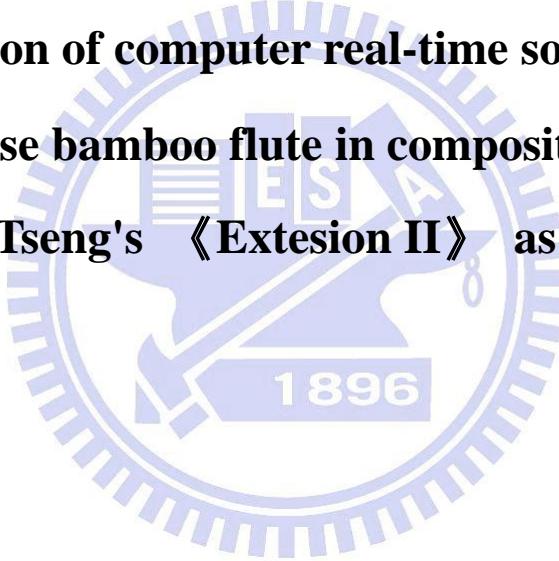


國立交通大學
工學院聲音與音樂創意科技碩士學位學程
碩士論文

結合電腦即時音訊處理與中國竹笛之樂曲創作實踐：以曾
毓忠教授之作品《Extesion II》為例

The combination of computer real-time sound processing
and Chinese bamboo flute in composition - using
Yu-Chung Tseng's 《Extesion II》 as an example



研究生：潘華嚴

指導教授：曾毓忠 博士

中華民國一百零一年七月

結合電腦即時音訊處理與中國竹笛之樂曲創作實踐：

以曾毓忠教授之作品《Extesion II》為例

The combination of computer real-time sound processing
and Chinese bamboo flute in composition –
using Yu-Chung Tseng's 《Extesion II》 as an example

研究 生：潘華嚴

Student : Hua-Yen Pan

指導 教授：曾毓忠

Advisor : Yu-Chung Tseng



July 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年七月

結合電腦即時音訊處理與中國竹笛之樂曲創作實踐：

以曾毓忠教授之作品《Extesion II》為例

學生：潘華嚴

指導教授：曾毓忠

國立交通大學工學院聲音與音樂創意科技碩士學位學程

摘要

本論文旨於以參與電聲與器樂之即時互動音樂之演奏者的角度，以指導教授曾毓忠博士的作品《Extesion II》為根基，探討現今電聲科技與器樂的結合方式及型態。

第一章首先由電學與電腦科學的演進角度，檢視科技對音樂之影響，並追溯電聲相關技術的發展，一步步探討其對於音樂組構產生與傳輸模式等方面之變化。第二章將詳述《Extesion II》的軟硬體媒材，器樂方面有竹笛的使用與演奏技巧研究；軟硬體則是個人電腦上的 Max/MSP 程式內容，講解聲訊處理的方式，並討論電腦程式的操控模式。第三章將從討論竹笛與電腦程式的融合關係開始，闡述電腦科技與器樂的搭配所延伸出的聲音效果及美感；並從譜面的解讀、竹笛的延伸技巧與音色變化與電聲的段落配置來討論作品的聲響概念，並講述本作品所使用的非傳統竹笛—八孔竹笛的應用方式，與其帶來的演奏技法的改變。第四章將討論作品在創作實踐上所遭遇的各種困難與解決之道，並以問答模式將作曲者在作品創作上所遭遇到的困難做一詳實紀錄。第五章討論《Extesion II》的實踐結果，與其對竹笛音樂的貢獻，並為個人未來的音樂參與活動，提領發展重點與方向。

關鍵字：電聲、即時互動音樂、竹笛、聲訊處理

**The combination of computer real-time sound processing
and Chinese bamboo flute in composition –
using Yu-Chung Tseng's 《Extesion II》 as an example**

Student : Hua-Yen Pan

Advisor : Yu-Chung Tseng

Master Program of Sound and Music Innovative Technologies
National Chiao Tung University

ABSTRACT

The goal of this thesis is to analyze methods that combine current real-time interactive music techniques and acoustic instruments.

In chapter 1, we introduce the history of electro-acoustic technology and discuss how electronic sound is produced and transferred. Chapter 2 introduces the acoustic instrument (Chinese bamboo flute) and software (Max/MSP) involved in <<Extension II>>. We discuss the basic usage and playing skills of Chinese bamboo flute. Then, we discuss how we design Max/MSP to serve as the digital sound processor on a personal computer. In addition, we discussed the human-machine interaction mode of the work. In chapter 4, we list out all implementation issues that we encountered and discuss the difficulty of the composition process with the composer. Chapter 5 concludes our contribution on the bamboo flute performance and the implementation of <<Extension II>> and discuss our future work.

Keywords: electro-acoustic、real-time interactive music、bamboo flute、sound processing

誌謝

經歷過兩次的筆試測驗，以及一次的推薦甄試共三次與他人的競爭拉鋸，個人終於來到交通大學聲創所，延續自己希望持續接觸音樂的夢想。很高興父母以及眾親人尊重並支持個人就讀本所的意願，在完全不清楚何為電腦音樂、科技音樂的狀況下，在個人蟄居家中一年準備入學考試的期間不時給予鼓勵及關懷。

就讀求學本身並非難事，定理總論是個人自當熟習的基礎項目。難處在於，在大量資訊當前，如何抽取出對個人當前研究最有幫助的內容材料，在有限的時間內將其萃取精煉，給予自己一雙辨別真貨假貨的真實眼光。研究所對於學生的訓練已經不再是基本工具知識的充實，而是個人求知的方法提升，磨練出屬於個人一套搜尋及應用、比較知識的能力。這是何其可貴的兩年？無論是在人際人脈上的開拓，以及參與國內外各種研討會議、短期課程上面，這都是個人在大學生涯中從未經歷過的事情。聽自己沒有聽過的聲音，用自己不曾想過的角度去思考以及使用聲音；科技音樂和科技工廠中所謂的「實用」沒有太大的關連，或者說，科技產生了「實用」價值的時間點是不同的；對於日常生活中的「實用」；講求的是自動處理與控制，使用非人力的方式來參與人們生活，提升便利性。對於抽象的音樂而言，科技的「實用」價值存在於聲音演算上的輔助，將電光火石隨即消散的聲音即時紀錄下來，以及在分析再合成的模擬再造上，提供了快速與精準性，但是並不因為使用了科技工具來輔助聲音的產生，就使得如是產生的聲音存在著符合一般大眾所期盼的實用性。

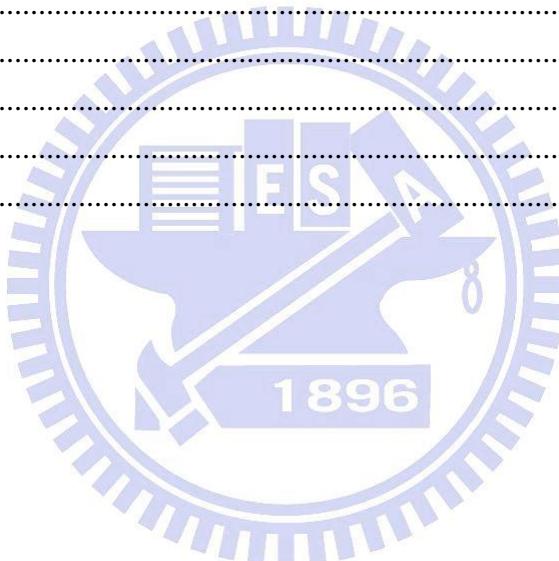
個人感激這一切，在學習抽象聲音的世界中，交到許許多多的好朋友；大家喜歡的音樂和製造音樂的方式或許相當不同，甚至背道而馳，但是熱情與自由的心卻是令人無法感到孤單的強力藥劑。

尤其感謝父親的吉他老師，陳敏彥伯伯，在生命最末的病榻上，仍緊握著個人的手說，不要放棄音樂。從許許多多這樣真誠的溫度中，個人得以時常檢視自己是不是還擁有着真實的熱愛和誠懇，知道自己是否是行屍走肉，抑或不是。

目錄

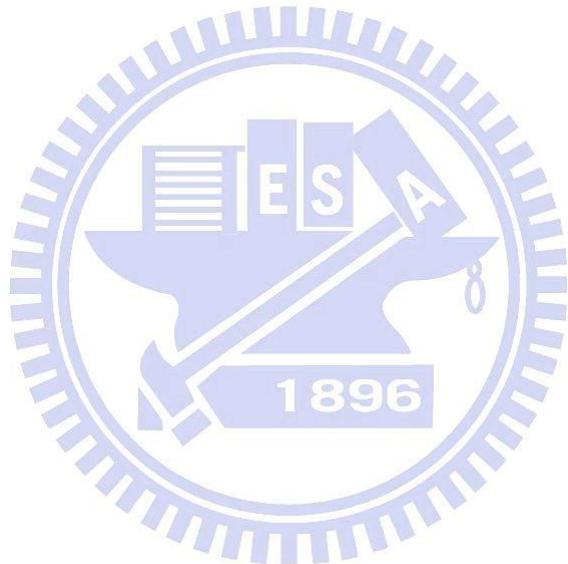
摘要	i
ABSTRACT	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
譜例目錄	viii
一、緒論	1
1.1 電與電聲	1
1.1.1 由電力所驅動的樂器裝置	1
1.1.2 電磁學與聲訊裝置	1
1.2 Live electronic music.....	3
1.2.1 數位與類比	3
1.2.2 個人電腦與電子音樂	3
1.3 《Extesion II》的研究方法	5
二、《Extesion II》 軟硬體媒材說明	7
2.1 竹笛簡介	7
2.1.1 《Extesion II》 之竹笛音域與選用	7
2.1.2 竹笛之基本技巧	8
2.1.3 《Extesion II》 之八孔竹笛運用	11
2.2 軟體設計	15
2.2.1 《Extesion II》 之程式介面設計	15
2.2.2 《Extesion II》 之效果器設計	18
2.2.3 《Extesion II》 之程式的操控模式	21
三、《Extesion II》 之創作探討	25
3.1 作品簡介	26
3.2 創作理念	26
3.3 《Extesion II》 中科技的音樂延伸功能	27
3.3.1 延續器樂音長，創造超現實美感	27
3.3.2 利用 harmonize 功能，創造複音效果	28
3.3.3 擴增織體與聲音姿態模仿，創造「數大美」感	28
3.3.4 模仿聲響於空間之反射原理，創造異質空間感	29
3.3.5 構築聲響的錯離與融合，塑造虛實反差	30
3.3.6 透過人與機械之對話，創造新互動形式	30
3.4 作品音域、聲音形色與結構之配置	31
3.4.1 音域配置	31

3.4.2 聲音形色之配置	32
3.5 《Extesion II》之竹笛延伸技巧	36
四、實踐創作過程之問題探討	41
4.1 器材選用與設置檢討	41
4.1.1 麥克風	41
4.1.2 軟硬體電源啟動之順序	41
4.2 Max/Msp 軟體寫作檢視.....	41
4.3 展演空間探討	42
4.3.1 小坪數空間	42
4.3.2 影音藝術實驗中心	42
4.3.3 演藝廳	43
4.4 創作過程遭遇之問題探討	44
五、結論與未來展望	47
5.1 結論	47
5.2 未來展望	48
參考文獻	49
附錄一	50
附錄二	53



表目錄

表 1 : G 調曲笛，G 調梆笛以及 A 調曲笛涵蓋之音域與指法示意	7
表 2 : 竹笛技巧之記譜示意與說明	8
表 3 : G 調梆笛上造成增四度音程的指法示意	11
表 4 : 八孔 G 調梆笛與六孔 G 調梆笛之指法對照	12



圖目錄

圖 1：鷓鴣飛之 G5—C6 頇音之頻譜分析	10
圖 2：六孔竹笛與八孔竹笛並置比較(上為八孔竹笛，下為六孔竹笛)	12
圖 3：《Extesion II》的聲訊處理程式介面設計	16
圖 4：《Extesion II》的參數設定組態	17
圖 5：聲音暫存區與預置聲音的播放操作區塊	17
圖 6：效果器的集合式操作介面	18
圖 7：Harmonizer 的程式使用	18
圖 8：Granular 的程式設計	19
圖 9：效果器 bubbler 所使用的外部物件 soundhack	20
圖 10：效果器 mdeGranular 所使用的程式連結	20
圖 11：效果器 Reverb 使用 UBC Max/MSP/Jitter Toolbox	21
圖 12：手動控制程式參數的流程示意	22
圖 13：自動控制程式參數的流程示意	22
圖 14：擴增竹笛的系統配置	24
圖 15：《Extesion II》的聲訊處理環境配置	25
圖 16：《Extesion II》中所使用的粒子化合成做音長延伸概念	27
圖 17：《Extesion II》中所使用的和聲器搭配粒子化合成做若干音程的平行線條之產生	28
圖 18：《Extesion II》中所使用的粒子化合成延伸概念	29
圖 19：原始聲源與假想聲源示意	30
圖 20：竹笛於《Extesion II》中的換用順序流程	31
圖 21：Aeolian sound 之頻譜(《Extesion II》m.m 1-2)	37
圖 22：卡腔雙音之頻譜(《Extesion II》m.m 47-48)	38
圖 23：笛唱音之笛膜比較，圖右是為笛唱音所使用的鬆弛笛膜	39
圖 24：笛唱音之頻譜(《Extesion II》m.m 185-188)	40
圖 25：交通大學影音藝術實驗中心	42
圖 26：交通大學演藝廳	43

譜例目錄

譜例 1：鷓鴣飛之譜例	10
譜例 2：黃鸝亮翅之譜例	11
譜例 3：《腳踏水車唱山歌》m.m 1	11
譜例 4：《Extesion II》m.m 64	14
譜例 5：《Extesion II》m.m 37-38	15
譜例 6：三把竹笛所涵蓋的音域	32
譜例 7：《Extesion II》m.m 1-6	32
譜例 8：《Extesion II》m.m 46-64	33
譜例 9：《Extesion II》m.m 181-196	33
譜例 10：《Extesion II》m.m 19-22	34
譜例 11：《Extesion II》m.m 62-66	34
譜例 12：《Extesion II》m.m 114-123	35
譜例 13：《Extesion II》m.m 129-131	35
譜例 14：《Extesion II》m.m 88-93	36
譜例 15：《Extesion II》m.m 98-105	36
譜例 16：《Extesion II》m.m 1-2	37
譜例 17：《Extesion II》m.m 47-48	37
譜例 18：《Extesion II》m.m 53	38
譜例 19：《Extesion II》m.m 129-131	39
譜例 20：《Extesion II》m.m 185-188	39

一、緒論

1.1 電與電聲

1.1.1 由電力所驅動的樂器裝置

最早出現於文獻紀載中，開始利用電力產生聲音的樂器裝置，是西元 1784 年由捷克神學家 Václav Prokop Diviš (1698 - 1765) 所發明的電力鍵盤樂器—Denis d'or。這個樂器在 Václav Prokop Diviš 過世後，被出售並運往維也納，從此消失，並無後續的紀錄，所以沒有留下其運作機制的說明紀錄。

現今紀載於文獻中，留有詳實的機制說明的電力驅動樂器，是 1759 年由法國的耶穌會牧師 Jean-Baptiste Thillaie Delaborde 所發明的電力大鍵琴(clavecin électrique)。

電力大鍵琴的發聲機制是並不是使用今日常見的使用電子元件進行聲音合成的發聲方式，而是利用電力驅動機械裝置(electro-mechanical)藉以發出聲音，所以電子大鍵琴還是可被歸類為聲學樂器¹(Acoustic Instrument)的範疇之內，或可稱為電力聲學樂器(Electro-Acoustic Instrument)。

值得注意的是，電力大鍵琴被發明的 1759 年，距離 Gordon's Bells 被發明的 1742 年有十七年的時間差距；距離作曲家巴赫(Johann Sebastian Bach, 1685 – 1750)離世也僅九年。由此推測，巴赫在世時，社會上或許已經開始實驗性的使用由電力所驅動的機械裝置；樂器，也是其中受到影響的機械裝置之一。

1.1.2 電磁學與聲訊裝置

自 1800 年，伏特 (Alessandro Volta) 利用電解方式產生電流，發明了伏打電池之後，電不再需要以磨擦生電的途徑來產生利用。科學家得以方便的產生擁有穩定的電壓與相對較大的電量的電流，更多的觀察與研究應運而生；電流的磁效應在此數年後被偶然的發現，經數人加以實驗證明電與磁之間的相生關係。電學之父法拉第 (Micheal Faraday) 發現的電磁感應重要更甚，因為這就是馬達與發電機的運作原理。

電弧效應 (voltaic arc) 在 1807 被發現，而後應用在歐陸的路燈系統中。電弧燈[1](carbon arc lamp) 通電時所產生的電流哼鳴聲卻因此成為附帶的環境噪音，科學家 William

¹ 即不使用電力放大或合成聲音的樂器。

Duddell 於 1899 年被英國官方任命解決這個噪音問題，進而發現到，藉著改變供給電弧燈的電壓，可以改變電流哼鳴聲的頻率高低；這個變化頻率高低的聲音也因此被稱為「Singing Arc」。

如果再將一個電感—電容電路(LC circuit)接至電弧的兩端做分流，其來回充放電的機制便可與電弧形成一個震盪器(Oscillator)，這就是今日用以產生特定頻率與固定波形的重要電路之一，它在聲音合成、自動控制系統上均有其不可或缺的地位；在二十世紀的音樂上更被用以產生電聲作為作品中的聲響素材，如德國施托克豪森 著名的電子音樂作品《Gesang der Jünglinge》(青少年之歌，1955-1956)，以震盪器所產生的正弦波(Sine wave)與男童的歌聲錄音作為基本素材。

除了電流聲響與波形產生器以外，電磁學的研究發展更帶動了解析與合成聲音的物理研究與遠距傳送訊號的嘗試；前述 William Duddell 也利用電流通過線圈產生了磁場造成的動量，顯示出音波的波型(waveform)，這個裝置稱為電磁示波器(electromagnetic oscillograph)。

在聲音合成解析的部分，十九世紀著有聲學研究巨著《On the sensation of tone —as a physiological basis for the theory of music》(1863)的 Hermann L.F. Helmholtz 在書中記述，藉著控制纏繞在音叉尖端的線圈上的電流來製造電磁感應，準確控制音叉的鳴響，並藉著以彈簧搭配板手來控制這個電磁裝置上的共鳴室(resonance chamber)接收到音叉聲響的量。這個裝置稱為 Helmholtz Resanator。

將數個 Helmholtz Resanator 串聯組合，產生特定的泛音(partials)組合之後，可以合成出複合音(complex tone)或是模擬出人類的母音(vowel)聲響。書上並探討音樂上不同音程造成的聽覺上的和諧與不和諧的感知，並從聲音的並置(superimpose)造成的拍擊(beating) [2] 現象，來討論到由不同音高的音構成的相同音程，被人類聽覺所感知到的不同程度的和諧與不和諧程度[3]；這本涵蓋聲學，心理聲學與聽覺生理構造的著作，對於二十世紀的音樂家如 Edgard Varèse 影響很大，在他的作品中，可以找尋到從聲學的角度進行音色的調變與音程設計的想法[4]。

1.2 Live electronic music

1.2.1 數位與類比

十九世紀由電磁學研究所帶動發展的通訊技術與電子元件，如電報(Telegraph)、電話(Telephone)、震盪器、換能器(如麥克風、喇叭)、留聲機，都是用以產生電子音樂的技術原型之組合延伸或延用；現今使用的電腦所仰賴的數位(digital)電訊，並不是發展在類比(Analog)電訊之後的訊號類型。以其僅有開與關(on and off)、1 與 0、長與短(dash and dot)的邏輯意義在 1830 年後逐漸被開發並廣泛使用的電報系統中，將明確的 1 與 0 的不同長度的電訊以排列編碼的模式透過電纜線傳輸到洲際，由遠端收訊後進行解碼查表(是否需要查表要根據編碼模式而定)，了解到訊號乘載的文字涵義。思考是否可以利用同一條纜線傳輸不同頻率的電報訊號的想法在 1870 後逐漸萌生，主要的研究者有 Thomas Alva Edison ， Alexander Graham Bell 、Elisha Gray ，將聲音轉換為類比電訊由電纜傳輸，或是將聲音以紋路的形式鏤刻在金屬之上，予以保存或重現的技術因而逐漸產生，使得聲音得以轉換於機械能與電能之間，電子音樂才得以產生並存在。

1.2.2 個人電腦與電子音樂

電腦音樂(Computer Music)，或稱計算機音樂，意即以一個擁有馮紐曼架構 (von Neumann architecture) 的電子計算機 [5] [6]，將音樂程式語言轉譯為指令集(Instruction Set)後，經由記憶體單元(Memory Unit)與運算邏輯單元(Arithmetic Logic Unit)合作協調執行，下達命令予電子元件進行發聲動作或是將程式運算後所產生的數位聲訊儲存至非揮發性記憶體 (Non-Volatile Memory) 中，或者轉換為類比(Analog)聲訊，由電腦輸出。

音樂程式可以記錄著產生聲音的規則，毋須經由電腦外部的訊號輸入即可以合成(Synthesis)方式產生聲音；亦可記錄著處理聲音的規則，在接收了外部訊號輸入，或是載入儲存在記憶體中的聲音檔案之後，對這些聲訊或檔案予以運算處理。

單一音樂程式紀錄的工作內容性質可以是單一或是多重性的，同時可以進行合成與聲訊處理。這些音樂程式在今日的個人電腦(Personal Computer)上的應用普遍且常見，方便使用者撰寫程式的開發環境也多不勝數。將程式功能物件(Function Object)圖型化的

開發環境如 Pure Data²、Max/Msp³提供了非電腦科學工程(Computer Science Engineering)背景的創作者以直覺的方式輕易設計出符合個人需求的聲音暨音樂程式的機會，並將其移動至的運算效能與擴充性日益增強的可攜式運算裝置(Laptop、Tablet、DSP board)上執行，更使得電腦音樂程式出現在更多的場合與空間：從大型戶外展演舞台，到室內演奏廳，乃至於個人錄音室的工作站(Workstation)，或是一般家庭之中，均能發現電腦音樂程式的存在。

程式中的聲音處理與合成的方法與實作，最早並非於數位(Digital)環境中所開發，而是使用類比電路(Analog Circuit)與磁帶技術(Tape technique)予以實驗實作(Implement)。以訊號處理中的濾波器為例，最早的類比濾波器約出現於十九世紀的電報系統(Telegraphy)中，使用電容(Capacity)、電感(Inducer)製作出的邏輯電路來達到頻域(Frequncy Domain)上面的濾波效果。施托克豪森[7]在一九六四年至一九六五年間使用濾波器作為音樂作品《Mikrophonie I》的演出工具之一：一個銅鑼(tam tam)、兩支麥克風、兩個濾波器、電壓計(Potentiometer，中文或稱可變電阻)，共由六位演奏者所分配操控。這個作品的器材屬性可分為聲學樂器—銅鑼、收音器材—麥克風、聲訊調整器材—濾波器與電壓計。聲音的產生途徑主要有兩條，一是銅鑼本身的敲擊聲響，透過空氣振動傳送至聽眾耳裡；一條則是由麥克風將銅鑼的敲擊聲響拾起(Pick-up)並送入濾波器中，中途由電壓計控制輸出的音量大小。

值得注意的是，在器材的操控方法上，一位演奏者選擇許多不同的物質來敲擊銅鑼，造成不同的聲響特質與效果；麥克風也不是架設於定點，而是由另一位演奏者沿著銅鑼表面來回收音。電壓計的控制也是即時性的，沒有固定的電阻設定，由演奏者調整音量大小。濾波器的通過頻帶也由演奏者控制，決定聲音在各頻帶所通過的量的多寡。

從上述器材配置與操控方法之描述，可以觀察到當時的作曲家正尋思著除聲學樂器之外，由電子元件搭配組合成另一種樂器，在現場演奏中產生聲音—Live Electronic Music 的可能性。隨著器物的技術革新與科技的進步，這些由類比電路、磁帶技術所構

² 圖形化訊號即時處理的程式寫作環境，由 Miller Puckette 撰寫其核心。

³ 圖形化訊號即時處理的程式寫作環境，由 Miller Puckette 與 IRCAM 撰寫其核心。

成的聲音處理路徑與思考模式被轉換儲存於電腦程式之中，進入了數位運算的世界。在 1951 年，澳洲的第一台數位電腦 CSIRAC(*Council for Scientific and Industrial Research Automatic Computer*)被用以在世界上首度播放出數位音樂；1954 年，在貝爾實驗室⁴(Bell's Lab)進行研究工作的 Max Mathew⁵先生撰寫出第一個音樂程式 MUSIC；Live Electronic Music 與聲學樂器的組合型態，也因此由聲學樂器與類比電路的搭配擴增成聲學樂器與電腦或類比電路的組合。

但是不論是類比世界抑或數位世界，它們的基礎思想是相同的，相異處的產生原因來自於器物革新帶來的便利性，創作者可以增加作品的複雜度：原本需要占用大量體積的聲響電路被轉化於程式物件之中，數個物件又可以同時在電腦中被執行，統一從電腦控制。

時至今日，Live Electronic Music 與聲學樂器的組合在東西方作曲家的創作中也相當常見，東方樂器也經常被納入創作的硬體考量中：日本樂器尺八、常見的中國樂器二胡、竹笛、琵琶、箏，都成為作曲家創作聲響的工作之一。

1.3 《Extesion II》的研究方法

在《Extesion II》的基礎素材被選定以後，個人實際參與了器樂上的試演以及樂器技巧的模擬與選用。個人並未參與電子聲響與程式設計的過程，但是在試演過程中反覆與作曲者本人討論器樂與電聲的搭配效果，並即時改變演奏技法來進行聽覺上的實驗。

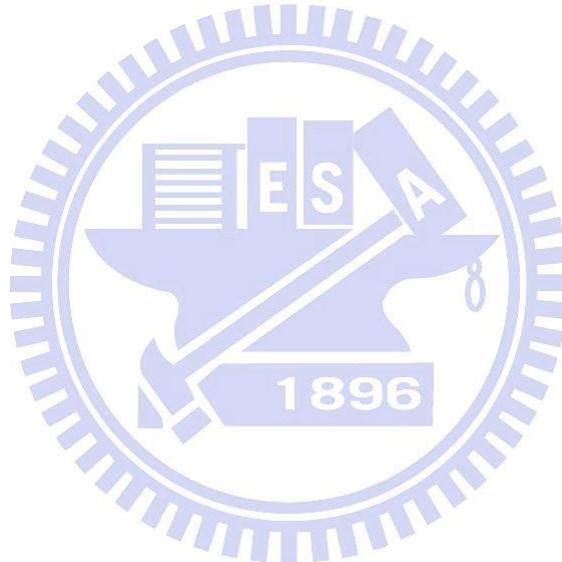
換言之，《Extesion II》的研究過程，實際上就是它本身的再創造(演繹)過程：考慮到產生聲響的器物媒材與流程，由樂器本身的聲響效果始為最初的研究，乃至於樂器硬體上的修改導致的演奏技法上的改變均被列入不可或缺的探討項目；電腦程式容許使用者將眾多效果器集結在同一程式介面中，再由使用者在演出過程中依照事先設計好的時序下達操控命令而發出聲響，所以乘載著程式軟體的電腦本身，又得以被視為一

⁴ “Bell Laboratories (also known as Bell Labs and formerly known as AT&T Bell Laboratories and Bell Telephone Laboratories) is the research and development subsidiary of the French-owned Alcatel-Lucent and previously of the American Telephone & Telegraph Company (AT&T), half-owned through its Western Electric manufacturing subsidiary.”——節錄自 http://en.wikipedia.org/wiki/Bell_Labs

⁵ Max Vernon Mathews (1926 - 2011)，電腦音樂的世界先驅。

件在組構邏輯上異於聲學樂器的電聲樂器，剖析這項電聲樂器的操控方法與發聲機制之動作的重要性，因而提升至與前述項目同等的高度。

因此，在剖析聲學樂器與電聲樂器的操作邏輯與聲響效果的動作完成之後，方能進行到譜面上流動的音與隨其產生的電聲所組合而成的聲響體上的研究。在器樂的聲響效果上，個人除以聽覺感受描述之外，更使用頻譜分析解釋個別效果擁有的特性。電聲的聲響效果上，與其是對於聲音產生後進行結果的解析，未若說是發聲原理的探討；這也是器樂與電聲在產生意義之時間點的不同，前者屬於產生後的解析，後者屬於組建後的產生。



二、《Extesion II》 軟硬體媒材說明

2.1 竹笛簡介

2.1.1 《Extesion II》 之竹笛音域與選用

《Extesion II》中，使用了三枝不同調性與音域的竹笛，有G調曲笛，G調梆笛以及A調曲笛。藉由這三枝竹笛的組合使用，演奏者得以演奏由D4至E7等涵蓋三個八度再加上一個大二度的音域音高。涵蓋的音域與指法如表X所示。每一枝竹笛的音域寬度都是相同的，相異點在於音高的不同。在此，A調曲笛僅較G調曲笛高一個全音，G調梆笛則較G調曲笛高上一個八度。指孔開孔數目的不同，也提供了不同的指法以及相異的音程排列關係。八孔G調梆笛⁶是《Extesion II》中所使用的改造型竹笛，相較於傳統的六孔梆笛，多出兩個指孔，為竹笛增加了兩個不需使用半孔技巧即可吹奏出的音高，這使得演奏充滿橫向進行的不和諧音程的現代曲目更為方便快速且準確；但是在使用八孔竹笛時，須使用巧妙的手指轉換來保持演奏時的持笛平衡，這個技術細節將於第三章第四節中進行細膩的探討。

表 1⁷：G調曲笛，G調梆笛以及A調曲笛涵蓋之音域與指法示意

	七孔 G 調曲笛	六孔 A 調曲笛	八孔 G 調梆笛
D4	●●● ●●●●		
E4	●●● ●●●○	●●● ●●●●	
F4	●●● ●●○○		
F#4	●●● ●○○○	●●● ●●○○	
G4	●●● ○○○○		
G#4		●●● ●○○○	
A4	●●○ ○○○○	●●● ○○○	
B4	●○○ ○○○○	●●○ ○○○	
C5	○●● ○○○○		
C#5	○○○ ○○○○	●○○ ○○○	
D5	●●● ●●●●		●●●● ●●●●

⁶以六孔竹笛進行挖孔，在第三以及第六指孔的側邊，以演奏者的持笛習慣進行小指孔的定位，所以八孔竹笛本身並沒有統一的規格。

⁷表X的指法示意均為手指的全按/全開，這些指法並未涵蓋所有的升、降音；因應其他特殊的演奏技巧，藉由手指半開製造出特別的音程間距。

D#5		○○○ ○○○	●●●● ●●●●○
E5	●●● ●●●●○	●●● ●●●●	●●●● ●●●○○
F5	●●● ●●●○○		
F#5	●●● ●○○○○	●●● ●●●○	●●●● ●○○○○
G5	●●● ○○○○○		●●●● ○○○○○
G#5		●●● ●○○○	●●●●○ ○○○○○
A5	●●○ ○○○○○	●●● ○○○○	●●○○ ○○○○○
B5	●○○ ○○○○○	●●○ ○○○○	●○○○ ○○○○○
C6	○●● ●●●○○		○●●● ○○○○○
C#6	○○○ ○○○○○	●○○ ○○○○	○○○○ ○○○○○
D6	●●● ●●●●●	○●● ●●●○○	●●●● ●●●●●
D#6		○○○ ○○○○○	●●●● ●●●●○
E6	●●○ ●●●●○	●●● ●●●●○	●●●● ●●●●○○
F#6		●●○ ●●●○○	●●●● ●●○○○○
G6			●●●● ○○○○○
G#6			●●●●○ ○○○○○
A6			●●○○ ○○○○○
B6			●○○○ ○○○○○
C7			○●●○ ●●●○○
C#7			○○○○ ○○○○○
D7			●●●● ●●●●●
E7			●●○● ●●●○●

2.1.2 竹笛之基本技巧

竹笛之基本技巧有以下分類:

運舌:單吐、雙吐、三吐、花舌。

手指:顫音、虛顫音、歷音、疊音、打音、揉音、滑音、剁音。

口腔及胸腹部肌肉運動協調控制氣流:循環吹氣、氣震音、泛音。

表 2: 竹笛技巧之記譜示意與說明

記譜示意	技巧名稱	技巧說明
運舌技法		
T、K	單吐	根據音樂的分句與速度需求，將相鄰出現的 T 視為單吐。
TK	雙吐	承上，將相鄰重複出現的 TK 組合視為雙吐。

TKT、 KTK	三吐	承上，將相鄰重複出現的 TKT、KTK 視為三吐。
*	花舌	將舌尖輕抵上顎，穩定吹氣使得舌頭快速的來回拍打上顎。
手指技法		
TR 	顫音	以一個音為基準點，向上或向下進行若干音程距離的來回跑動。
	虛顫音	以一個音為基準點，向下進行若干音程的來回跑動，手指快速上下移動進行半孔的開闔。
	上/下歷音	從一個音向上或向下快速級進至一個相距兩度音程之外的音。
	打音	這個技巧以手指快速打孔後回到起始音所造成的打孔音效著稱。
	疊音	以一個音為起始快速向上級進二度並立即回到起始音。
	上/下滑音	從一個音為起始，向上或向下以曲線模式移動到另一個音，移動的速度非常彈性，這種技巧會消抹掉音的級進效果，造成對比。
	剁音	從一個音為起始，向下快速落下手指蓋住指孔。
口腔及胸腹部肌肉運動協調控制氣流		
	循環吹氣	藉口腔快速壓縮送氣提供從鼻吸氣的空檔，使得較長的旋律線或長音得以不受換氣影響造成不自然的斷句。
	泛音	適度加強氣流在某些指法上面產生向上五度的泛音。

以上所列為中國竹笛曲目中常用之技法。

在中國南方的曲目中多有顫音、虛顫音、歷音、疊音、打音的使用，在地方民歌《鷓鴣飛》⁸當中大量使用這些技巧：

⁸ 原為湖南民間樂曲，由陸春齡先生將其改編為笛獨奏曲。



譜例 1：鷓鴣飛之譜例

在《鷄鴣飛》中，疊、打、顫音隨處可見，並使用 C 調或其他較低沉的曲笛進行演奏；其中左手三指按住指孔以右手三指進行快速的同時上下所造成的完全四度顫音 (G5—C6)，經過頻譜分析所示：

基音頻率較低的 G5 擁有明顯的第七泛音(頻率約在三千五百赫茲)，C6 能量較顯著的高頻泛音則較 G5 的第七泛音為低(請見圖一)。這個現象使得手指的快速開闔之間使得聽者很清楚的意識到這個泛音的存在，成為了漂浮在 G5—C6 兩音之上的靜謐高頻。

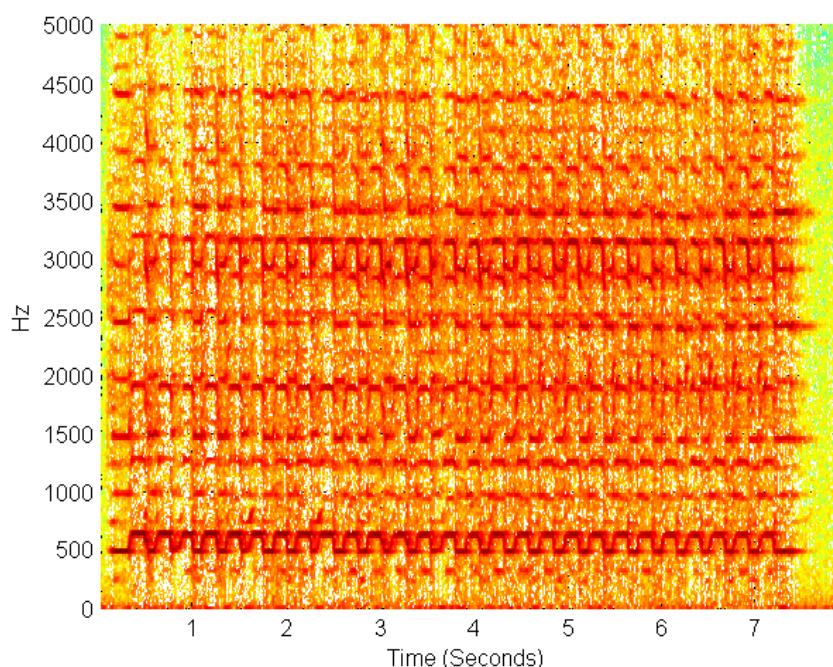


圖 1：鷄鴣飛之 G5—C6 顫音之頻譜分析

中國北方民歌則可以看見很大量的滑音、顫音、花舌、揉音、剁音。以地方民歌《黃鸝亮翅》⁹為例：



⁹黃鸝亮翅是取材於山西梆子曲牌《大救駕》的改編樂曲。

譜例 2：黃鶯亮翅之譜例

黃鶯亮翅使用 G 調梆笛演奏，並以擅長揉音與滑音的板胡為伴奏。

由此譜例發現僅兩小節就充滿滑音與顫音、花舌的配合使用。

藉上方兩譜例相互對照，可了解到南北方的使用了不同技巧所產生的聲響差異。

2.1.3 《Extesion II》之八孔竹笛運用

在第二章的 2.2.1 中提到，八孔竹笛為現代作品提供了更靈活使用橫向移動音程的可能。在六孔竹笛僅使用自然指法(不使用半孔)的情形下，僅能產生兩組增四度音程，其餘均為完全四、五度以及大小二、三、六、七、八度。

下表以 G 調梆笛為例，列出兩組產生增四度的自然指法：

表 3: G 調梆笛上造成增四度音程的指法示意

G5	●●● ○○○	C6	○●● ○○○
C#6	○○○ ○○○	F#6	●●● ●○○

在竹笛上使用半孔的例子並不罕見，或可說，幾乎所有演奏曲目中均或多或少的使用了半孔的技巧，尤其用在北方曲目中的揉音甚多。自然指法多見於速度較快的樂曲或樂段上，但還是搭配了同音高的半孔技法使用：



譜例 3：《腳踏水車唱山歌》m.m 1

在《腳踏水車唱山歌》¹⁰的第 1 小節中，可看到第三、四拍的兩次下行。這在詮釋上常在拍點上的 C6 加上重音(Accent)來模擬腳踏水車的視覺或是觸覺效果。這個重音並不是單純的音量放大，它是藉由瞬間的過度吹氣造成音高偏高，來增加戲劇張力，使聽者體驗到音樂所模擬的人類運動的動態。為此，個人建議演奏者可以在這個 C6 的自然

¹⁰ 竹笛獨奏曲—龍飛、朱南溪、江先渭作於 1962 年。

指法與半孔之間交互應用，因為 C6 的自然指法會得到比較穩定的音高結果(即使加入瞬間誇張的重音)，改用半孔則可隨音樂的聽覺需求將音高略為修正。

承上可知，利用六孔竹笛進行充滿半音的吹奏，也不算是罕見的作法，但是半孔用法在過去的傳統曲目並非用於呈現較多的音程組合，而是利用半孔指法製造出不同的音色效果與質感。所以半孔指法在快速音群之中扮演的角色多如此例作為少數幾個特定音高的替換指法。再者，由前述，利用半孔指法在音樂進行中進行音高的微調，說明了這種指法帶來音高的不穩定性與多變性；這是一體兩面的情形，優點在於改變細微音高相當容易，缺點就是不易使其固定，或者說，半孔指法控制音高的效果好壞全憑吹奏者的個人音感與吹奏能力而定，故無法給予量化準確的手指開闔標準。為此，為因應《Extesion II》這個充滿增四與減五度與其轉位音程之快速音群的音樂作品演奏，特別選擇八孔竹笛做一樂器上的拓展改造。



圖 2：六孔竹笛與八孔竹笛並置比較(上為八孔竹笛，下為六孔竹笛)

表 X 列出八孔竹笛與六孔竹笛之指法差異：

表 4：八孔 G 調梆笛與六孔 G 調梆笛之指法對照

	六孔 G 調梆笛	八孔 G 調梆笛
D5	●●● ●●●	●●●● ●●●●
D#5		●●●● ●●●●○

E5	●●● ●●○	●●●● ●●○○
F5		
F#5	●●● ●○○	●●●● ●○○○
G5	●●● ○○○	●●●● ○○○○
G#5		●●●○ ○○○○
A5	●●○ ○○○	●●○○ ○○○○
B5	●○○ ○○○	●○○○ ○○○○
C6	○●● ○○○	○●●● ○○○○
C#6	○○○ ○○○	○○○○ ○○○○
D6	●●●●●●	●●●●●●●●
D#6		●●●●●●●○
E6	●●●●●●○	●●●●●●●○
F#6	●●●●●○○	●●●●●●○○
G6	●●● ○○○	●●●● ○○○○
G#6		●●●○ ○○○○
A6	●●○ ○○○	●●○○ ○○○○
B6	●○○ ○○○	●○○○ ○○○○
C7	○●● ●●○	○●●○ ●●○○
C#7	○○○ ○○○	○○○○ ○○○○
D7	●●●●●●	●●●●●●●●
E7	●●○○ ●●○○	●●○○ ●●○○

由上表可知，八孔竹笛較六孔竹笛多了兩個可使用自然指法的半音，大幅增加了快速音群中增減音程進行的靈巧性與細膩度；這個原因在於，連續的半孔指法將使得演奏者喪失持笛的穩定性，且快速的連續半孔指法也將造成音高的偏移，因為演奏者缺乏時間在以持笛平穩為前提之下進行精準的手指開闔動作。藉由八孔竹笛的特性，在快速音群

中增加了數個只用自然指法的機會，使得演奏者得到充裕的時間來移動準備下一個半孔指法，這是種非常精細的協調動作。

八孔竹笛的推行即便行之有年，卻不為所有的演奏者所採用。個人研究其原因發現，法國長笛演奏家 Debost¹¹[8]提及，維持吹奏中長笛穩定的三個支點在：嘴唇與吹孔的接觸點、左手拇指與笛身的接觸點、右手小指與笛身的接觸點；藉此三點保持操控長笛的穩定度。竹笛的持笛動作基本上與長笛相仿，但卻由於兩者構造上的差異使得八孔竹笛在吹奏同時必須面對一個困難且細膩的細節：右手小指的開闔動作。

首先必須比較的是長笛與竹笛的構造差異。長笛是在管身上加上按鍵，藉壓下若干按鍵形成若干指孔開闔之排列組合來得到需要的音高，所以兩手的小指在使用過程中得以保持與管身的接觸，持續維持著支點的存在。以八孔竹笛做比較，基本的持笛支點均與長笛的持笛支點相仿，但是最大不同點在於，指孔完全以手指作為開闔機械，當某些音高需要右手小指所對應的指孔打開時，右手小指就不得不抬起，使得演奏者瞬間喪失了維持平衡的三個支點中的其中一個，這在快速音群的演奏中是非常嚴重的問題，這使得演奏者必須付出多餘的力量來對應喪失支點後產生的移動向量，無法完全專注在樂曲的演奏上面。為此，個人想到一個補償這個缺失的方法：



譜例 4：《Extesion II》m.m 64

由上方譜例所示，紅色方框中的第一組三連音 D—D#—F 在 D#處抬起了右手小指，接著在 F 處再抬起右手無名指，中指則掀開半孔，一半保持觸碰笛身。此處尚稱穩定的原因是，右手小指僅抬起兩個音的時間且並未有其他手指下指閉孔，隨即快速的移動到下一組三連音 D#—G#—C# 的 D#(左手全數蓋上，右手三指蓋上，抬起小指)上，保持了持笛的穩定。但是在 D#—G#的銜接上，右手小指沒有充裕的時間放下，加上左手小

¹¹ Michel Debost(1934 -)，法國長笛演奏家。

指在此刻頓時抬起，如果要做到右手小指同時放下，則笛身在這樣的運指速度下會顯得非常不穩定，但是失去一個支點的笛身也同樣的不穩定。為此，個人幾經測試，發現到，當 D#—G#的運指進行中時，僅抬起右手的食指與中指，留下無名指持續接觸著笛身，以它作為小指的暫時替代物。這個微小的細節為演奏這個高難度且長篇幅的樂段帶來了很大的幫助。

右手小指對於演奏順暢與否的重要性，可從下方譜例更清楚的觀察：



譜例 5：《Extesion II》m.m 37-38

第三十七小節的第一大拍是個上升級進的半音階，隨著 D—D#抬起右手小指後，若沒有主動將小指落下接觸笛身，則會發現第二大拍完全無法被順利吹奏，嚴重者笛子將可能從演奏者手中滑落。

2.2 軟體設計

2.2.1 《Extesion II》之程式介面設計

程式介面如圖 3 所示，使用者得以直接觀看效果器的開關情形，以及當前使用哪一組效果參數組合。聲音的進出開關與效果器的進出接口均被設計於介面的左端之橘色區塊，佐以乾/濕度(Dry/Wet)滑桿控制原聲訊與通過效果器處理之後的聲訊的比例。

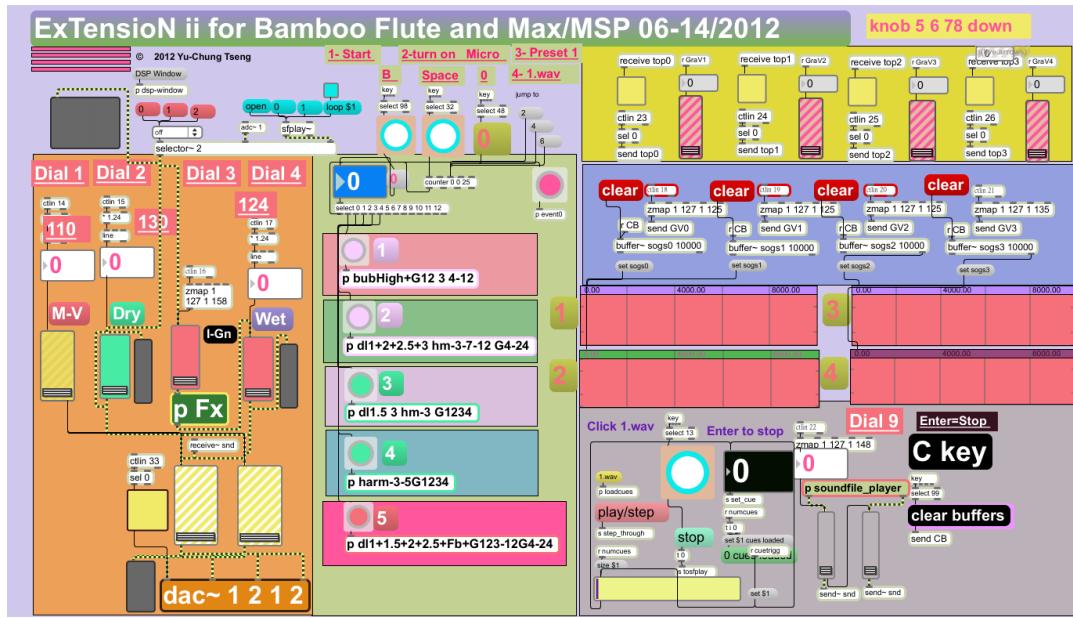


圖 3：《Extesion II》的聲訊處理程式介面設計

左中淡綠色區塊中的程式偵測空白鍵的按下與否：每按一下次空白鍵，計數器(Counter)的數字便累加一次數字一，計數器數字為零時(按下B鍵也會使計數器歸零)表示效果器沒有作用，聲音不經處理；數字為一、二、三、四時，會根據預先設置好的參數組合以訊息(Message)模式送予效果器接收，這種設計模式是由於使用者預先的決定了聲音的聽覺效果，根據音樂進行的時序在空白鍵按下的瞬間便轉換到該組態，避免了同時操作控制器上的多個旋鈕，準確的將參數切換到下一組參數；參數的組合如圖 4 所示。同時，這種切換模式也可預先設定效果器的組合使用，瞬間將聲訊導入數個效果器或從數個效果器的接口抽離。

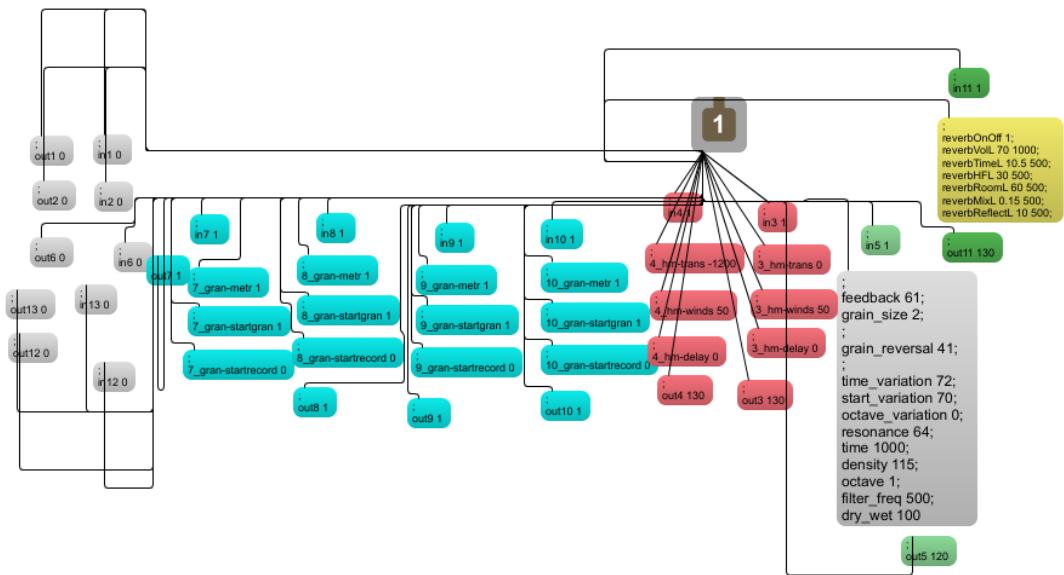


圖 4：《Extesion II》的參數設定組態

承前述兩個區塊的程式運作說明，餘下最右邊的區塊(見圖 5)有四個收錄現場聲音的暫存器(buffer);使用者能在竹笛聲響奏出的任何時刻錄下它的聲響，在後續的音樂進行間送入任何效果器做聲響的改變再送至擴音系統播送。《Extesion II》中僅使用一個預置聲音，其餘皆為即時運算所產生的聲響。程式介面的右下角放置了一個以物件 sfplayer~ 為播放器的程式區塊，開關的驅動方式為 Enter 鍵的交替敲擊。

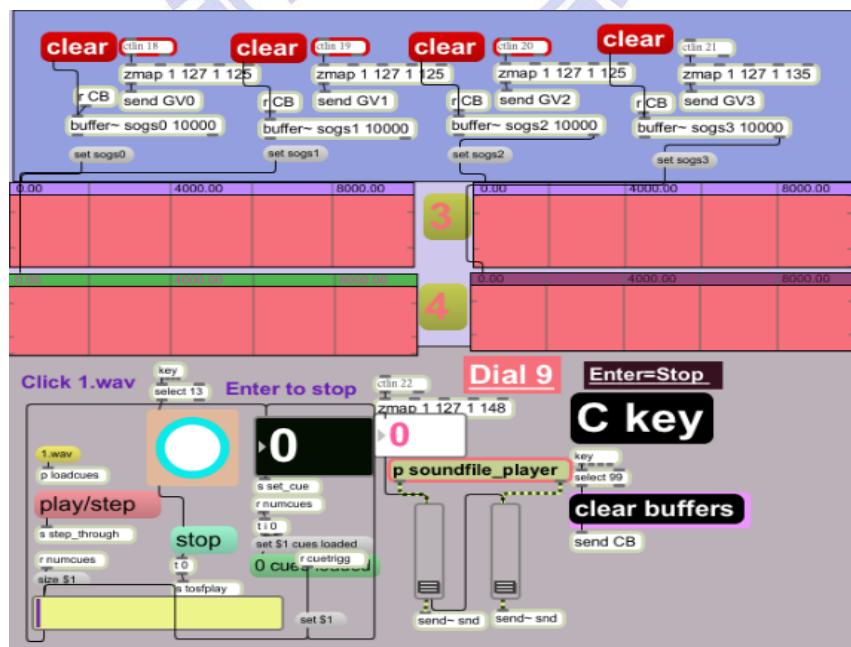


圖 5：聲音暫存區與預置聲音的播放操作區塊

2.2.2 《Extesion II》之效果器設計

效果器被存放在子程式 Fx 裡面，總共有 Harmonizer、Bubbler、mdeGranular、Granular、Reverb 等五種效果器，將這五種效果器集合起來的子程式如圖 6 所示：

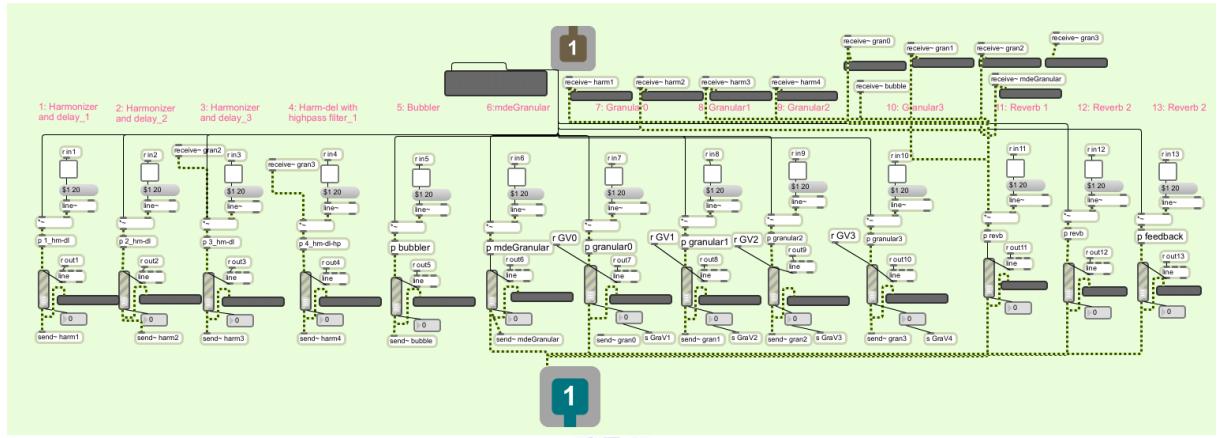


圖 6：效果器的集合式操作介面

針對各種效果器的運作邏輯以及聲響效果做說明：

1. Harmonizer:

如同這個名稱所示，Harmonizer 讀取存入緩衝區(buffer)或是即時收入的聲響，將此聲響的調整至使用者設定的音高，在使用者設定的時間間距內將處理過後得到的聲訊傳送至擴音系統播放，與現場的器樂聲響結合，產生一個擁有多個聲部的音樂織體，程式如下。

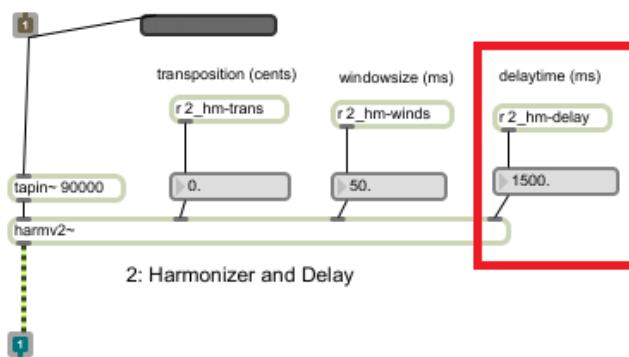


圖 7： Harmonizer 的程式使用

2. Delay

《Extesion II》的 Delay 效果依附在 harmonizer 效果器之中(如圖 7 之方框處所標示)，利用物件 tapin~ 作為聲音的緩衝區，再使用物件 tapout~ 在若干秒後將聲音其讀出。由於同時使用了多個 harmonizer，可以設定多種 Delay 時間，使聲響上產生 multi-delay 的效果。

3. Granular:

如圖 8 所示，這裡的 Granular 合成器可以選擇切割區塊的起始點、切割的顆粒長度、切割後的聲訊音量大小、聲音播放的聲道配置(在《Extesion II》的配置上為兩聲道)。

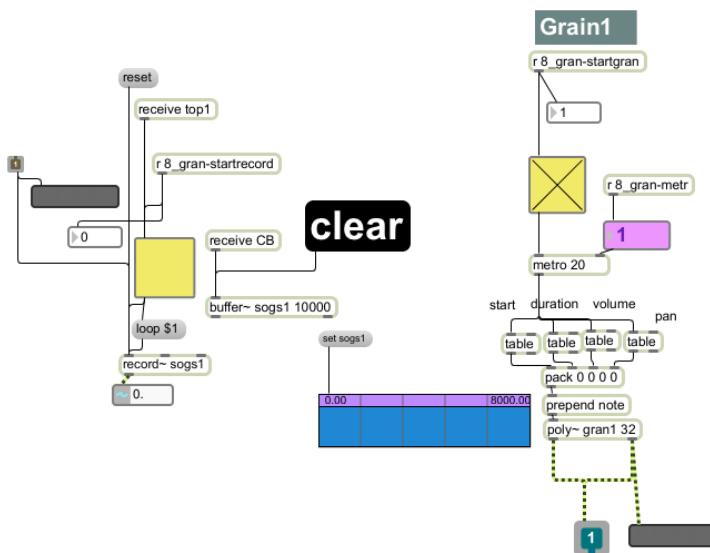


圖 8： Granular 的程式設計

4. Bubbler :

效果器 Bubbler 使用 Tom Erbe¹²先生製作的 Max/Msp 外部物件 Sound Hack¹³，原理來自於粒子化合成(Granlar Synthesis)，將一段聲訊切割成許多小切塊(grains)之後，以隨機的順序播放這些切塊，消抹掉原本的線性處理的粒子化合成的效果(也就是即使經過粒子化合成的處理，還是能從聽覺辨識出原本的聲音樣貌)，概念上模仿

¹² Tom Erbe - University of California, San Diego

¹³ SoundHack externals for Max/MSP & PD: Download from

http://www.soundhack.com/externs.php?SoundHack_plugins

了水中氣泡上升到水面的過程中氣體表面與水摩擦造成聲響的現象。程式如下：

This is a delay using granular synthesis. Small clips (grains) of audio are read and reordered before being sent to the delay output. Various parameters such as playback direction and pitch of each grain can be controlled.

open controldoc for more details.

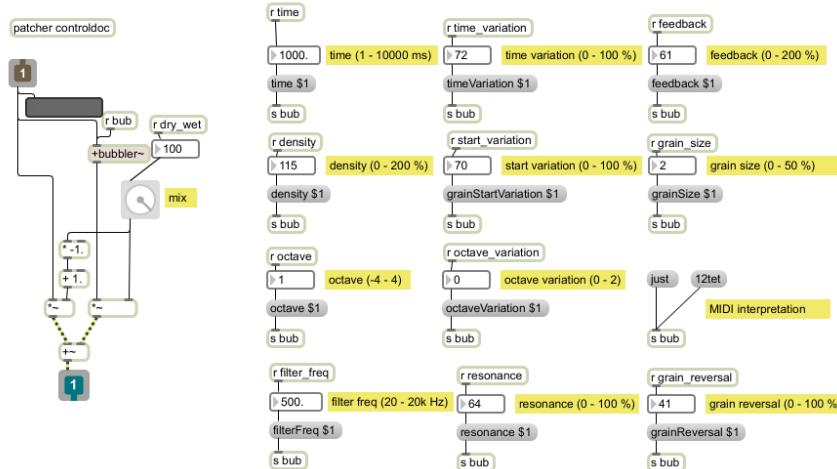


圖 9：效果器 bubbler 所使用的外部物件 soundhack

5. mdeGranular

程式 mdeGranular 由 Michael Edwards¹⁴先生撰寫，是一個多聲道，多聲部以及各別聲部的音高可以轉移的粒子化合物器；程式如下：

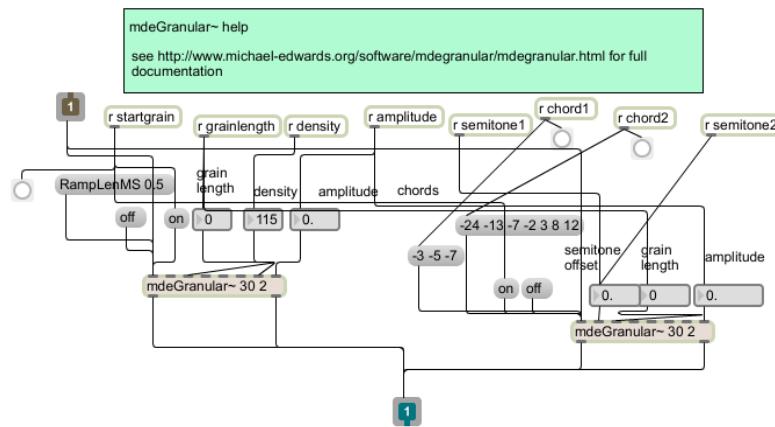


圖 10：效果器 mdeGranular 所使用的程式連結

6. Reverb

¹⁴ Michael Edwards ,Reader in Music Technology of the University of Edinburgh.

《Extesion II》的殘響效果使用 UBC Max/MSP/Jitter Toolbox¹⁵提供的 Reverb module(如圖 11)，可以選擇模擬不同空間大小(ROOM, 1-100 meters)、殘響反射量(REFLECT, from 0-50)、高頻衰減反射量(HF DAMP, from 0-50)、與原訊號的乾/濕比(Dry/Wet)。

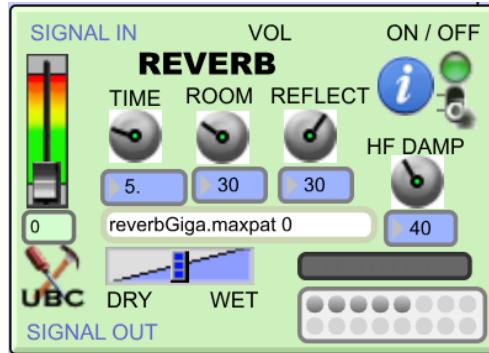


圖 11：效果器 Reverb 使用 UBC Max/MSP/Jitter Toolbox

2.2.3 《Extesion II》之程式的操控模式

《Extesion II》是一個以竹笛現場演奏以及電腦程式 Max/Msp 即時處理竹笛聲響並傳送到揚聲器做播送的作品。一般而言，進行現場收音即時處理的作品類型中，即時改變程式參數(Parameter)的方法有以下兩種：

(1) 手動：

需要人力(樂器演奏之外的人員或是樂器演奏者本身)在演出現場進行程式的參數操控來改變聲響的為一種。

¹⁵ Downloaded from <http://www.opusonemusic.net/muset/toolbox.html>

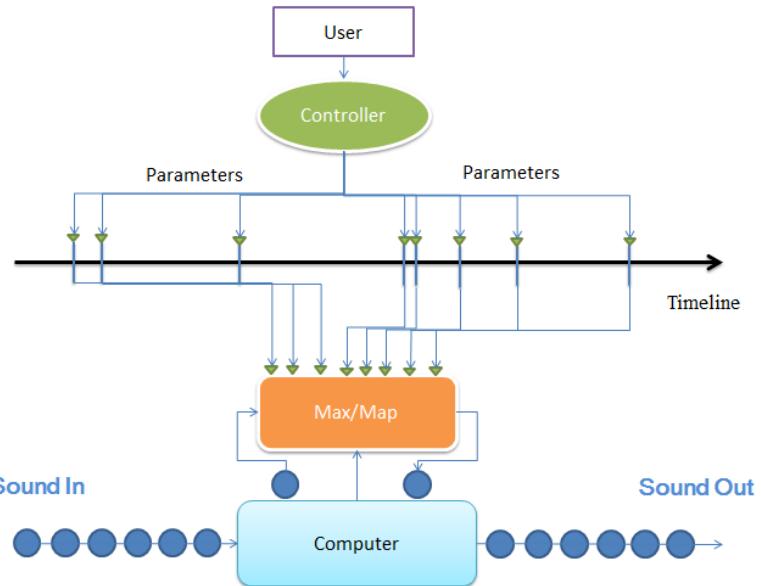


圖 12：手動控制程式參數的流程示意

(2) 自動：

預先設置參數改變的時間點與門檻(力度、音高、特殊訊號、音符密度)，自動改變程式參數，無須程式操控。

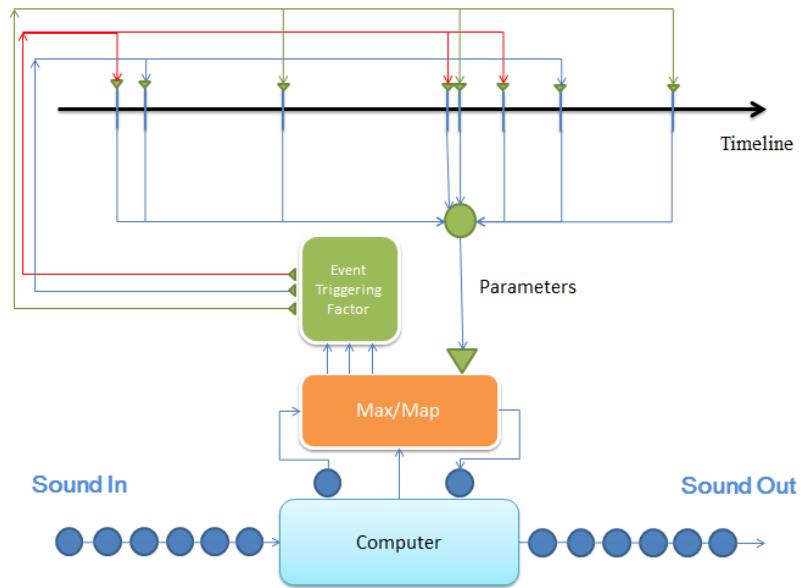


圖 13：自動控制程式參數的流程示意

手動與自動控制參數的方法選用，需依照創作者本人所設計的作品內容來製作出相對應的控制環境。曾毓忠教授之所以選用手動控制程式參數，是考量到竹笛聲響的音量動態(Dynamic)變化過大，必須隨時掌握收錄進緩衝區(Buffer)的竹笛音量，將其即時手動調整至適合效果器處理的音量，才能確保輸出的聲響能被觀眾明確接收，且沒有音爆(Beep)的問題。並且，手動控制參數的方法可以增加作品的移動性(Portability)與彈性。

(Flexibility);移動性的增加，表示作品可以被移動到許多不同展演空間進行現場演出：因應現場的擴音系統以及空間音場關係，由程式操控者進行即時的聆聽觀察做出相應的參數調整，以得到最佳的聲響效果。彈性的增加，則是由操控者在監聽演出內容的過程中，即時做出聲響調整的反應。從上述的操控者與聲響之間的互動關係，可將電腦硬體以及程式視為一個樂器。

控制器的操作模式也可略分為兩種：

(1) 獨立型(Individual Form)

獨立型的操作模式為，控制器獨立於樂器之外，可輕易拆卸，用於不同的硬體組合系統之中，如：《Extesion II》用以操控參數的 midi controller¹⁶。

(2) 擴增型(Augmented Form)

擴增型的操作模式為，控制器附掛在樂器之上，或可輕易拆卸，也可能緊密相連，無法拆卸。個人於二零一一年十二月與同為就讀交通大學聲音與音樂創意工程碩士學位學程的吳致暉、紀子衡同學合作，使用 Arduino¹⁷、旋鈕、滑桿、延音踏板、排尺、竹笛、麥克風與 PureData¹⁸程式撰寫製作了擴增竹笛，也就是依照樂器演奏者的操控性考量，設計出適合演奏者本人在演奏同時可以進行操控的控制器，並將其掛載在樂器之上，這種複合式的樂器因此稱為「擴增樂器(Augmented Instrument)」。擴增竹笛的工作分配，由三位同學進行不同效果器的撰寫，同時由紀子衡同學獨力負責硬體的切割組合與走線設計，最後再將各自負責的程式整合為一，並簡化程式操作介面，再由吳致暉同學進行撰文(此文將隨附於附錄二)，最後由個人進行吹奏與操控，經過三位同學的討論再進行程式與硬體上的修改。其相連模式如圖 14 所示。擴增樂器為樂器演奏者提供了更多的控制選擇，使其得在樂器演奏中同時進行聲訊的運算處理操控。

¹⁶ 在此為 Korg nanoKontrol。

¹⁷ Open-source electronic prototyping platform allowing to create interactive electronic objects.

¹⁸ 即時訊號演算處理環境，由美國加州大學聖地牙哥分校 Miller Puckette 教授等人所開發。

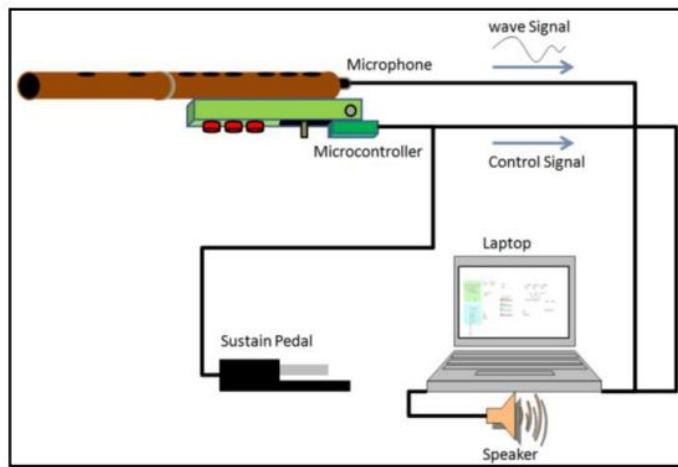
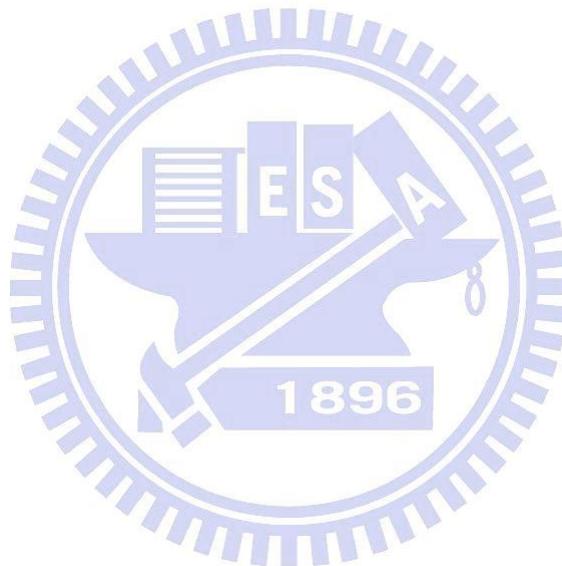


圖 14：擴增竹笛的系統配置



三、《Extesion II》之創作探討

《Extesion II》的電聲產生之運算，是由作曲家本人曾毓忠教授在 Max/MSP 訊號即時處理運算環境下，設計出符合即時操控程式參數的程式(Patch)介面，搭配 midi controller¹⁹與鍵盤、滑鼠的操作，根據音樂內容在適當的時間點將現場收入的竹笛演奏聲音導入預先設計好的聲音效果器中處理。如圖 15 所示，聲音的行進在一開始分成兩個路徑，第一條路徑直接傳送予現場的聽眾(是否使用擴音系統，要視竹笛的聲響強度在該演奏環境是否足夠而定)。另一條路徑則是竹笛的聲響通過程式效果器的行進方向，再由電腦輸出到擴音系統，最後由聽眾所接收。

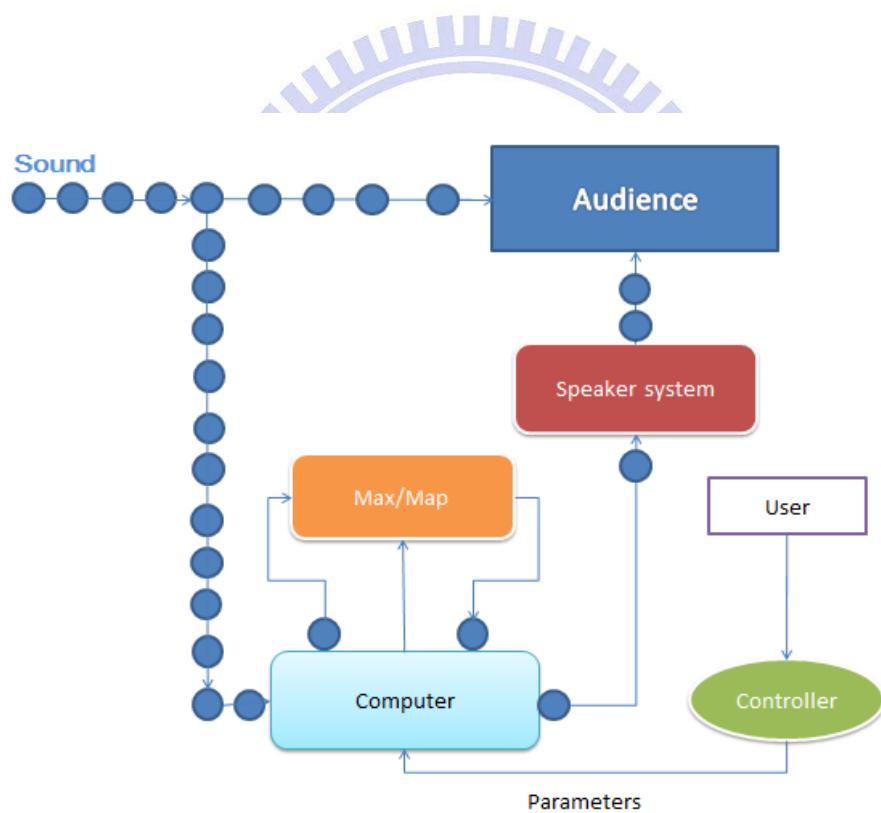


圖 15：《Extesion II》的聲訊處理環境配置

¹⁹ 這裡使用 Korg nanoKONTROL 控制程式參數。

3.1 作品簡介

《Extesion II》為台灣國立交通大學聲音與音樂創意工程碩士學位學程(S.M.I.T.)主任、音樂研究所作曲組專任副教授—曾毓忠教授於二零一二年六月完成之創作，為中國竹笛與 Max/MSP 之電聲器樂互動作品。此曲為曾毓忠教授創作作品《Extesion》(延伸)系列中的第二首，體現以科技延伸竹笛音樂的演奏模式與表現範圍。《Extesion》系列第一首《Extesion I》為琵琶與 MAX/MSP 互動電子音樂，受邀演於 2011 Transonic-超響音樂會²⁰。

3.2 創作理念

作品《Extesion II》，嘗試結合電腦科技與中國樂器竹笛進行創作。試圖透過電腦科技與竹笛特有技巧之應用延伸，作為擴展音樂表現之模式與範圍。Extesion—延伸，有以下涵義：

1. 竹笛演奏技巧之延伸

以竹笛的傳統演奏技巧為基礎，加上卡腔雙音、笛唱音、手指打孔音、Aeolian sound²¹之延伸技巧(extracted technique)，拓展了作品中的音色豐富程度。並採用八孔 G 調梆笛演奏增加了較傳統六孔竹笛所能以自然指法演奏的音程組合為多的數量²²。

2. 傳統器樂演奏與演算電聲之互動延伸

使用者以電腦控制由 Max/MSP 所運作的程式(patch)，採取了粒子化合成法、和聲音合成器、空間殘響產生模組²³(Reverb module)產生與竹笛聲響相對應的電聲²⁴，為傳統器樂的演奏延伸出迥異的姿態造型、空間感與音色效果。

²⁰ 由台灣國立臺北藝術大學藝術與科技中心製作的「超響 TranSonic」聲音藝術表演。

²¹ 此處提及的演奏技巧請見 2.1.3 與 3.5。

²² 見 2.1.3。

²³ 此處敘述的程式演算詳述於 2.2.2。

²⁴ 因此，受到操控的電腦在此視為是一科技樂器。

3.3 《Extesion II》中科技的音樂延伸功能

3.3.1 延續器樂音長，創造超現實美感

聲學樂器最顯著的發聲特點是，單音被奏出後，樂器上的絃或管身開始振動，振動推動著空氣，藉此傳播。在這傳播的途徑上能量也逐漸消散，最終止空氣的壓縮與抒放動作停止，聲響歸於寂靜。換句話說，只要停止對樂器作功，聲響就會自然的衰減消失。在竹笛上，長線條的旋律或是單音仰賴持續不間段的吹氣，來延續音長。但是由於人體本身的限制，在不換氣的狀況之下，僅能吹出有限時值的延續長度。

循環吹氣是竹笛上延續音長的有效做法，但是有其限制：不同音域上的音需要使用不同的氣流速度來吹奏；利用口腔短暫且快速的擠氣來確保音的不間斷，在這擠氣的瞬間由鼻腔吸氣更新肺腔內的空氣量與含氧量的循環吹氣技巧，口腔擠氣的技巧在一些需要較大氣流速度的音域上無法順利使用。

在電聲科技中，凡經錄音取樣儲存至緩衝區(buffer，概念上為 wavetable)的聲音訊號，均可透過時間拉長(Time Stretching—Sample and hold)的技術來延長時間；或使用粒子化合成切細成許多小段落之後依序或以亂數排序反覆播放(概念如圖 16 所示)。曾教授曾提及[9]，無限延展拉長超越真實樂器所能奏出的長度限制，可創造出一種超現實的美感(Surrealism²⁵)。

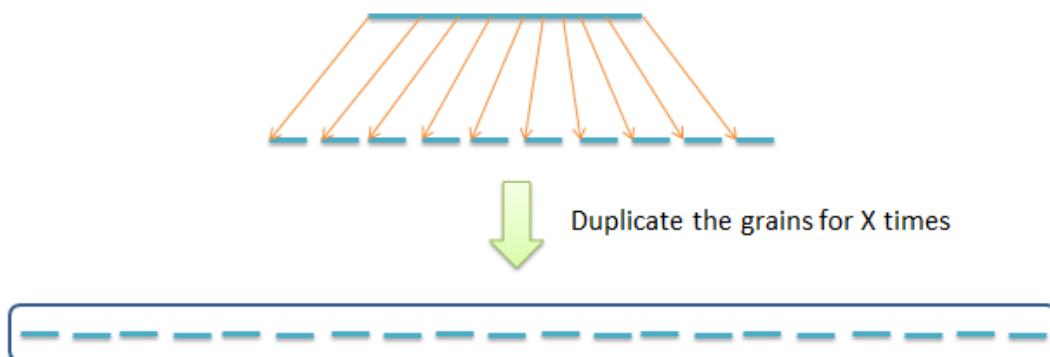


圖 16：《Extesion II》中所使用的粒子化合成做音長延伸概念

²⁵ 由 1920 年代開始的藝術活動，旨於表現使人驚奇、非預期的以及荒誕不符現實的畫面或場景。

在《Extesion II》中有數個位置使用到粒子化合成的技術，例如第 46 小節到 64 小節、第 185 小節至 194 小節。

3.3.2 利用 harmonize 功能，創造複音效果

在管樂器上吹奏出複音效果的方法，仰賴特殊指法與吹孔之於氣流的角度的搭配。一般而言要將管身朝身體外翻轉若干角度，控制氣流的速度。在竹笛上若要產生複音效果，則需選擇較低音域的曲笛方能較為成功的產生，但是技術難度與複音種類不如長笛來得容易且豐富。在《Extesion II》中，利用 2.2.2 所述的和聲器(Harmonizer)將現場收錄到的笛音進行若干音程的平行線條之產生(概念如圖 17 所示)，例如：第 88 小節至 97 小節與第 98 小節至 112 小節的和聲器使用，增加了織體的厚度。

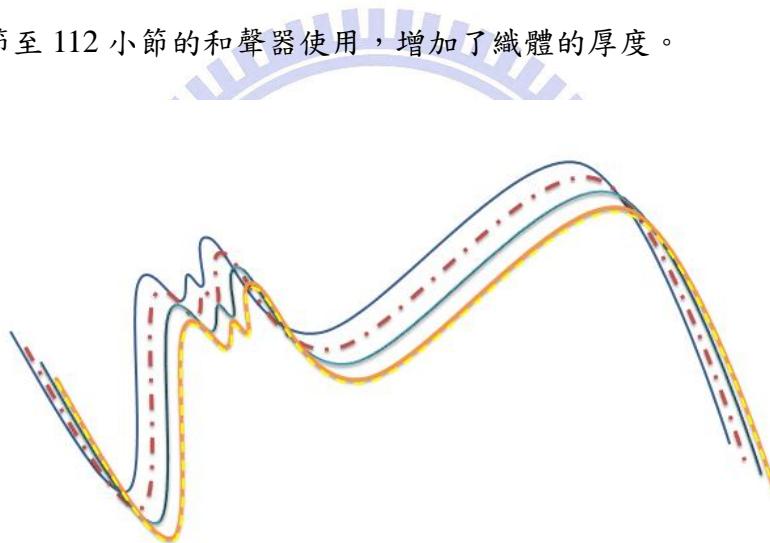


圖 17：《Extesion II》中所使用的和聲器搭配粒子化合成做若干音程的平行線條之產生

3.3.3 擴增織體與聲音姿態模仿，創造「數大美」感

竹笛演奏者在同一時間可利用卡腔雙音²⁶技巧與特殊指法造成特殊的泛音組合來製造多聲部的音樂織體，這種音樂織體的維持時間通常不會持續太長的時間。

承先前所述，凡經錄音取樣儲存至緩衝區的聲音訊號，均可經過若干聲訊處理後做聲音姿態的再造或模仿，再進行不限次數與單一至甚多的平行音軌的同時播放。聲音姿

²⁶ 演奏技法詳述於 2.1.3。

態的模仿另外可以使用延遲(Delay)效果來達成，例如第 19 至 40 小節針對竹笛所做的同音延遲播放。

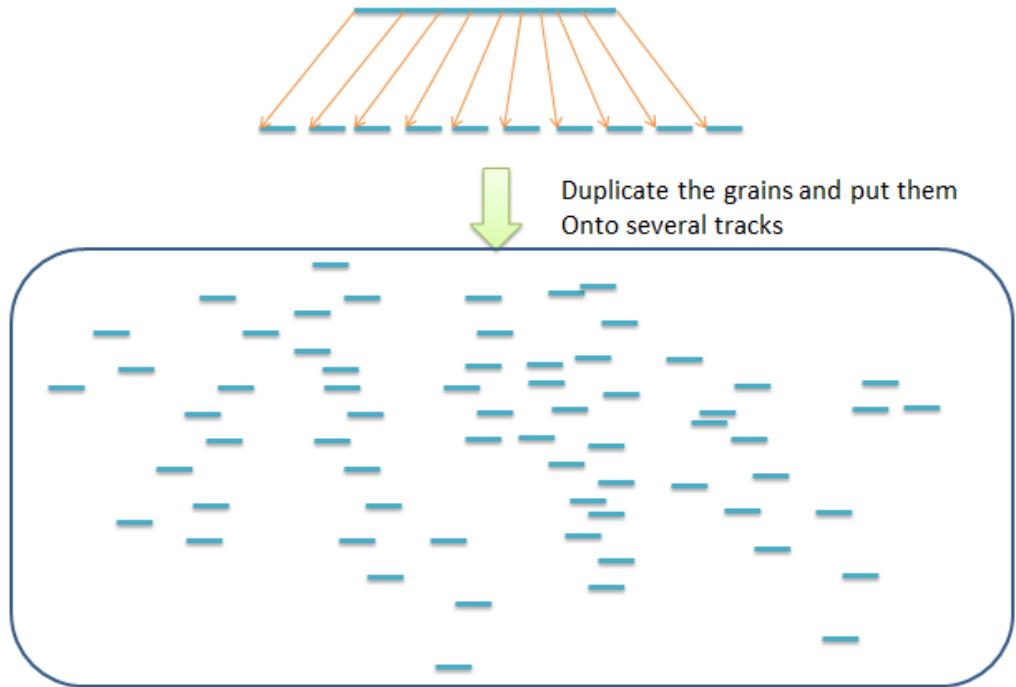


圖 18：《Extesion II》中所使用的粒子化合成延伸概念

以《Extesion II》為例，擴增音樂織體的手法是使用粒子化合成法加上和聲器，經過延遲時間的調控後，將聲音粒子所涵蓋的頻率範圍擴增，並將這些聲音粒子隨機化的散佈到多個音軌中，經過程式使用者做音軌數目的即時調整，瞬時產生了一個極多聲部的音樂織體，延伸了單一樂器所能創造的織體的豐富性與厚度，產生「數大美」的美感，也創造了音高上的空間感(概念如圖 18 所示)。

3.3.4 模仿聲響於空間之反射原理，創造異質空間感

《Extesion II》的極大特色來自於殘響(reverb)效果的使用：聽眾接受到經過殘響效果處理的聲響後，被聲響誤導了空間大小的判斷進而產生了空間上的疑惑，從而產生超現實的美感。殘響效果的產生邏輯是，模仿自然聲響在空間中的反射與散射特性；在程

式中將所有反射的聲響視為個別物理位置的假想聲源(如圖 19 所示)，根據 impulse response 計算出這些聲源製造出聲音的時間點與響度，最後合成為模擬的殘響效果[10].

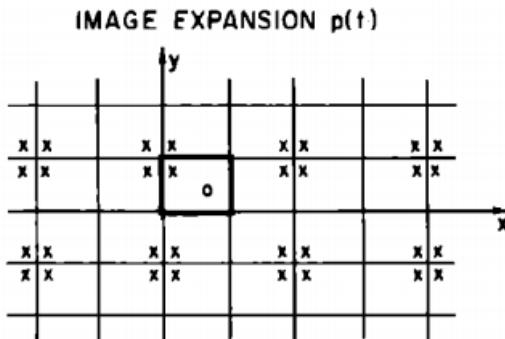


圖 19：原始聲源與假想聲源示意

資料來源: Allen, J. B. and D. A. Berkley (1979). "Image method for efficiently simulating small-room acoustics." The Journal of the Acoustical Society of America 65(4): 943-950.

3.3.5 構築聲響的錯離與融合，塑造虛實反差

利用前述所作的音長延續與音域擴增、纖體彈性擴增與縮減、粒子切細等手法；當竹笛聲響被這些手法綜合連結予以處理後，將竹笛聲響轉化為陌生抽象的聲響，或是同時段或延遲後的姿態模仿。

這些聲響產生之後，與現場的竹笛聲響產生了相對的關係：它們可以是同質性的聲響組合，在配器的觀點上等於模仿了同樂器的齊奏或是合奏關係，由於電聲與竹笛聲響競相出現，聽眾容易產生對聲響來源的判斷上的錯覺。在電聲作異質處理後，竹笛與抽象化的聲響交替浮現在整體聲響的前景、中景、後景，有時竹笛融入了整體的聲響風景中，有時卻浮現在風景之上，成為焦點主軸，電聲也因此擁有這種虛實交替的交替特質。

3.3.6 透過人與機械之對話，創造新互動形式

在《Extesion II》中，與電腦進行資訊交流的對象有兩位。一位是程式操作者，一位則是竹笛演奏者。

程式操作者在監聽作品進行的過程中，可根據聽到的聲響效果，即時透過 midi controller 微調程式參數，進行聲響的調整。竹笛演奏者屬於原始訊訊的提供者，電腦程式在接受到訊訊之後進行程式寫作者事先設計好的訊訊運算，並播送出聲響。竹笛演奏

者在接受到這處理過後的聲響，可在自身的演奏上做適當的微調：例如第 129 至 184 小節，演奏者可根據耳中所聽到的粒子化合成之顆粒數目與顆粒之間的時間間距，來決定自己後續要如何吹奏這些細碎的小音符，做增加縮減、加減速度的實況調整。此種經過人的聽覺來判斷電聲效果後，再對程式進行參數調整的互動模式，是一種異於過去器樂表演者之間的人與人間互動的人與機器互動模式。

3.4 作品音域、聲音形色與結構之配置

3.4.1 音域配置

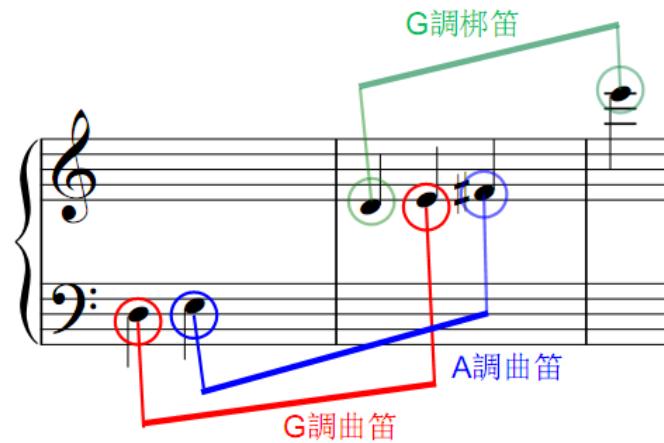
《Extesion II》之段落間的音域高低對比相當大，演奏中途共轉換不同調與音域的竹笛達六次之多，且段落之間的接續相當緊湊；全曲竹笛使用段落²⁷如圖 20 所示。



圖 20：竹笛於《Extesion II》中的換用順序流程

G 調曲笛與 A 調曲笛之基頻頻域相近，僅差一個半音，G 調梆笛的基頻頻域較 G 調曲笛高上一個完全八度(即十二個半音)。由上圖可觀察出器樂演奏的音域配置，採用較高頻域與較低頻域的交互轉換出現，使聆聽者很容易地察覺到聲音的高低差異。這三把竹笛所涵蓋的音域如下圖所示：

²⁷ 此處所示為竹笛使用段落，而非樂曲結構段落。



譜例 6：三把竹笛所涵蓋的音域

3.4.2 聲音形色之配置

就樂、噪音之分而言，全曲數個時間範圍內存在著使用竹笛延伸技巧所產生噪音。作品開頭的第一至第六小節中(見譜例 7)，使用了 Aeolian sound²⁸，此處並未使用任何效果器。

譜例 7：《Extesion II》m.m 1-6

第 46 到 64 小節(見譜例 8)使用了笛唱音與 Aeolian sound 配合手指打孔音，此處的電聲的效果器配置為粒子化合成器佐以延遲(Delay)效果搭配和聲產生器。

²⁸ 演奏技法詳述於 2.1.3。

譜例 8：《Extesion II》m.m 46-64

第 185 至 194(見譜例 9)小節存在著由竹笛演奏出的樂/噪音同時並存的聲響，這是利用竹笛的卡腔技巧所吹奏產生；第 195 至 196 小節即為第一小節與第二小節，為全曲的終結。電聲配置則是將前一段由 G 調梆笛演奏的快速音群收錄後使用和聲產生器將其降低一個完全八度並且將聲音顆粒拉成為長線條作為打底，與竹笛需要換氣拉長的線條成為對比，利用電聲處理製造出一個延續不間斷的長線條，造成異於自然常理的效果，創造出陌生的空間感。同時，此線條經過頻率調降的處理後，擴大了音高的空間。

譜例 9：《Extesion II》m.m 181-196

《Extesion II》中的快速樂段均由 G 調梆笛演奏，所以它們的音域相對而言都是很高的。同時由於笛身短窄，非常適合加入花舌與剁音²⁹技巧。第十九至四十小節(見譜例 10)是全曲中的第一個快速樂段，大量使用重複的來回增四度與減五度音程，並在相對較長的音符上使用了花舌，作為具有較大張力效果的分句終止。

譜例 10：《Extesion II》m.m 19-22

從第 64 小節開始至第 87 小節(見譜例 11)在電聲上加入了 multi-delay 效果，模仿了現場笛音的姿態，作多層次的模仿。此段落並與第 19 至 40 小節的樂段形成聲音形態的對比：前者屬於顆粒性(搭配雙吐與三吐)的快速音群樂段，後者為盡量減少吐音拉長線條模糊音與音間移動中造成的顆粒感之快速音群樂段。此種對比可以由譜例 10 與譜例 11 的對照明顯看出。

譜例 11：《Extesion II》m.m 62-66

第 114 小節至 121 小節(見譜例 12)為一連串重複的五連音音型；值得注意的是管樂器在使用這種快速五連音的吐音技術時，必須將雙吐與三吐組合運用，或是將音型重新劃分，如此便能減少演奏中的錯誤率，並將音型的重複精準奏出。

²⁹ 演奏技法詳述於 2.1.2。

譜例 12：《Extesion II》m.m 114-123

個人將第 114 小節(見譜例 12)的六組五連音(5，5，5，5，5)重新劃分為三組六加四的音型(6+4，6+4，6+4)，藉此以適合管樂樂器的語法將這六組五連音奏出，可以得到很好的演奏速度以及聲響效果，或為以內在分句支撐新奇語法的良好處理方式。

第 123 節(見譜例 13)首見了空間記譜法的出現，預示從第 129 小節開始至 184 小節充滿快速顆粒的樂段的出現：

這個樂段的電聲處理使用了延遲(Delay)效果，並以此效果的聲音產物疊加數次，使得原本為數眾多的竹笛聲音顆粒增加到數倍之多，藉此加厚了音樂的纖體，產生數大美的美感。樂段最終以數個剁音與一連串同音反覆八度來回的碎吐音做為終結。

譜例 13：《Extesion II》m.m 129-131

《Extesion II》擁有兩個標示為如歌地之音樂段落。首先在第 88 小節至 97 小節(見譜例 14)使用 G 調梆笛演奏，展現與之前的樂段明顯不同的音程組合，在第 88 至 89 小節可以察覺一個小三和絃的琶音拓展樂句；第 90 至 91 小節第一拍為類似於前樂句的降低一度後的縮減樂句，到達此樂句終點便很快地由舒展如歌地音樂線條轉變成標示為幽

默的跳躍段落，並進行一連串高低起伏連環地模進(Sequence)，並結束在第 97 小節(見譜例 14)。

譜例 14：《Extesion II》m.m 88-93

第 88 小節至 97 小節的高音音域段落結束後，緊接著換以 G 調曲笛演奏第二個標示為如歌地之段落，從第 98 小節至 112 小節結束(見譜例 15)。

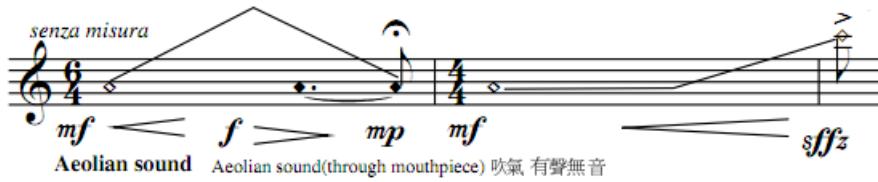
譜例 15：《Extesion II》m.m 98-105

3.5 《Extesion II》之竹笛延伸技巧

二十世紀的作曲家，對聲響探索的興趣著重於新音色的探討上面。為了尋找出器樂上所能創造的新音色，作曲家想方在樂器上做若干的硬體修改或器物追加(如 John Cage 的預置鋼琴)，或是找尋新的或延伸的演奏技法(extended technique)來達到目的。

《Extesion II》中使用了下列數種特殊的吹奏技法，搭配傳統的技法造成強烈的噪音與樂音的對比：

1. Aeolian sound:



譜例 16：《Extesion II》m.m 1-2

此處的技巧不將實音奏出，將氣流導向的位置偏離原本吹奏樂音時的位置，使得氣流與管身摩擦產生噪音，同時改變手指按孔，慢速向上滑音再滑回原處，此處的聽覺效果類似為噪音的濾波手法(Noise filtering)造成的聲響(見圖 21：Aeolian sound 之頻譜 (《Extesion II》m.m 1-2))。

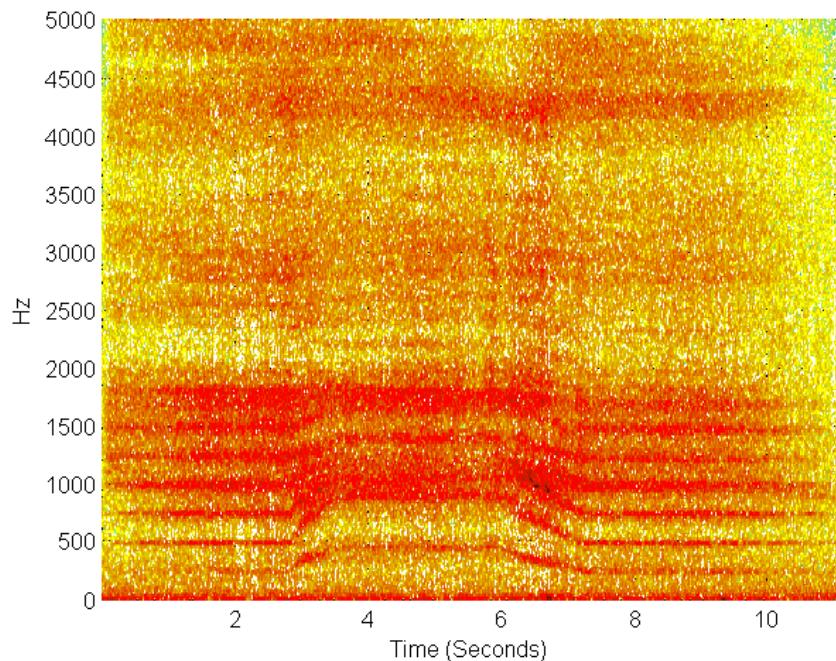


圖 21：Aeolian sound 之頻譜(《Extesion II》m.m 1-2)

2. 卡腔雙音

senza misura slowly with singing -----

譜例 17：《Extesion II》m.m 47-48

與長笛相同，吹奏的同時可以請演奏者同時唱出另一個音，可以與吹奏出的音為相同音高，也可以是別的音高。頻譜樂派的 Triston Murail³⁰在其作品《Ether》中將計算好的調變(Modulation)音高供長笛演奏者吹奏及唱出，順利使用器樂演奏模仿出電子訊號上的環狀振幅調變(Ring Modulation)效果[11]。

在這個譜例(譜例 17：《Extesion II》m.m 47-48)中，採取了同音同唱的作法，是藉由人聲與笛聲些微的音高差距造成拍音(beating)效果，使得音色更加豐富多變。

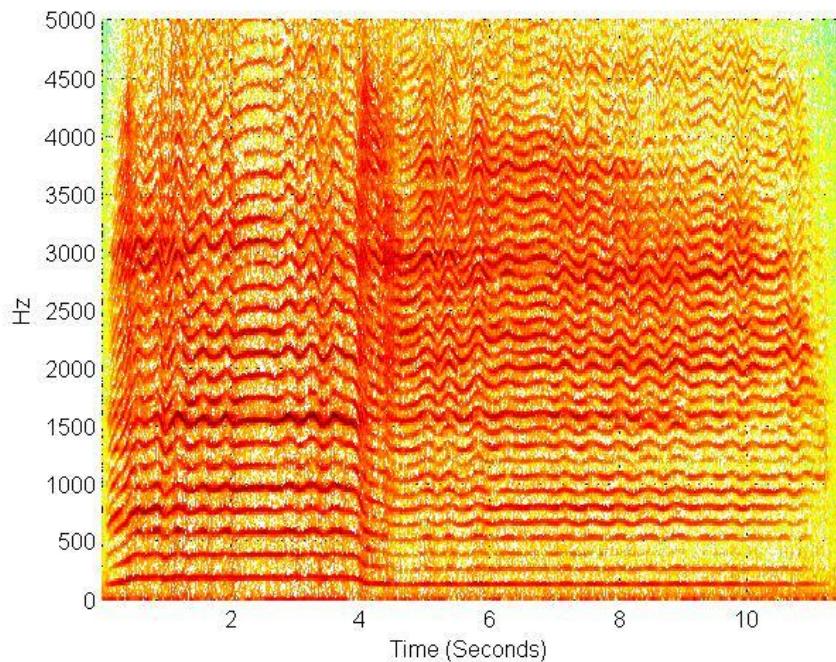


圖 22：卡腔雙音之頻譜(《Extesion II》m.m 47-48)

人聲加入了竹笛中的雙聲唱法，會使得單端封閉的管樂聲響原本空虛的偶數次泛音得到人聲的填補，使得聽覺效果上趕到人聲中被填補了金屬的質感(見圖 22)。

3. 指孔音

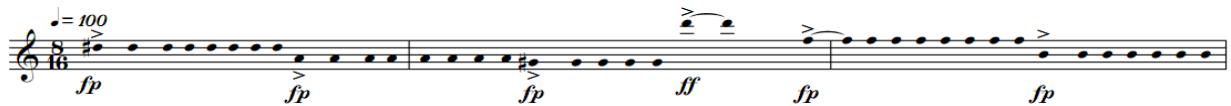


譜例 18：《Extesion II》m.m 53

³⁰ Triston Murail(1947 -),法國作曲家.

指孔音是利用快速富有彈性的下指(類似剎音的下指)來對於每個記譜音做一個由上而下的打孔動作，佐以吹氣使得噪音化的音高與打孔聲結合，使得這種噪音具有顆粒化的圓潤彈性。

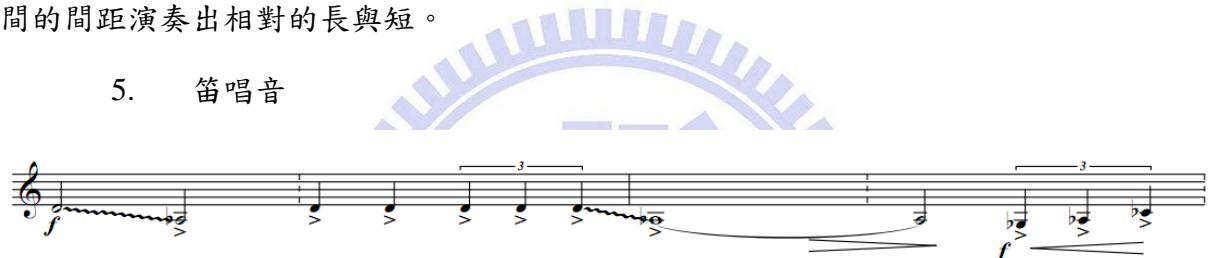
4. 碎吐



譜例 19：《Extesion II》m.m 129-131

由這個沒有符桿的空間記譜法譜例所示，以運舌比雙吐快速，音色較雙吐扁平，音長更為縮短的碎吐進行演奏；在此不需嚴格符合記譜上的數量，而是依照譜上音與音之間的間距演奏出相對的長與短。

5. 笛唱音



譜例 20：《Extesion II》m.m 185-188

與卡腔的不同在於，笛唱音技巧直接朝吹孔進行歌唱，不再吹氣。藉由將笛膜調整至極端鬆弛(見圖 23)，導致朝笛子吹孔唱音時造成的音響極為破裂卻宏亮，此用法也在張小夫³¹先生的作品《吟》中見到。笛唱音之頻譜如圖 24 所示：

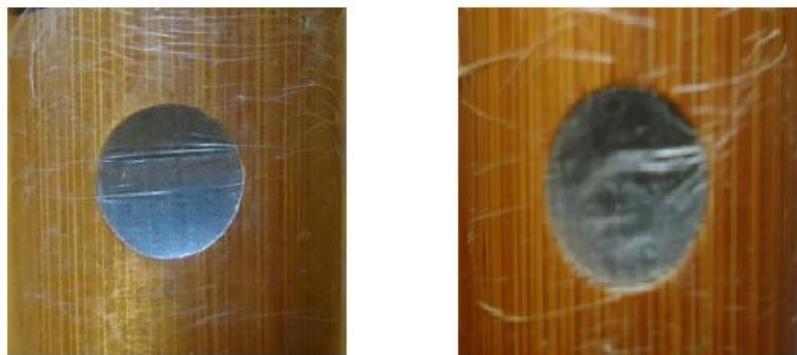


圖 23：笛唱音之笛膜比較，圖右是為笛唱音所使用的鬆弛笛膜

³¹ 張小夫(1954 -),中國作曲家.

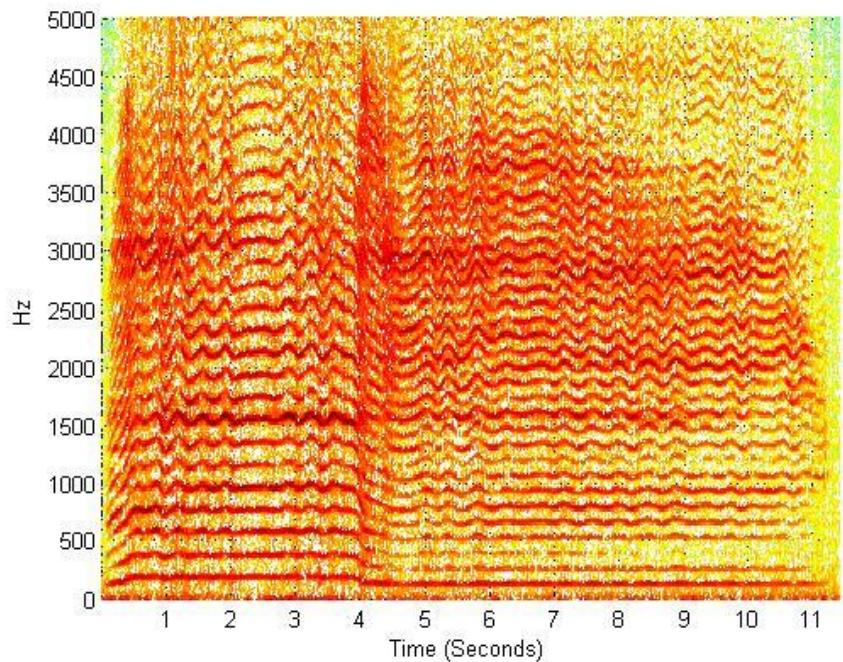


圖 24：笛唱音之頻譜(《Extesion II》m.m 185-188)



四、實踐創作過程之問題探討

4.1 器材選用與設置檢討

4.1.1 麥克風

《Extesion II》的聲訊環境系統設置中，遇到最多技術問題的環節是麥克風的選用。最初曾教授與個人將 Shure SM57 麥克風置於演奏者之前方，嘗試了上方俯角三十度，下方仰角三十度，以及正前方近乎水平等位置，卻無法將《Extesion II》開頭的 Aeolian sound 氣音清楚收入。接著嘗試搭配了 DPA 4061，將其置入竹笛的尾部，卻因為麥克風過於敏感且過度靠近聲源使得收到的聲音強度太大，造成爆音。

最後才嘗試了 Superlux WO-518B XLR 這個附有小型放大/濾波器的小型麥克風，夾置領口右側(假設竹笛演奏者為右撇子)之後才得以完全將微弱的氣噪音收入，梆笛宏亮的聲響也不至於造成收音後爆音，是這部作品得以順利演出的重要器材。

4.1.2 軟硬體電源啟動之順序

器材的電源開啟順序將決定整個聲訊系統是否能順利運作無誤。

倘若直接開啟電腦中的 Max/Msp，則無法偵測到負責將竹笛聲響收錄傳送至電腦的錄音介面(Saffire PRO 24)，一切電聲運作將因此停擺。所以針對軟硬體啟動順序，分為兩個系統，有如下的建議：

1. 混音器 → 喇叭
2. 電腦 → 錄音介面 → 麥克風 → Max/Msp

並且，在電源開啟之前應將所有硬體音量調整至最低，待電源啟動後再進行調控。

4.2 Max/Msp 軟體寫作檢視

可視介面(Graphical User Interface)的用途，旨於令使用者在極短時間內了解程式的運作流程與邏輯。所以視覺上的相對物理位置配置的重要性應居於程式介面設計的首位：運算細節應封裝(Ensculpt)在控制介面之下，令使用者在展演當下不受到視覺上的干擾。

功能物件盡量重複使用，以改變參數集合為主，減少同一功能被複製多個副本放置在記憶體中造成即時運算空間上的浪費，也可減少演出當下當機(stuck)的機會。《Extesion II》的程式寫作在這點上有良好的設計概念。

4.3 展演空間探討

4.3.1 小坪數空間

《Extesion II》最初的實驗環境，是在交通大學人社一館(音樂所的所在位置)的曾教授個人辦公室中，所有器材被擁擠的放置在一個不超過六坪大小的 L 型空間中，除了進出的門的設置是氣密隔音門之外，隔間材質是水泥與木材不等，所以實驗過程中時常從鄰近空間(或不同樓層)傳來各種樂器的聲響。當竹笛搭配了由喇叭播送的電聲一同演奏時，竹笛演奏者與程式調控者均無法順利聆聽到作品完整的聲響效果。

4.3.2 影音藝術實驗中心

鑑於前述遭遇到的嚴重問題，曾教授與個人將實驗場所移動改變到設立於交通大學中正堂地下一樓的影音藝術實驗中心(C.A.V.E.)，如下圖所示。



圖 25：交通大學影音藝術實驗中心

資料來源: <http://web.it.nctu.edu.tw/~eamusic/wocmat2012/venus.html>

這個空間除有厚重的隔音門之外，在空間上實施過聲響處理的工程，至少隔絕外界聲音的效果良好。在實際搭配的過程中，尚覺得竹笛聲響於空間中的殘響略多一些；且由於影音藝術實驗中心使用的 GENELEC 喇叭搭配了極穩定的立架，意即極度沉重，基於

安全考量，並未將其移動到演奏者前方，而是放置在演奏者的鄰近後方。所以實驗過程中，產生了數次的回授(feedback)聲響，電聲再度被竹笛演奏者的領夾麥克風收入，形成預想設計外的不必要的雜音。

4.3.3 演藝廳

交通大學演藝廳位於學生活動中心二樓與三樓，可容納 250 人，如下圖所示。。



圖 26：交通大學演藝廳

資料來源: <http://blog.alumni.nctu.edu.tw/plate/web/mediamsj.jsp?UI=theater&MI=8060>

教授與個人並未使用現場的聲音廣播與收錄系統，而是將原本使用的器材完全移動至此進行展演。如一般經驗所知的，器材換用之後必須付出相當時間重新調整參數，且有效果改變的風險存在。這種改變如同將樂器演奏者慣用的樂器撤換，除非時間充裕，否則不建議換用器材。在這個空間進行實驗所面臨的新問題是：監聽喇叭的出現。在這相對前述兩者明顯較大的空間中，播送聲音予聽眾的喇叭稱作外場喇叭，應設置於竹笛演奏者之前。內場監聽喇叭則是面對著竹笛演奏者，僅供演奏者監聽搭配。最常出現的狀況是，個人無法清楚聆聽到監聽喇叭的聲響，考慮其原因為，第一，竹笛音量本身即非常大，監聽喇叭放置在舞台地板上，聲響傳送到演奏者耳中的效果並不清晰。第二，外場喇叭播送的聲音在空間中反射之後，產生使演奏者感到混淆的環境音。所以針對這個問題，或可考慮搭配無線耳機的掛載，方能直接解決這個問題。

4.4 創作過程遭遇之問題探討

在作曲者的創作過程中，在器樂寫作上遭遇到音域設計、音色製造與技巧使用的數個問題；藉由與個人的交流互動討論，逐步將這些問題克服，創造出符合作曲者本人期望的音樂作品。

在音域的設計方面所遭遇到的首要問題是，竹笛的音域相較於其他管樂樂器(如長笛)來得狹窄許多，所以在音樂進行中，必須換用其他調性與音高區域的竹笛，方能演奏出寬廣的音域。但是換用過程中隨附產生了兩個問題：

1. 竹笛以自然指法所能吹奏出的半音組合數量相當有限；為了增加音域將某些音高吹奏出來而換用別支竹笛，卻因此不得不使用半孔指法來吹奏這些音高，進而影響了音高的準確性(因為某些以半孔指法吹奏出的音高，會附帶產生氣流的噪音，且響度較其他自然指法產生出的樂音相對來得孱弱許多，造成音樂語氣上面的斷層。有時演奏者為了同時兼顧聲音的響度與音高，不得不略微做出音高上的妥協，使得該音高樂音略微偏高或是偏低)。解決如上問題的方法有，不將半孔指法所能製造出的音高當作準確音高的用途，而是做為技巧上的經過音(如滑音);或是在該音上增加周遭的裝飾音，藉鄰近的音來強調出該音高。
2. 換用竹笛所需要的時間，會造成音樂的中斷：為了彌補這個重大的缺點，在Max/MSP的電聲處理設計上就必須注意，利用電聲來銜接中斷的時間，使音樂得以繼續流動。

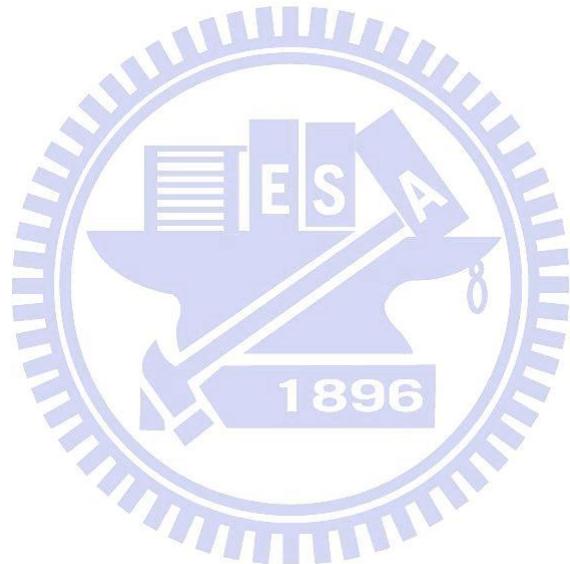
在音色的創造方面，曾教授致力於尋找有別於傳統技法所能奏出的新音色，教授與個人想方在笛膜的鬆緊以及紋路上做若干的調整，並嘗試吹氣以外的奏法，如吹奏中佐以人聲哼唱，或是將笛膜壓鬆，往管身內哼唱人聲，試圖造成響度極大且破碎的人聲；這個方法存在著一定的風險，在現場演奏中，按壓笛膜需要一定的時間，一時按壓力道錯誤，將使得笛膜破碎，音樂將完全中斷，竹笛無法再行吹奏或是產生任何其他的聲響。

對於過去未曾吹奏或接觸過竹笛的作曲者而言，容易對不同笛膜狀態的笛音感到疑惑。過緊的笛膜造成近似於長笛的聲響，過鬆的笛膜在高音域的聲響上容易產生細碎的

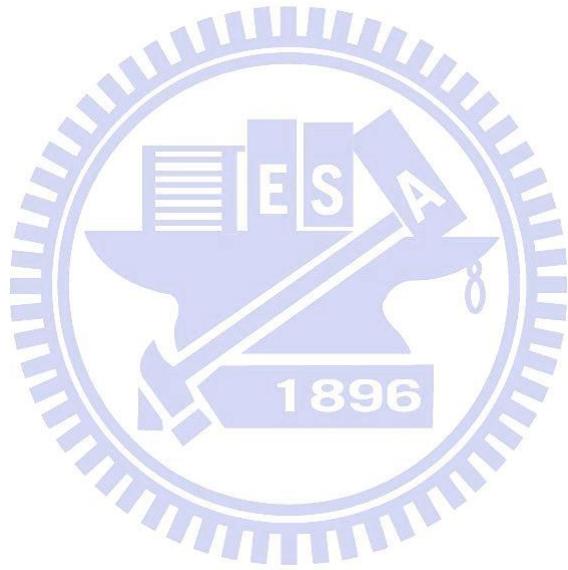
噪音；再者，笛膜會隨著連續吹奏的時間增加或是舞台燈光的照射而變鬆，使得作曲家無法獲悉竹笛的聲響全景。

為此，作曲者必須經過熟習竹笛的演奏者做多次的示範並與各種笛膜狀態的調整後的聲響做聽覺上的歸納，方能順利寫出一首長於三分鐘的竹笛作品（因為演奏時間越長，竹笛音色改變的機率越大）。

承上，個人與作曲者本人——曾教授的訪談內容將置於



附錄一，詳實記錄作曲者對竹笛樂音結合電聲的思考，以及對於聲響的設計與美感，並提出作曲家個人的未來展望。



五、結論與未來展望

5.1 結論

當代互動音樂的科技藝術，在形式上極具彈性。它可是單純的電子電路樂器的獨奏或是合奏、電腦與電腦之間的自動協調、電腦與器樂或是電子電路樂器與器樂一只要是符合創作者本身的意志，任何形式都有可能產生。

電腦預置音樂與器樂的組合，是由作曲家本身在電腦上做聲音的雕刻處理，並與預錄好的器樂部份重疊播放，便可進行初步的效果實驗，最後在舞台上僅需播放聲音檔案，由演奏者獨力演出。有別於電腦預置音樂與器樂的組合，成功演出這首現場即時互動音樂作品的重點在於，程式的預先設計與收取聲響後的運算結果實驗。

因此，演奏者需要全程參與這個實驗過程。個人與曾教授進行了為期近一個月的合作搭配，由個人吹奏出笛音後，與曾教授共同聆聽程式運算後的聲響效果，並討論是否修改演奏方法與音樂內容，並由曾教授修改程式內容。由前述，產生電聲的時間點(預置或是現場運算)將影響演奏者與作曲家(程式設計者)的合作模式，這是參與了《Extesion II》的實踐過程後所得到的結論。

《Extesion II》作為電腦與竹笛的即時互動音樂作品，將實踐重點放在「延伸」二字上，在了解了竹笛本身的限制後，利用電腦科技在這些限制點上一一改善延伸。

竹笛本身的限制在於，單一枝竹笛的音域範圍相對於長笛而言較窄、以自然指法所能吹奏出的半音組合太少。這在作曲家曾教授的寫作上面，產生音域上的限制與阻礙。為了加大音域，作曲家採用了三支竹笛的輪流換用做音域的擴增；但是演奏者需要一定的時間來做轉換竹笛的動作，這將造成音樂進行中的間斷。於是，電腦科技在這些中斷的時間間格中，利用前述的音長延伸手法，將中斷的段落之間做了很好的接著。

在自然指法所能吹奏出的半音組合太少的問題上，採取了竹笛改造以增加半音組合數目的方式，是為六孔竹笛的延伸—八孔竹笛的使用。

再者，將竹笛音樂由絲竹樂團或是所謂的大型國樂團中提取出來，僅利用竹笛音色在電腦上做素材的複製、再造或空間聲響處理的動作，再與現場竹笛演奏和鳴，是一種有別於前述兩種樂團的合奏或獨奏形式，為竹笛的表演模式帶來形式上的延伸。

5.2 未來展望

個人藉由參加《Extesion II》的實踐過程，學習到 Live Electronic Music 的設置手法，這也是個人首度以現場演奏器樂與電聲搭配的可貴經驗。個人將於未來盡力爭取類似的合作機會與絲竹樂團的合作機會，取代大型國樂團的展演活動。個人自十餘歲即存在於心中的對於大型國樂團之存在理由的疑問，以及對於其聲響效果的質疑，在經過這次的合作經驗後並未得到解答。

代替解答而得到的，是一種觀察：聲響是否乘載人的意志？聲響乘載了人的意志之後，是否能表現出原始的意志？如果無法，那麼，意志被轉化成什麼形貌？利用什麼手法可以達到意志的轉化？樂團的大小與組成樂器與配器（包含電聲），是否存在合理性與否的問題？如果具有合理性與否的問題，將由何人為其下定義？還是所有質感都存在於個人個體的聽覺與價值觀中？是否有凌駕主觀之上的質感定義？是器物科技牽引聲響的改變，抑或是聲響牽引著器物科技的改變？或者兩者皆然？這些問題將會是個人在未來思考及聆聽行為中，不可或缺的發想重點。

參考文獻

- [1] 張大凱, 電的旅程. 2011, 台灣: 天下文化.
- [2] Puckette, M., The Theory and Technique of Electronic Music. 2007: World Scientific Publishing Company.
- [3] von Helmholtz, H. and A.J. Ellis, On the Sensations of Tone: With a New Introd. (1954) by Henry Margenau. 1954: Dover Publ.
- [4] Lalitte, P., The Theories of Helmholtz in the Work of Varèse. *Contemporary Music Review*, 2011. **30**(5): p. 327-342.
- [5] Zölzer, U., Digital Audio Signal Processing. 2008: John Wiley & Sons.
- [6] Patterson, D.A. and J.L. Hennessy, Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface. 2009: Elsevier Morgan Kaufmann.
- [7] Maconie, R., The works of Karlheinz Stockhausen. 1990: Clarendon Press.
- [8] Debost, M., The Simple Flute: From A to Z. 2002: Oxford University Press.
- [9] 曾毓忠, 電腦科技在我個人創作中的角色探討. 台灣當代音樂生態國際學術論壇論文集, 2012.(unpublished)
- [10] Allen, J.B. and D.A. Berkley, Image method for efficiently simulating small-room acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1979. **65**(4): p. 943-950.
- [11] Grove Music Online. 2005: Oxford University Press.

附錄一

1. 請問您選擇中國竹笛進行即時互動音樂創作的原因是?

第一個原因是因為這種曲目少有，並且基於創作者的自我期許，以作曲大師 Berio 的 Sequenza 作為模範，盡可能多為器樂與電聲的編制進行創作。

第二個原因是，西方樂器很多即時互動的創作曲目，但是為東方樂器所寫作的創作則相對少有，所以個人也希望對東方樂器的創作有所貢獻。

2. 請問您覺得中國竹笛什麼部分最讓您感到興趣?

笛子的笛膜以及其延伸出的音色上特殊性與獨特性最令我感到興趣,笛子的管身是竹材,笛膜是蘆葦膜，所以竹笛真的非常特殊。

3. 請問您在竹笛的器樂創作上,什麼部分是最困難的?

過去的創作經驗多半是為鋼琴、長笛所作;它們的音域很寬廣，竹笛相對而言音域很小。我們一般的器樂作曲是為西洋作曲,對東方樂器的認識較少且陌生,加上竹笛的動態或力度掌控不易，笛膜的鬆緊更敏感的隨著天候改變，在音色上的細微度極高，所以在竹笛器樂的寫作上確實不易。

4. 請問您在軟體設計上,想利用科技呈現出什麼樣的聲響美學?

比如說有別於傳統演奏做不到的，比方說一隻竹笛的吹奏搭配電聲則可以創造出豐厚的織體，或是延展出的超現實的聲響美學，也可模仿聲音的姿態，更創造出異質的空間感，這些都是傳統演奏所做不到的聲響效果。

5. 請問您如何將電聲與竹笛聲響融合?

融合是個問題。由於演奏上的竹笛與電聲是同步的即時互動關係，所以素材的來源基本上都是相同的(也就是來自於現場吹奏出的竹笛聲響)電聲則是即時捉取了竹笛聲響

後，對其做變化處理，異中求同、同中求異；如此在素材的產生中，並不會有聲音來源不同的衝突問題。

6. 請問您對當代竹笛器樂寫作的建議是？

必須確實掌握竹笛音色的不可捉摸性，樂器的性能掌握得越好，可寫得越好。
多與演奏家做互動交流，也可增加對樂器的認識。就像此次的合作經驗，增加對笛子寫作的認識

7. 請問您未來還想為什麼樂器進行即時互動音樂的寫作？

作曲家的自我期許，都是盡可能為所有樂器做創作。
目前已經有為八首器樂與電子音樂所寫作的作品。即時互動的作品則有四首。
以民族樂器而言，首先是為琵琶所作，再來是笛子，之後則希望是為古箏創作。

8. 請問您覺得預置電聲與即時互動的音樂的差別在？

它們的差別在於，強調的部份不同。基本上不論是預置音樂或是即時互動音樂，它們的聲響素材來源是相同的，因此自然存在著素材之間內在的對話(interplay)。
預置音樂做的是電聲與竹笛聲響精確的契合設計，在 studio 之中進行精準的雕刻，作為演出的準備。

即時互動音樂強調的是表演藝術，強調現場的程式電聲與器樂演出者的互動，是一種新的表現模式，舞台張力與戲劇性較大

9. 請問您對電聲搭配竹笛與傳統國樂團搭配竹笛上的不同點的看法？

沒有任何合奏或編制的組合是相同的。
在竹笛搭配電聲的狀況下，可以節省人力，聲響的可塑性大，任何數目的重奏都可以藉由程式寫作設計出來。

個人對新的模式較對傳統國樂團的模式較有興趣。國樂團與竹笛搭配的模式基本上像是協奏曲的概念或伴奏曲的概念，素材是封閉固定、不變的；音樂的因素被控制住，在演出上相對安全。

在搭配電聲中，竹笛的可塑性大，演出當中的內容與內涵形式，是可以隨時變化的，最有趣的是這種搭配模式所帶來的不確定性，在演出當下失敗的機率相對較與傳統國樂團的搭配為高。

10. 請問您在創作西洋長笛與中國竹笛的過程中，共通點是？

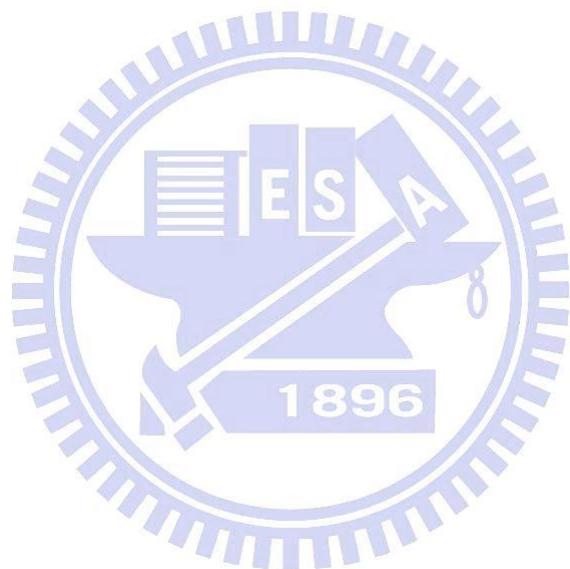
共通點是：它們都是管樂樂器。基本上在樂句的掌控寫作很類似，分句多以換氣為考量，結構高潮的設計也相當類似。

11. 請問您在創作西洋長笛與中國竹笛的過程中，差異點是？

因為這兩個樂器有幾點特徵上的不同，比方說：

音域的差異，中國笛的寫作過程由於其音域限制，造成樂句的投射無法太遠；半音基本上不如西洋長笛如此精細的器械設計來得方便演奏，所以在竹笛的創作過程中，樂思飛翔的空間比較小，限制顧忌也較多。

附錄二



A New Expressive Controller for Bamboo Flute

Chih-Wei Wu

Master Program of Sound and
Innovative Technologies
National Chiao Tung University
1001 University Rd, Hsinchu,
Taiwan 300, ROC
ilubunk.smt98g@nctu.edu.tw

Hua-Yen Pan

Master Program of Sound and
Innovative Technologies
National Chiao Tung University
1001 University Rd, Hsinchu,
Taiwan 300, ROC
bream.smt99g@nctu.edu.tw

Tzu-Heng Chi

Master Program of Sound and
Innovative Technologies
National Chiao Tung University
1001 University Rd, Hsinchu,
Taiwan 300, ROC
davidchi.smt99g@nctu.edu.tw

ABSTRACT

This paper presents a new controller to enhance the capabilities of the conventional bamboo flute. The main goal of this controller is to provide users intuitive ways to manipulate the sounds from a bamboo flute in real-time performances, rendering more possibilities for new musical expressions, and to break through the acoustic limitations through signal processing. The bamboo flute is extended with a microphone and controller, which are linked to a computer for parameter manipulation and digital signal processing. The controller was designed as a portable device that could be installed on any bamboo flute without disturbing its original acoustical features. The device is constructed by low-cost components, and the installation process is fairly simple. The external controls of the proposed controller are achieved by the commercial model of microcontroller, Arduino, and the real-time signal processing is implemented in the Pure Data (PD) programming environment.

Keywords

Bamboo flute, Augmented instruments, Controller

1. INTRODUCTION

Musical instruments had long been an important way for human beings to interact with sounds. With proper design and craft, delicate instruments will be able to reproduce pleasing sounds, enchanting melodies, and beautiful pieces of music. Traditional instruments offered people great experience of sound control due to its simplicity and uniqueness, but their sounds and usage are limited by their physical characteristics. By the presents of computational tools, these constraints were overcome by the techniques of digital signal processing (DSP). Myriads of signal processing methods enabled people to embody their imagination of sounds through sound synthesis methods [1, 2], and fostered the development of electronic instruments[3].

Electronic instruments give users more control over sounds by adjusting the essential parameters for sound producing, and their sounding mechanisms could be freed from the constraints of physical world. Some of the electronic instrument based on physical modeling could provide realistic sounds while retaining the possibilities to create sounds beyond imagination [4-6]. However, I/O interface used for electronic instruments still differed from acoustic instruments, and some of the subtle playing skills trained for traditional instruments cannot be adapted to electronic instruments easily.

Augmented instrument is another approach which aimed to enhance the performance of traditional instruments. Unlike electronic instruments, augmented instruments preserved the physical or acoustical features of the original instruments, giving musicians the familiarity of their instruments while providing extra functions to create innovative sounds. Previous works had shown the infinite possibilities of such hybrid instruments[7-9]. By extending the inherent instruments with sensors or controllers, additional gestural controls for musical expressions will become available, allowing users to program special sound producing mechanisms for their chosen instrument.

Almost any instrument could be augmented to some degrees by installing addition sensor or controller, and the applications could be versatile according to their purposes. Some of the augmented instruments are designed to integrate new sounding mechanism into the traditional instrument and help the instrument to produce new sounds physically. For instance, a recent work had been proposed which augmented the acoustic piano with electromagnetic resonators, enabling the acoustic piano to produce continuous string-like sounds naturally [10]. Some of the augmented instruments are designed to help users play certain techniques with different approaches [11]. Most of all, these hybrid instruments could be integrated into any form of multimedia arts easily for their high interactivity and compatibility to both acoustical and digital environment [12].

This paper proposed a new controller designed specifically for bamboo flute, offering users more ways to modify the sounds easily in real-times performances. The sound of the original bamboo flute was processed and altered in Pure Data. The ultimate goal of this controller is to create a portable device that could be installed on any bamboo flute, giving users more freedom in musical expressions, and to overcome certain acoustical limitations of bamboo flutes. More details about the bamboo flute and designing concepts will be elaborated later in this article.

2. MOTIVATION

The bamboo flute is a popular woodwind instrument which is wildly used in traditional Chinese music and Chinese plays. The clean and high pitched sound from bamboo flute makes it one of the most representative instruments in Chinese culture. The flute was entitled “Bamboo flute” because most of them are made of bamboo. Despite of the fact that some of the flutes are made of other materials such as stones, woods...etc, the flutes are still known as bamboo flute due to the excellent and characterized sounding effects from bamboo.



Figure 1: The Chinese bamboo flutes.

The typical bamboo flutes are shown in Figure 1. There are two basic types of bamboo flutes according to their pitch scale and general size. The first type is called “Bang-Di”. It is basically shorter in length and capable of producing higher pitches. The tone from this type of bamboo flute is brighter and sharper. The other type is called “Qu-Di”. It is longer in length and lower in pitch produced. Opposite to the first type, the tone of Qu-Di is more smooth. The bamboo flute is a transposing instrument, and the tonality of every flute is marked on the side of their bodies. Generally, the bamboo flutes can cover pitch scale up to two octaves plus one whole tone.

One of the most important characteristics that differs bamboo flutes from other flutes is the use of flute diaphragm. Figure 2(a) shows the appearance of flute diaphragm. It is a thin film extracted from the reeds, and it is attached to the hole next to the embouchure of the bamboo flute. As shown in Figure 2(b), the flute diaphragm is stuck on the flute to seal the hole so that the bamboo flute can produce correct pitches. According to previous study [13], the tension and wrinkles on the diaphragm will greatly affect the sound quality of the flute. As a result, the flute diaphragm plays an important role for defining the unique sounds from bamboo flutes.

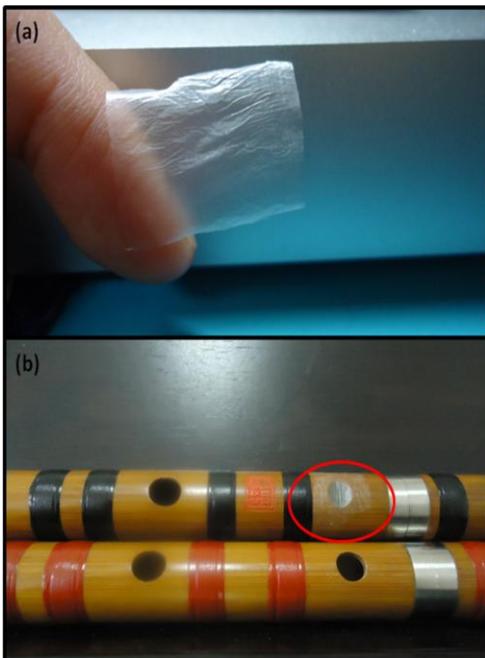


Figure 2: (a) The flute diaphragm, (b) The position to attach the flute diaphragm.

Bamboo flutes have characteristic sounds and fully developed playing skills through centuries of evolution in Chinese history. However, like the most of the woodwind instruments, bamboo flutes also have certain limitations such as monophonic, discrete pitches...etc. With the concept of augmented instruments, these limitations could be solved digitally, and the possibilities of bamboo flutes could be increased by augmenting additional components to the conventional bamboo flutes.

The idea of augmenting a flute had been proposed previously, and a standard Boehm flute was transformed into a hyper-flute successfully[14]. The proposed instrument was also used for composition and improvisation[15]. However, most of the works about augmented instruments are mainly focused on western instruments, and fewer studies had been conducted on eastern instruments. Therefore, in this paper, we proposed a new controller designed specifically for bamboo flutes, providing users more ways to produce expressive sounds from its original instruments. The finished device is expected to be used in real-time performance for any kind of music or multimedia arts.

3. DESIGN

3.1 System Configuration

The system configuration is shown in Figure 3. The proposed controller was designed to be an integrable component that could be installed directly on any bamboo flutes, therefore, no destructive effects will be caused to the flute during the process of assembling and disassembling. A microphone was used to receive the wave signals from the bamboo flute, and the signals were transmitted to the computer for later use. The buttons and controllers on the augmented device, including a sustain pedal, will send out control signals to a microcontroller (Arduino Nano) which is attached to the flute body, and the microcontroller will gather and transmit those signals to the computer through an USB cable.

Both wave and control signals were sent to the computer and processed in the programming environment, Pure Data. The control signals were mapped to different variables of signal processing effects, and the recorded wave signals will be processed accordingly. Finally, the processed signal will be sent to speakers and become audible to the listeners.

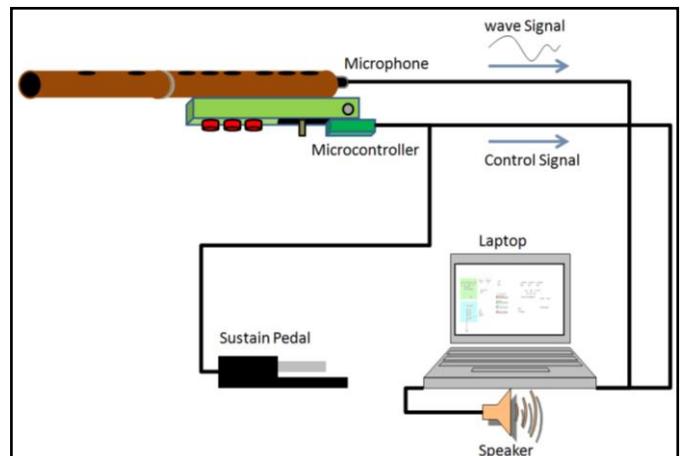


Figure 3: The system configuration of the augmented bamboo flute.

3.2 Control components

Figure 4 shows appearance of the proposed device and the control components on it. The size of the device is 33.6 x 2.5 x 2.8 cm, and the structure is made hollow with only simple electric wires inside. As a result, the overall device is slightly smaller than the bamboo flutes and easy to be carried around. The functions and details of each component will be introduced in the following paragraphs.

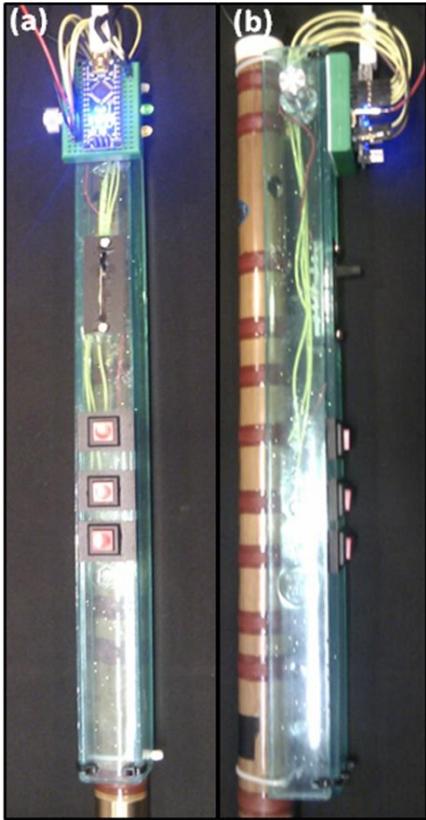


Figure 4: (a) Front view, (b) Side view of the proposed controller.

3.2.1 Push Switches

Three push switches were installed on the bottom of the control box. The position was chosen so that user will be able to activate different effects by pushing down the buttons with their left thumb.

3.2.2 Slider

A slider resistor was located right next to the push switches. This positive will allow users to adjust it by their right thumb in real-time performance. This slider will send out changing values from 0 to 1.

3.2.3 knob

The knob was installed on the side of the control box. By rotating the knob, the resistance value will be changed. The position of the knob was chosen because the adjustment of it could not be achieved easily by a single finger, thus, it was located on the side in order to avoid causing any interference while operating the push switches and the slider during the live performances.

3.2.4 Sustain Pedal

A commercial model (M-audio SP-2) of sustain pedal was rewired as the sustain controller in our device. The pedal is shown in Figure 4. This pedal provides different resistance according to its position, and the value could be mapped to different parameters in Pure Data.



Figure 5: M-audio SP-2 sustain pedal

3.3 Arduino

A commercial microcontroller, Arduino Nano, was used as the interface for the control buttons to communicate with the computer. This specific model was chosen because of its compact size and sufficient I/O ports for the hardware setup.

4. PURE DATA IMPLEMENTATION

The signals are processed in the programming environment, Pure Data. The signal flowchart is shown in Figure 6. When a wave signal was sent into the PD patch, the signal will be modified according to the status of different parameters. The components described in the previous section are used to control those parameters in real-time.

When activating the effects through the control buttons, the sequential control of the effects was taken into account. For instance, if the user first activates effect 1, and then effect 2, the resulting signal will be different from the one generated in reverse order. The effects mapped in the patch will be elaborated respectively.

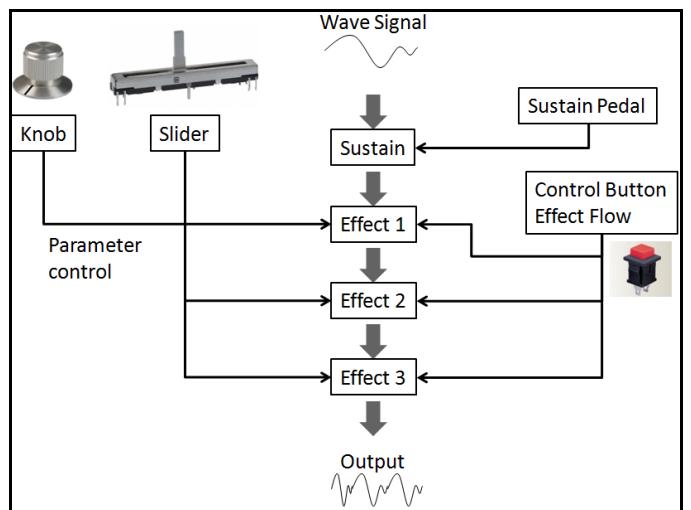


Figure 6: The signal flowchart in Pure Data.

4.1.1 Sustain Pedal

The sustain pedal integrated in this device seeks to provide a sustain effect similar to the piano sustain pedal. The sub-patch was adapted from the reverb example in Pure Data. By chopping the incoming signal into different pieces and playing those pieces in different time delay, the density of the sound could be increased. Finally, the sustain effect of the current sound could be achieved by looping of the intensified sound pieces. The length of the sound could be adjusted through the control of the decay factor in the loop.

4.1.2 Delay

The delay effect in this patch was realized through a simple delay write and delay read loop in PD. When delay effect was activated, the knob will be used to control the gain the delayed sound, and the slider will be used to adjust the delay time between the original and the replicated sound.

4.1.3 Tremolo

The tremolo effect creates sounds based on principles of amplitude modulation (AM). When tremolo effect was turned on, the knob will be used to control the rate of the modulating signal, and the slider will be used to control the depth of the modulating amplitude.

4.1.4 Pitch Shift

The pitch shift in the patch was to shift the pitch of the sound in real-time. The shifting range was from twelve semitones below to twelve semitones above, and the corresponding parameter was controlled through the adjustment of the slider.

5. CONCLUSIONS

Currently, we have augmented the bamboo flute successfully with several chosen effects. These effects will provide more options for performers to express their musical ideas, offering more materials for music composition and improvisation, and break through the limitations of the acoustic bamboo flutes. The sounds in this paper are generated through signal processing techniques. However, more efforts will be put on the design and modification of the flute diaphragm due to its importance for defining the sound of the bamboo flutes. Ultimately, we would like to gain more control over the sound of bamboo flutes acoustically through the adjustment of this unique sounding component.

The device described in this paper is still a prototype. In the future, we will continuously improve the signal processing patches in order to generate smoother sounds with natural transition between effects. Hopefully, this device will bring

more energies into innovative music and other forms of artistic performances.

6. ACKNOWLEDGMENTS

Our special thanks to Professor Liu for providing precious advises in the process of developing this project.

7. REFERENCES

1. Chowning, J., *The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulation*. Journal of the Audio Engineering Society, 1973. **21**(7): p. 526-534.
2. Grey, J.M. and J.A. Moorer, *Perceptual evaluations of synthesized musical instrument tones*. The Journal of the Acoustical Society of America, 1977. **62**: p. 454.
3. Smith, J.O., *Virtual acoustic musical instruments: Review and update*. Journal of New Music Research, 2004. **33**(3): p. 283-304.
4. Smith, J.O. and S.A. Van Duyne. *Commutated piano synthesis*. 1995.
5. Karjalainen, M., V. Välimäki, and Z. Jánosy. *Towards high-quality sound synthesis of the guitar and string instruments*. 1993. INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ACCOCIATION.
6. Bilbao, S., *Percussion synthesis based on models of nonlinear shell vibration*. Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on, 2010. **18**(4): p. 872-880.
7. Overholt, D. *The overtone violin*. 2005. National University of Singapore.
8. Burtner, M. *Noisegate 67 for metasaxophone: composition and performance considerations of a new computer music controller*. 2002. National University of Singapore.
9. Impett, J. *A MetaTrumpet (er)*. 1994. INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ACCOCIATION.
10. McPherson, A. and Y. Kim. *Augmenting the acoustic piano with electromagnetic string actuation and continuous key position sensing*. 2010.
11. Berdahl, E., et al. *A physically intuitive haptic drumstick*. 2007.
12. Bongers, A., *Interaction in multimedia art*. Knowledge-Based Systems, 2000. **13**(7): p. 479-485.
13. LIU, H., Y. ZHAN, and X. QI, *Technique Analysis of Flute Diaphragm for Chinese Bamboo Flute*. Journal of Tangshan Teachers College, 2008.
14. Palacio-Quintin, C. *The hyper-flute*. 2003. National University of Singapore.
15. Palacio-Quintin, C. and M. Zadel, *INTERACTIVE COMPOSITION AND IMPROVISATION ON THE HYPER-FLUTE*. 2008.