

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

基植於音樂編曲理論之智慧型 DJ 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 97-2221-E-004-003-
執行期間：97年08月01日至98年10月31日
執行單位：國立政治大學資訊科學系

計畫主持人：沈錕坤

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：黃詒仁
碩士班研究生-兼任助理人員：闕伯丞
碩士班研究生-兼任助理人員：李法賢
碩士班研究生-兼任助理人員：吳容瑜
碩士班研究生-兼任助理人員：游詳閔
博士班研究生-兼任助理人員：邱士銓

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 99 年 04 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

基植於音樂編曲理論之智慧型 DJ

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2221-E-004-003

執行期間：97 年 08 月 01 日至 98 年 10 月 31 日

計畫主持人：沈錕坤

共同主持人：

計畫參與人員：邱士銓、黃詒仁、闕伯丞、李法賢、游詳閔、吳容瑜

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：政治大學資訊科學系

中 華 民 國 99 年 1 月 31 日

基植於音樂編曲理論之智慧型 DJ

摘要

我們常在一般場合中，體驗到音樂對於氣氛的影響。尤其，透過專業的音樂DJ可以營造出令人印象深刻的氣氛。這些專業的音樂DJ根據情境，選取出適合的多首音樂，並將音樂做適當的排列，配合音量與節奏的調整，產生令人印象深刻的背景音樂。我們可以將這產生的音樂視為音樂中『組曲編曲』的過程。

在音樂組曲創作中，編曲家常將多首音樂段落重新排列，並且在音樂段落之間加入間奏，形成一首獨特風貌的音樂組曲。組曲的編曲重點在於音樂段落的編排順序及段落之間的連結。因此，本研究結合資料探勘技術及音樂編曲理論，將多首音樂重新改編成一首組曲。系統首先將分析音樂特徵。接著將每首音樂分段，接著找出每首音樂的代表段落，最後重新編排每首音樂代表段落的順序並在組曲中音樂段落連結間加入Cross-Fade與間奏。

此外，為了達到組曲中音樂段落連接的流暢性，我們以模型訓練的方式產生間奏。首先，系統從訓練資料做旋律發展、和弦進程和節奏模型訓練，接著在組曲編曲時，分析組曲中音樂段落的動機發展及節奏，使得組曲編曲後的間奏能讓音樂段落連接更為流暢且完整。

本研究以流行音樂鋼琴伴奏曲為測試資料。我們分別邀請三十四位受過音樂訓練與未受音樂訓練的測試者，針對本研究所提出的鋼琴伴奏節奏辨識、代表段落萃取、段落順序編排及間奏產生，評估其效果。實驗結果顯示，本研究所提出的順序編排與間奏產生技術，在組曲的流暢感上有不錯的效果。

1. 概論

『音樂編曲』是將既有歌曲做重新改寫及編排，使歌曲變得更為出色，以加深聽者印象、增加樂曲層次感且強化歌曲整體性。編曲的重點在於突顯歌曲傳達的意念與感覺，卻仍保有歌曲的原創性。音樂編曲並不限於流行音樂，古典、民謠、饒舌、爵士、電影配樂也都有編曲的作品。在流行音樂中，羅大佑的『我所不能了解的事』是有名的重新編曲。古典音樂中，著名的卡農就有數十種不同編曲風格的版本。而1996年亞特蘭大奧運主題曲『反璞歸真』則是改編自馬蘭地區阿美族人郭英男的『老人飲酒歌』。由此可知，同樣的詞曲者，不同的編曲者，

歌曲樣貌呈現的結果卻大不相同。

音樂編曲不只是在音樂中加入個人的創作構思。有時後，編曲者也會將許多歌曲的不同音樂元素混合，重新組合成一首組曲。組曲中的各音樂段落是獨立的樂句。在編曲者統一的創作構思下，數首音樂被重新排列與組合後，形成新的音樂曲風。例如黃友棣先生的「天山明月組曲」就是將「新疆舞曲」、「喀什噶爾」、「青春舞曲」三首民謠所組成的新疆組曲。

電腦音樂領域發展了十多年，從音樂結構分析、音樂樣式發掘、音樂和弦辨識，乃至音樂伴奏、音樂和弦搭配等，已有不少學術研究。然而影響音樂呈現的樣貌，還包括編曲，但現有與電腦編曲的相關研究並不多。本研究目的乃基植於音樂編曲理論，利用資料探勘技術自動將使用者指定的多首音樂，重新混合改編成一首組曲，使得組曲的主題段落連結自然且流暢。

當使用者輸入指定編曲的多首音樂後，系統首先將由每首音樂找出代表段落。接著根據代表段落的音樂特徵，編排所有代表段落之順序，並在前後的代表段落連結間加入間奏，最後輸出成一首組曲。為了達到組曲中音樂段落連接的流暢性，我們以模型訓練的方式產生間奏。首先，系統從訓練資料做旋律發展、和弦進程和節奏模型訓練。接著在編曲時，分析組曲中音樂段落的動機、旋律、和弦及節奏，使得組曲編曲後的音樂段落連結更為流暢且完整。

2. 組曲編曲

在流行音樂中，編曲者常用的音樂要素包括：曲式(structure)，伴奏(accompaniment)，前奏(introduction)、過門(interlude)、間奏(bridge)、尾奏(ending)，織體密度(density)，調性(key)，音色(timbre) [2][3][8]。藉由音樂要素的分析和資料探勘技術的使用，我們希望在『編曲要素』與『歌曲呈現風格』中找到關聯性，使得電腦能達到自動編曲之功用。

圖 1 所示為本研究的流程，其中主要包括四大步驟：代表段落分析(Significant Segment Analysis)、線性排列(Linear Arrangement)、組曲編曲(Medley Arrangement)與模型訓練(Model Training)。當使用者由音樂資料庫指定組曲編曲的基本音樂後，在代表段落分析步驟中，系統先對每首音樂作分段，並且找出每首音樂的代表段落。在線性排列步驟中，系統編排代表段落之間的最佳順序。在模型訓練步驟中，我們利用資料探勘技術，分別針對旋律發展(Melody Progression)、和弦進程(Chord Progression)及節奏(Rhythm)建立模型，在組曲編曲時產生適當的

間奏。最後在組曲編曲步驟中，將 Cross-fade 和間奏加入前後的段落間。

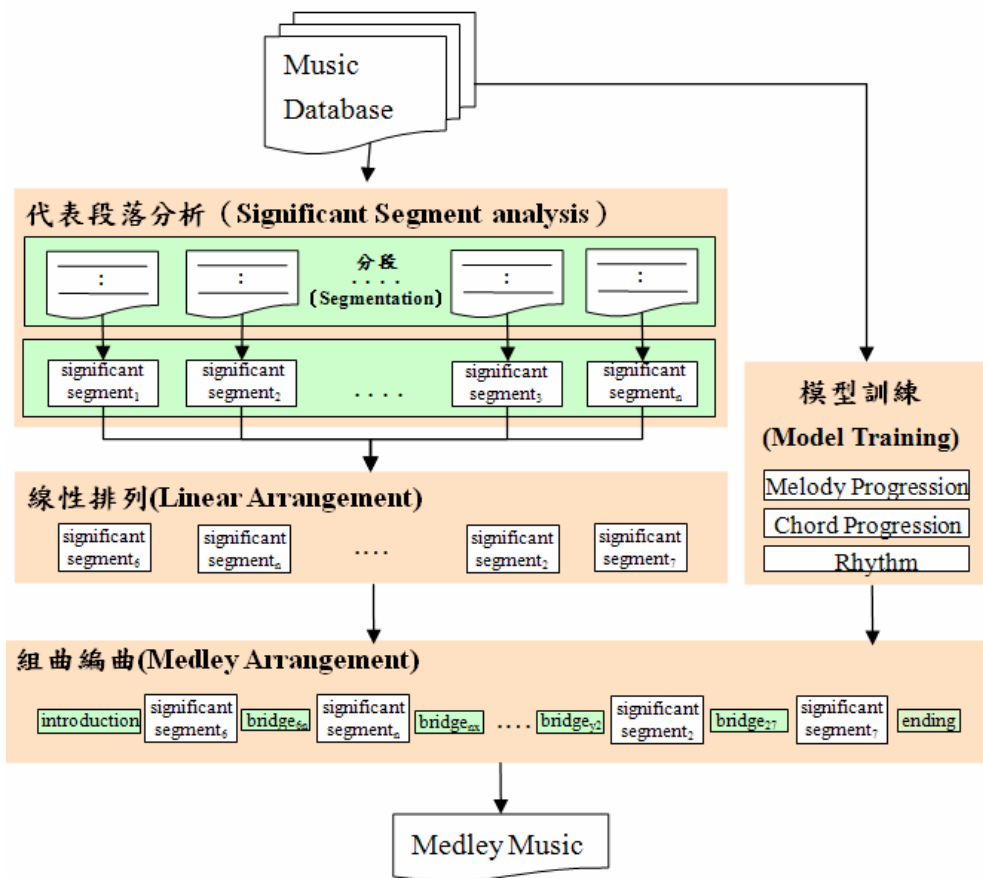


圖 1：架構流程圖。

2.1 代表段落分析

首先，我們先對每首音樂作分段：分析音樂結構並從中找出代表段落。在音樂結構分析階段，我們利用之前所研發的音樂分段技術，根據音樂主題分析音樂結構[1]。我們利用資料探勘技術中的重複樣式探勘(Repeating Pattern Mining)由音樂中分析音樂的動機(Motif)，進而根據音樂動機找出音樂的主題(Theme)，以主題為單位來分析音樂結構。音樂結構分析後產生多個段落後，我們挑選動機重覆次數總和最高的段落來當作此音樂的代表段落。此改根據我們的觀察：如果音樂段落中的原型動機與各種變型動機之重覆次數越高，則代表此段落越具代表性。

2.2 線性排列(Linear Arrangement)

找出代表性段落後，系統計算每對段落間的距離(相異度)。我們以三種面向來分析：歌曲速度、調性與動機。

(1) 歌曲速度距離：歌曲速度為歌曲中一分鐘的節拍數。我們的計算方式如公式 1 所示。其中

A 's Tempo 為 A 段落的歌曲速度， B 's Tempo 則為 B 段落的歌曲速度。

$$\text{Tempo Distance}_{AB} = |A's Tempo - B's Tempo| \quad (1)$$

(2) 調性距離：我們的調性距離將考慮調式差異性(Mode Difference)與升降記號音符的差異性(Difference of #(sharp/flat)，如公式 2 所示。其中，如果為同類型調式，Mode Difference 為 0，否則 Mode Difference 為 12。Difference of #(sharp/flat)則為不同調號之升降音符差異個數。

$$\text{Key Distance}_{AB} = \text{Mode Difference} + \text{Difference of \#(sharp / flat)} \quad (2)$$

(3) 動機距離：針對每個音樂段落，我們找出動機變化出現最多次數的前 10 個，來做動機距離的比較。兩兩段落的動機距離計算方式如公式 3 所示，其中 $Motif_{Ai}$ 與 $Motif_{Bj}$ 分別為段落 A 與段落 B 中重複次數第 i 與第 j 高的動機。如果「 $Motif_{Ai}$ 的 pitch contour 等於 $Motif_{Bj}$ 的 pitch contour」或「 $Motif_{Ai}$ 的 pitch contour 為 $Motif_{Bj}$ 的 pitch contour 之子字串」或「 $Motif_{Bj}$ 的 pitch contour 為 $Motif_{Ai}$ 的 pitch contour 之子字串」，則 $IfContourMismatch(Motif_{Ai}, Motif_{Bj})$ 定義為 0，否則為 1。

$$\text{Motif Distance}_{AB} = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} IfContourMismatch(Motif_{Ai}, Motif_{Bj}) \quad (3)$$

以上三個距離中，由於人們對於歌曲速度改變的感覺比調性改變的感覺來的大，而且調性的感覺又比動機變化的感覺來的大。因此，我們定義兩兩段落之間的距離為此三種面向之加權總和，如公式 4 所示。其中 A 與 B 分別代表兩個音樂段落， $Tempo Dist._{AB}$ 為歌曲速度的距離， $Key Dist._{AB}$ 為調性的距離， $Motif Dist._{AB}$ 為動機的距離。

$$\text{Total Distance}_{AB} = 0.5 * \text{Tempo Dist.}_{AB} + 0.3 * \text{Key Dist.}_{AB} + 0.2 * \text{Motif Dist.}_{AB} \quad (4)$$

接著，我們將每首音樂段落與兩兩音樂段落之間的距離表示成一個完全圖(Complete Graph)，其中每個節點代表每首音樂的代表段落，每個邊代表兩兩音樂段落之間的距離。線性排列的目標是由此完全圖中，找出一條經過每個點的路徑，使得各段落在線性排列後的距離總和為最小。因此，本研究的線性排列問題可以轉化為旅行推銷員問題(Traveling Salesman Problem)。旅行推銷員問題是 NP-Complete 的問題，且已經有很多演算法的解法。本研究利用模擬退火演算法(Simulated Annealing Algorithm)來解決。

2.3 模型訓練(Model Training)

不同代表段落間必須適當地加入間奏，使得組曲編曲後的音樂段落連結更為流暢且完整。因此，模型訓練的主要目的在針對音樂構成的基本要素形成三種模型訓練的面向：旋律、和弦進程及節奏模型。

在旋律發展模型方面，我們記錄主旋律音程差的相鄰機率。我們以表格的形式來記錄。音樂主旋律的音程差為整數，而且在流行樂中的音程差大多不超過 10[13][13]。因此在本研究的旋律發展模型中，主旋律相鄰的音程差介於-10 至+10 之間。

在和弦進程方面，本研究參考過去的和弦辨識研究[4][7][9][12]，重新提出一個更適合音樂的和弦種類及和弦辨識方法。每一種調性的和弦種類有 24 種，而且和弦辨識單位以小節為單位，其中在小節中和弦出現的分數計算如公式 5 所示。

$$Score = P - (M + N) \quad (5)$$

公式 3.5 之說明：

(1) $P = weight_p(note_m) * duration(note_m)$ ，小節音 $note_m$ 在和弦音 $note_c$ 之分數總和。

其中 $weight_p(note_m)$ 為 $note_m$ 之權重：
$$\begin{cases} \text{三和弦}(\text{root, third, fifth}) = (6,2,4) \\ \text{七和弦}(\text{root, third, fifth, seventh}) = (5,2,2,3) \end{cases} ;$$

其中 $duration(note_m)$ 為 $note_m$ 之音長。

(2) $M = weight_M(note_m) * duration(note_m)$ ，小節音 $note_m$ 不在和弦音 $note_c$ 之分數總和。

其中 $weight_M(note_m)$ 為權重且值為 1；其中 $duration(note_m)$ 為 $note_m$ 之音長。

(3) $N = weight_N(note_c)$ ，和弦音 $note_c$ 不在小節音 $note_m$ 之分數總和。

其中 $weight_N(note_c)$ 為權重且值為 1。

當小節中各和弦出現的機率計算得出後，我們用 Pickens [10]等人所採用的 HMM-1st-order 方式訓練相鄰兩和弦的和弦進程關係模型。

在節奏模型方面，我們提出了針對複音的鋼琴音樂做節奏的辨識方法，它主要的精神是以小節為單位辨識每小節可能之節奏，接著從整首音樂的小節中挑選出現最多次的節奏，當做此音樂的節奏。在節奏模型訓練裡，我們分別針對調式做不同的模型訓練，而且每個調式的節奏模型共有二類：1.伴奏節奏模型，2.伴奏節奏與旋律節奏的關聯性模型。在第一類中，我們針

對不同的調式分別訓練常出現的伴奏節奏模型。在第二類中，我們則針對不同的調式分別訓練伴奏節奏常與何種旋律節奏做搭配的模式。

3 組曲產生(Medley Generation)

3.1 決定間奏要素

(1) 速度：不同速度的音樂會帶來不同的感覺，間奏歌曲速度往往與前後段落歌曲速度差異性不大。間奏歌曲速度的決定方式如公式 6 所示。其中 $Segment\ Tempo_A$ 為音樂片段 A 之歌曲速度， $Segment\ Tempo_B$ 為音樂片段 B 之歌曲速度。

$$Bridge\ Tempo_{AB} = \frac{Segment\ Tempo_A + Segment\ Tempo_B}{2} \quad (6)$$

(2) 調性：調性影響音樂色彩的變化。但前後代表段落的調性未盡相同。因此，轉調是組曲編曲的重要手法之一。簡單的轉調利用近系調性之間的轉換，所謂近系調性是指音樂未轉調前原調的下屬調與屬調。因此，我們利用前後代表段落的下屬調與屬調，從中找出最適合間奏的調性。我們同樣利用旅行推銷員問題的演算法找出最適合的調性。

(3) 節數：間奏的長度也是編曲的重要考量。過長的間奏將搶走前後段落音樂的風彩，過短の間奏則無法發揮潤飾的效果。一般流行音樂的間奏長度多介於 4 至 8 小節之內。因此，本研究中的間奏長度決定如公式 7 所示。

$$Measure\ Number_{AB} = \begin{cases} 4, & \text{when } \min(Measure\ Number_A, Measure\ Number_B) \leq 16 \\ 8, & \text{when } \min(Measure\ Number_A, Measure\ Number_B) > 16 \end{cases} \quad (7)$$

3.2 節奏產生

(1) 伴奏節奏：在伴奏節奏產生階段時，系統自動的分析間奏適用的節奏密度。我們希望間奏有兩組的伴奏節奏，分別以小節為單位交叉的進行，以增加間奏的進行與變化。第一步驟，找出所有可能的伴奏節奏。首先對音樂片段 A 與音樂片段 B 做伴奏節奏辨識，接著從伴奏節奏模型中，挑選與音樂片段 A 及音樂片段 B 不同的旋律節奏做為間奏的伴奏節奏。第二步驟，計算所有可能伴奏節奏與前後兩音樂段落所有伴奏節奏的相似度。我們採用 Edit Distance[11]方式來計算。我們用公式 8 計算間奏伴奏節奏與前後兩音樂段落伴奏節奏的相似度。其中 $R_A^i \in \{R_A\}$ 、 $R_{AB}^k \in \{R_{AB}\}$ 與 $R_B^j \in \{R_B\}$ 。

$$Similarity(R_A^i, R_{AB}^k, R_B^j) = \frac{1}{EDIT\ DISTANCE(R_A^i, R_{AB}^k)} + \frac{1}{EDIT\ DISTANCE(R_{AB}^k, R_B^j)} \quad (8)$$

第三步驟，計算所有可能伴奏節奏與前後兩音樂段落所有伴奏節奏的節奏密度。節奏密度為節奏中所有音符的音長總和。計算方式如公式 9 所示，其中 $note_t$ 為節奏的第 t 個音符，n 為節奏的音符數。

$$Rhythm\ Density = \sum_{t=1}^n note_t's\ duration \quad (9)$$

第四步驟，決定 R_{AB}^x 與 R_{AB}^y 做為間奏的伴奏節奏。本研究參考樂理中的定義[13]，設定間奏的伴奏節奏密度層次分為低、中、高，其中節奏密度低、中、高的伴奏節奏決定分別為 $1 \leq Rhythm\ Density \leq 4$ 、 $10 \leq Rhythm\ Density \leq 16$ 與 $40 \leq Rhythm\ Density \leq 64$ 。所以本系統自動挑選出 R_{AB}^x 與 R_{AB}^y 的間奏伴奏節奏，而且是 $Similarity(R_A^i, R_{AB}^k, R_B^j)$ 較高及 Rhythm Density 較接近前後兩音樂段落。

- (2) 旋律節奏：我們利用剛剛產生的間奏伴奏節奏 R_{AB}^x 與 R_{AB}^y 作為間奏旋律節奏的挑選基準。
- 第一步驟，找出所有可能的旋律節奏。首先對音樂片段 A 與音樂片段 B 做旋律節奏辨識，接著根據伴奏節奏 R_{AB}^x 與 R_{AB}^y ，從伴奏節奏與旋律節奏的關聯模型中，挑選與音樂片段 A 及音樂片段 B 不同的旋律節奏做為間奏的旋律節奏。第二步驟，計算所有可能伴奏節奏與前後兩音樂段落所有伴奏節奏的相似度。計算方式與間奏伴奏節奏的第二步驟相同。第三步驟，決定 $R_{AB}^M^x$ 與 $R_{AB}^M^y$ 做為間奏的旋律節奏。我們挑選 $Similarity(R_A^M^i, R_{AB}^M^k, R_B^M^j)$ 最高的兩個當作間奏的旋律節奏。

3.3 產生和弦

- (1) 和弦序列產生：根據間奏的節數、調性及和弦進程模型，我們可以利用圖 2 之演算法產生適當的和弦序列。在和弦序列產生階段，我們先隨機產生數個和弦序列，接著去計算每一個和弦序列分數，最後取其中分數最高的序列

```

Algorithm Chord Sequence Generation
Input : chord number length
Output : chord sequence
Randomly generating 100 chord sequences of the chord number length
For each chord sequence do
    Scoring Chord Sequence(chord sequence)
return the highest score of chord sequence

Algorithm Scoring Chord Sequence
Input : chord sequence
Output : score of the chord sequence
initialize score = 0
for each chord of the chord sequence do
    score += chord progression model(chord, next chord)
return score

```

圖 2：和弦序列產生演算法。

```

Algorithm Melody Generation
Input : motif variation set motifs
Output : melody
1) Randomly generating 100 melody between the motifs
2) for each melody do
3)     Scoring Melody(melody)
4) return the highest score of melody

Algorithm Scoring Melody
Input : melody
Output : score of the melody
1) initialize score = 0
2) for each pitch interval of the melody do
3)     score += melody progression model(pitch interval, next pitch interval)
4) return score

```

圖 3：旋律產生演算法。

3.4 產生旋律

在間奏旋律產生部分，本系統將根據動機的發展與變化來產生旋律。我們分析音樂段落 A 與音樂段落 B 中的各種動機變化，並且從這些動機變化中，根據間奏的每組和弦組成音及旋律節奏特性，挑選適合的動機加入間奏旋律。

現在的間奏旋律已經產生了一部分，但是在動機與動機之間的旋律尚未產生音符。因此，本研究利用旋律發展模型在動機之間產生音符。在旋律產生階段，我們隨機產生數個旋律，接著計算每個旋律分數，最後取分數最高的旋律。

4. 實驗

我們的音樂資料庫由網站 (<http://www.tintinpiano.com>, <http://www.popiano.org>, <http://www>.)

gangqinpu.com)收集了 70 首 MIDI 格式的流行音樂鋼琴曲。我們邀請 34 位測試評估系統編曲的效果，其中有十七位受過音樂訓練。評估的效果包括音樂片段的代表性、音樂段落線性排列的順暢度、間奏的伴奏密度對組曲編曲的影響。

音樂名稱	具代表性	沒感覺	不具代表性
世界末日(周杰倫)	94.1%	2.9%	2.9%
天黑黑(孫燕姿)	85.3%	8.8%	5.9%
愛情(莫文蔚)	73.5%	20.6%	5.9%
孤單北半球(梁靜茹)	82.4%	5.9%	11.8%
剪愛(張惠妹)	79.4%	14.7%	5.9%
歐若拉(張韶涵)	79.4%	8.8%	11.8%
My Memory(張信哲)	61.8%	29.4%	8.8%
櫻花紛飛時(中島美嘉)	82.4%	14.7%	2.9%
天堂(光良)	88.2%	2.9%	8.8%
我的驕傲(容祖兒)	70.6%	29.4%	0%

表 1：音樂片段的代表性比例。

	自然	沒有感覺	不自然
專家	41.2%	5.9%	52.9%
非專家	82.4%	0%	17.6%
平均	61.8%	2.95%	35.25%

表 2：組曲中音樂段落順序編排的流暢程度。

	編曲前			編曲後		
	自然	沒有感覺	不自然	自然	沒有感覺	不自然
專家	35.3%	5.9%	58.8%	47%	23.5%	29.4%
非專家	41.2%	0%	58.8%	88.2%	5.9%	5.9%
平均	38.25%	2.95%	58.8%	67.6%	14.7%	17.65%

表 3：組曲編曲前與編曲後的流暢程度。

在音樂片段的代表性實驗中，我們準備了 10 首音樂的代表片段讓測試者辨識是否具代表性。表 2 是評估結果。除了 My Memory 偏低之外，其他皆有 70% 以上的測試者評估為具代表性。但 My Momery 只有 8.8% 的測試者評估為不具代表性。因此，以動機重覆次數總和的分析方式來決定音樂片段的代表性有不錯的效果。表三則是從中我們可以發現在實驗三的音乐段落線性排列實驗中，我們準備了一首線性排列後的編號 1 的組曲讓測試者判斷音樂片段的順序編排是否自然。圖 3 是編號 1 的組曲中音樂段落順序編排的流暢程度實驗結果。在實驗四組曲編曲的實驗中，我們準備了一首經由系統編曲後有三種不同間奏節奏密度的組曲，分別測驗組曲中各

音樂片段連結的自然性與完整性。如圖 4.5、4.6 與 4.7 所示。它們之中唯一不同就是間奏伴奏節奏的密度。由此三圖的數據我們可得知，低密度與高密度的實驗不管測試者為誰，間奏伴奏節奏皆不太適用於編號 2 組曲。但以圖 4.6 的中密度伴奏節奏來說，是最適合當作編號 2 組曲的編曲要素。

5. 結論

在本研究中，我們提出自動產生組曲的智慧型 DJ。我們根據音樂編曲理論，利用資料探勘技術來分析旋律、和弦及節奏等編曲要素，以產生音樂組曲。在旋律部分，我們利用資料探勘技術及動機發展與變化的方法分析主旋律的特性，並且學習主旋律音程差變化的模型，使得組曲編曲後的主旋律具有流行音樂創作的特性。在和弦部分，我們利用機器學習技術及採用流行音樂常用的和弦系統，建立流行音樂適合的和弦進程模型，讓組曲編曲後的和聲變化能夠更和諧與自然。在節奏部分，我們根據音樂編曲理論提出了複音鋼琴音樂的節奏辨識方法，建構旋律節奏與伴奏節奏的關係模型，以產生不同節奏感的流行音樂組曲。

參考文獻

- [1] 何旻璟，以主題為基礎的音樂結構性分析，政治大學資訊科學系碩士論文，民國 93 年。
- [2] 李永剛，實用歌曲作法，全音樂譜出版社，民國 71 年。
- [3] 陳建銘，國語流行歌曲中的編曲工作，台灣大學音樂學研究所碩士論文，民國 90 年。
- [4] 傅思為，基於終止式理論的自動譜和弦系統，清華大學資訊工程系碩士論文，民國 93 年。
- [5] 黎翁斯坦著，潘皇龍譯，音樂的結構與風格，全音樂譜出版社，民國 63 年。
- [6] 劉永康與蕭良悌，通琴達理：和聲與樂理，典絃音樂文化國際事業，民國 95 年。
- [7] B. B. Ashton and N. L. Colbaugh, *You Can Teach Yourself to Compose Music*, MelBay, 1996.
- [8] C. W. Chang, Y. K. Wu and H. C. Jiau, A Practical Chord Arrangement Algorithm for Monophonic Music, *Proceedings of the Tenth Conference on Artificial Intelligence and Applications*, 2005.
- [9] V. Corozine, *Arranging Music for the Real World*, MelBay, June 2002.
- [10] B. Pardo and W. P. Birmingham, Algorithms for Chordal Analysis, *Computer Music Journal*, Vol. 26, No. 2, 2002
- [11] J. Pickens and T. Crawford, Harmonic Models for Polyphonic Music Retrieval, *Proceedings of the ACM International Conference on Information Knowledge and Management*, 2002
- [12] E. S. Ristad and P. N. Yianilos, Learning String Edit Distance, *Proceedings of the International Conference on Machine Learning*, 1997.
- [13] A. Shenoy and Y. Wang, Key, Chord and Rhythm Tracking of Popular Music Recordings, *Computer Music Journal*, Vol. 29, No. 3, 2005.
- [14] K. Wyatt and C. Schroeder, *Harmony & Theory: A Comprehensive Source for All Musicians*, Musicians Institute Press, 2006.

計畫成果自評

■ 就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況

本研究計畫主要在研究結合資料探勘技術及音樂編曲理論，將多首音樂重新改編成一首組曲。我們首先將分析音樂特徵。接著將每首音樂分段，接著找出每首音樂的代表段落，最後重新編排每首音樂代表段落的順序並在組曲中音樂段落連結間加入 Cross-Fade 與間奏。此外，為了達到組曲中音樂段落連接的流暢性，我們以模型訓練的方式產生間奏。首先，系統從訓練資料做旋律發展、和弦進程和節奏模型訓練，接著在組曲編曲時，分析組曲中音樂段落的動機發展及節奏，使得組曲編曲後的間奏能讓音樂段落連接更為流暢且完整。

本研究以流行音樂鋼琴伴奏曲為測試資料。我們分別邀請三十四位受過音樂訓練與未受音樂訓練的測試者，針對本研究所提出的方法，評估其效果。實驗結果顯示，本研究所提出的方法在音樂片段的代表性、線性排列的順暢度、間奏的產生技術，都有不錯的效果。因此，無論是研究內容或研究目標，幾乎與原計畫相符。

■ 研究成果之學術或應用價值

本計畫的研究成果，在學術價值方面，我們除了提出代表段落分析及線性排列的方法，我們也提出模型訓練的方式來產生間奏。我們提出由訓練資料中學習探勘旋律發展、和弦進程和節奏模型，使得組曲編曲後的間奏能讓音樂段落連接更為流暢且完整。

在應用價值方面，我們常在一般場合中，體驗到音樂對於氣氛的影響。專業的音樂 DJ 可以營造出令人印象深刻的氣氛。本研究所開發的系統除了可以廣泛地應用在這些場合，也可以帶動美感與資訊科技的結合。本計畫中音樂的技術及應用，將有助於台灣發展與音樂藝術有關的數位內容技術與美學經濟。

■ 是否適合在學術期刊發表或申請專利

本計畫的研究成果除了 2 篇碩士論文之外，部分研究成果已經發表在 Workshop on Digital Archive Technologies, IEEE International Conference on Multimedia and Expo. 我們也正在整理研究結果，準備投稿到國際學術期刊。

■ 主要發現或其他有關價值

本計畫在音樂片段的代表性實驗中，驗證以動機重覆次數總和的分析方式來決定音樂片段的代表性有不錯的效果。表三則是從中我們可以發現在實驗三的音樂段落線性排列實驗中，我們準備了一首線性排列後的編號 1 的組曲讓測試者判斷音樂片段的順序編排是否自然。圖 3 是編號 1 的組曲中音樂段落順序編排的流暢程度實驗結果。在間奏彈奏技巧方面，間奏密度會影響各音樂片段連結的自然性與完整性。

International Society for Music Information Retrieval Conference ISMIR 2010 會議報告

沈錕坤

政治大學資訊科學系

一、 會議時間與地點

2009 年 10 月 26 日至 10 月 30 日, Kobe Japan

二、 會議介紹及與會經過

ISMIR 自 2000 年開始一向是 Music Information Retrieval 的年度盛會。今年不僅屆滿十年，而且也是第一次亞洲舉辦(以往都在美洲或歐洲國家舉行)。今年的會議包括第一天的四場 Tutorial、第二天至第五天的論文與海報發表、兩場 Keynote Speech、由學生主辦的 F(MIR)(Future of MIR)與延續數年的 MIREX(Music Information Retrieval Evaluation eXchange)。

本屆會議所發表的論文包括了 38 篇 full paper、85 篇 Poster，Accept Rate 為 58%。論文審核不僅採 Double Blind Review、且作者也有 Rebuttal 的機會，因此深具論文品質。台灣大學的吳嘉麟教授、陳宏銘教授、清華大學的張智星教授也都有論文或海報發表。我們也有 Piano Reduction 的研究成果投稿至這次的 ISMIR，Reviewer 有很高的評價，且建議修改後 Accept。但經過 Rebuttal，因為與大會主題的相關性最後沒被接受。後來此研究在 IEEE International Workshop on Advances in Music Information Research 發表。

會議前一天是四場 Tutorial，分別是 MIR at the Scale of the Web, Mining the Social Web for Music Related Data, Using Visualization for music Discovery 與 Share and Share Alike, You Can Say Anything about Music in the Web of Data。但我因行程與經費的關係無法參加。

今年的 Keynote Talk 是 Ten Years of ISMIR: Reflections on Challenge and

Opportunities, 由 UIUC 的 Professor J. S. Downie、Indiana Univ. Bloomington 的 Prof. D. Byrd 及 Univ. of London 的 Prof. T. Crawford, 對十年來 MIR 的發展作回顧與前瞻。其中提到了多項 MIR 未來的挑戰, 包括考慮更多 Potential Users、Multiple Features 的 Hybrid Matching、考慮更多不同特質與文化的音樂、整合的 MIR 系統等。另一場的 Keynote Talk, Wind Instrument-Playing Humanoid Robots 非常有趣, 由 Waseda Univ. 的 Prof. A. Takanishi 介紹他們所開發的會吹奏長笛的機器人 WF(Waseda Flutist)。因為日本面臨高齡化社會的來臨, 因此研究開發人性化的機器人。這機器人的長笛吹奏令人驚艷, 尤其還模擬人類吹氣時的聲帶運作, 手指的姿勢也非常靈活。Youtube 上有此系列機器人相關的影片介紹 (<http://www.youtube.com/watch?v=lYDW2A5-Cbw>)。

今年的論文與往年相較最特別的大概就是近幾年來因為 Web 2.0 的興起, 透過音樂網站的 Social Tags 之相關議題, 這個 Session 討論非常熱烈。尤其, 由 CMU, UIUC, Columbia 的團隊發表的 Evaluation of Algorithms using Games: The Case of Music Tagging, 其實驗中對於音樂的 Social Tagging 一些怪異的現象, 引起大家會心的笑聲。此外, 今年的 ISMIR 特別還有 Lyrics, Folk Songs, Sociology and Ethnomusicology 的 Sessions。

這次會議還特別舉辦 f(MIR) Workshop on the Future of MIR。在 f(MIR) 的 Workshop 上有五篇論文發表, f(MIR) 雖由學生主辦, 但沒有限制作者是學生身分。其中有趣的論文包括探討何謂有意義的 Music Retrieval、如何 Real Time 的推薦 Live Music。此外則是延續前幾年的 MIREX。今年的 MIREX 延續過去包括 Genre Classification, Artist Identification, Query by Singing/Humming, Tapping, Onset Detection 等 26 個 Task。今年也增加了諸如音樂 Social Tags 新的 Data Set。清大張智星教授也有參與 Query By Singing/Humming。

大會在會後分別安排參觀 10/31, 11/2 於京都、東京舉行的日本國內的音樂相關會議 CrestMuse Workshop、SIGMUS Symposium。CrestMuse 示日本最大的音樂研究計畫, SIGMUS 則是日本國內最大的音樂資訊會議。

三、 與會心得

由於 ISMIR 參與的研究學者多兼具 Computer Science 與 Music 的背景或興趣，因此會議中充滿愛樂人士對音樂研究的熱情。從會議中發問以及報告的過程中，也可以看到各種不同的思考面向。

今年的 Keynote Talk 帶來很深的省思與前瞻。過去 MIR 的相關研究多著重在音樂基本特徵的分析、查詢的比對與處理。隨著 Web 2.0 興起，加入了 Social Tags 的資訊。MIR 的應用需求在我們日常生活非常普遍，但 MIR 技術在實際市場的發展，似乎不如 Image Retrieval。Image Retrieval 目前包括 Google Web Image Search, Google Image Similar Search, Google Swirl, Yahoo! Image Search 都實現了。誠如 Professor Downie 等人所言，MIR 的研究應考慮更多不同角色的 Potential Users 之需求、Multiple Features 的 Hybrid Matching、考慮更多不同特質與文化的音樂、整合的 MIR 系統、重視系統的實作。我們的研究計畫也呼應了希望扮演 DJ 角色的 User 之需求。

在論文發表中，我特別注意到的研究包括 Indiana University 與 Microsoft Research 針對流行音樂研究歌詞與旋律的關係。這研究雖然沒有提出特別的演算法，且僅針對 Symbolic Music，但其觀察統計結果非常有意義。不僅可以應用在歌詞與旋律的 Alignment 也可以應用在 Lyric Transcription、Score Following。這個研究對於我們的研究計畫非常有幫助。我們在實驗的部份也包括流行音樂，且我們蒐集的檔案格式是 ovc 檔，往往都包含有歌詞的資訊。此外，這研究針對英文，中文歌詞的相關研究對於華語流行音樂、台灣的音樂數位內容產業，將會非常有意義。台大吳嘉麟教授的研究團隊則是 Music Clips Concatenation 的研究，利用音樂的 Chroma 與 Rhythm 特徵來比較 Clips 之相似度，並進而針對其差異來調整。這研究對於我們的研究計畫非常有幫助。我們的研究計畫是針對研究 Symbolic Music，利用編曲理論組合成組曲。台大的研究則是針對 Wave Form Music。同樣的，我們都必須解決相鄰 Music Clips 間曲風差異的問題。日本的

KDDI R&D Lab.研究開發自動的 DJ 混音系統，主要是參考使用者的反應調整音樂的 Tempo。這與我們的研究也有密切的關係。日本京都大學的 Searching for Unknown Music by Mixing Known Music，這跳脫傳統以單一音樂的查詢。過去我們在 JCDL 也曾發表過類似的研究。京都大學主要利用 Latent Dirichlet Allocation 來偵測多首音樂的共同風格。德國的 Fraunhofer Institute for Digital Media Technologies 則呼應 Keynote Talk 所提出的未來挑戰，跳脫傳統的 Multi-Label Classification，以 Multi-Domain-Labeling 的方式來處理 World Music 的 Genre Classification 問題。清大張智星教授的研究團隊是 Singing Pitch Extraction 的研究，張教授在這方面的研究已經累積豐碩的研究成果。針對 Folk Song, 來自挪威的 Utecht Univ.則以 Melody Alignment 的角度，來評估音樂相似度。台大陳宏銘教授的研究團隊則是結合 Unsupervised Classification 及 Supervised Classification 的 Approach 來坐 Music 的 boundary Detection。

這次的主辦單位充分發揮日本人做事的精緻細心。無論在會場標示、點心便當、會場聲光設備、接待服務都完美無缺。尤其，研究音樂的人普遍對於音效非常敏感，這次主辦單位非常注重這些細節。特別令人驚喜的是由神戶車站到會場 Kobe International Conference Center 的捷運 Porter Liner 上，連椅背都貼了 ISMIR 的標示，讓與會人士可以安心地一路到達會場。而此次論文集除了印刷深具質感的紙本論文集之外，還提供數位檔案的論文集。一般會議都是提供光碟，但主辦單位精心地將所有論文存入 USB 隨身碟，而這 USB 隨身碟連接著光筆。由大會提供的資訊，我也因此得知 Journal of Mathematics & Music 這近幾年新發行的國際學術期刊。今年主辦單位的巧思與細心，值得我們學習。

四、 攜回資料名稱與內容

攜回 Proceedings of the 10th International Society for Music Information Retrieval Conference 論文集。