

基植於音樂風格的電腦音樂自動伴奏

董信宗、沈錕坤

國立政治大學資訊科學系

{g9431, mkshan}@cs.nccu.edu.tw

摘要

在音樂數位典藏上，從國樂、南北管、原住民音樂、閩南民謠、客家民謠乃至校園民歌都是台灣豐富的文化資產。音樂數位典藏可以透過音樂的改編來達到增值服務的應用。編曲達到場景配樂之功能。和弦搭配及伴奏手法是音樂改編的重要手法之一。本研究的主要目的即在為音樂主旋律，研究指定風格的和弦搭配及伴奏手法。我們針對不同風格之音樂，訓練出不同之伴奏模型，而每個模型中皆包含了狀態機率及轉移機率。接著使用者輸入主旋律到系統後，我們利用動態規劃方式替主旋律搭配對應的和弦，並產生伴奏音樂。研究中發現，不僅和弦搭配的不同會影響聆聽感，和弦伴奏的手法以及歌曲速度的快慢對於人類聆聽音樂的感受也是相當重要的，因此我們亦將這些變因加入我們的系統中，並且在實驗中分別去探討其影響的程度。

關鍵字：音樂風格、和弦搭配、伴奏手法、模型訓練、動態規劃

1. 前言

1.1. 動機

音樂在人類生活中，扮演著相當重要的地位。隨著電腦科技的發展，人類對於音樂的需求越來越大。台灣在音樂方面，從國樂、南北管、原住民音樂、閩南民謠、客家民謠乃至校園民歌都是豐富的文化資產。國樂中，由董榕森先生作曲的「陽明春曉」是耳熟能詳的柳笛演奏曲。而 1996 年亞特蘭大奧運主題曲「反璞歸真」即源自於馬蘭地區的阿美族人郭英男的「老人飲酒歌」。日據時期由鄧雨賢先生作曲、李臨秋先生作詞的「望春風」則為家喻戶曉的閩南民謠。921 地震之後，旅美的大提琴家郭虔哲即在美國卡內基音樂廳演奏閩南民謠「望春風」、「補破網」、「雨夜花」來賑災募款。60 年代陳達的恆春民謠「思想起」，一把月琴、一生艱辛更是台灣經濟發展過程中的重要文化資產。在客家民謠方面，無論是老山歌、山歌仔、平版調，都是質樸勤奮的客家人之寫照。而 70 年代由於時代背景而風行一時的校園民歌，隨著時光的流逝，也逐漸進入我們的回憶中。這些音樂都伴隨著台灣的發展，以音樂的方式訴說著我們文化發展的歷程。

若能利用這些大量且富文化特色的音樂數位典藏加以應用，將可提供數位內容產業或教育產業的增值應用。例如，我們可以利用台灣民謠的旋律加以編曲，以為便利商店廣告中 60 年代台灣鄉村的雜貨店為場景的廣告配樂。或者，亞特蘭大奧運

主題曲「反璞歸真」也是改編「老人飲酒歌」的增值應用。而手機鈴聲的服務也可以充分發揮台灣音樂的文化財，提供個人化的鈴聲改編、配樂服務。

一般的專業配樂師在配樂時，主旋律的和弦搭配往往是費時的工作，不僅要考慮到配樂的風格，並且還要符合和聲學[4]的和弦搭配原理。如果有一套系統能夠自動根據風格，為配樂師自動搭配出主旋律所對應的和弦配樂，不僅可以降低音樂製作的成本，也能搭配出各種不同的和弦配樂風格。有了這類的增值服務機制，未來在配樂將不是個難題。

此外，人們不管有沒有受過專業音樂訓練，都有過自己哼唱出一段主旋律的經驗。這段主旋律或許來自他們自身所聽過的歌曲，或許來自他們隨意所創作出的旋律。有受過專業音樂訓練的人可以為這段旋律搭配出不同的和弦風格。但對於沒受過專業音樂訓練的人來說，和弦搭配就是件困難的事情。如果有自動和弦伴奏搭配的系統，對於一般非音樂專業的人說，將可享受音樂創作的樂趣。

因此，本論文的主要目的在研究為音樂主旋律自動搭配不同風格和弦的方法。利用此系統，人們不只可以增進學習音樂的靈感，所產生出來的音樂亦符合人們所指定的音樂風格。在現有的電腦音樂研究方面，已經有不少的學者投入這項的研究領域中。有些學者作電腦音樂分類的研究[9][11]，也有些學者探討音樂中音樂特徵的擷取(如主旋律[14][15]、節奏、音高...等)，也有些研究在為主旋律搭配所對應的和弦[1][2][12]。本論文主要目的在延伸現有和弦搭配的相關研究，探討不同風格的和弦搭配。

1.2. 相關研究

在為單音旋律搭配出不同風格和弦前，首要步驟就是先擷取出歌曲主旋律，由於 MIDI 音樂是由許多樂器所組成，且同一時間點會有許多音符，因此如何從音樂中正確地擷取出主旋律來是值得研究的議題[14][15]。A. L. Uitenbogerd[15]等人提出了四種擷取主旋律的方法，其中一種方式是 All-mono，它先將所有的樂器結合在一起後，然後再取出最高音來當作主旋律。本文採取 All-mono 的方式來擷取出歌曲的主旋律。

針對音樂風格，過去也有些學者進行音樂風格分類的探討。我們曾經針對音樂旋律進行曲風分類的研究[14]。Arbee L. P. Chen 等人[9]根據音樂內容的音高及音長並且利用了 Repeating pattern[7]方式來對音樂分類。同期間 Cory McKay [11]利用了 Neural Networks 技術的系統，來對音樂分類。但

是，上述音樂風格分類的研究都沒有針對和弦搭配的風格。

作曲者在創作出主旋律後，接著再搭配出所對應的和弦，但往往在搭配和弦是很費時的工作，因此如何利用電腦來進行和弦分析是值得研究的議題。和弦分析的研究包括和弦辨識與和弦搭配。在和弦辨識方面，B. Pardo[12]等人在2002年提出了多音音樂的和弦辨識法，他們是以時間軸的概念來分析出同一時間所發出的聲響，並為其標示所對應的和弦。在和弦搭配方面，[2]利用統計學的概念來訓練旋律與和弦所對應的模型，接著系統可以根據使用者利用麥克風所哼入的旋律進行和弦搭配，而[1]則利用樂理的終止式概念來為主旋律搭配和弦。由於[12]所使用的方法中只考慮音高，很容易造成誤判和弦的情形，因為音樂中存在著許多裝飾音以及外來音，所以在2005年相關研究中[5]，不僅考慮了音符音高對和弦所造成和聲影響，還考量了音符音長的因素，如此可以有效的減少裝飾音及經過音所造成和弦誤判的情形。在[5]的研究中，結合和聲學的和弦進程規則，並且對於單音主旋律去計算每個小節與和弦樣板的相似度，以計算出各小節最適合的和弦。搭配出不同的和弦後，系統可以再將它移調成使用者所指定的輸出調性風格。前述的研究[1][2][5]只能對所給的主旋律產生固定的和弦。在我們的研究中，我們發現同樣的主旋律在未移調的情形下，即使搭配不同和弦亦會予人不同感受。為了搭配不同風格的和弦，我們採用統計的方式來訓練不同風格旋律與和弦間的對應關係。此外，音樂的調性也會影響音樂的風格。例如：快樂活潑的音樂，搭配大調和弦比例較多；哀傷平靜的音樂，搭配小調和弦比例較多。我們因此利用了[8]的方式來辨別音樂的調性，以更精確的辨識和弦。

影響歌曲聆聽感因素有許多種，例如：伴奏節奏的快慢、速度、曲式、織體密度、音色以及音量變化…等，因此我們系統中在最後伴奏產生階段時，我們加入了伴奏手法模型及歌曲速度來增進不同風格的聆聽感。

1.3. 系統流程圖

圖一顯示我們所發展的電腦自動伴奏系統的流程圖，其中包含兩個主要步驟：模型訓練(Model Training)和伴奏產生(Accompaniment Generation)。在模型訓練階段，我們搜集了快樂活潑、悲傷平靜、羅曼蒂克三種風格的MIDI音樂，並且針對個別風格分別去訓練和弦搭配模型。第二階段我們利用Dynamic Programming的演算法來為主旋律搭配給定風格的和弦伴奏。

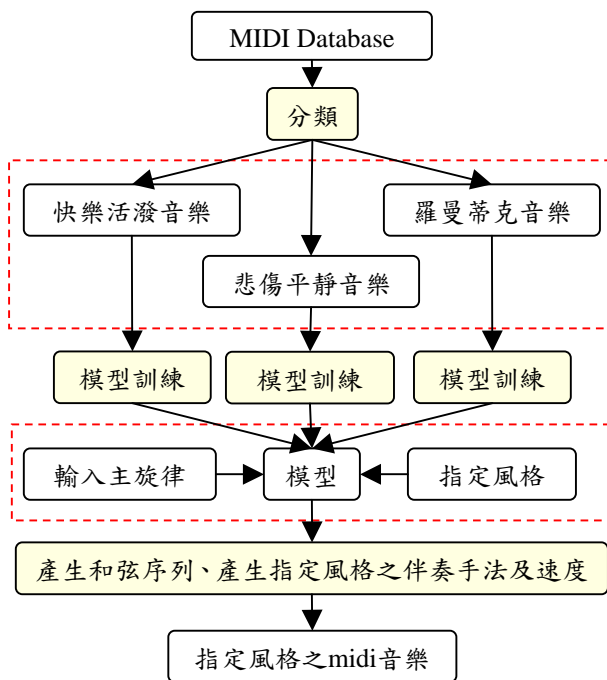
下面的章節將會詳細的介紹我們所提出的方法。在第二節及第三節中詳細的說明了我們所提的方法，最後在第四節我們將探討實驗所得的結果。

2. 模型訓練(Model Training)

2.1. 採用的和弦

和弦主要分為大調和弦(如C大調，記作C)與

小調和弦(如C小調，記作Cm)。由於大調和弦及小調和弦予人有不同的感覺，因此本研究所採用的和弦為12個大調三和弦(Major Triad)及12個小調三和弦(Minor Triad)，如表一所示。



圖一：系統流程圖

表一：大調與小調音程表

和弦	根音	第三度音	第五度音
C major	C	E	G
C minor	C	E _b	G
C# major	C#	F	G#
C# minor	G#	E	G#
D major	D	F#	A
D minor	D	F	A
D# major	D#	G	A#
D# minor	D#	G _b	A#
E major	E	G#	B
E minor	E	G	B
F major	F	A	C
F minor	F	A _b	C
F# major	F#	A#	C#
F# minor	F#	A	C#
G major	G	B	D
G minor	G	B _b	D
G# major	G#	C	D#
G# minor	G#	B	D#
A major	A	C#	E
A minor	A	C	E
A# major	A#	D	F
A# minor	A#	D _b	F
B major	B	D#	F#
B minor	B	D	F#

表二：全音階與音名對照表

全音階	C	D	E	F	G	A	B
音名	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si

2.2.模型訓練

表一的符號是以樂理為基礎所命名的，以音樂旋律來說，從中音 Do 到高八度的 Do 共有 12 個半音階[4]，去除升(#)降(b)記號的話共有 7 個音階，其中音階與音名對照表如表二。

在模型訓練這個步驟，我們引用[2]所提出的和弦模型訓練方式。我們針對不同風格音樂，分別學習探勘出主旋律與和弦搭配的機率模型，同時我們還將調性列入和弦搭配的考量因素。此機率模型中包括狀態機率(State Probability)與轉移機率(Transition Probability)。所謂狀態機率是指主旋律的組成音與和弦的搭配機率。而轉移機率則是指和弦進程中，前後和弦的出現機率。

由於主旋律中每個小節內的音符與伴奏和弦的組成音是息息相關的，因此在模型訓練之前，我們必須知道歌曲中的主旋律以及所對應的和弦。在本論文中，旋律與和弦的對應關係是以小節為基本單位。至於主旋律擷取的方法，本論文是利用 All-mono 的方式[5]從複音音樂中來擷取出主旋律。

在計算組成音搭配的和弦機率之前，首先我們必須定義甚麼是小節的組成音。假設小節所出現的主旋律音符如表三，其中主旋律共出現了三個 C、兩個 D、三個 E 及一個 F 和 G，則此小節的組成音記錄了 C、D、E、F、G。

表三：小節主旋律的組成音之例子

小節的主旋律音符	組成音
CCCDEEDEF G	CDEFG

判斷出主旋律的組成音之後，接著我們必須辨識出小節內的和弦。由於一首音樂的調性對於人類的情緒有很大的影響，大調的音樂在聆聽時會有快樂活潑的感覺，小調的音樂在聆聽時會有悲傷平靜的感覺。因此，我們在辨識小節內的和弦時，將考量調性的影響。調性是分辨音樂的主要特徵。在本研究中是採用 1982 年 Krumhansl 等人[8]所提的計算調性方式，其中 12 個大調及 12 個小調權重如表四。

表四：大調與小調之調性權重對應表[8]

調(x)	C	C#	D	D#	E	F
大調	6.35	2.23	3.48	2.33	4.38	4.09
小調	6.33	2.68	3.52	5.38	2.6	3.53
調(x)	F#	G	G#	A	A#	B
大調	2.52	5.19	2.39	3.66	2.29	2.88
小調	2.54	4.75	3.98	2.69	3.34	3.17

在計算歌曲所屬調性的分數時，必需作移調的動作。假設現在我們要計算 G 大調的分數，則必須將原先的歌曲作移調的動作，也就是說原先的音符 G 視為 C，A 音符視為 D，以此類推…。利用此方法計算完所有大調及小調的分數後，接著取最高分數來當作此首歌曲的調性。

分析出歌曲調性後，接下來我們計算音樂中每個小節與各個和弦之間的相似度。當單一小節與各

個和弦之間的相似度計算完後，相似度最高的和弦，即為這小節所辨識出來的和弦。由於調性對和弦的影響，因此在計算小節和弦相似度時，必須根據歌曲調性的不同給予不同的權重。

假設歌曲經過分析的調性結果為 C 大調，我們接著將計算各小節所屬和弦的相似度，由於調性的不同，C 大調和弦與其他大調和弦以及小調和弦給予的權重(weight)應有所不同。以此例來說，我們的系統給定 C 大調和弦權重為 2，其他大調和弦權重為 1.5，小調和弦權重為 1。下列的公式是計算小節與和弦 x 的相似度分數(假設歌曲經過分析後的調性結果為 C 大調)，其中 NOTE 為小節內所有的音符、NOTE(i)代表小節內第 i 個音符、N 為小節內出現的音符個數。在計算完此小節的音符與各個和弦相似度的分數後，相似度最高則代表小節所辨識出最有可能的和弦。

$$Score(NOTE, x) = \frac{\sum_{i=1}^N NOTE(i) * weight(x)}{N}$$

$$NOTE(i) = \begin{cases} 1, & \text{音符 } i \text{ 有出現在和弦 } x \text{ 中} \\ 0, & \text{音符 } i \text{ 無出現在和弦 } x \text{ 中} \end{cases}$$

$$weight(x) = \begin{cases} 2, & x \text{ 為 C 大調和弦} \\ 1.5, & x \text{ 為其他大調和弦} \\ 1, & x \text{ 為小調和弦} \end{cases}$$

狀態機率表記錄了每個可能的組成音搭配的和弦機率值。當我們知道某小節的所有音符後，接著我們會去分析此小節組成音，並且去辨識此小節的和弦(計算方式如上之公式)。如果此小節組成音已經存在狀態機率表中，則去更新此組成音在狀態機率表中的和弦配置關係，如果不存在狀態機率表中，則將此組成音加入狀態機率表中，並且記錄和弦配置之關係(記錄組成音的方式如圖二演算法)。其中圖二的 Mnotes 是指從小節所有音符中擷取的主旋律，而 Cnotes 指的是從主旋律中擷取的小節組成音，最後，當擷取的組成音 Cnotes 沒有在組成音表中，則利用函式 Composed_Create(Cnotes)將此組成音 Cnotes 加入我們的組成音表。因此在伴奏產生階段時，根據所給定歌曲的單音旋律，我們會先分析出每一小節的組成音，利用小節的組成音與所建立的狀態機率表，我們可以知道小節組成音可能屬於哪個和弦機率为最大。

```

Input : Total notes in a measure
Output : Main melody and Composed notes
begin
  /*Extract main melody in this measure ,
  Mnotes is a set of notes*/
  Mnotes = Extract_Melody(measure) ;
  /*Extract composed notes in Mnotes ,
  Cnotes is a set of notes*/
  Cnotes = Extract_Compose(Mnotes) ;
  if(Cnotes not exist in Composed_Table){
    //Create composed notes to Composed_Table
    Composed_Create(Cnotes) ;
  }
end

```

圖二：演算法 Melody_Composed_notes

接下來我們舉個例子來說明我們如何去記錄小節組成音以及小節所屬和弦機率，在表五的範例中，總共有五個小節，經過分析這五個小節的主旋律後發現，它們的組成音皆為[A, Eb, C]，並且根據和弦相似度分數計算演算法(如圖三所示的演算法)，這五個小節所屬和弦分別為 Cm、A、Cm、A、D#m，此時我們將組成音[A, Eb, C]以及可能所屬的和弦記錄在狀態機率表(如表六)。

只考慮單一小節和弦配置關係是不夠的，因為一段音樂若要让聽眾覺得很和諧，不只是單一小節內旋律與和弦間的和諧程度，必須要整段音樂主旋律與和弦間的和諧。在之前所述中針對的是單一小節可能所屬的和弦，小節間的和弦進程也是相當重要。

表五：計算組成音所屬和弦範例

	主旋律	和弦	組成音
小節 1	C C Eb Eb A A Eb	Cm	[A, Eb, C]
小節 2	A C A Eb C A Eb	A	[A, Eb, C]
小節 3	C Eb Eb Eb A C Eb	Cm	[A, Eb, C]
小節 4	C C bE C A A A	A	[A, Eb, C]
小節 5	A C bE bE A A bE	D#m	[A, Eb, C]

表六：組成音[A, Eb, C]的狀態機率表

調	C	C#	D	D#	E	F
大調和弦	0%	0%	0%	0%	0%	0%
小調和弦	40%	0%	0%	20%	0%	0%
調	F#	G	G#	A	A#	B
大調和弦	0%	0%	0%	40%	0%	0%
小調和弦	0%	0%	0%	0%	0%	0%

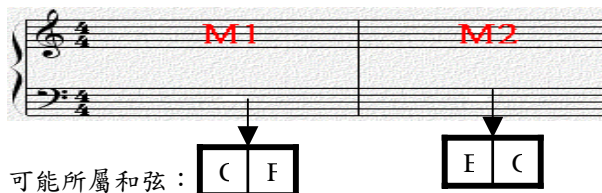
```

Input : Composed notes in this measure
Output : ChordArray in this measure
begin
    ChSum = 和弦樣本數; //ChSum = 24
    CoNum = Composed notes number ;
    //ChordArray[i] = 1 表小節 m 可能有此和弦 i
    ChordArray = 和弦樣本集合;
    For (i = 0 to ChSum) do{
        Temp_Score = -3 ;
        For (j = 0 to CoNum) do {
            If (組成音有在目前的和弦樣本中)
                //不同權重之和弦相似度分數計算
                Temp_Score = 給予正分 ;
        }
        If (Temp_Score >= Best_Score) {
            //更新分數
            Best_Score = Temp_Score ;
            ChordArray[i] = 1 ; //更新和弦
        }
    }
    return ChordArray ;

```

圖三：演算法 Chord_similarity(Composed notes)

為了紀錄小節間的和弦配置的關係，我們建立了轉移機率表，建立方式如圖五所示的演算法，縱軸 x 代表著前一個小節使用的和弦，橫軸 y 代表著下一個小節使用的和弦。如圖四所示，當我們計算了前後兩小節 M1 與 M2 可能所屬的和弦後，我們可以建構出轉移機率表。例如：小節 M1 和弦為 C、F 而下一個小節 M2 是 E、G 時，則轉移機率表格中(x, y)將(C,E)、(C,G)、(F,E)、(F,G)處加 1。



可能所屬和弦：

圖四：小節 M1 與小節 M2 的和弦配置圖

```

Input : Former chordarray1 and Recent chordarray2
Output : Non
Begin
    For(i=0; i<chordarray1.length; i++)
        For(j=0; j<chordarray2.length; j++)
        {
            //在轉移機率表做加總的動作(Trans_Table)
            Trans_Table[i][j] += 1 ;
        }
end

```

圖五：演算法 Transition_Probability

3. 伴奏產生

3.1. 動態規劃演算法

建立好各個不同音樂風格模型之後，接著我們可以輸入一首新的單音旋律音樂並且加入所指定的音樂風格。系統會自動的為主旋律搭配出此風格類型的音樂。在本研究中，我們參考[2]所使用的動態規劃(Dynamic Programming)方式來為主旋律搭配不同風格的伴奏和弦，並修改和弦最佳配置的計算公式。

由於小節的旋律組成音不一定在所建立的模型中，因為我們採用類似 Edit Distance[13]的衡量方式，計算小節最接近的組成音，以增加辨識組成音的正確率。在找出各小節所屬的組成音後，接著利用 Dynamic Programming 的方式來計算此首音樂最符合的和弦搭配方式，如圖六所示。

假設我們給系統四小節的主旋律，分別為[M1, M2, M3, M4](如圖六)，在找出各個小節的最佳和弦配置前，不僅要參考小節內的旋律關係(狀態機率表)，還要參考小節與小節之間的和弦進程(轉移機率表)。因此在計算 Dynamic Programming 中的最佳路徑時，其實是計算所有可能路徑中機率總和最大的那條路徑。但在計算所有可能路徑的機率總和時，若在轉移機率表中小節 m 的 C 和弦到小節(m+1)的 D 和弦為 0%時，則代表小節 m 到小節(m+1)之

間不可能搭配 C 和弦轉換到 D 和弦。因此我們將 $P_{i-1,k}$ 與 $T_{i-1,i}(k, j)$ 之間改用乘的，將這種不可能的和弦進程路徑去除，其中計算機率總和 P 最大的式子如下。

$$P_{i,j} = S_{i,j} + \max_{k=1\sim 24} \{P_{i-1,k} * T_{i-1,i}(k, j)\},$$

$$\begin{cases} i: \text{小節 } i, \text{ 其中 } 1 \leq i \leq n(\text{小節數}) \\ j: \text{和弦 } j, \text{ 其中 } 1 \leq j \leq 24 \end{cases}$$

其中 $S_{i,j}$ 為第 i 小節和第 j 個和弦的狀態機率值， $T_{i-1,i}(k, j)$ 為第(i-1)小節的第 k 個和弦到第 i 小節的第 j 個和弦轉移機率值， $P_{i,j}$ 為第 i 小節狀態機率值加前一步最大和弦機率值總和。在計算各小節所有路徑 P 之後，我們會多記錄目前小節機率值總和為最大的和弦到底是從前一小節哪個和弦所到這個小節。當執行到最後一小節時，我們會先找出最大的機率總和，然後用 Backtracking 的方式至第一小節，以找出最佳的和弦路徑，如圖六所示。

	M1	M2	M3	M4
C major				
C minor				
C# major				
C# minor				
D major				
D minor				
D# major				
D# minor				
E major				
E minor				
F major				
F minor				
F# major				
F# minor				
G major				
G minor				
G# major				
G# minor				
A major				
A minor				
A# major				
A# minor				
B major				
B minor				

圖六：動態規劃算法 (Dynamic Programming)

3.2.和弦搭配手法

產生完主旋律的各小節所對應和弦後，接著系統就可以產生指定風格之 midi 音樂。由於不同風格的和弦伴奏手法會影響人們的聆聽感，因此在我們的系統中亦加入了和弦搭配手法。舉例來說：假設現在某小節的和弦為 C 大調和弦(和弦組成音:do、mi、so)，在為主旋律搭配伴奏手法時，快樂活潑音樂的和弦伴奏方式，在每半拍時是將和弦組成音彈奏 1 至 2 個音符，此種伴奏方式會讓人們在聆聽時

有輕快的感覺(如圖七)；而悲傷平靜音樂的和弦伴奏方式，在小節的第 1 拍時是將和弦組成音一起彈奏，此種伴奏方式的變化較為單調，因此會讓人們在聆聽時有悲傷的感覺(如圖八)；而羅曼蒂克音樂的和弦伴奏方式，在每半拍時是將和弦組成音彈奏 1 個音符，而且伴奏時每半拍音符的音高變化量不能太大，此種伴奏方式會讓人們在聆聽時有放鬆心情的效果(如圖九)。



圖七：快樂活潑之和弦搭配



圖八：悲傷平靜之和弦搭配



圖九：羅曼蒂克之和弦搭配

因此在我們的系統當中，我們加入了不同風格之和弦搭配手法。

3.3.歌曲速度

由於歌曲速度的快慢，也會影響人們的聆聽感，因此在和弦搭配的時，我們也加入了不同風格歌曲的速度快慢。我們利用 ID3 的歸納學習方式，建構不同音樂風格的歌曲速度範圍決策樹。我們藉由此方式發現，快樂活潑的歌曲速度比悲傷平靜和羅曼蒂克來的快速。

4. 實驗

本研究由網路上搜集 150 首古典音樂的 MIDI 音樂檔案為實驗的訓練音樂。由於 MIDI 檔案包括了各種樂器的演奏資訊，我們可以從中擷取及分析出我們想要的資訊，例如：歌曲調性(key)、主旋律(melody)、音高(pitch)、音長(rhythm)以及和弦(chord)…等音樂特徵。

首先，對於這 150 首古典音樂的分類，我們請受過專業訓練人士為這 150 首古典音樂分為三類(快樂活潑音樂、悲傷平靜音樂和羅曼蒂克音樂)。接著我們對此三類分別去訓練出不同的訓練模型，當訓練完三種不同風格模型後，使用者輸入一段主旋律以及所指定的風格後，系統便會自動產生

此風格之音樂。

在實驗設計方面，我們共做了三種實驗，如表七所示。實驗一中，在模型訓練階段及伴奏產生階段，我們並未加入不同權重之小節和弦相似度計算與不同風格之伴奏手法及不同風格之歌曲速度；實驗二中，在訓練模型階段我們加入了不同權重之小節和弦相似度計算，而在伴奏產生階段，我們一樣尚未加入不同風格之伴奏手法及不同風格之歌曲速度；實驗三中，在模型訓練階段及伴奏產生階段，我們分別加入了不同權重之小節和弦相似度計算與不同風格之伴奏手法及不同風格之歌曲速度。

表七：三種實驗

實驗一	模型訓練	不同權重之小節和弦相似度計算	X
	伴奏產生	1. 不同風格之伴奏手法 2. 不同風格之歌曲速度	X
實驗二	模型訓練	不同權重之小節和弦相似度計算	O
	伴奏產生	1. 不同風格之伴奏手法 2. 不同風格之歌曲速度	X
實驗三	模型訓練	不同權重之小節和弦相似度計算	O
	伴奏產生	1. 不同風格之伴奏手法 2. 不同風格之歌曲速度	O

表八：利用三種實驗模式進行快樂、悲傷、浪漫之風格辨識率

實驗 受試者	實驗一			實驗二			實驗三		
	快樂	悲傷	浪漫	快樂	悲傷	浪漫	快樂	悲傷	浪漫
01	2/7	5/7	0/7	2/7	4/7	2/7	5/7	6/7	1/7
02	2/7	4/7	1/7	2/7	3/7	2/7	7/7	5/7	3/7
03	2/7	3/7	3/7	4/7	6/7	2/7	7/7	6/7	5/7
04	2/7	1/7	0/7	4/7	3/7	3/7	7/7	7/7	7/7
05	1/7	6/7	0/7	1/7	6/7	0/7	2/7	6/7	1/7
06	2/7	4/7	1/7	0/7	6/7	1/7	7/7	6/7	5/7
07	3/7	5/7	5/7	3/7	4/7	3/7	7/7	7/7	7/7
08	2/7	4/7	1/7	1/7	5/7	0/7	7/7	6/7	2/7
09	2/7	5/7	2/7	2/7	4/7	2/7	7/7	7/7	7/7
10	1/7	3/7	3/7	3/7	4/7	0/7	6/7	6/7	5/7
11	1/7	6/7	0/7	1/7	4/7	0/7	6/7	6/7	3/7
12	2/7	5/7	1/7	1/7	3/7	3/7	7/7	7/7	5/7
各別平均	0.26	0.61	0.20	0.29	0.62	0.21	0.89	0.89	0.61
總平均	0.36			0.37			0.80		

在伴奏產生階段時，我們採用的單音主旋律歌曲數目為七首的民謠歌曲，針對實驗一我們先將這七首歌曲和我們所指定的風格(快樂活潑、悲傷平靜或羅曼蒂克)分別輸入到我們的系統中，接著我們會得到 21 首不同風格之音樂，其中包括了 7 首歌，而每 1 首歌有 3 種風格的和弦伴奏。換句話說 1 種風格有 7 首歌。同樣的，我們也針對實驗二與實驗三做不同風格之音樂產生。

接著，我們邀請了 12 位受試者參與此三項實驗。這 12 位受試者中有 3 位(編號 03,06,10)在小時候受過鋼琴的專業訓練，另外還有 2 位(編號 09,12)

分別學過數年的吉他，其餘的人是沒受過專業音樂訓練的薰陶。受試者所做的實驗結果如表八示， x/y 代表 y 首風格音樂中答對 x 首的比例。

由實驗結果可以發現，有受過音樂專業訓練或者學過數年樂器的受試者，在辨別音樂風格時比較會以專業的角度去分別音樂之風格(例如：不同風格之和弦搭配以及搭配手法)。在實驗一中，快樂和浪漫風格的音樂辨識率還不到三成，而悲傷風格的音樂有六成左右而已；在實驗二中，由於我們在模型訓練階段已經加入了不同權重之小節和弦相似度計算後，可以發現不管是哪一種風格的音樂，辨識率皆有些微提升；最後在實驗三中，我們在模型訓練階段加入了不同權重之小節和弦相似度計算與伴奏產生階段加入了不同風格音樂的伴奏手法及歌曲的速度後，明顯的發現在快樂、悲傷和浪漫風格的辨識率皆大幅提升不少，而且每一種風格都超過了 60% 的辨識率，由這次受試者實驗的結果發現，伴奏手法及速度對於判斷歌曲風格佔了很大的變因，但是在模型訓練階段時，事先判段歌曲的調性以及計算小節和弦時使用不同的權重分數也會影響辨別歌曲風格的結果。

5. 結論和未來研究

本研究中，我們將所搜集來的電腦音樂分為三種風格(快樂活潑、悲傷平靜和羅曼蒂克)，並且分別去訓練出這三種風格之狀態機率與轉移機率的訓練模型，訓練完這三種模型後，使用者就可以給定一首音樂的單音主旋律，我們的系統可以自動地根據使用者所指定的風格，為主旋律搭配出此風格的和弦伴奏。而且在模型訓練階段我們加入了歌曲調性的分析及不同權重之小節和弦計算，最後在伴奏產生階段中我們加入了不同風格之歌曲伴奏手法及速度，以增加所產生出來之不同風格音樂的聆聽感。

純粹以統計的方式訓練模型，是無法涵蓋所有和弦進程的和聲學原理，例如和聲學[4]中所述，和弦進程與泛音理論是息息相關的，而好的「和弦進程」原理是指下個和弦的「根音」是前一個和弦所沒有的音，此種的和弦進程原理幾乎可以解決百分之九十的問題，當然其中也有一些例外的(例如：I 級後面可以接任何級數的和弦)。雖然在本篇論文中所建立的和弦進程轉移機率表，我們並未加入此類和聲學原理，但在未加入的情形下，效果已經不錯了，因此在未來我們將會繼續的將此類和聲學原理也加入我們系統中，並且去比較實驗所產生出來的效果。

現今我們採用的和弦數只考慮 Major triad 和 Minor triad，但在音樂和聲學[4]中所提到的和弦的種類還有：Diminished triad、Dominant seventh、Half diminished、Fully diminished、Major seventh、Minor seventh，如果和弦的數目越多，在模型訓練階段會越準確，因此在未來我們將會把更多的和弦列表考慮進來，以增加訓練模型階段的準確率。

雖然和弦的數目會影響最終的辨識率，但在模型訓練前之音樂風格分類數也會影響，譬如說音樂

不一定只有我們所提的這三種風格，而是更多才對，而且一首歌曲中也不一定只包括了一種風格，可能在這首歌的前半段是快樂活潑，而後半對可能卻是悲傷平靜。

而在伴奏產生的階段，目前是只考慮輸入單音音樂的主旋律，在未來可以也考慮複音音樂的主旋律，以增加電腦音樂自動伴奏系統的擴充性，因此我們將會深入的探討這些影響分辨音樂風格之因素。

參考文獻

- [1] 傅思為，基於終止式理論的自動譜和弦系統，清華大學資訊工程學系碩士論文，2004。
- [2] 李宏儒，鄭雯妮與張智星，以統計方法與音樂理論為基礎之哼唱譜曲系統，第七屆人工智慧與應用研討會，台中，2002。
- [3] 陳皓修，廖明慧與高銘鍾，「數位音樂全攻略，文魁資訊」，台北，2005年02月
- [4] 吳源鈺，「和聲學」，歐風音樂文化，台中，1994年10月
- [5] C. W. Chang, Y. K. Wu, and H. C. Jiau, A Practical Chord Arrangement Algorithm for Monophonic Music, *Proceeding of the Tenth Conference on Artificial Intelligence and Applications*, 2005.
- [6] H. Honshuku, *Jazz Theory I*, New England Conservatory Extension Division, England, 1997.
- [7] J. L. Hsu, C. C. Liu, and Arbee L. P. Chen, Discovering Nontrivial Repeating Patterns in Music Data, *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 3, No. 3, 2001.
- [8] C. L. Krumhansl and E. J. Kessler, Tracing the Dynamic Changes in Perceived Tonal Organization in a Spatial Representation of Musical Keys, *Psychological Review*, Vol. 89, No. 4, 1982.
- [9] C. R. Lin, N. H. Liu, and Arbee L. P. Chen, Music Classification Using Significant Repeating Patterns, *Proceedings of the International Conference on Database Systems for Advanced Applications*, 2004.
- [10] C. C. Liu, J. L. Hsu, and Arbee L. P. Chen, An Approximate String Matching Algorithm for Content-based Music Data Retrieval, *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, 1999.
- [11] C. McKay, Using Neural Networks for Music Genre Classification, *Proceedings of the International Computer Music Conference*, 2004.
- [12] B. Pardo and W. P. Birmingham, Algorithms for Chordal Analysis, *Computer Music Journal*, Vol. 26, No. 2, 2002.
- [13] E. S. Ristad and P. N. Yianilos, Learning String Edit Distance, *Proceedings of International Conference on Machine Learning*, 1997.
- [14] M. K. Shan and F. F. Kuo, Music Style Mining and Classification by Melody, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E86-D, No. 4, 2003.
- [15] A. L. Uitdenbogerd and J. Zobel, Manipulation of Music for Melody Matching, *Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia*, 1998.