

自動吉他演奏系統之設計與實現

The Design and Implementation of an Automatic Guitar System

趙春棠 黃棣宜 林祺豐

Chun-Tang Chao Ti-Yi Huang Chi-Fung Lin

南台科技大學 電機工程學系

Department of Electrical Engineering

Southern Taiwan University of Technology

摘 要

在本論文中，我們將設計與實現一自動吉他演奏系統，使得一般的古典吉他在結合本系統後，都能達成自動演奏的效果。在系統的機構設計方面，我們主要是利用氣壓缸的驅動，來達成壓弦及撥弦的動作。而在系統控制方面，我們以單晶片作為整個系統的控制核心，控制所有氣壓缸的動作，以及交流伺服馬達的定位控制以完成演奏時把位的移動動作。此外，我們也自訂了樂曲的檔案格式，除了幾首曲目儲存於單晶片唯讀記憶體外，本系統亦可連接電腦，撥放在電腦中的音樂檔，以增加本系統之擴充性。希望本論文之研究，除了能增進電子、機械等方面之設計技術外，亦能促進電子科技與人文藝術的結合。

關鍵詞：吉他、自動演奏、單晶片

Abstract

The paper presents the design and implementation of an automatic guitar system. Any ordinary classical guitar will become an automatic guitar when combining with the presented system. In system mechanism design, we mainly press or pluck the guitar strings by way of driving the pneumatic cylinders. While in the system control design, we use a single chip as a micro-controller to control the actions of the pneumatic cylinders and the motion control of an AC servo motor for different positions while playing. Furthermore, we formulate a music file format that some music files are stored in the ROM of the single chip. When the presented system is connected with the computer, it can play the music files in the computer. We do hope the research can not only improve the design techniques in electrical and mechanical engineering, but also promote the combination between technology and human art.

Keyword: Guitar、Automatic guitar、Single chip

1. 前言

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[1]可以說是大行其道，並幾乎可以模擬出任何樂器的聲音及音效。然而儘管如此，對於真正的音樂愛好者，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。

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。這些能夠自動演奏的樂器，多以鋼琴為主，且只能演奏固定的曲目。由於鋼琴的按鍵動作非常單純，故自動鋼琴的設計，應著重在按鍵時施力的大小，時間，以及同步等方面的控制，目前多採用電磁鐵驅動以及結合光纖等技術來達成[2]。

如果我們將古典吉他與鋼琴作一比較，光就外型來說，吉他的每個把位寬度不一，而鋼琴的每一鍵則大小相同，此外，我們將發現吉他演奏時指間與弦之間的技巧，實在是比鋼琴演奏時，「每一鍵」單純的上下運動，來得複雜得多。對學習吉他的人而言，學會用吉他彈奏伴奏和絃並非難事，但若想彈奏出一首吉他演奏曲來，那可就不容易了。因為它的曲調、節奏極富變化，且包含了許多古典吉他的彈奏技巧，如槌弦、勾弦、顫音、泛音等等[3]。當然，這些技巧，更絕非是一般合成音樂所能表現的。

在本論文中，我們將設計與實現一自動吉他演奏系統，使得一般的古典吉他在結合本系統後，都能達成自動演奏的效果。所以，我們將儘可能在不影響吉他本身的情形下，進行本系統之設計。設計自動演奏的樂器，主要原因大概有以下幾點：

- (1) 滿足許多人想聽真實樂器所發出的樂音，自己卻不會彈奏之缺憾。
- (2) 自動演奏樂器能不受時間或人為體力等因素之影響，達到隨時撥放的效果，且除非系統故障，否則不必擔心演奏出錯。
- (3) 進一步希望自動演奏系統具備錄下演奏過程之功能，以方便作為教學之用，或期待能紀錄音樂大師的演奏過程。

其中第三點，對於本系統而言，尚無法達成。本系統目前雖已有初步的成果，然尚有許多值得改進的地方，此外，我們也已著手將本系統連接至網際網路，並應用網際網路控制、及時影音撥放等技術[4-6]，以推廣本系統。希望本論文之研究，除了能增進電子、機械等方面之設計技術外，亦能增加電子科技與人文藝術的結合。以下茲針對系統架構、機構設計、單晶片控制電路設計、樂曲格式訂定等方面，詳細介紹本系統。

2. 自動吉他演奏系統之硬體設計

在本節中，我們將針對本系統的硬體部分加以說明。圖 1 所示，為本系統的外觀圖，硬體部分主要是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。而當希望另外撥放電腦中的音樂檔時，則需連接電腦。

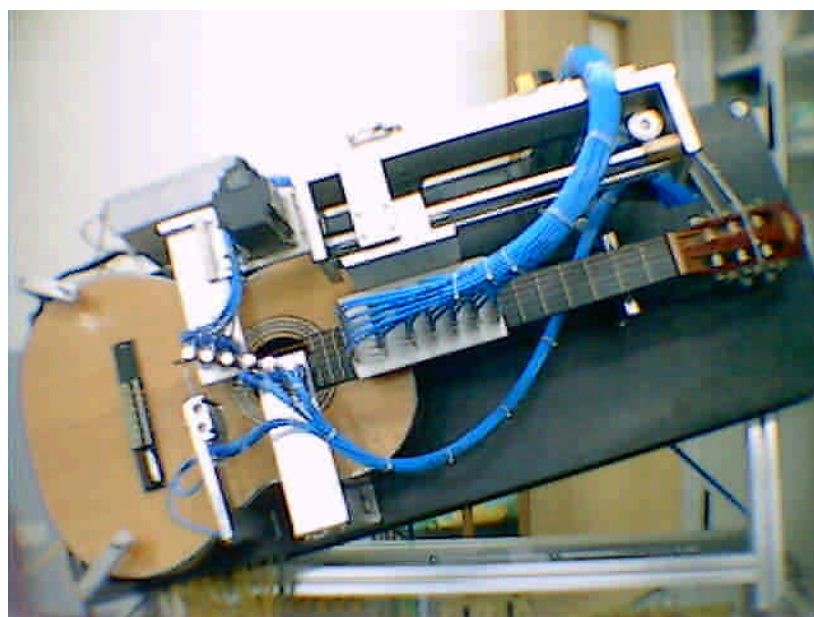


圖 1 自動吉他外觀

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。

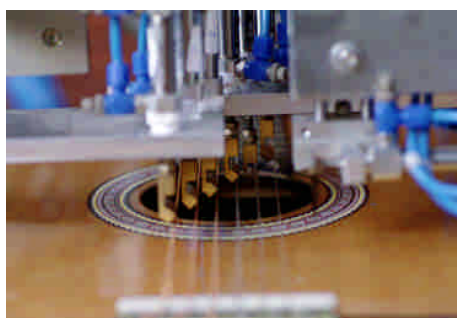


圖 2 右手的撥弦機構

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 7×6 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，採用較為軟性而非剛性的材質。

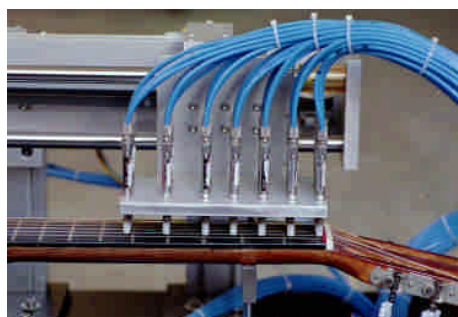


圖 3 左手的壓弦機構

2.2 控制電路的設計

在控制系統方面，我們採用 Microchip 的 PIC16F877 單晶片 [7]，作為控制核心，我們撰寫韌體程式，由它負責解讀音樂檔，並控制周邊電路，驅動馬達及氣壓缸動作，以下分別就周邊控制電路說明之。。

2.2.1 交流伺服馬達控制電路

圖 3 壓弦機構，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[8]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 邏輯閘來控制 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。

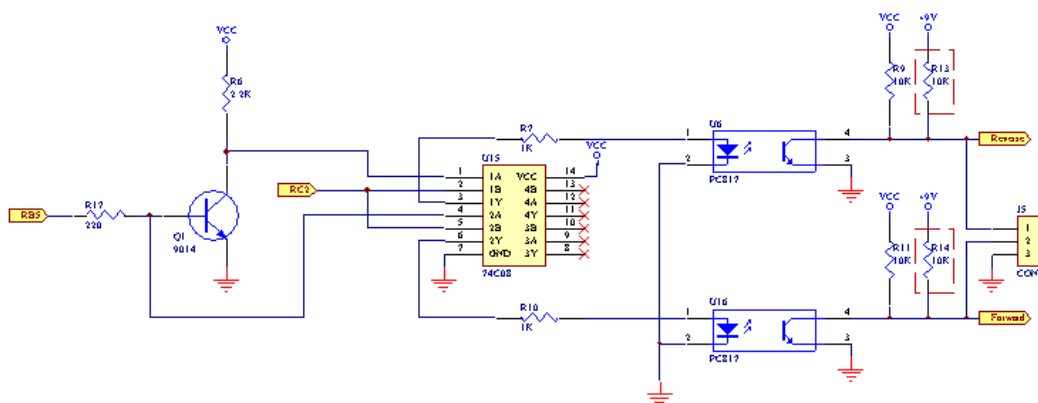


圖 4 交流伺服馬達控制訊號產生電路

2.2.2 汽壓缸控制電路

爲了控制每一氣壓缸的動作，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爲啓動汽缸 AC 110V 之控制開關，而激磁繼電器線圈則是利用一 NPN 的電晶體來達成。下圖爲汽缸控制電路的電路圖。

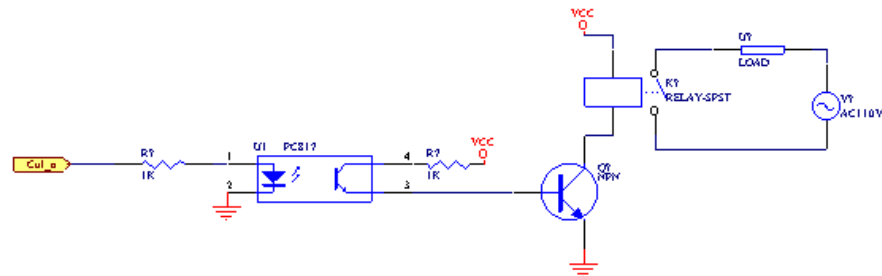


圖 5 汽壓缸控制電路

2.2.3 擴充 I / O 電路

在本系統中，單就氣壓缸而言，就有 48 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，所以我們必須另外設計擴充 I / O 電路以滿足我們的需求。圖 6 爲擴充 I / O 電路，我們主要是利用 74HC138 解碼 IC 配合多組的資料栓鎖器 74373 來達成。

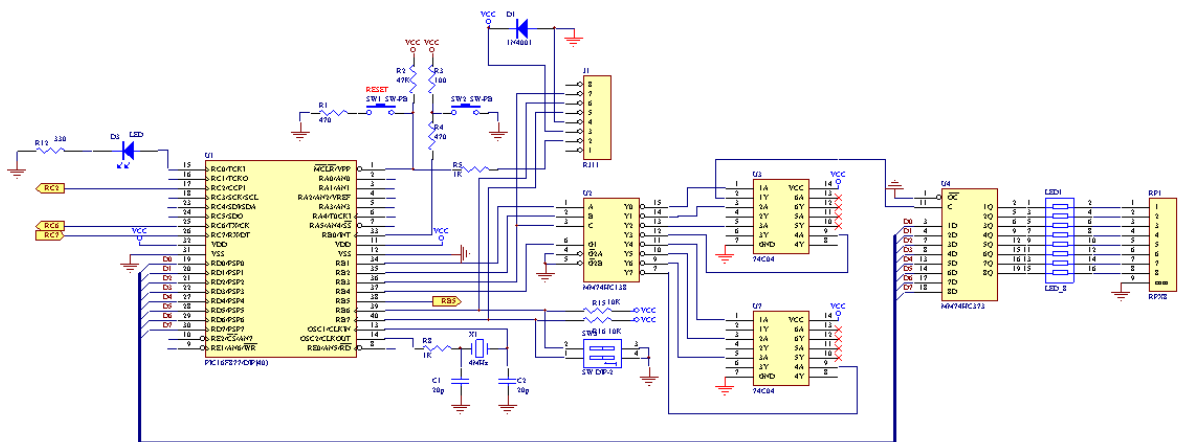


圖 6 擴充 I / O 電路

3. 自動吉他演奏系統之軟體設計

在自動吉他演奏系統之軟體設計部分，主要是訂定樂曲格式，並撰寫單晶片韌體程式，以完成即時讀曲，即時控制周邊電路，驅動馬達及氣壓缸之目的。另外，當連接電腦時，我們還需撰寫電腦端的人機界面程式，並考慮電腦與單晶片間透過 RS-232 介面[9]之傳輸協定等問題。圖 7 所示爲自動吉他連接電腦之系統示意圖。

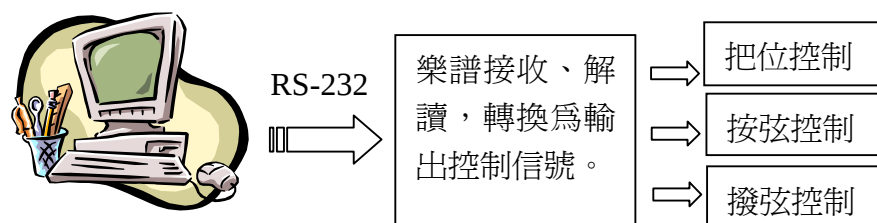


圖 7 自動吉他連接電腦之系統圖

3.1 樂曲格式訂定

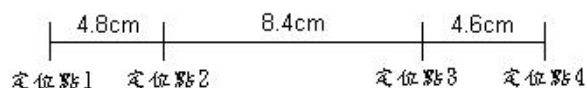
在單晶片控制中，一個好的程式架構，足以影響程式撰寫的難易度、程式的長短、樂曲檔案所佔記憶體大小，及未來的擴充性等重要關鍵。有鑑於此，我們對樂曲的格式作了詳細的規劃及多次的改良後，以 2 個 Byte 的長度來表示一個音符的彈奏，包括把位、節拍、音高等資訊，詳述如下。

Byte1

7	6	5	4	3	2	1	0
X					X		

bit1-bit0 設定彈奏把位

一般古典吉他共有 19 個把位，於此，我們僅考慮一般樂曲的音符落在前 12 個把位內的情形。如前所述，我們共採用了七排氣壓缸作壓弦動作，並由馬達負責把位移動控制。經實際測試發現，馬達的定位點只需考慮以下四個定位點即可達成每個把位所有弦都能順利被壓弦。四個把位定位點之相對距離如下，其中定位點 1 的位置，即吉他第一把位之位置。



如此一來，每一定位點所能控制之把位詳細說明如下：

(1)、 定位點 1

可彈把位
控制汽缸（排）

1	2	3	4	5
1	2	4	5	6

(2)、 定位點 2

可彈把位
控制汽缸（排）

3	4	5	6	7	8
2	3	4	5	6	7

(3)、 定位點 3

可彈把位)

控制汽缸 (排)

5	6	7	8	9
1	2	3	4	5

(4)、 定位點 4

可彈把位

控制汽缸 (排)

7	8	9	10	11
1	2	3	4	5

因為定位點共有四點，故只需 2 個 bit 即可決定。

bit1	bit0	定位點
0	0	1
0	1	2
1	0	3
1	1	4

bit2 預留以增加定位點之用

bit6-bit3 設定音符節拍之用

我們將常用之音符節拍 1/8、1/4、1/3、1/2、1、1.5、2、3、4 拍等定義如下：

bit6	bit5	bit4	bit3	節拍數
0	0	0	0	1/8
0	0	0	1	1/4
0	0	1	0	1/3
0	0	1	1	1/2
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1.5
0	1	1	0	2
0	1	1	1	3
1	0	0	0	4
1001-1111				未定義

bit7 未使用

Byte2

7	6	5	4	3	2	1	0
	X						

bit5-bit0 決定左手壓弦位置

因為壓弦的控制汽缸是排成一個 7×6 的矩陣，我們依據此特性而編出單音碼。由 bit5-0 可編出 64 個位置（如圖 8 所示），而目前僅用到 48 個（編碼由 0000-101111）。

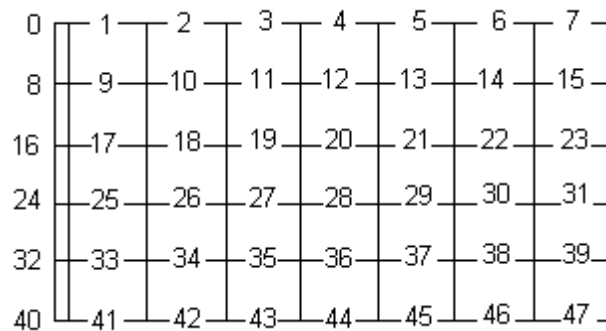


圖 8

bi6 未使用

bit7 決定音符的組合與否

因為樂譜中常有兩個以上的單音組合而成的複合音，利用此一 bit 可決定是否還須與其他音符相組合。

0：無其他組合音

1：尚有音符待組合

3.2 單晶片程式設計

在單晶片軟體程式設計部分，主要分為三大部分，分別為主程式、音符解碼程式及節拍等待程式。當電腦端經由 RS-232 傳來樂譜時，隨即觸發單晶片產生中斷。單晶片在接收每一小段樂曲資訊後，依序解出節拍、音符等相關資訊，並轉成對應之輸出控制信號，完成控制動作。

圖 9 為單晶片主程式流程圖，而當解出某些音符的拍數較長時，此時程式即需進入節拍等待的過程，此部份我們是利用設計單晶片內部所提供的計時器以完成之。

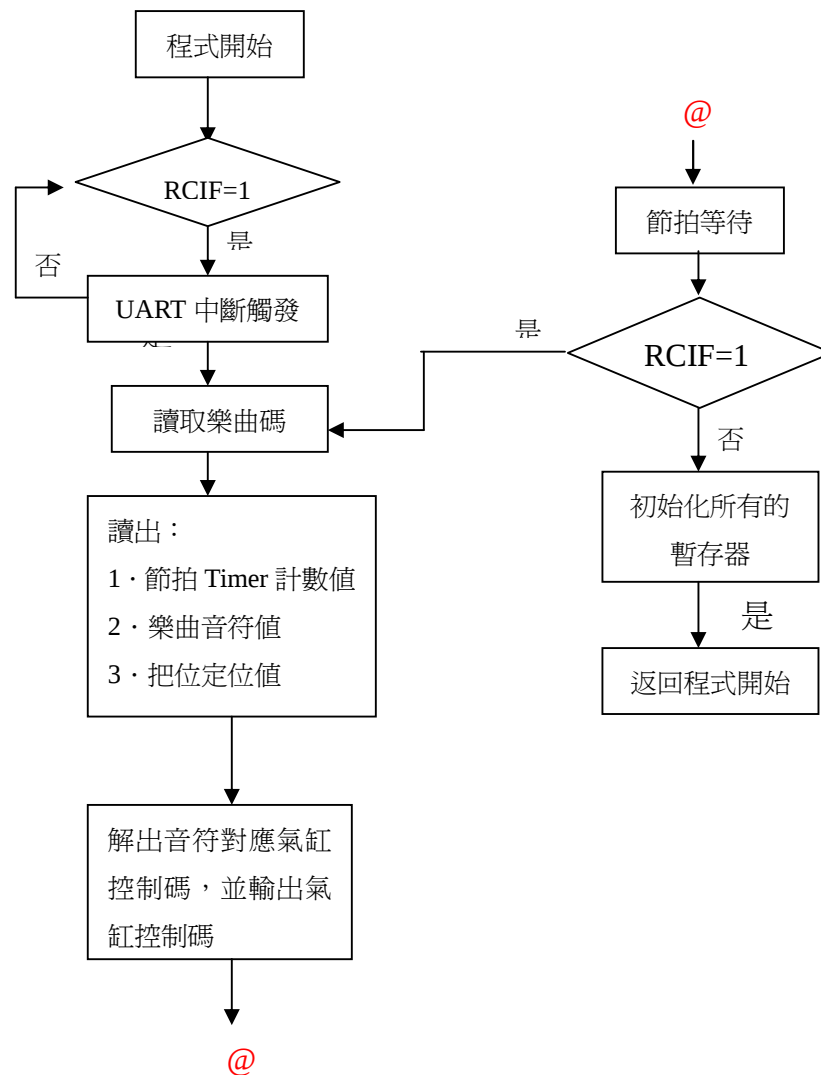


圖 9 單晶片主程式流程圖

3.3、VB 人機介面

在本系統中，我們是將一些基本曲目之音樂檔，直接連同單晶片控制程式燒錄在單晶片的唯讀記憶體中，作為展示之用。然而由於單晶片之唯讀記憶體容量畢竟有限，為了擴充本系統，我們另外也在電腦端建立曲譜，並利用 VB 程式撰寫人機介面（如圖 10 所示），將資料經由 RS-232 傳輸給 PIC 單晶片處理，以控制吉他做對應的彈奏動作，這些都已成功的得到結果，並於校內的專題成果展示。未來我們也將訂定比 3.1 小節所述更高階的樂曲格式或是圖形介面，而由電腦端進行轉成低階樂曲格式的動作，如此一來，本系統將更能適合於一般有興趣自行作曲的人士。

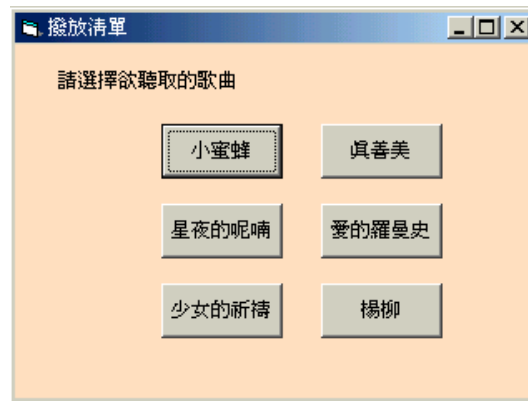


圖 10 VB 人機介面

4. 結論與成果

本論文設計實現一自動吉他演奏系統，在實際設計實現的過程，深深地感到人類肢體動作的巧妙，例如看似小小的關節運動，其實運動軌跡就十分地複雜。本文利用氣壓缸機構，單晶片控制，並自訂樂曲格式以完成自動吉他演奏系統，可以演奏單晶片或是電腦端所儲存的樂曲檔案。目前所能演奏的樂曲，都只是簡單的樂曲，未來將針對一些更高難度的撥弦動作，更新機械設計及樂曲格式，以展現古典吉他特有之演奏技巧，如推弦、揉弦、槌弦、勾弦、顫音及泛音等。此外，我們也將結合網際網路以推廣本計劃。本論文將機電加以整合以設計自動吉他，並希望能為電子科技與人文藝術之結合盡一份心力。

5. 參考文獻

1. 高盟欣（1998），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。
2. 陳以哲（1991），自動鋼琴之研製，交通大學控制工程所碩士論文。
3. 郭清界、張少華（2001），卡爾卡西現代奏法 古典吉他大教本（上）（下）。台灣：天音出版社。
4. 趙春棠（2000），研製具有即時影像傳送功能之全區無線網路遙控車，工業自動控制與電力應用研討會，pp、E3、29-33。
5. 高立人等（2001），無線視訊遙控車。教育部八十九學年度通訊科技專題製作競賽—入選論文集，pp. 67。
6. 鄭志強、李文中（2000），網路影音即時撥放技術公開。台灣：學貫圖書。
7. 趙春棠（2001），PIC 單晶片學習秘笈。台灣：全威圖書。
8. 三菱電機株式會社（1998），三菱泛用 AC 伺服 MELSERVO-J2-A 操作說明書。
9. 范逸之、陳立元、賴俊朋（2000），Visual Basic 與 RS-232 串列通訊控制。台灣：文魁資訊。