

進入數位音樂創作的天地

Entering the World of Digital Music Composition

黃志方

Chih-Fang HUANG

國立交通大學音樂研究所音樂科技組助理教授



圖1 Theremin親自演奏泰勒明樂器
(圖片來源: EMF Institute)

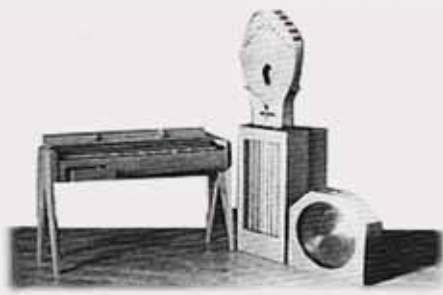


圖2 Ondes Martenot樂器 (圖片來源: EMF Institute)

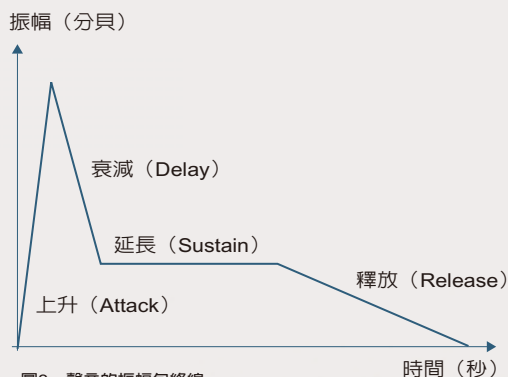


圖3 聲音的振幅包絡線

壹、電腦音樂的過去與未來

「數位音樂」(Digital Music) 或稱「電腦音樂」(Computer Music) 其實是自1919年泰勒明(Leon Theremin)所發明的第一個電子樂器以來,經過近一個世紀的發展與演化所逐步形成的音樂形式。此種音樂形式也帶來了一些衝擊,包括了新的樂器定義、新的音樂應用、新的創作方法以及新的音樂表現方式等,從古典音樂、當代新音樂創作、流行音樂,乃至於民族音樂的重新創作(Re-composition)等都可以看到它的存在與影響。由於二十世紀科技的突飛猛進,特別是電子通訊與機電的技術發展造就了四〇年代開始的電子音樂創作,包括:

一、早期電子樂器製作

二十世紀早期的電子樂器首推1910年代的俄國人泰勒明,利用電波差分(Hetrodyne)的方法驅動真空管,創造出世界第一部電子樂

器的音高與音色,也成為電影配樂的主奏樂器。

隨後法國人馬泰諾(Maurice Martenot)在1928年利用泰勒明的樂器加上鍵盤而改良成為另一種樂器,也就是昂德馬泰諾(Ondes Martenot),其中作曲家梅湘的作品「艷調交響曲」(Turangalila-Symphonic)也使用了這個樂器。早期的電子樂器基本上都是單純的獨奏樂器,音色變化不大,但是卻是全新的樂器發聲技術。雖然上百種電子樂器在二十世紀初開始發展出來,但是真正流傳下來繼續使用的並不多,端賴優秀的演奏家與作曲家來發揚光大。這也可以明顯看出人類利用電子音樂試圖改變音樂表現力的這種企圖心。

二、磁帶音樂與具象音樂

1940年代後磁帶音樂(Tape Music)逐漸成形,成為一種新的電子音樂發展的方向。它可說是一種間接的聲音合成方法,利用所採擷錄製的聲音樣本(Sound

Sample),透過錄音工程技術來剪輯,執行多軌併貼以創作音樂。其中法國作曲家薛佛(Pierre Schaeffer)於1948年利用錄音磁帶取樣火車有關的具體聲音,包括汽笛聲、軌道上的行進聲音以及各種相關的音響,透過各式剪輯技術,在巴黎廣播電台創作出著名的「火車練習曲」(Etude aux chemins de fer),奠定了具象音樂(Musique Concrete)的發展方向。事實上「具象」(Concrete)這個字除了是使用環境聲響和「抽象」一詞相對之外,也有類似鋼筋混泥土「混成」的意義。例如我們可以將大自然的音響錄製一些樣本後,透過剪輯的技術將聲音產生各種形變,再以多軌並列與混音的方式逐步地整合創造出想要的音樂音色與結構。

另一方面振幅包絡線(Amplitude Envelope)可決定樂器音色之演奏法(Articulation)特色,例如擊樂特性之音色具有較短的包絡線,上升(Attack)與衰減(Decay)均十分快速;而一般管

絃樂器特性之音色具有較長且可隨演奏者變化之延長（Sustain）與釋放（Release）時間。由錄音磁帶所剪輯組合而成的各式聲音，可透過磁帶剪輯，也就是振幅包絡線的控制，可以對於錄音帶取樣的基本音色產生變化，最後透過多軌編輯創作出當時可謂是前所未有的聲音藝術。

錄音磁帶的剪輯方式很多，只要在磁帶樂句開始或是結束的兩端剪出不同的形狀，即可對於聲音振幅包絡線的開始段落「上升」（Attack）或結束段落「釋放」（Release）產生作用，因而營造出不同的音色變化。基本上如圖4所示，（A）是產生緩和音色的剪輯方法，（B）是對於混合兩種聲音產生緩和音色的剪輯方法，而（C）是產生突然而銳利音色的剪輯方法。



圖4 錄音磁帶剪輯方式

除了磁帶剪輯外，具象音樂的基礎處理技術尚包括：

- （一）循環（Loop）：使用一段磁帶將頭尾接合後將所採樣的聲音循環播放。「循環」可產生音樂在節奏上的固定型態，也可產生如連續長音（Drone）等音樂上的功能。
- （二）聲音伸縮（Stretch and Compression）：透過帶速的改變可以將聲音「拉

長」（Stretch）或是「縮短」（Compression）。「拉長」可使聲音變低，而「縮短」可使聲音變高。若是將帶速作連續變化的「拉長」或是「縮短」，則聲音會產生「滑動伸縮」（Glissando Stretch）。

- （三）倒轉（Reverse）：磁帶的「倒轉」可將振幅包絡線（ADSR Curve）逆行，也就是變成RSDA Curve，因此聲響上原本緩和的音色在「倒轉」後的尾端會變得緊張而急促，造成音色上的改變。

直到電腦普及的今日，吾人仍利用這些具象音樂的剪輯與處理手法精神來創作「數位具象音樂」，所不同的是數位音樂的處理更為便捷，可能性更多。

三、電子合成音樂

1960年代以後，電子合成器發展迅速，造就了不少電子音樂的創作，並延伸了現代音樂的表現手法與可能性，而聲波可透過各式振盪器（Oscillator）的組合而直接產生，例如電壓控制振盪器（Voltage Controlled Oscillator, VCO）可以產生一些所謂的「基礎波形」，包括：正弦波（Sine Wave）、方波（Square Wave）、鋸齒波（Saw Tooth Wave）、三角波（Triangle Wave）等，再透過調變信號（Modulation Signal）所需的低頻振盪器（Low Frequency Oscillator, LFO），可以完成所需之調頻與調幅等各式聲音合成。由振盪器與濾波器所組合成的電子合成器可產生各式聲音的波形再加上振幅包絡線（Amplitude Envelope）的設計與控制，可以完整的產生所需的音

色。

「正弦波」是世界上最單純的聲音，也就是所謂的「純音」（Pure Tone），沒有任何泛音，因此沒有豐富的音色成分，音叉或是電子振盪器所產生的原始聲波就是正弦波。但是透過不同大小振幅與頻率的正弦波的加乘（Superposition），我們卻可以合成出所需要的各種音色，這就是所謂的「加法式合成」（Additive Synthesis）。事實上方波、鋸齒波等聲音波形都可由不同的正弦波合成出來。圖5為1964年Robert Moog利用振盪器、濾波器等模組所發展出來的電子合成器，功能與體積都同樣龐大。



圖5 電子合成器（圖片來源：EMF Institute）

四、電聲音樂（Electroacoustic Music）之發展

在中國滿洲出生並同時擁有工程與作曲的背景的烏沙切夫斯基（Vladimir Ussachevsky），在美國與魯安寧（Otto Luening）和巴比特（Milton Babbitt）等人所成立的哥倫比亞/普林斯頓電子音樂中心，成功地整合了法國式的具象

音樂以及德國式的電子音樂，一方面利用錄音磁剪輯技術，同時也運用電子合成器和振盪器。綜合使用的結果造就了「電子」(Electro)與「聲學」(Acoustics)兩者整合式的音樂，也就是所謂的「電聲音

樂」(Electroacoustic Music)。在他1968年的作品「電腦音樂作品第一號」(Computer Piece #1)可以察覺到磁帶所取樣的鑼、講話聲等，可以和電子振盪器整合並利用各種「形變」(Transformation)

反覆交互使用。電聲音樂可以是預置的「錄音帶音樂」，也可以是現場即時的「現場/電子音樂」，而這兩個類別下也有更多的分類，如圖6所示。

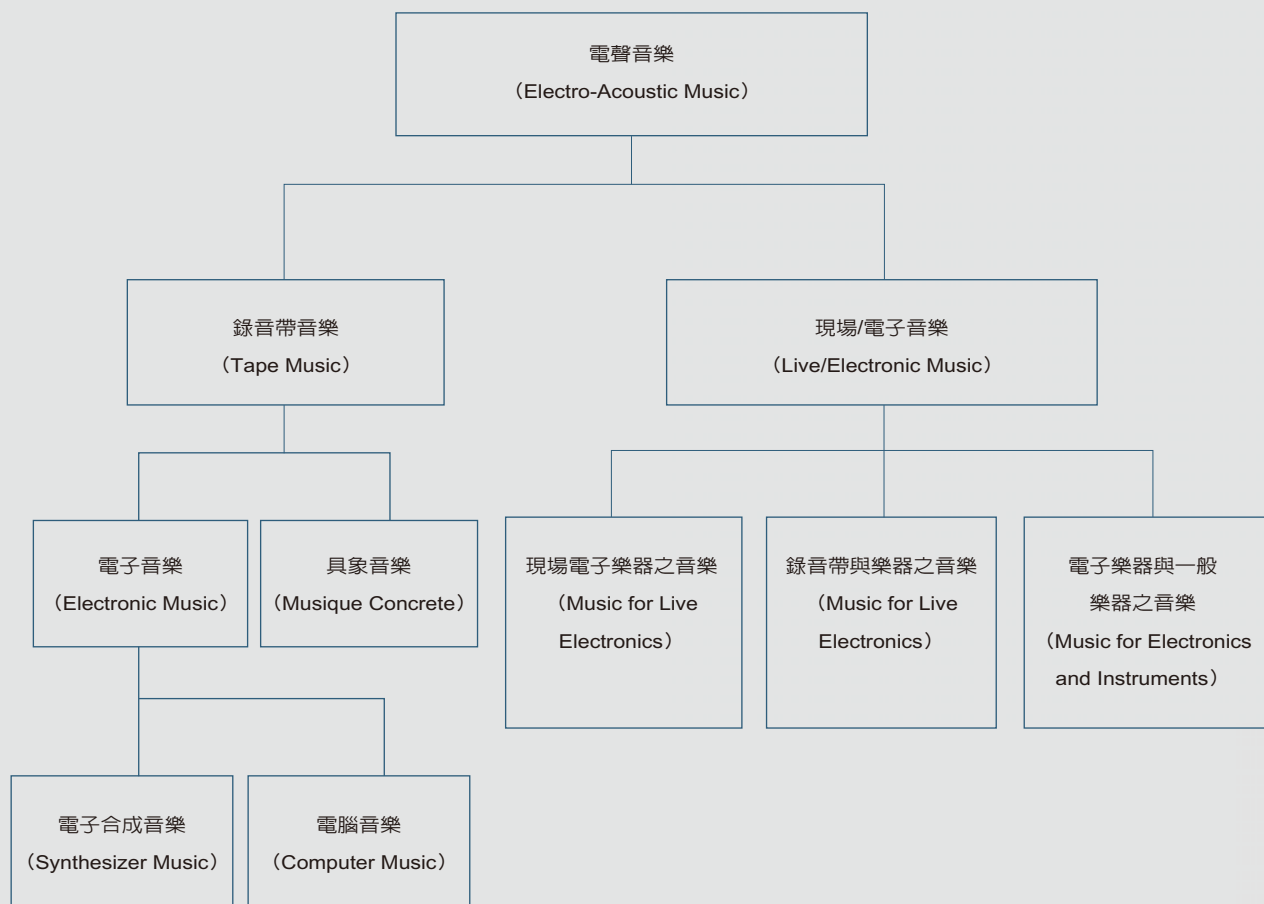


圖6 電聲音樂的整合與分類

五、數位音樂時代的來臨

二十世紀五〇年代初期所發展的第一代真空管電腦，因為功能、體積、價格等問題，並未真正將數位資訊帶入家庭。直到七〇年代的IC積體電路以及八〇年代的超大型積體電路(VLSI)問世以後，電腦逐漸大量地使用於民生工業，造就了九〇年代以後PC

產業的蓬勃發展。電子音樂也因為數位時代的來臨，使得許多電子元件數位化、PC化，因此「電腦音樂」或所謂的「數位音樂」等名詞也就逐漸的取代了原先「電子音樂」的名稱。特別是八〇年代末期MIDI (Musical Interface Digital Interface) 協定的產生，使得電腦音樂可以透過標準的介面來溝通與

製作，造就了流行音樂創作大量使用數位音樂的結果，而現代音樂作品中也有不少實驗性的創作與電腦音樂有關。圖7為MIDI訊息的表示格式，我們可以依據這些格式來對MIDI資訊作定義、傳輸以及儲存。

在聲音處理方面，數位化的音效處理軟體不但可以執行具象音樂

	十六 進位	頻道 (Channel)	資料	力度
MIDI鍵離開 (Note Off)	8	ch#	音高碼	Velocity
MIDI鍵按下 (Note On)	9	ch#	音高碼	Velocity
多聲部觸後處理 (Polyphonic After Touch)	A	ch#	音高碼	Pressure
控制變化 (Control Change)	B	ch#	控制碼	Velocity
音色變化 (Program Change)	C	ch#	指標	
頻道觸後處理 (Channel After Touch)	D	ch#	Pressure	
滑奏 (Pitch Bend)	E	ch#	7個低位元	7個高位元
系統專用資訊 (System Exclusive)	F	0	資料……	

圖7 MIDI訊息表示



圖8 多軌數位聲音處理軟體介面



圖9 聲音從剌激產生到認知的過程

的所有多軌剪輯功能，也提供各種即時與非即時的音效處理功能。如圖8所示，多軌數位聲音處理軟體具有完整的多軌編輯介面，有利於數位音樂的整合。

貳、數位音樂兩個主要的切入層次

數位音樂可以從兩種不同的層次切入，包括較低層次的物理層，以及較高層次的心理層，分述於下：

低層次功能：物理層 — 聲音合成

聲音是物理性的，它的參數僅包括振幅、頻率與時間三項。人類由聲音刺激的產生開始，經外耳、中耳、內耳（耳蝸）等聽覺器官接收後，傳輸至腦的聽覺神經系統，是一連串生理與心理的接收與認知過程，極為精細與複

雜。整個聲音的接收與音樂認知過程如圖9所示。此種轉化過程係透過聲音接收感知與音樂認知，人類可以察覺並分辨聲音的振幅大小以及頻率分布的情形，進而認知音樂的位置、響度、音高與音色。數位音樂可直接由聲音的合成來產生聲音，也就是對於聲波直接來處理，包括錄音取樣與加法合成（Additive Synthesis）、振幅調變合成（Amplitude Modulation Synthesis）、頻率調變合成（Frequency Modulation Synthesis）等方法產生音色，並透過數位剪輯與多軌處理來完成音樂的結構部分，這是數位音樂低層次的切入方法，強調的是音訊處理的部分。

數位音樂在創作與分析方面均可透過電腦軟體的動態頻譜圖（Spectrogram）將聲音樣本載入，同時表現時間、振幅以及頻率三者

的變化關係，特別是對於無法以傳統樂譜來呈現的數位音樂創作提供了「音色在時間的連續變化」作了完整的陳述。圖10所示為小提琴空弦（A弦）拉奏的動態頻譜圖，其中橫軸為頻率，縱軸為時間，突出的高度第三軸代表振幅的大小，因此可以清楚的看到A弦空弦演奏隨著時間變化的泛音分布情形。

高層次功能：心理層 — 音樂組成

音樂是心理性的，其參數很多，包括了音高、時值（Duration）、節奏、位置（Location）、織度（Texture）、演奏法（Articulation）、力度（Dynamics）、和聲、對位、速度（Tempo）等。一般而言，作曲家以心理性的音樂參數設定來創作音樂，而聆聽者可藉由演奏者所發出的聲音透過聲音與音樂感知的過

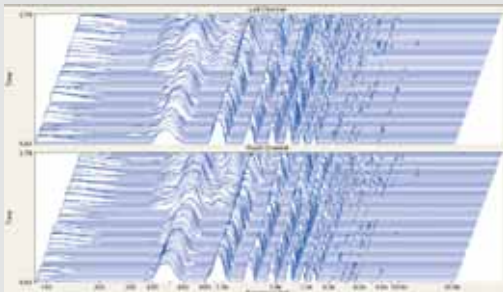
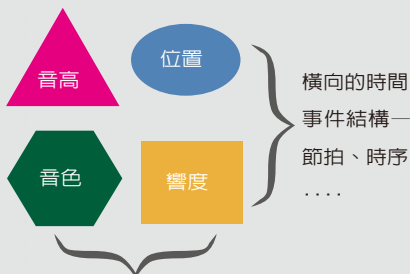


圖10 小提琴空弦（A弦）拉奏的動態頻譜圖



圖11 數位音樂高層次切入方式 — 心理層之範例：MIDI Sequencer



融合—組成個別時間物件同
時發生縱向的和聲結構

圖12 基礎聽覺品質與聽覺感知的維度

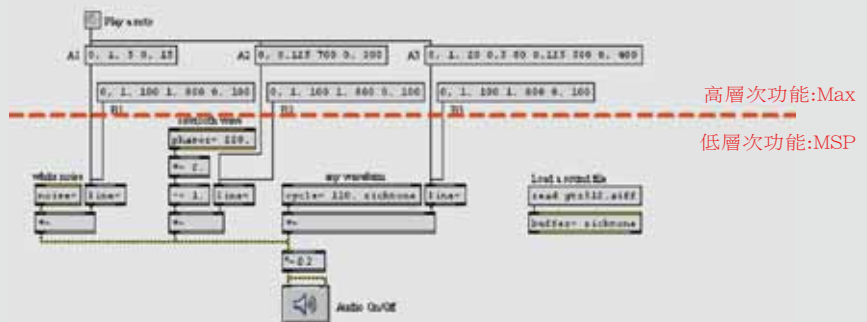


圖13 Max/MSP整合數位音樂的兩種層次切入方式

程，認知到作曲家所創作的音樂作品。例如透過MIDI訊號使用序列器（Sequencer）來完成音樂創作即為高層次的數位音樂切入方式，利用MIDI鍵盤輸入各種「音符事件」（Note Event），包括音符的起落（Note On and Note Off）、音高、時值（Duration）等，再利用序列器的多軌編修整合數位音樂在高層次功能的創作。序列器的輸入與表示方法有如「樂譜」，和低層次聲音合成的「樂團」功能有所不同。

音樂的音高、位置、音色與響度等參數經由人的聽覺感知系統所融合與解析，分別可產生縱向的和聲結構與橫向的節拍時序結構兩種維度。圖12即表示了人類聽覺品質與聽覺感知的維度。

數位音樂的兩個層次的切入方

式可以整合為完整的電腦音樂創作方法，例如Max/MSP軟體可以透過Max軟體來對高層次：心理層—音樂組成進行MIDI的音樂參數創作，同時也整合MSP（Max Signal Process）執行低層次：物理層—聲音合成的部分。例如圖13所示，我們可利用Max的MIDI功能來執行「Play a note」的高層次功能，也就是類似「樂譜」（Score）的心理層音樂參數組成功能；同時低層次的物理層功能，也就是像「樂團」（Orchestra）功能的物理層聲波合成部分可同時由MSP來完成。

參、聲學與數位音樂發展的關係

在數位音樂的發展過程中，聲學（Acoustics）扮演了極為重要的角色，特別是音樂領域上定義之

「泛音」（Harmonics），實為物理或工程領域上所稱之「諧振」，而泛音分布的特性基本上決定了音色的變化。音樂與物理二領域若可確實掌握，則可透過工程方法來對聲音信號加以處理。在聲學上聲音的定義可分為下列三類：

一、純音：單一頻率的振動

如圖14所示，單一頻率的正弦波（如音叉之振動）橫軸是時間，縱軸是「振幅」，「週期」為發生弦波振動單次振動所需的時間。振幅代表聲波疏密變化的情形，「正」的振幅是「密」，「負」的振幅是「疏」。而「頻率」代表的是每秒鐘聲音弦波振動的周次（Cycle）為「赫茲」（Hz, Hertz）。例如音叉振動的頻率為440赫茲，也就是每秒鐘音叉完成

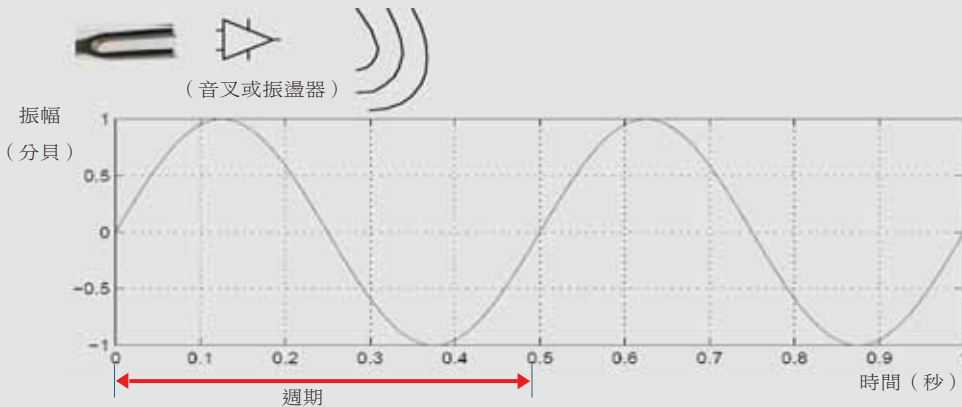


圖14 單一頻率正弦波聲音的時域波形表示法

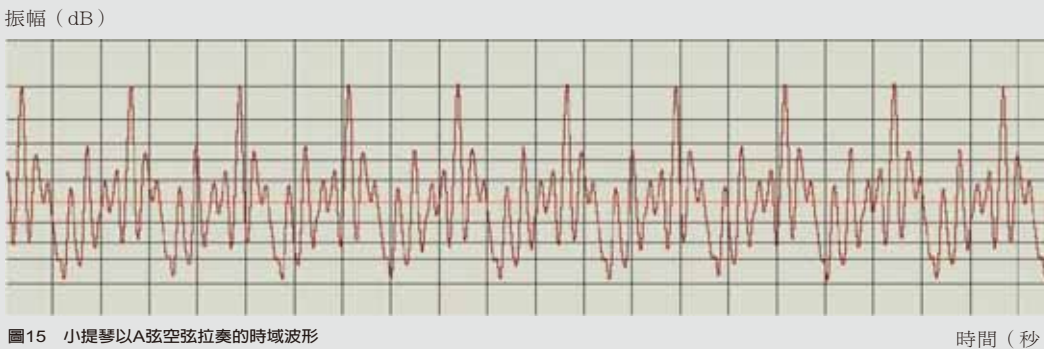


圖15 小提琴以A弦空弦拉奏的時域波形

時間 (秒)

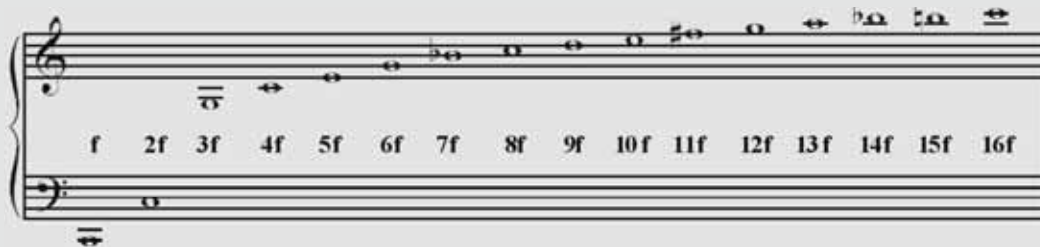


圖16 泛音列與頻域關係圖

一個弦波振動的周次有440次。

若是以小提琴A弦空弦來持續拉奏，則由於「泛音」的關係，波形會由許多不同泛音頻率的正弦波所加成，因此波形較為複雜，時域波形表示如圖15所示。

二、樂音：由基礎音與泛音所構成的複合頻率聲波

圖16為以譜表左方最低音的C音為「基礎音」(Fundamental Note)而其上方音高會因「共振」

(Resonate)的關係，自動同時產生振幅遞減的「泛音列」。其中基礎音的頻率若為 f ，則第二個泛音頻率為基礎音頻率的兩倍 $2f$ ，其餘類推至第十六個泛音，其頻率為 $16f$ 等。

由於「共振」的關係，聲音振動會在基礎音上同時產生整數倍數頻率的小振動，也就是所謂的「泛音」，而各泛音波形會與振幅零點交會之處即為「節點」(Node)。圖17說明了泛音、波

形與節點的關係。

圖17中除了 f 、 $2f$ 、 $4f$ 、 $8f$ 以及 $16f$ 外，也就是所有低音C的各個八度音之外，其餘的泛音項次均無法在鋼琴琴鍵中正確的表示，因此僅為約略的音高，這是因為鋼琴是十二平均律的調律系統，而非泛音列上的純律系統。

以 f 為基礎音的聲波信號包含了與其上無限項次的泛音列，透過各泛音項次的疊加，樂音的聲波可視為一個複合波。而樂音聲








第幾個泛音	節點數目	波形	頻率
1 (即「基礎音」)	2		f
2	3		2f
3	4		3f
第四個	5		4f
第五個	6		5f
第六個	7		6f
....
第n個	n + 1		nf

圖17 泛音、波形與節點的關係

波頻率與振幅的對應關係為聲音信號之頻域 (Frequency Domain) 表示法，即為聲波之「頻譜」 (Spectrum)，如圖18所示，橫軸是頻率，縱軸是振幅，我們可以清楚地看到440Hz的基礎音，以及其高八度880Hz的二次泛音，以及1320Hz的複合五度三次泛音等頻

率響應。我們可以清楚地聽到基礎音440Hz，代表小提琴空弦音高A的基礎頻率，其餘泛音的所有頻率響則可以視為空弦音高的音色分布。因此我們可以說「音高」是由許多不同泛音的頻率所組成，但是以泛音列中最低的「基礎音」為該音音高的代表頻率。

三、噪音：多重非泛音頻率組合的複合聲波

噪音通常是指我們不想要聽到的聲音，但是在聲學裡較嚴謹的定義則為泛音外的多重頻率所組合而成之複合波，其頻譜分布的情形將看不到明顯突出的頻率響應，因此無法聽到明確的音高。

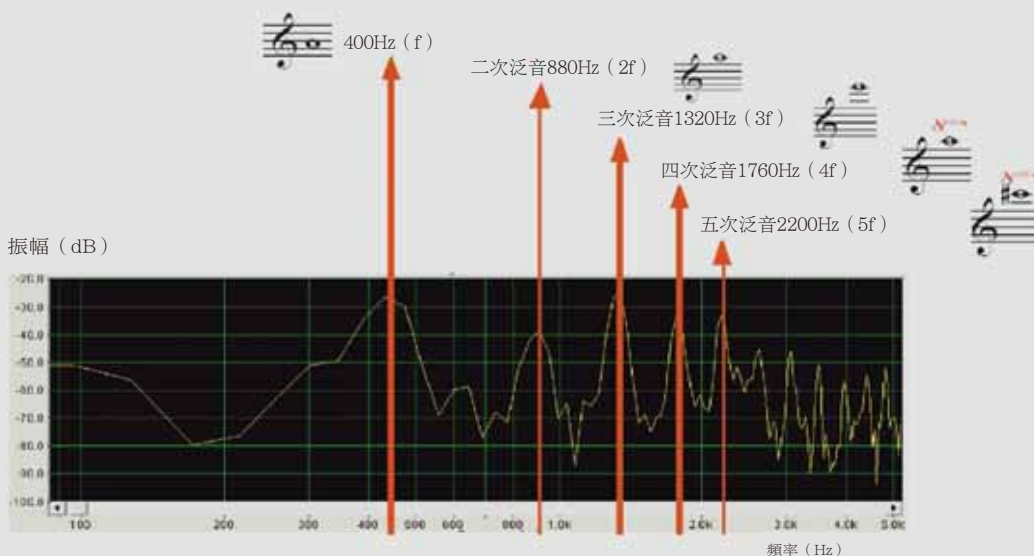


圖18 小提琴以A弦空弦持續拉奏的頻譜

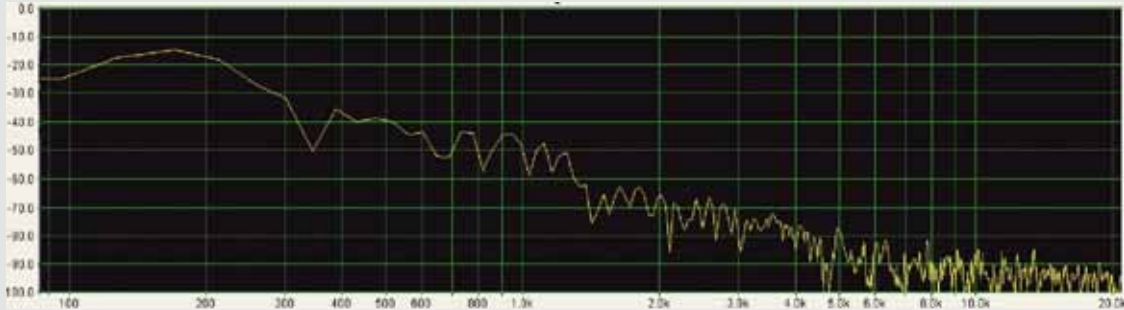


圖19 大鼓敲擊時的頻譜

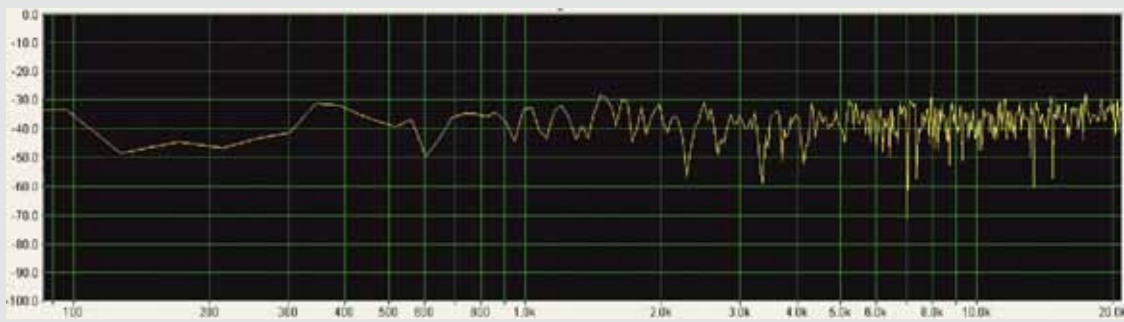


圖20 白色電子噪音的頻譜

圖19是大鼓敲擊時的頻譜，其中可觀察到沒有顯著的突出泛音，聽不到明確的音高，同時頻率響應分布是低音顯著，而高音逐漸衰減，所以可以聽到大鼓聲渾厚但無明確音高的音質。

圖20係利用電子振盪器並透過機率常態分布所產生的白色噪音，頻率響應從低頻至高頻呈現出平均分布的狀態，十分平坦，因此聽到的是無明確音高且無論高低頻響應均十分均勻飽和的噪音特性。

一般的聲響樂器（Acoustic Instrument）所演奏出來的聲音，一般而言是介於「樂音」與「噪音」之間的「複合音」（Complex Tone），也就是具有不同頻率成分之波形所加成而得的複合聲波。大部分的管絃樂器的音色具有樂音的成分較多，而敲擊樂器的音色則偏向擁有較多的噪音成分。由於數位

音樂可充分地運用噪音來做「減法式」的聲音濾波合成，也可以使用振盪器產生所需的正弦波再執行「加法式」的聲音合成，因此在理論上電腦音樂是可以沒有任何限制的產生所有需要的音色。

肆、數位音樂軟體化的發展趨勢

數位音樂的創作方法，可將傳統具象音樂利用非常繁複的「線性剪輯」來創作具象音樂，徹底的改為利用電腦上快速「計算」的方式完成，也就是所謂的「非線性剪輯」方法，因此有利於電腦音樂的整合與更寬廣的應用。此外，所有聲音合成方法，包括傳統的調變方式與其他合成法則等，也逐漸由類比式的振盪器與濾波器改為運用數位信號處理的方法完成，其彈性、效率與抗雜訊優點更是類比電路所

無法比擬的。

除了傳統磁帶式的具象音樂創作技術可由數位程式計算的方式來完成外，幾乎所有的類比音效或是效果器也都可以由軟體來完成。這些數位音效包括：殘響（Reverberation）、延遲（Delay）、迴旋音（Flanger）、合音（Chorus）等，都可以使用音效處理的軟體或是利用C/C++語言與數位信號處理的技術來完成。早期電腦處理速度較為緩慢，因此很多音效並無法即時完成，因此必須仰賴類比效果器。現在的數位晶片與電腦處理速度已大幅提升，即時性的問題大都可以克服。

在聲音合成方面，所有的演算法或是準則（Algorithm），包括振幅調變（AM）、頻率調變（FM），或是物理模型（Physical Modeling）等合成法，都逐漸有軟

體化的傾向。透過軟體音源的普及，我們可以利用PC或自行開發的音樂晶片來整合音樂層次的音符創作與聲音層次的聲音合成。

值得一提的是，現在數位音樂有兩種截然不同的發展應用方向：

一、音色合成 — 發展新的音色並創造新的樂器。這是學術導向的應用，也是從二十世紀初開始電子音樂所秉持的「開發新音色與新樂器」的理想，結合現代新音樂的發展，因此不以取代現有聲響樂器為目標，包括電聲音樂的創作與聲音合成法則的研發等均以開發新的音樂形式為目標。

二、模擬既有的聲響樂器 — 模擬現有聲響樂器。這是商業導向的應用，特別是結合MIDI協定與電子樂器之整合，以模仿甚至取代現有的聲響樂器為目標，以節省音樂製作經費。

伍、準則作曲的應用

電腦準則作曲（Algorithmic Composition）為利用演算法形構化之過程使音樂創作者在利用電腦進行音樂創作時的介入程度達到最小的可能，甚至可使不具音樂背景的人也可透過音樂參數分布的輸入來創作音樂。目前所知道最先完全由電腦準則自動創作的音樂作品的是由Lejaren Hiller在1956年所發表的絃樂四重奏「Illiac組曲」。事實上自中世紀畢達哥拉斯以降，即開始有所謂數學與音樂結合的自動創作想法，直至二十世紀中下旬希勒（Hiller）與David Cope等人利用Xenakis的「Sieve」理論與隨機過程並配合電腦程式應用，才開始有具體的實現方法。

準則作曲（Algorithm

Composition）可結合目前Windows-based 程式設計與互動式人機介面，透過MIDI之音符事件傳輸與音樂參數化功能，發展輸入各式音樂參數以自動產生不同曲風的數位音樂創作。

目前有許多電腦準則方法來完成自動音樂創作的目的，包括人工智慧、神經網路以及基因演算法等，主要以「音樂風格文法」的演譯為主，配合統計上的機率分布與Xenakis的Sieve理論來完成各項音樂元素的控制，包括動機、音高、節奏、時值等，使音樂可以透過具有Intelligence的電腦來產生自動創作的功能。

視窗化電腦音樂準則作曲軟體的應用包括：

1. 電腦輔助教學（Computer Aided Instruction）與電子e-Learning：樂理學習、視唱聽寫、作曲訓練等。
2. 電子遊戲或影音自動配樂：可使Game之配樂可隨場景或情境而變化，且每次播放均不同，並可節省配樂創作費用。
3. 具不定性（Indeterminacy）之電腦音樂創作工具：透過視窗化之電腦音樂準則創作軟體，吾人可利用音樂參數之輸入而自動產生音樂，其簡易性與不定性亦成為極具特色之前衛實驗音樂與電腦音樂創作之極佳工具。

電腦準則作曲方法是利用電腦人機介面輸入所需之音樂參數，包括P（Pitch，音高）、R（Rhythm，節奏）、A（Articulation，演奏法）、V（Volume，力度）、T（Timbre，音色）等，稱之為低階輸入資料（Low-Level Input Data），再將所輸入的各項低階輸入資料之間的聯結關係確定，透過程式上的運算與

資料處理過程而成為中階輸入資料（Middle-Level Input Data），作曲者再透過電腦介面決定高階輸入資料（High-Level Input Data）以決定整體音樂參數之關連性與音樂織度（Texture），最後再以電腦計算並輸出音樂之音符事件（Note Event），或稱之為電腦樂譜，並透過MIDI介面來完成準則化之自動演奏。

透過電腦準則作曲所產生之電腦樂譜可由數位合成器來演奏，其處理程序如下：

1. 以C/C++或BASIC程式語言執行存在於電腦檔案或記憶體中由電腦準則作曲程式所產生之電腦樂譜，包括各種音樂參數之陳述（P, R, A, V, T等）。
2. 將所產生之電腦樂譜檔案解譯後，建立一Sequence檔案，並透過MIDI Sequencer軟體來讀取該檔案。
3. 使電腦載入MIDI Sequencer程式後，由適當之人機介面下達「演奏」指令，透過MIDI介面並利用數位合成器發聲，完成演奏之功能。

電腦音樂準則創作之公式化程序如下：

1. 定義創作之觀念。
2. 準備所需之創作模式以實現音樂創作之觀念。
3. 設計電腦音樂創作之準則，並依據創作觀念之模型來產生音符事件資料。
4. 以C/C++等語言撰寫互動電腦程式。
5. 執行程式碼，並以輸出附屬文字檔之方式來呈現該作曲模型之傳真度。
6. 若需要，則可對程式修改、擴充以及除錯。

音樂準則創作程式之結構，

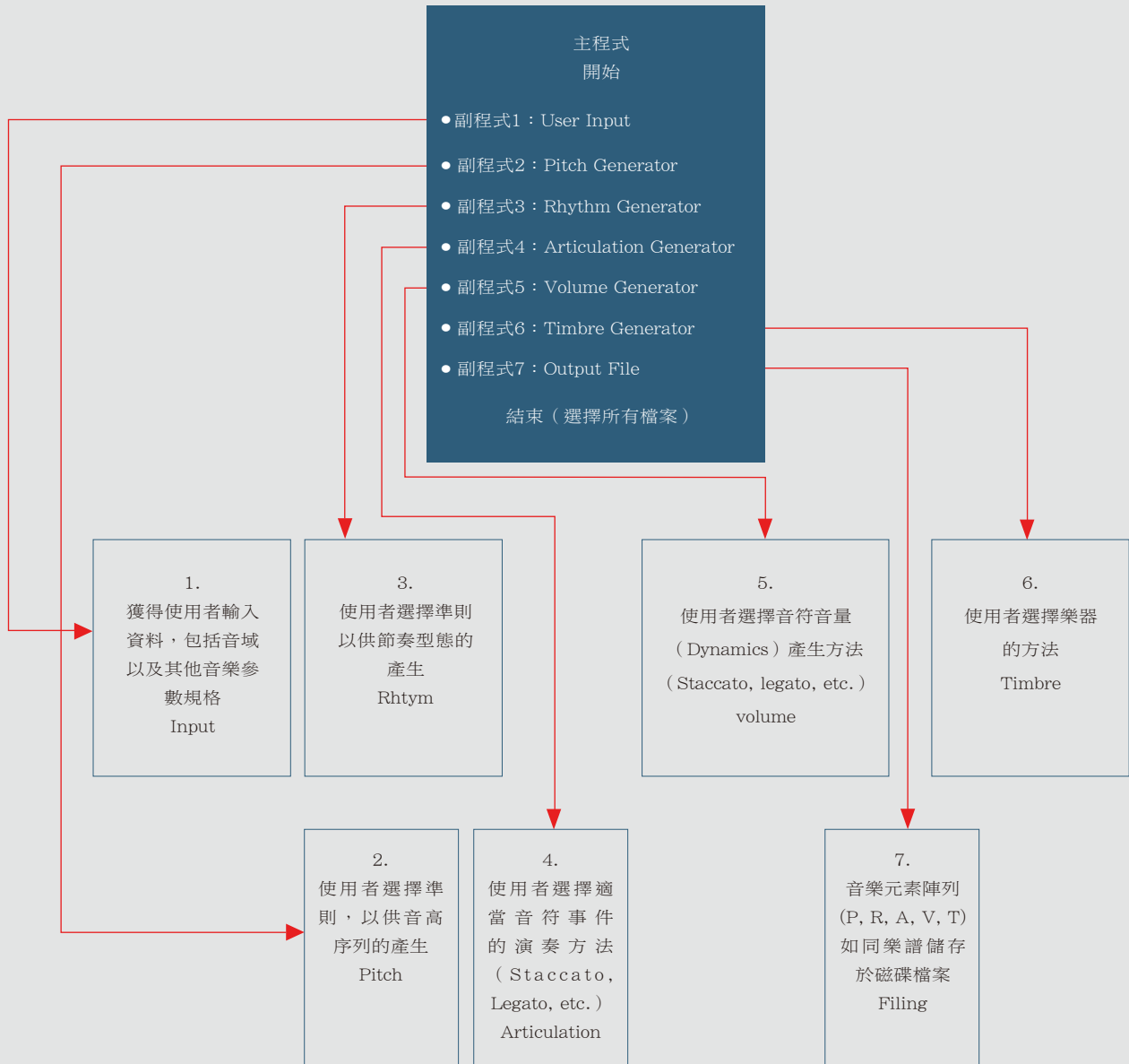


圖21 音樂準則創作程式之結構範例

包括從各項音樂參數 (P, R, A, V, T 等) 之輸入至產生電腦樂譜之存檔範例如圖21所示。

前北德州大學教授Phil Winsor所開發之「簡易型電腦準則作曲軟體」，可利用Pitch（音高）、Interval Size（音程大小）、Rhythm（節奏）、Articulation

（演奏圓滑度）、Velocity（力度）等音樂參數之輸入，並透過音符事件數目（Events）、速度（Tempo）、MIDI頻道（Channel）、音色（Patch）、休止符（Rest）比例等之決定，自動產生MIDI樂譜檔案，並可直接由程式的MIDI Sequencer功能來讀取

MIDI樂譜檔案資訊並演奏自動創作之樂曲。「簡易型電腦準則作曲軟體」介面如圖22所示。

這些自動作曲軟體的方法與觀念，可將所產生的音樂透過篩選理論產生各種風格應用之數位音樂，例如Phil Winsor教授所發展包括West Country Music、New Age、

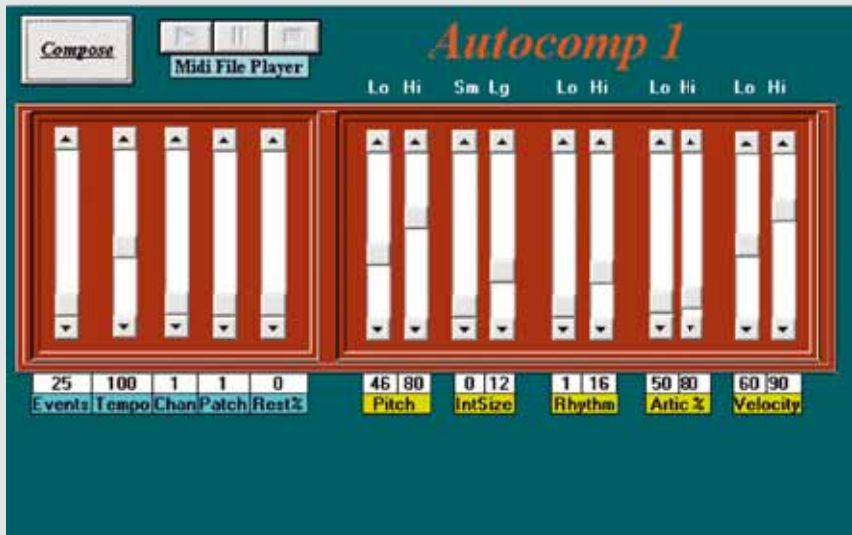


圖22 Phil Winsor教授所開發之「簡易型電腦準則作曲軟體」介面

Minimalism等不同的應用。

陸、數位音樂的跨領域特性

從第一個電子樂器泰勒明的發明至今，電子音樂演化為電腦音樂已有近一個世紀之久了。數位音樂是從二十世紀初期的電子音樂發展開始，藉由電腦的沿革與發展，逐步演化至電腦音樂的結果。瓦列茲（Edward Varese）曾說音樂既是一門藝術科學，也是數學的邊緣學科，音樂家應該結合機械、電子科學家一起來發展新的音樂表現方法。因此數位音樂的發展，應從基礎的聲學與物理原理面先了解，並透過電腦音樂軟體與設計以實現各種聲波合成方法、聲音變換方法以及音樂科技的整合應用。我國有良好的電資與機電工業發展，希冀可以在此基礎上結合多元化的音樂發展，為國內的數位音樂創意產業發展出一片開闊的天空。

■ 參考資料

Cope, David. (1987). *Experiments in Music Intelligence*. San Francisco: Computer Music

Association.

Cope, David. (1987). An Expert System for Computer-assisted Composition. *Computer Music Journal*, 11(4): 30-46.

Dodge, C. and T. Jerse. (1985). *Computer Music Synthesis, Composition, and Performance*. New York: Schirmer Books.

Fry, C. (1984). Flavors Band: A Language for Specifying Musical Style. *Computer Music Journal*, 8(4): 20-34.

Gjerdingen, Robert. (Fall, 1989). Using Connectionist Models to Explore Complex Musical Patterns. *Computer Music Journal*, Vol. 13, No.3. Cambridge, Mass: MIT Press.

Hiller, L. and L. Isaacson. (1959). *Experimental Music*. McGraw-Hill.

Roads, C. (1979). Grammars as Representations for Music. *Computer Music Journal* (3/1): 48-55.

Todd, Peter. (Winter, 1989). A Connectionist Approach to Algorithmic Composition. *Computer Music Journal*, Vol.13, No.4. Cambridge, Mass: MIT Press.

Winsor, Phil. (1987). *Computer-assisted Music Composition*. Princeton, New Jersey: Petrocelli Books, Inc.

Winsor, Phil. (1989). *The Computer Composer's Toolbox*. Blue Ridge Summit, Penn.: Windcrest Books.

Winsor, Phil. (1990). *Computer Music in C*. Blue Ridge Summit, Penn.: Windcrest Books.

Winsor, Phil. (1988). *Patt_Proc1: A Computer-Assisted Composition Program*. (supplemental Electronic Art Issue - 1988 of LEONARDO, Journal of the International Society for the Arts, Sciences, and

Technology.) Published in Conjunction with the First International Symposium on Electronic Arts, Utrecht Academy of Arts, The Netherlands.

Xenakis, I. (1971). *Formalized Music*. Bloomington, Indiana: Indiana University Press.

Dodge, Charles. (1985). *Computer Music Synthesis, Composition, and Performance*. New York: Schirmer Books.

Rigden, S., John. (1985) *Physics and the Sound of Music*. (2nd ed). John Wiley & Sons.

Schafer, R. Murray. (1997). *The Soundscape-Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. Destiny Books, Rochester, Vermont.

Chadabe, Joel. (1997). *Electric Sound*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Moore, F. Richard. (1990). *Element of Compute Music*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

Roads, C. (1996). *The Computer Music Tutorial*. The MIT Press.