取代了過去以單晶片為主的控制方式，不僅增加了資料傳送速度，也簡化了電路設計，以及系統軟體設計。在系統軟體方面，我們也訂定了一套樂曲控制碼，作為樂曲檔案格式的基礎，取代了過去單晶片系統中的二進位檔案格式。我們也設計了一個使用者親和的軟體介面，讓使用者可以直接輸入曲目，並結合 Midi 多通道的演奏技術，提供數十種的樂器模擬音效，及吉他演奏動畫模擬，以提高本系統的實用性及普遍性。

**關鍵詞：**自動吉他、Midi、單晶片、電腦控制

### Abstract

The paper presents the design and implementation of an advanced automatic guitar system to enhance the level of design and application of an automatic guitar system. In system mechanism design, we mainly press or pluck the guitar strings by way of driving the pneumatic cylinders. Furthermore, an AC servomotor is applied to control the different positions while playing. In the control circuit design, the PC-Based control is adopted instead of the past single-chip design. That not only increases the data transmission speed, but also simplifies the circuit design and the system software design. In system software design, we formulate a set of guitar control codes to replace the past binary file format and make music file construction much easier. An Integrated user-friendly interface is developed that users can input guitar control codes directly and allows the sound effect simulation of numerous electronic instruments with the MIDI technique. The real-time guitar play animation is also shown for teaching and learning. All of the above makes the proposed system common and practical.

**Keywords:** Automatic Guitar, Midi, Single Chip, PC-Based Control

### 1. 前言

設計能夠自動演奏的樂器，這種構想，至今大概已有百年以上的歷史了，這可以由博物館中的展示看出。以奇美博物館為例，所收藏的自動演奏樂器有手搖滾筒風琴（美國，1885 年）、寶利楓鐵盤音樂盒（德國，1900 年），以及自動演奏鋼琴（美國，1920 年）等[1]。大約自 1930 年代起，唱片、唱機普遍流行之後，自動演奏樂器有逐漸沒落之趨勢。

近年來，由於電腦科技的進步以及現代音樂的流行，電子合成音樂[2-4]可以說是大行其道，幾乎可以模擬出任何樂器的聲音及音效。然而儘管如此，對於一般普遍社會大眾或是專業的音樂愛好者，仍可輕易地分辨出合成音樂與真實樂器產生之樂音，因為後者更接近自然，也更符合人性。因此，國內外至今仍有許多人士致力於自動演奏樂器的研究。[5-7]

以設計自動演奏樂器的角度來說，古典吉他體積小，造型富變化，其複雜度，高於鋼琴[6]等一般大型樂器。吉他每一把位（常用的有 15 個把位）的長度與寬度都不相同，演奏技巧豐富[8,9]，都使得自動吉他的設計與製作，顯然不易。

在過去，我們已經設計製作出一個以 PIC 單晶片[10]控制系統為基礎的自動吉他[7]，在本論文中，我們成功的完成一個進階的自動吉他演奏系統，目的在提高自動吉他的設計與應用層次，以增加系統的實用及普遍性。如此一來，進階自動吉他，就可以很容易地去演奏比較複雜的曲目，而非只是演奏一般的簡單曲目。我們利用電腦印表機埠外接 8255 卡[11]的控制方式，取代了過去電腦透過 RS-232 介面[12]，與單晶片系統為主的自動吉他傳遞訊息的方式，此舉簡化了電路設計，也更進一步的提高系統軟體的設計層次。而在系統的機構設計方面，主要是利用氣壓缸與交流伺服馬達控制來達到自動吉他移動把位、壓弦及撥弦的效果。特別在系統軟體方面，我們自訂了一套樂曲控制碼，作為樂曲檔案格式的基礎，取代了過去單晶片系統中的二進位檔案格式。我們也利用 VB 程式[13,14]設計

了整合的 GUI(圖形使用介面),使用者可以直接輸入曲目,先以軟體模擬音效的方式,測試樂曲是否正確,在此我們結合 Midi 多通道的演奏技術,提供數十種的樂器模擬音效。我們也提供吉他演奏動畫模擬,以增加本系統的教學功能。我們深深的希望藉由此類音樂機器人計畫之實現,除了能增進電子、機械等方面之設計技術與人才培養外,亦能促進電子科技與人文藝術的結合。以下主要針對系統硬體以及軟體設計兩方面,分別詳細說明本系統。

## 2. 自動吉他演奏系統之硬體設計

圖 1 所示,是本系統外觀圖,硬體部分主要包含機構的設計以及控制電路的設計。由於本系統採用氣壓作為動力來源,故實際操作時,尚需連接氣體壓縮機。

### 2.1 機構設計

在機構設計方面,主要目的在試圖達成人演奏吉他時,左手的壓弦,以及右手的撥弦動作。圖 2 為右手的撥弦機構,我們以六個氣壓缸配合特殊設計的撥弦結構,使氣壓缸的上下運動,達成撥弦的效果。

而在左手壓弦機構的設計方面,由於實際演奏吉他時,左手擔任把位變換及壓、放弦的工作,而在同一時間,左手最多只能橫跨五個把位。我們同樣是利用氣壓缸的上下運動以達成壓弦的效果,如此說來,必須使用五排(每排六個,控制六條弦)的氣壓缸設計。然而由於吉他本身的把位寬度是隨著把位增加而減小的,為了使每個把位的每個點都能完成壓弦的動作,勢必需要再增加幾排氣壓缸才行。圖 3 為左手的壓弦機構設計,我們最後以 7x6 的氣壓缸陣列,使得每一把位的每一壓弦點,都能順利的將弦壓下。此外,為減少壓弦時所可能產生的擊弦噪音,我們也在壓弦機構中,將會與弦接觸的部分,加上軟性材質的橡皮墊。

### 2.2 控制電路設計

有關控制電路的設計方面,以下依由電腦傳送控制命令至吉他之方向,分別說明之。在過去的系統中,我們採用 Microchip 的 PIC16F877 單晶片 [10],作為控制核心,而電腦端與單晶片之間的傳輸,則是透過 RS-232 介面。這樣的好處,是我們可以將一些曲目事先燒錄在單晶片中,自動吉他可以在不連接電腦的情況下,即可演奏樂曲。

在本進階系統設計中,為求設計上的簡化,提高系統設計層次,並增進效率,我們以電腦經由印表機埠,連接 8255 卡的控制方式,取代了單晶片控制。這樣的方式有以下幾點好處:

1. 以印表機埠直接擴充,免插卡,非常方便。
2. 不需再為單晶片系統,撰寫低階組合語言程式

碼,訂定低階樂曲格式檔,以及燒錄晶片。

3. 印表機埠傳輸方式採並列傳輸,最快可達 24Mbps,如果以 RS-232 連接電腦,串列傳輸速度最快只達 115200bps。

以下分節介紹其他電路板電路設計。

### 2.2.1 交流三相伺服馬達控制電路

有關吉他把位移動機構,實際上是由一交流伺服馬達所驅動,以達成演奏時把位移動之效果。為達成交流伺服馬達定位控制,我們設計以下圖 4 電路,以產生脈波寬度調變訊號(PWM),並配合三菱 Melservo-J2-A 控制器[15]即能順利達成。此控制電路利用 NPN 電晶體(編號 9013)作一反向緩衝放大,再結合 7408 AND 邏輯開來控制 PWM 訊號輸出的端點,最後使用 PC817 光耦合器,主要目的則是為了要讓 0-5V 的數位信號與外部的交流伺服馬達做隔離,以避免電磁干擾現象。

### 2.2.2 汽壓缸控制電路

為了控制每一氣壓缸的動作,以驅動圖 3 的壓弦機構,我們必須另外設計控制電路。由於我們所採用的汽缸是使用 AC 110V 的電源驅動,所以我們必須使用繼電器作為啟動汽缸 AC 110V 之控制開關,而繼電器激磁驅動電路則是利用一 NPN 的電晶體來達成。圖 5 為汽缸控制電路的電路圖。

### 2.3 其他硬體設計

此外,在本系統中,單就氣壓缸而言,就有 48 (7x6+6) 個氣壓缸需要控制,對大部分的單晶片系統而言,都沒有提供如此多的 I/O 埠,所以我們另外設計擴充 I/O 電路以滿足我們的需求。擴充 I/O 電路,如圖 6 所示,主要是利用 74HC138 解碼 IC 配合多組的資料栓鎖器 74373 來達成。

而為了減少氣壓缸驅動時所產生的噪音,在本次設計中,我們也增加了隔音的設計。圖 7 為隔音板打開後的情形,可看出內部包藏了所有的氣壓缸元件。

## 3. 自動吉他演奏系統之軟體設計

在本次進階系統設計中,我們在軟體方面,設計了一個整合的介面,方便使用者輸入樂曲控制碼。圖 8 為系統執行的畫面,使用者可以在中間的「樂曲編輯區」中,輸入樂曲控制碼,並可以隨時地先行進行軟體的音效模擬,以測試樂曲輸入是否正確。圖 8 上方的控制方塊,可以點選設定「Midi 設備」,以及「Midi 演奏樂器」,共有數十種樂器可供選擇。圖 8 下方所示,則是自動吉他的動畫教學區,讓使用者除了聽到樂曲的音效模擬外,也能看到吉他的動畫即時演奏,達到教學的效果。當使用

者軟體模擬完畢後，即可選擇控制實體自動吉他（圖 8 畫面上方「執行」功能選取），立即聽到真實具臨場感的吉他演奏。

以下針對軟體設計方面，針對樂曲格式訂定、Midi 音效模擬、以及硬體電路軟體控制，分節詳述如下。

### 3.1 樂曲格式訂定

在上一代的系統中，由於使用單晶片作為系統的核心，所以我們自行訂定了一套二進位的樂曲檔案格式。在本次系統中，由於我們提高了系統的設計層級，所以我們設定了以下自動吉他硬體控制碼。

INTRO: 起始碼，亦可輸入有關樂曲的文字介紹  
B\*\*\*\*: 基本節拍時間=\*\*\*\*ms  
P\*\* : 移到第 \*\* 把位 (左手)  
T\*\* : (右手)撥弦後延遲時間=\*\* 乘以 基本節拍時間  
Lab : (左手)壓第 b 把位(相對目前的把位)，第 a 條弦  
lab : (左手)放開第 b 把位(相對目前的把位)，第 a 條弦  
Rab... : (右手撥)第 a 條弦，或同時撥第 a, b ... 條弦  
D : Debug 碼，此時可輸出一些訊息，供偵錯用  
E: 結束碼

有了這樣的一套硬體控制碼，我們就能很方便的為每首吉他曲，寫出樂曲檔案，以一首初學者所常彈的「C 大調小行板」為例，以下為它的樂曲控制碼部分。

```
INTRO B0170T01P01
L3251      R35R4R35R4  I3251R35R4R35R4
L3353R35R4R35R4 I3353L3251R35R4R35R4
..... (略) .....
T01 I63 L3251 R35R4R35R4 I3251R35R4R35R4
L3353R35R4R35R4 I3353L3251R35R4R35R4
          I3251L23R26R4R26R4
I23L61R36R4R36R4  I61L13R15R4R15R4  T04
I13L233251R2345 I233251
E
```

以上樂曲控制碼檔案，特別說明其中 B0170，意思指的是基本節拍時間定為 170ms。我們可以藉由調整這個時間的大、小，來決定演奏速度的慢、快，而達到測試或學習的效果。此外，系統也提供輸出控制文件檔的功能，以方便使用者除錯，或驗證學習之用，以下為一控制文件檔的部分內容。

自動吉他輸出控制文件檔 by Tang  
注意：以下右手撥弦動作之間，若無時間間隔，表

示一起撥  
移到第 1 把位  
移到第 5 把位  
左手指壓下第 6 條弦，第 7(3)把位處  
右手撥第 1 條弦  
右手撥第 6 條弦  
時間間隔： 170ms  
右手撥第 5 條弦  
時間間隔： 170ms  
右手撥第 4 條弦  
時間間隔： 170ms  
右手撥第 6 條弦  
時間間隔： 170ms  
.....(以下略).....

必須說明的是，以上「第 7(3)把位處」敘述中，7 指的是絕對把位，也就是吉他實體由第一把位算起的把位數目；而括號中的 3，表示的是相對把位。由上述「移到第 5 把位」，所以當我們以第 5 把位（絕對把位）當做第一把位（相對把位）的話，則第「三」把位（相對把位）的絕對把位就是第「七」把位了。在以上所說明的硬體控制碼中（如 Lab，lab），我們則都是使用相對把位，以方便使用者撰寫樂曲檔。

### 3.2 Midi 音效模擬

以 VB 程式軟體為例，若要使電腦發出不同音階的聲音，可以利用作業系統所提供的 beep 函數，利用這函數來設定發生的頻率，以及持續的時間。可是這樣的電腦發聲，只能限於「單音」，且效果並不理想，必須要能展現「合音」的效果，才符合我們的理想。

不可否認的，自 1983 年誕生數位樂器界面 MIDI（Musical Instrument Digital Interface）[3,4]，它所製造出的電子音樂，的確給傳統音樂產生極大的影響。本文雖然目的在提供真實自然的音樂，但對於 MIDI 所提供的音效模擬，也樂於採用。古典吉他有六條弦，對 MIDI 而言，我們只需採用六個頻道（channel），設定不同頻道發出不同的音階，就可以很輕易的產生合音的效果。再加上它能模擬數十種樂器演奏，採用 MIDI 技術，更能增加系統的實用性與娛樂性。

### 3.3 硬體電路軟體控制

除了設計高階的樂曲控制碼以及 Midi 音效模擬，我們還必須將控制指令，經由 8255 卡，傳送給相關硬體驅動電路以及馬達，以完成自動吉他的即時演奏。簡單來說，除了電路初始設定以外，只有當壓弦、放弦、撥弦，以及把位移動，這些動作觸發時，才會與實體電路相關。這部分的 VB 控制程式主要有以下三個要點。

### 1. 傳送資料判斷程式

主要目的是將前述硬體控制碼，轉換成外部控制碼，並判斷壓弦、放弦、撥弦，以及把位移動等。

### 2. 撥、壓、放弦判斷程式

以圖 2 右手撥弦機構為例，當上次撥弦方向由上至下，則下次撥弦方向必須由下至上，才能發出聲音。

### 3. 把位控制程式

這部分關係著馬達的定位控制，非常重要，以壓弦為例，若壓點位置不正確，彈出來聲音就不會有圓潤的感覺。再加上吉他每一把位的距離不同，所以我們必須事先測量準確並列表紀錄，以供程式判斷使用。

## 4. 結論

低階的單晶片系統設計，雖然可以使系統硬體設計較為輕薄短小，且系統可以不完全仰賴電腦，可是確實增加不少困難度。在本論文中，我們捨棄了過去單晶片的子系統，直接應用電腦控制，設計與實現了一個進階自動吉他演奏系統。如此一來，我們可以直接以高階的系統層次，直接設計解決自動吉它等相關問題。我們利用電腦列印埠連接 8255 卡方式，控制相關驅動電路，以控制氣壓缸以及交流馬達的動作，分別完成自動吉它壓弦、撥弦，以及移動把位。在系統軟體的設計層次方面，我們訂定了一套樂曲控制碼，作為樂曲檔案格式的基礎，減少了過去單晶片系統中二進位檔案格式的複雜度。我們也設計了一個整合性的使用者親和軟體介面，讓使用者可以直接輸入曲目，並結合 Midi 多通道的演奏技術，提供數十種的樂器模擬音效，及吉它演奏動畫模擬，以提高本系統的實用性及普遍性。我們深深的希望藉由此類科技與人性結合的論文，能提升科技人的理論與實務技術，以及人文藝術素養。

## 5. 參考文獻

- [1] 台南奇美博物館， Web: <http://www.chimei.com.tw/museum/index.html>
- [2] 高盟欣，樂譜編輯與電腦音樂的應用，淡江大學資訊工程所碩士論文，1998。
- [3] 張迪文，MIDI 狂想曲-電腦音樂輕鬆上錄，松崗，1999。
- [4] 蕭鈺恒，MIDI 在吉他編曲上之應用，淡江大學資訊工程學系，1998。
- [5] MBot (Musical robotics), Web: <http://www.eng.man.ac.uk/aero/wjc/projects/mbot/>
- [6] 陳以哲，自動鋼琴之研製，交通大學控制工程所碩士論文，1991。
- [7] 趙春棠，黃棣宜，林祺豐，“自動吉它演奏系統之設計實現”，第十七屆全國技職教育研討會，工 B050，2002。
- [8] 溝淵浩五郎，卡爾卡西吉它教本，美樂出版社。
- [9] 郭清界、張少華，卡爾卡西現代奏法 古典吉它大教本(上)(下)，天音出版社，2001。
- [10] 趙春棠，PIC 單晶片學習秘笈，全威圖書，2001。
- [11] 益眾科技股份有限公司， Web: <http://www.icci.com.tw/>
- [12] 范逸之、陳立元、賴俊朋，Visual Basic 與 RS-232 串列通訊控制，文魁資訊，2000。
- [13] 位元文化，Visual Basic 遊戲設計實務，文魁資訊，2000。
- [14] 黃世陽、吳明哲，Visual Basic6.0 學習範本，松崗，1998。
- [15] 三菱電機株式會社，三菱泛用 AC 伺服 MELSERVO-J2-A 操作說明書，1998。

## 致謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會編號 NSC 93-2212-E-218-004-計畫支持研究經費，特此致謝。在模擬 Midi 音樂節拍以及頻道的程式設計方面，特別要感謝國立交通大學 吳文成教授的技術支援。

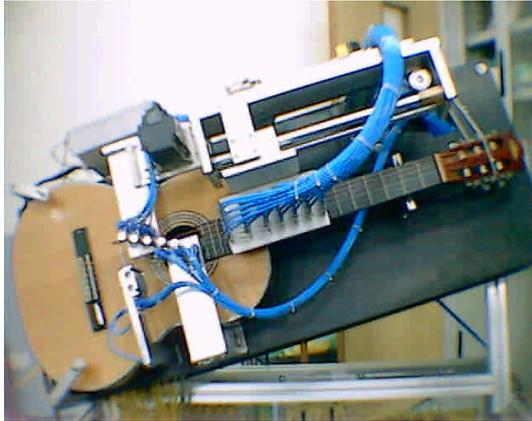


圖 1. 自動吉他系統外觀

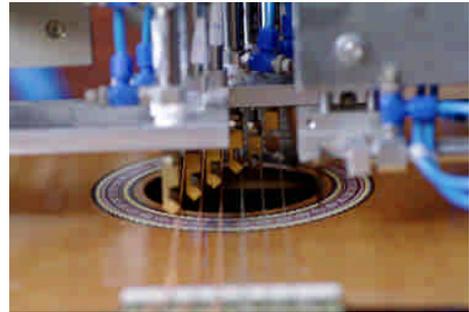


圖 2. 右手的撥弦機構

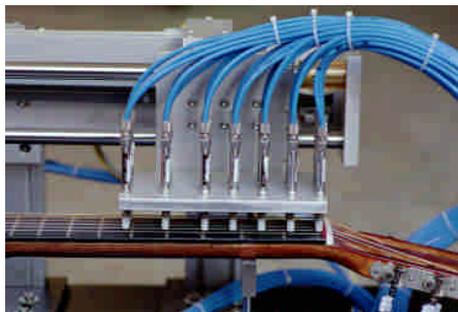


圖 3. 左手的壓弦機構

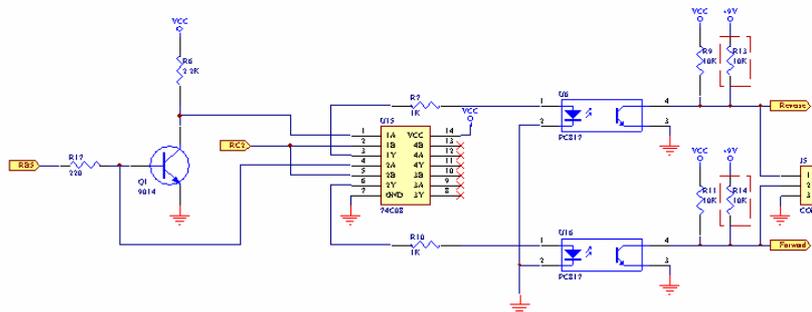


圖 4. 交流伺服馬達控制訊號產生電路

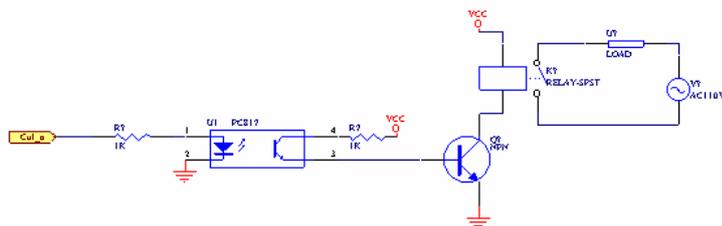


圖 5. 汽壓缸控制電路

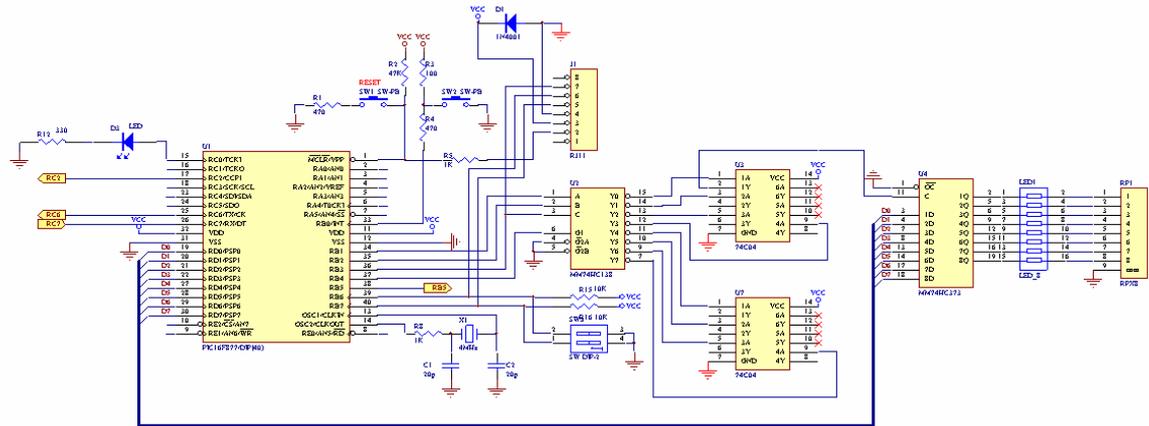


圖 6. 擴充 I/O 電路

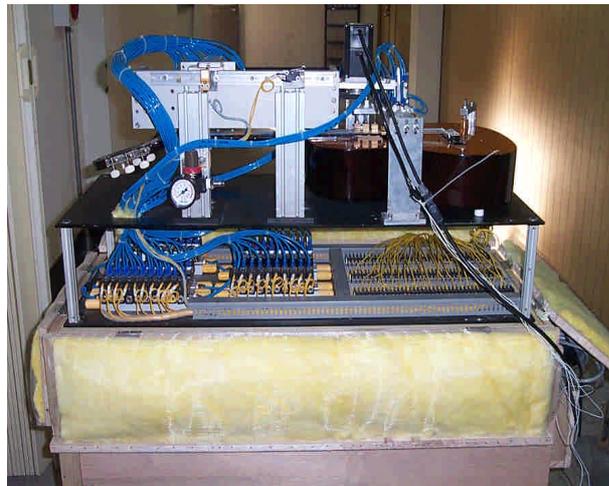


圖 7. 自動吉他之隔音設計

圖 8. 自動吉他樂曲輸入整合介面