

# 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

音樂節奏複雜程度之情感及節奏認知研究

**The Study of Affective and Rhythm Cognition of Musical Rhythm  
Complexity**



研究生：朱季芳

指導教授：黃志方 教授

成維華 教授

中華民國一百零一年七月

音樂節奏複雜程度之情感及節奏認知研究  
The Study of Affective and Rhythm Cognition of Musical Rhythm  
Complexity

研究生：朱季芳

Student : Chi-Fang Chu

指導教授：黃志方

Advisor : Chih-Fang Huang

成維華

Wei-Hua Chieng



Submitted to Master Program of Sound and Music Innovative Technologies  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master  
in

Engineering

July 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年七月

# 音樂節奏複雜程度之情感與節奏認知研究

學生：朱季芳

指導教授：黃志方

成維華

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

本論文研製之探討音樂節奏複雜度的數學計算方法，以及與音樂情感及節奏特徵的關聯性，建構節奏複雜度的概念。使用五種計算方法去分析音樂資料的節奏複雜度，並藉由音樂實驗找出與人類感知最接近的數學計算方法。根據實驗結果發現，使用節奏韻制結構以及權重分佈的數學計算方法，與人的感知仍較為接近，而以自相關函數做為節奏複雜度分析方法，其實驗結果沒有 Metrical Complexity、WNBD、Fitch and Rosendeld、LHL 這四個方法符合人類感知。而其他實驗結果包括節奏複雜程度增加，音樂激昂程度也會增加；節奏複雜程度增加，節奏變化程度增加，節奏規律程度、穩定程度、明顯程度則減少，為節奏複雜度的情感與相關節奏特徵的現象，建構至音樂節奏複雜度概念中。本研究的音樂實驗以改變節奏切分程度為操縱變因，並將音樂分做前後兩段且旋律相同，主要觀察改變節奏影響的變項與造成的現象，並以探討音樂節奏複雜度為本研究重點。

關鍵字：節奏複雜度、情感、韻制階層、感知

# The Study of Affective and Rhythm Cognition of Musical Rhythm Complexity

student : Chi-Fang Chu

Advisors : Chih-Fang Huang

Wei-Hua Chieng

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

## ABSTRACT

This study discusses the mathematical methods of the musical rhythm complexity, and the correlation with the music emotions and rhythm features. We use five mathematical methods to analyze musical data, and conduct a musical experiment to find the better methods that approach the human perception. According to the experimental result, the methods using the weights of the metrical hierarchy are still close to the human perception. The method of rhythm complexity, Autocorrelation-based measure, is not better than Metrical Complexity, WNBD, Fitch and Rosenfeld and LHL. The other experimental result includes the condition that, when the rhythm complexity increases, the arousal increases; the rhythm complexity increases, the rhythm variety, regularity, firm increase, and rhythm outstanding decreases. These are the emotion and rhythm features phenomenon of rhythm complexity, and the phenomenon can be the conception of rhythm complexity. The musical experiment of this study takes rhythm syncopation as the independent variables, and the music stimulus which can be divided into two patterns. The anterior and posterior melody is the same, but rhythm is different. We observe the affected event and the caused phenomenon when music rhythm is changed, with discussing musical rhythm complexity is this study's main point.

Key Word : rhythm complexity, affective, metrical hierarchy, perception

## 誌謝

在交大的碩士班生涯逐漸接近尾聲，這一路上受到許多人的幫助，才得以順利完成碩士論文。首先，特別感謝黃志方老師的指導，總能引導我對於研究問題做深入思考，並且帶領我們在不同的角度看音樂，也讓我有機會可以參與相關音樂活動；同時也感謝向斌學長與宏儒學長，對於研究方向的指引與協助。而實驗室學長姐的經驗分享與傳承，總能做為我們在有需要時的參考與建議，非常感謝你們的協助。

實驗室的同窗友人：舒方、明瑾、志翰、志豪、為博，很開心可以和你們一起學習與討論，並且不吝於協助我，在新竹的生活裡，很感謝有你們的陪伴，珍惜與你們相處的時光。而很高興可以認識後來加入實驗室的學弟妹，每個人來自不同的專長與背景，讓我增長見聞，也讓實驗室熱鬧許多。然後，特別感謝參與音樂實驗的受試者與幫忙協助的一年級學弟妹，讓實驗順利進行。

然後，也感謝這段時間給我加油打氣的朋友們，謝謝你們適時的鼓勵，增加我的信心。最後，感謝總在背後支持我、最偉大的父母親，謝謝你們讓我給予我衣食無缺、從小就能學樂器的生活，並且不反對我念碩士班，讓我的碩士班生涯能專心做研究，順利完成碩士論文。

# 目錄

摘要 .....	i
ABSTRACT .....	ii
誌謝 .....	iii
目錄 .....	iv
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	vii
一、緒論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究背景 .....	1
1.3 研究內容 .....	1
二、相關研究 .....	3
2.1 節奏複雜度 .....	3
2.2 音樂情緒與節奏認知 .....	8
三、研究方法 .....	13
3.1 節奏複雜度計算 .....	13
3.1.1 Metrical Complexity .....	13
3.1.2 Weighted Note-to-Beat Distance(WNBD) .....	14
3.1.3 Longuet-Higgins and Lee(LHL) .....	15
3.1.4 Fitch and Rosenfeld .....	17
3.1.5 Autocorrelation-based measure .....	17
3.2 測量方法 .....	20
3.3 相關與迴歸 .....	22
3.3.1 迴歸分析基本統計假設 .....	22
3.3.2 迴歸模式的顯著性考驗 .....	23
3.3.3 積差相關原理 .....	25
四、實驗方法 .....	27
4.1 音樂刺激物 .....	27
4.2 研究對象 .....	29
4.3 音樂實驗流程 .....	30
4.4 資料分析 .....	33
五、實驗結果與討論 .....	36
5.1 數學節奏複雜度與人對節奏複雜程度感知 .....	36
5.2 人對節奏複雜程度感知與情感認知相關探討 .....	39

5.3 人對節奏複雜程度感知與節奏認知相關探討 .....	42
5.4 綜合討論 .....	47
六、結論與未來展望 .....	53
七、參考文獻 .....	54



## 表目錄

表 1	各象限對應的音樂特徵.....	10
表 2	相關係數的強度大小與意義.....	26
表 3	本實驗的所有音樂節奏組合.....	28
表 4	三組受試者對人的節奏感知與節奏複雜度方法相關性.....	37
表 5	節奏複雜度方法與人類感知相關性之變異數分析：F 考驗與 p 考驗.....	37
表 6	節奏複雜度計算方法間相關性.....	38
表 7	節奏複雜度計算方法間之變異數分析：F 考驗與 p 考驗.....	38
表 8	A 組之人的節奏感知與情感認知相關性.....	39
表 9	A 組之人的節奏感知與情感認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗.....	39
表 10	B 組之人的節奏感知與情感認知相關性.....	40
表 11	B 組之人的節奏感知與情感認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗.....	40
表 12	C 組之人的節奏感知與情感認知相關性.....	41
表 13	C 組之人的節奏感知與情感認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗.....	41
表 14	三組受試者對人的節奏感知與音樂情感認知的相關性.....	42
表 15	A 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性.....	43
表 16	A 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗.....	44
表 17	B 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性.....	45
表 18	B 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗.....	45
表 19	C 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性.....	46
表 20	C 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗.....	46
表 21	三組受試者對人的節奏感知與節奏特徵認知的相關性.....	47



## 圖目錄

圖 1	六種與節奏事件相關的音樂範例.....	4
圖 2	T-Measure 四分音符拆解範例.....	5
圖 3	Lempel-Ziv 複雜度計算範例.....	5
圖 4	四個音符的 Rhythm oddity 計算方法示意圖.....	6
圖 5	使用 Off-beatness Measure 計算 Fume-Fume 節奏.....	6
圖 6	Hesitation, Anticipation, Syncopation.....	7
圖 7	二維情緒象限圖.....	9
圖 8	一小節 16 單位的 Metrical Complexity 階層權重圖與 clave son 節奏.....	13
圖 9	6/4 拍節奏範例.....	14
圖 10	一小節 16 單位的 LHL 樹狀權重圖與 Clave son 節奏.....	15
圖 11	一小節 12 單位的 LHL 權重圖.....	16
圖 12	Fitch and Rosenfeld 算法示意圖之樹狀權重圖與 soukous 節奏.....	17
圖 13	旋律與節奏明顯處範例.....	18
圖 14	音樂旋律對照 onset impulse function 與自相關函數.....	20
圖 15	三種常見的實驗問卷填答方法.....	21
圖 16	評量詞彙受影響程度的填答方式.....	22
圖 17	四個非切分節奏(U1-U4)和四個切分節奏(S1-S4).....	27
圖 18	音樂刺激物範例.....	29
圖 19	音樂實驗填答操作示意圖.....	31
圖 20	實驗流程示意圖.....	32
圖 21	音樂資料分析流程圖.....	34
圖 22	節奏複雜度方法進階應用.....	35
圖 23	B 組受試者其 Metrical Complexity 變化與音樂激昂程度變化關係圖.....	50
圖 24	C 組受試者其 Metrical Complexity 變化與音樂激昂程度變化關係圖.....	51

# 一、緒論

## 1.1 研究動機

在過去探討情緒音樂特徵的領域中，不少研究已將調性、速度、音量、重音、音高範圍、和聲等這些較容易辨別的音樂特徵，分辨出其在不同音樂情緒中的差異。而節奏複雜度這項音樂特徵雖然過去較少被提到，但站在建構音樂主題的觀點上，它是可能會影響音樂風格或人對音樂難易感知的重要特徵。數學節奏複雜度的計算方式有很多種，每一種方法的源由與算法也不盡相同，因此，若找出與人類感知相近的方法，並建構出節奏複雜度的概念，未來也可應用在音樂作曲、音樂治療等領域。

節奏複雜度的概念建構，由過去研究可知，由於節奏特徵可能會影響音樂情感認知，因此，若探討出節奏複雜度和音樂情感的關係，可加強對節奏複雜度的認識，也有助益於藉由節奏特徵辨識音樂情緒。而節奏複雜度雖然是指節奏切分程度，但是過去關於音樂節奏的敘述，已從不同角度切入與定義，被整理出來的節奏特徵總共有四種，若節奏複雜度與這四種節奏特徵有相關，則可加入節奏複雜度概念中。

## 1.2 研究背景

節奏與情感的關係，過去有學者研究發現在不同的音樂情感下，音樂會表現出不同節奏特徵，而被整理出來的節奏特徵共有四種，其中，在音樂激昂程度(arousal)較高的音樂裡，可發現其節奏特徵的表現是較為複雜的。而關於節奏複雜程度的研究，已被探討過不少節奏複雜度方法，像是探討節奏是否有切分、是否能形成多邊形、是否能拆解成細小節奏片段等方法，來探討節奏複雜程度；但是，以自相關函數計算節奏複雜度的方法，是近期被拿來計算節奏複雜度的新方法，尚無研究顯示此方法與其他方法，與人的感知符合程度與差異。除了探討各節奏複雜度方法間的差異外，並有學者將節奏複雜度應用至節拍追蹤，發展新的節奏複雜度方法、藉由改變節奏複雜度讓節拍模組追蹤等，為節奏複雜度的過去研究與相關應用。

## 1.3 研究內容

本研究主要探討數學節奏複雜度方法，與人類感知的差異，並且探討節奏複雜程度與音樂情感及節奏特徵的關聯。數學節奏複雜度方法眾多，本研究挑出五種節奏複雜度

方法，這五種方法可能是過去研究指出與人類感知相關性高、較新的方法、或是被改良過的方法等，探討這五種方法的差異。這五種方法為：

- (a) Metrical Complexity
- (b) Weighted Note-to-Beat Distance
- (c) Longuet-Higgins and Lee
- (d) Fitch and Rosenfeld
- (e) Autocorrelation-based measure

而節奏複雜度與情感及節奏研究，情感的部分參考前人的研究方法，探討音樂正負向程度(valence)、音樂激昂程度(arousal)、快樂程度、愉悅程度與節奏複雜度的關係；節奏部分參考過去研究關於節奏詞彙的整理，探討節奏複雜度與規律程度、明顯程度、穩定程度、變化多寡的關聯。



## 二、相關研究

### 2.1 節奏複雜度

過去在探討將節奏複雜度的諸多研究中，曾將節奏複雜度定義為演奏複雜度(performance complexity)、認知複雜度(cognitive complexity)、數學複雜度(mathematical complexity)、編碼複雜度(coding complexity)以及資訊複雜度(information complexity)等，並出現在心理學、生理學、音樂學、電腦、電機工程等領域中，不只在音樂領域被討論。

複雜度是一種能被廣泛解釋的概念，在許多領域中被研究著，在不同領域中有不同的定義。從過去到現在，複雜度的概念在資訊理論中已被普遍討論，例如以物件而言，物件被嵌入的資料數量，可被視為物件的複雜度；將物件解碼，可探究其序列組成，而從資訊理論發展的檢視序列過程為計算複雜度的重要方法之一[1]。

在音樂組成中，節奏是構成音樂的重要元素，而複雜度是音樂節奏的特徵之一，可以藉由分析其音符序列、詢問聽者的感知或是使演奏者表演等方式來建構出節奏複雜度的意義，因此有編碼複雜度(coding complexity)、認知複雜度(cognitive complexity)、演奏複雜度(performance complexity)等測量[2]。Jeffrey Pressing將節奏分成以下幾種事件[3]：

1. 被填滿(filled)：音符將每一拍的四個十六分音符位置或兩個可放置八分音符的位置填滿。例如圖1的b片段。
2. 一連串音符(run)：音符出現在每一拍的第一個位置，且後面接續著其它音符。例如圖1的a片段
3. 弱起拍(upbeat)：加入一個或多個連續音至起始拍位置上。例如圖1的c片段
4. 切分音(syncopation)：節奏開始與結束皆在弱拍。例如以四分音符事件檢視圖1的d、e片段，以八分音符事件檢視圖1的e片段。

還有一種不太能在四小節為主的音樂長度上被使用，因此這裡不做解釋，並提出一種關於認知複雜度的測量方法，可以測量節奏學習的難度[1]。

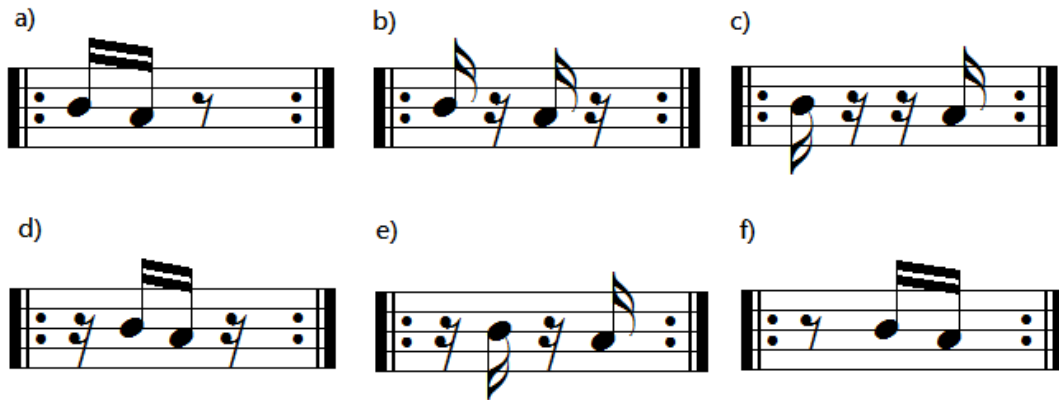


圖 1 六種與節奏事件相關的音樂範例[3]

對應於人類感知的節奏複雜度計算方法，Jeffrey Pressing將計算概念分三種：第一種是階層複雜度(hierarchical complexity)，當受測者接收到的刺激物為音樂節奏時，能同時感受到結構有一個或多個層級(level)。Leyton提出對於階層(hierarchical)結構的感知[1]，可由Lerdahl and Jackendoff的“A Generative Theory of Tonal Music”發展而來[4]，因此一段西方音樂節奏，能被結構化且同時被細分成很多層級。第二種是指動態複雜度(dynamic complexity)，這個概念指的是節奏在時間上的變化的程度，若同一段節奏在一段時間內多次反覆，則此節奏是比較固定的；若節奏一直改變，則節奏較為複雜。第三種是生產複雜度(generative complexity)，在資訊理論的基礎下被提出的[3]。

除了提出節奏複雜度的概念外，部分學者開始探討節奏複雜度對應於人類感知的結果，Shumalevich和Povel發現Tanguiane Measure和Lempel-Ziv Measure的實驗結果，與人感知差異甚大[1][5]。T-Measure和Lempel-Ziv其計算概念相似，T-Measure的算法是將原型節奏片段，不是細分後的音符，像是四分音符、八分音符等，將原音符一層一層的細分、拆解，第二層將一個音拆成兩個音，且相加為四分音符的節奏片段，第三層拆成三個音等以此類推，如圖2所示，此複雜度的算法為拆解原型音樂節奏，使用可能使用的結構層次，一層一層拆解，而能夠被拆解成越多層，複雜度越大。而Lempel-Ziv是將一段節奏以1和0代表音符的開始(onset)和休息(rest)，將節奏以1和0表示後，再探究這有限序列從左到右可被分成幾個新的子字串(substring)，而新的子字串越多，節奏複雜度越高。以圖3而言，新的有五個字串，因此節奏複雜度為5。這兩種計算方法相似的地方在於將節奏當序列般做分析，與資訊理論的編碼概念相近，但可惜的是這種方式與人的感知有落差[1]。

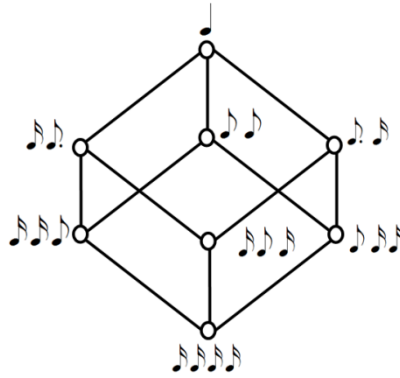


圖 2 T-Measure 四分音符拆解範例[1]



圖 3 Lempel-Ziv 複雜度計算範例[1]

而F. Gómez, A. Melvin, D. Rappaport, and G. Toussaint,論文中[6]，比較其他節奏複雜度的算法：Rhythmic Oddity Property、Off-Beatness Measure、Keith's Measure，並提出了一個新的方法：Weight Note-to-Beat Distance(WNBD)，而WNBD是比較能算出人對節奏切分程度感知的方法。使用這四個方法，計算西非非洲的鼓類節奏Bembé、巴薩諾瓦(Bossa Nova)、不規律的節奏、含三連音節奏等。

而Rhythm Oddity Property 這算法是起源於中非Aka pygmy村落的音樂節奏[7]，適用於一段節奏可細分的音符單位總和為偶數的節奏，將單位總和組成一個正多邊形，如圖4所示的，並將節奏出現的位置標示在正多邊形上，再檢視此節奏的點位置，且將對稱的點連起來，而無法有對稱的點個數，則為Rhythm Oddity值，為計算節奏複雜度的方法。而此法不適用於節奏單位總和為單數的節奏，為此法最大的限制，也是很大的缺陷[6]。圖4為一段有四個音符的節奏，音符出現的位置剛好可以連成兩條線，且無其他音符落在多邊形的點上，因此，此節奏沒有複雜度值[2]。

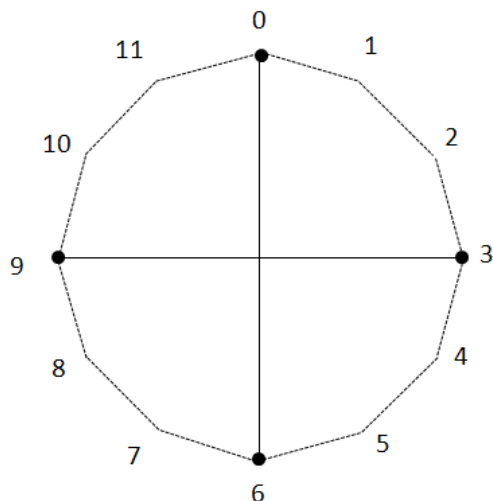


圖 4 四個音符的 Rhythm oddity 計算方法示意圖[2]

而 Off-Beatness Measure 這個算法是由 G. T. Toussiant 所提出[2]，之前主要是用來計算非洲傳統音樂節奏[8 - 10]。而此算法的概念，是在探討節奏的音符能否規律出現，若有音符出現在非預期的位置上，則節奏因這個音符變得複雜。因此，此方法的算法，計算未落在可形成的等多邊形，例如正三角形、正四邊形、正五邊形上的音符個數，示意圖如圖 5 所示。而這個計算方式有一些缺點[6]，像是：

1. 它不太能計算非常不規律節奏的複雜度
2. 算法會略過第一拍節奏的可能 off-beat 值
3. 假設預期為非常切分的節奏位置，可是實際上可能不是
4. 計算方法有許多限制

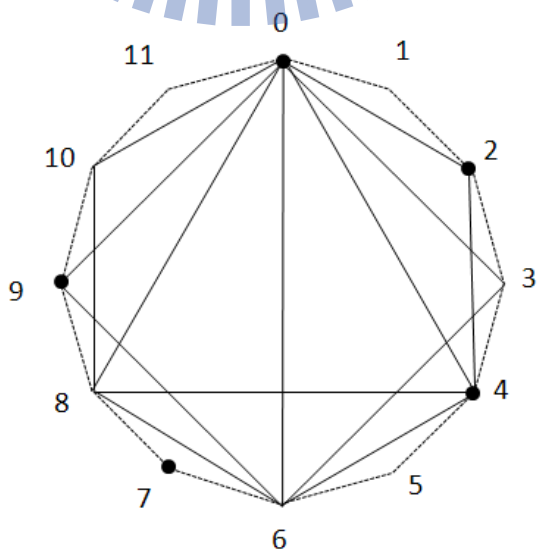


圖 5 使用 Off-beatness Measure 計算 Fume-Fume 節奏[2]

因此，此法雖然相較於 Keith's measure，與人的節奏感知有較大符合程度，但是此計算方法仍有不少缺陷，像是不能計算很不規律的節奏、必須使用在以二為主的節拍例如 2/4、4/4 拍[6]。Keith's Measure 的概念由判斷節奏類型而來，Michael Keith 將節奏分為三種概念：分別為猶豫(hesitation)、預期(anticipation)、切分(syncopation)[11]。如果節奏開端位在強拍(on beat)，以 4/4 拍而言是在第一、三拍位置，但結束位在弱拍(off beat)，則為猶豫(hesitation)；若節奏開端有弱拍(off beat)，但結束為強拍(on beat)，則為 anticipation；若節奏開端有弱拍(off beat)，結束也為弱拍(off beat)，則此節奏類型為切分(syncopation)，即若節奏同時含有猶豫(hesitation)、預期(anticipation)。節奏示意圖以圖 6 表示[6]。

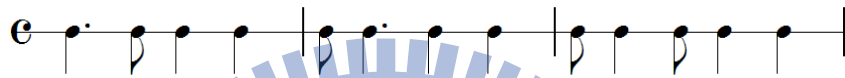


圖 6 Hesitation, Anticipation, Syncopation[6]

而後 Eric Thul 和 Godfried T. Toussaint 再繼續探討了一些節奏複雜度的數學計算方法與人的演奏複雜度(performance complexity)，發現 Longuet-Higgins and Lee(LHL)和 Metrical Complexity 也接近人對節奏的感知，這兩種都是屬於使用節奏韻制與其權重去發展節奏複雜度方法，計算人對節奏切分程度的感知[11]。Metrical Complexity 與 WNBD 法在計算時會考慮節奏的音符個數，而 LHL 法不考慮，主要依據節奏切分程度多寡決定節奏複雜度值，此為方法間的差異所在。

除了 LHL 與 Metrical Complexity、WNBD、Keith's measure 等方法，Eric Thul 也將 Fitch and Rosenfeld 這個方法納入探討與比較，用來計算非洲、印度與隨機產生的節奏複雜度值[12]。Fitch and Rosenfeld 是源自 LHL 方法發展而來，將 LHL 方法做延伸與修改，計算可能產生切分節奏的複雜度值。Peter E. Keller 與 Emery Schubert 近期節奏感知的研究裡，使用自相關函數計算節奏複雜度[13]。這個方法的計算概念是將音樂拆成兩個序列，探討兩個序列的相關性。節奏複雜度計算方法眾多，此法與基於權重發展而來的計算方法差異大，是較新穎的計算概念。

對音樂節奏而言，切分(syncopation)是創造節奏張力(tension)的有趣要素之一，在 Harvard Dictionary of Music 中[14]，對切分(syncopation)的定義為：“Syncopation: a momentary contradiction of the prevailing meter or pulse.”。切分節奏在爵士、非洲音樂等



常常出現，例如 Clave son、Bossa Nova、Rumba 等，在古典音樂中也會看到。音樂節奏複雜度主要專指音樂節奏切分程度，藉由切分多寡定義節奏特徵的複雜程度。

以上主要是解析計算方法的差異，除了方法差異外，節奏複雜度也被應用於節拍追蹤(beat-tracking)，像是 Fitch 與 Rosenfeld 在 2007 年研究音樂韻制的節拍追蹤(metric beat-tracking)，涵蓋對節奏(meter)的感知與探討對節奏演奏的難易，並使用 LHL 方法計算，而後提出修正方法。這個節拍追蹤實驗得到兩個受試者對節奏追蹤的方法，第一個是當存有不同節奏時，受試者抓到節拍的程度好壞；第二則是觀察受試者停下來，重新追蹤節奏的次數。用這兩個方法來探討節奏難易與人對節奏的感知是否符合[15]。

而 Edward W. Large 曾運用節奏複雜度分析在節拍追蹤模組上，追蹤演奏者彈奏出的旋律，其中，演奏者在演奏時，會使用彈性速度，讓模組去追蹤。這個模組增加了節奏複雜度的控制項，可將追蹤到的音樂，調變它的複雜度，產生不同於原本切分程度的音樂節奏[16]。Simon Dixon 將節拍追蹤模組加入節奏複雜程度，主要追蹤音樂速度(tempo)對演奏造成的難易。節奏複雜度不同於前述計算方法，藉由計算不相符的音符位置，亦即未追蹤正確的音符個數，建構這個模組的複雜度概念，做節拍追蹤的應用[17]。Donal Mulvihill 建立一個自動伴奏系統，根據輸入的音樂旋律，先擷取其音樂特徵，再為旋律做自動伴奏。相較於只追蹤節拍的系統，Donal Mulvihill 建立的系統追蹤節奏的切分程度，但是越複雜的節奏，則越難追蹤[18]。

## 2.2 音樂情緒與節奏認知

有關音樂情緒認知的研究，過去在心理學領域已有不少實驗，在探討音樂能帶給人類的感受。音樂可帶給人們的情緒有許多類別，例如難過(sad)、生氣(angry)、快樂(happy)、平和(peaceful)等。然而，較強烈的喜、怒、哀、樂情緒容易辨別，但是比較難藉由聽覺感受來辨別的音樂情緒，可以利用一些指標和分析音樂特徵，去辨識音樂情緒種類。

在專門研究情緒的領域中，常使用二個維度表示情緒狀態，這兩個維度分別代表情緒的正向或負向以及代表情緒的強烈或緩和程度（激動或冷靜）[19]。這兩個維度就像數學座標軸的x軸和y軸，利用兩個維度作為歸類音樂情緒的指標，這兩個情緒的維度的專業用詞，可分別以valence和arousal表示。若前者的值是正的，代表正向情緒，且數值

越來越代表音樂情緒愈正向，反之，若數值是負的，則代表為負向情緒，程度則依音樂的負向程度來看；而後者的話，若後者的值是正的，且數值越來越大，代表音樂情緒其活躍(active)程度越高，反之，若為負的則較緩和，負值程度越大則越不活躍、消極(passive)。

這兩個用來描述情緒的維度，valence的概念可由化學領域的原子價概念發展而來，像是元素是否帶價電子，而後被用於心理學，一開始用在心理學，是指它屬於一種特徵(character)，可能促促使人類做的行為(behavior)改變方向，而後才被使用在描述音樂情緒，意指感受音樂情緒為正向或負向[20]；arousal的概念最常被視為是生理反應被活化的強度或是對情緒產生的回饋強度，而在音樂情緒研究中，用來描述情緒的強烈或緩和程度[21]。valence和arousal這兩個指標，可組成一個前者為平行軸、後者為垂直軸的二維座標圖，並可劃分為四個象限。James A. Russell在這座標圖中，將一些音樂情緒種類標記在二維座標圖上，並可根據座標角度判別情緒種類[19]。

而在Steven R. Livingstone和Andrew R. Brown在2005的論文裡[22]，彙整了過去許多音樂情緒的研究結果，並歸納出音樂情緒與音樂特徵的關聯性。作者將二維座標圖畫分為八個象限，分類出以下音樂情緒：happy、excited、angry、sad、depressed、dreamy，如圖7所示，除了將二維座標圖分為八個象限外，亦整理出不少細項的音樂特徵，粗體字為關於節奏的描述，如表1所示。

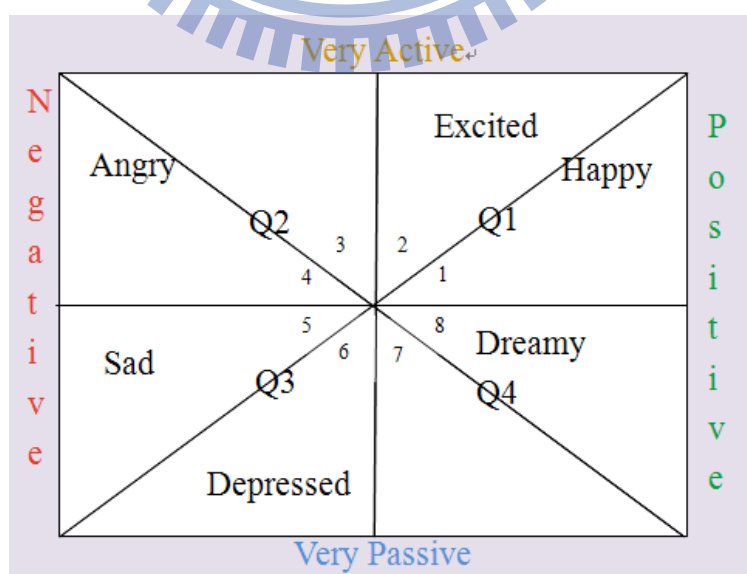


圖 7 二維情緒象限圖[22]

表 1 各象限對應的音樂特徵[22]

Octant	2DES Octant Rules
1	Mode Major(19), Tempo Fast(16), Harmony Simple(8), Loudness Loud(7), Articulation Staccato(5), Pitch High(3), <b>Rhythm Flowing(3)</b> , Pitch Range High(2), Pitch Variation Large(2), Pitch Contour Up(2), Note Onset Rapid(2), <b>Rhythm Smooth(2)</b> , Rhythm Activity(2), Loudness Medium(1), Loudness Soft(1), Loudness Variation Small(1), Loudness Variation Rapid(1), Loudness Variation Few(1), Pitch Low(1), Pitch Range Low(1), Pitch Contour Down(1), Timbre Few(1), <b>Rhythm Rough(1)</b>
2	Tempo Fast(20), Loudness Loud(10), Mode Major(8), Pitch High(4), Pitch Variation Large(4), Harmony Simple(4), Note Onset Rapid(4), Pitch Range High(3), Pitch Contour Up(3), Articulation Staccato(3), Articulation non-legato(2), Harmony Complex(2), <b>Rhythm Flowing(2)</b> , Rhythm Activity(2), <b>Rhythm Smooth(2)</b> , Loudness Variation Small(1), Loudness Variation Few(1), Loudness Variation Rapid(1), Pitch Low(1), Pitch Range Low(1), Pitch Variation Small(1), Pitch Contour Down(1), Timbre Few(1), Timbre Many(1), Tempo Slow(1), Vibrato fast(1), <b>Rhythm Complex(1)</b> , <b>Rhythm Firm(1)</b> , Metre Triple(1), Tonality Tonal(1)
3	Mode Minor(14), Loudness Loud(9), Tempo Fast(9), Harmony Complex(8), Note Onset Rapid(5), Pitch Contour Up(5), Pitch High(4), Pitch Range High(3), Pitch Variation Large(3), Loudness Soft(2), <b>Rhythm Complex(2)</b> , Loudness Variation Large(2), Timbre Sharp(2), Articulation Non-legato(2), Pitch Variation Small(2), Articulation Staccato(2), Note Onset Slow(2), Timbre Many(1), Vibrato Fast(1), <b>Rhythm Rough(1)</b> , Metre Triple(1), Tonality Tonal(1), Tonality Atonal(1), Tonality Chromatic(1), Loudness Variation Rapid(1), Pitch Low(1)
4	Mode Minor(12), Harmony Complex(6), Articulation Legato(3), Pitch Variation Small(3), Tempo Fast(3), Loudness Loud(2), Loudness Soft(2), Loudness Variation Large(2), Note Onset Rapid(2), Note Onset Sharp(2), Note Onset Slow(2), Timbre Sharp(2), Loudness Variation Rapid(1), Pitch High(1), Pitch Low(1), Pitch Range High(1), Pitch Variation Large(1), Pitch Contour Up(1), Pitch Contour Down(1), Timbre Many(1), Harmony Melodic(1), Tempo Slow(1), Articulation Staccato(1), <b>Rhythm Complex(1)</b> , Tonality Atonal(1), Tonality Chromatic(1)
5	Tempo Slow(15), Articulation Legato(6), Mode Minor(7), Harmony Complex(7), Loudness Soft(3), Harmony Simple(3), Pitch Low(3), Note Onset Slow(3), Pitch Range Low(2), Pitch Contour Down(2), <b>Rhythm Firm(2)</b> , Loudness Loud(1), Loudness Variation Small(1), Loudness Variation Few(1), Pitch Variation Small(1), Pitch Contour Up(1), Mode Major(1), Timbre Few(1), Timbre Soft(1), Harmony Melodic(1), Note Onset Rapid(1), Vibrato Deep(1), <b>Rhythm Smooth(1)</b> , Tonality Chromatic(1)
6	Loudness Soft(5), Tempo Slow(5), Pitch Variation Small(3), Articulation Legato(3), Note Onset Slow(3), Pitch Low(3), Pitch Range Low(2), Loudness Variation Rapid(1), Pitch High(1), Pitch Contour Down(1), Mode Minor(1), Timbre Few(1), Harmony Complex(1), Vibrato Deep(1), Metre Duple(1), Tonality Tonal(1)
7	Tempo Slow(10), Loudness Soft(9), Articulation Legato(5), Note Onset Slow(3), Pitch Low(2), Pitch Range Low(2), Pitch Variation Small(2), Timbre Soft(2), Harmony Simple(2), Mode Minor(1), Loudness Variation Rapid(1), Loudness Variation Few(1), Pitch High(1), Note Onset Rapid(1), Vibrato Intense(1), <b>Rhythm Smooth(1)</b> , <b>Rhythm Flowing(1)</b> , <b>Rhythm Firm(1)</b> , Metre Duple(1)
8	Mode Major(12), Harmony Simple(5), Tempo Slow(3), Articulation Staccato(3), Loudness Soft(2), Pitch Contour Up(2), Loudness Variation Few(1), Pitch High(2), Pitch Range High(1), Pitch Range Low(1), Pitch Low(1), Mode Minor(1), Timbre Soft(1), Vibrato Intense(1), <b>Rhythm Smooth(1)</b> , <b>Rhythm Flowing(1)</b> , Tonality Tonal(1)

而Sandrine Vieillard, Isabelle Peretz, Nathalie Gosselin和Stéphanie Khalfa在2008的論文裡[23]，使用Sequencer Plus Gold程式編輯出四類情緒的音樂，每一類型的音樂有根據情緒類別輸入特定的音樂特徵，並將音樂給受試者聆聽，讓受試者判別音樂的情緒類別，實驗結果發現受試者對音樂情緒的判別，符合作者對音樂的分類，而作者並將音樂讓專家評定其節奏的規律程度，也附上讓受試者聆聽的音樂譜例，以及受試者對音樂情緒兩個維度的評分。

由於音樂節奏相較於音高、調性、速度等，難以量化與定義，因此過去在探討音樂節奏時，多以人的感受(perception)來評斷節奏特性，而非客觀的量測。在Laura-Lee Balkwill與 William Forde Thompson 在1999年的研究中[24]，主要利用五種音樂維度與音樂情緒作相關分析。五個音樂維度為速度(tempo)、節奏複雜度(rhythmic complexity)、旋律複雜度(melodic complexity)、音高範圍(pitch range)、音色，而使用Hindustani Ragas被分為四種音樂情緒：高興(Joy)、難過(Sadness)、生氣(Anger)、平靜(Peace)。而實驗結果發現節奏複雜度與高興、難過、平靜的音樂有顯著的相關性。

在Patrick Gomez和Brigitta Danuser在2007的論文，使用西洋古典音樂片段，讓受試者聆聽並由評斷節奏的特徵去打分數，分數範圍從1分到7分，1=明顯的(outstanding)，7是模糊的(vague)[25]。而在Gabrielsson與Lindstrom將過去論文針對節奏的特性整理如下：Regular/Smooth、Irregular/Rough、Complex、Varied、Firm、Flowing/Fluent。Regular/Smooth被常被感受出在表達快樂、莊嚴、平靜的音樂；Irregular/Rough的節奏常被用來表達娛樂、不安、生氣的音樂。Firm常被用來表達難過、莊嚴、有氣勢的音樂，Flowing/Fluent常被用來表達快樂、優美的、輕柔的、安詳的音樂[26]。

Regular是指節奏是否呈固定頻率、較有周期的出現[27]，有的節奏甚至會出現同時性(isochronous)[28]。Firm和Flowing用在節奏上是相反的涵義[29]，前者指音樂節奏型態較固定，後者指節奏型態較自由、較不固定。

在Anders Friberg與Anton Hedblad在2011的論文[30]，輸入許多流行音樂作為音樂資料庫，並從這些音樂資料庫擷取欲加入的音樂特徵，作為電腦輸出的音樂。而後他們將輸出的音樂讓受試者聆聽，並評斷這些音樂特徵是否符合人的感知。其中，關於節奏的特徵，他們將節奏複雜度(rhythm complexity)作為節奏的變項之一，也讓受試者評定節

奏清晰度(rhythm clarity)，並分析兩個變項間的相關性。

Peter E. Keller與Emery Schubert 在2011的論文[13]，不讓受測者聆聽含兩種不同旋律的多聲部音樂，著重於單一旋律，主要以節奏變化讓受測者感受切分程度的差異，並使用客觀計算方法量測音樂節奏複雜度，探討節奏複雜度與正負向音樂的關聯。而這篇的研究結果為較正向的音樂，其節奏較為複雜，這個現象與過去的研究結果有些差異，如表1，這是被整理出來的音樂情緒對應音樂特徵表，由表可看出比較複雜的節奏，較容易出現在情緒較為負向的音樂中。而這篇論文有別於過去只採用感知作為判斷的方法，但是給受測者聆聽的音樂節奏變化較少，音樂節奏僅由四分音符與八分音符組成。



### 三、研究方法

#### 3.1 節奏複雜度計算

##### 3.1.1 Metrical Complexity

這是一個由G. T. Toussaint在2002年提出[31]、利用節奏的韻制階層(metrical hierarchy) 計算節奏複雜度的方法[11]，必須先算出每小節內的最小單位，再產生小節內每個單位位置的權重表，最後再根據音符的位置做計算。而權重的給法根據F. Lerdahl 和 R. Jackendoff在書中所提到的方法給定[4]，因此，若不是常見的4/4拍節奏，會根據不同的節奏拍號產生不同的位置權重表。

對一個可拆成十六個音符單位的小節而言，首先依照小節內不同位置的層級(level) 差異，來給定位置的權重，而小節內的權重如圖8所示。從小節位置0開始，先給一個權重，然後，每隔一個單位加一個權重，接著每隔兩個單位加一個權重，然後，每隔四個單位加一個權重、每隔八個單位加一個權重、每隔十六個單位加一個權重。因此，小節的開端為權重最大的位置，即位置0，而小節內一半的位置為權重的二大的位置，即位置7，第三大的位置為4、12，第四大為位置2、6、10、14，權重最小的位置則是位置1、3、5、7、9、11、13、15，因此，可將權重分為五個層級[31]。

給定小節內每個位置的權重後，可按照計算方法算出節奏複雜度值。計算方法是將小節內每個音符出現的權重值加總，再被該小節內其音符個數能產生的最大權重總和減去，結果即為此方法節奏複雜度的值[11]。假設有一古巴的clave son節奏，其音符開始的地方以x表示，沒有音符開始的地方則以 . 表示，而其節奏與權重表如圖8所示：



圖 8 一小節 16 單位的 Metrical Complexity 階層權重圖與 clave son 節奏[11]

在這個clave son節奏裡，總共有五個音符，而這五個音符出現的權重總和為  $(5+1+2+2+3)=13$ ，因此，Metrical Complexity Measure為將小節內五個音符的權重最大值總和  $(5+4+3+3+2)=16$  減去13等於3。若以方程式表示則如下所示， $\max w_i$ 為n個音符的前n大權重總和：

$$\text{Metrical Complexity} = \sum_{i=1}^n \max w_i - \sum_{i=1}^n w_i \quad (1)$$

### 3.1.2 Weighted Note-to-Beat Distance(WNBD)

這是一種根據音符出現位置與強拍(strong beat)的最小距離來測量複雜度的方法[6]，強拍是指音符權重比較大的位置。相較於其他使用韻制結構(metrical structure)的方法例如LHL、Metrical Complexity而言，這個方法的規則(model)比較能算出更多細小音符的節奏複雜度值，例如：三連音、五連音、六連音等，但是算法比較彈性[2]。由於計算方法與強拍(strong beat)有密切關係，因此，要先定義小節內的強拍位置，2/4、3/4、4/4、6/4拍的節奏都以四分音符當作強拍，6/8拍以八分音符作為強拍。

這個方法計算方式，需先定義 $e_i, e_{i+1}$ 為小節內的兩個連續強拍，假設x為音符開始的位置，其位置可能在強拍 $e_i$ 或是在 $e_i$ 之後，但是在下一個強拍 $e_{i+1}$ 之前。然後假設 $T(x) = \min\{d(x, e_i), d(x, e_{i+1})\}$ ，d是兩個音符事件的韻制距離(metrical distance)，d在運算式中被定義為一種meter的term，因此是個真分數(fraction)。舉例說明，若以圖9節奏為例，每個音的T(x)分別是1/2, 1/4, 1/4, 1/3, 1/3, 1/5：

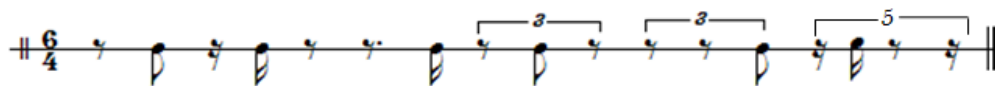


圖 9 6/4 拍節奏範例

而WNBD的節奏複雜度值，以音符的 $D(x)$ 來定義，而 $D(x)$ 的定義如下：

- 0，如果  $x = e_i$
- $1/(T(x))$ ，如果  $x \neq e_i$ ，且結束位置在 $e_{i+1}$ ，或在 $e_{i+1}$ 之前
- $2/(T(x))$ ，如果  $x \neq e_i$ ，且結束位置在 $e_{i+1}$ 之後，位於 $e_{i+2}$ 或是在 $e_{i+2}$ 之前
- $1/(T(x))$ ，如果  $x \neq e_i$ ，且結束在 $e_{i+2}$ 之後

最後，假設n是這個小節的音符個數，總和這小節的所有D(x)，再除以n。

若以方程式表達 WNBD 計算示，則如下所示：

$$WNBD(R) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} D(x_i) \quad (3)$$

### 3.1.3 Longuet-Higgins and Lee(LHL)

這是一種根據Lerdahl and Jackendoff [4]與Yeston[32]對節奏分析的概念，使用節奏韻制結構(metrical scheme)決定切分位置發生的數學計算方法。圖10為一小節16單位的樹狀權重圖與Clave son 節奏：

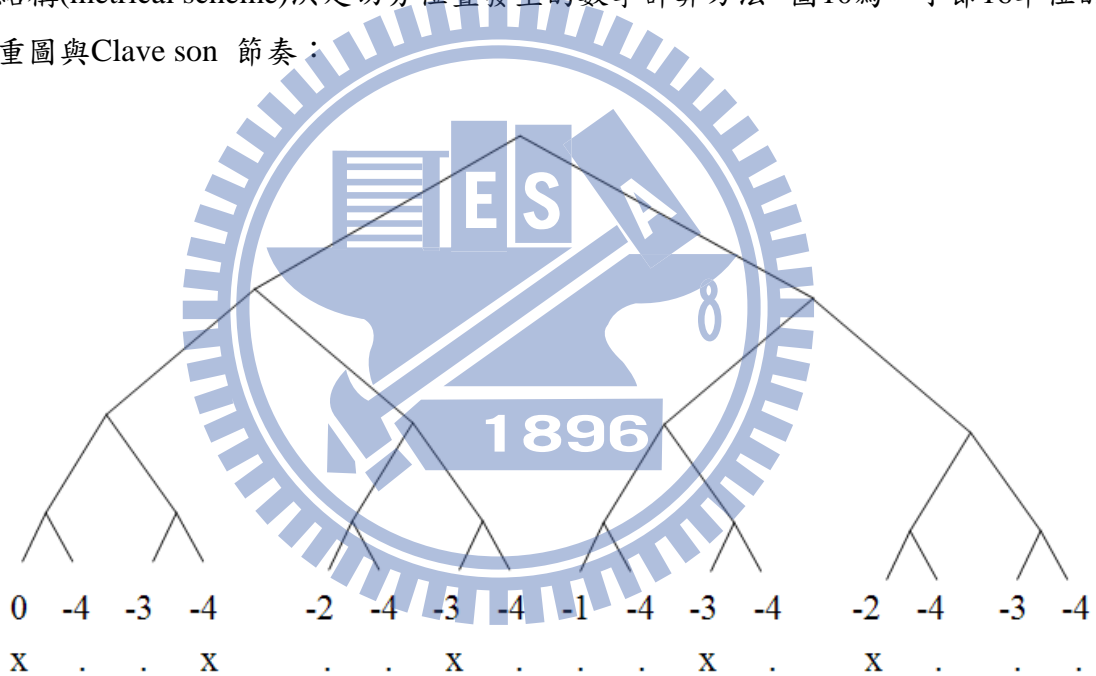


圖 10 一小節 16 單位的 LHL 樹狀權重圖與 Clave son 節奏[2]

在這樹狀權重圖中，音符出現的位置為 ”x”表示、沒有音符開始的休息處以”.”標示，因此，可使用x與. 組成一段節奏。圖10的權重0是小節內中權重最大的位置，而其它的權重值依樹狀分枝，由0依次減1分配。基於小節與音符概念，在權重0的位置其音符最大值可為全音符、-1可為二分音符、-2可為四分音符、-3可為八分音符而-4可為十六分音符。



若以方程式表示，可如下所示：

$$LHL = \sum_{i=1}^n S_i$$

其中

$$S_i = w_{si} - w_{ri} > 0$$

$w_{si}$ ：rest 音(·)前面，onset 音(x)的權重值。si 是指第 n 個音符位置。

$w_{ri}$ ：rest 音(·)的權重值。ri 是指第 n 個音符後面的 rest 音(·)位置。

若相同的  $w_{si}$  被減，則取相減最大的  $S_i$  作為節奏複雜度值。

而 LHL 算法概念為計算有切分位置的切分程度，若休息(.)減去前面音符出現的位置(x)大於零，則此處有節奏切分，因此，圖 10 的節奏切分出現在第二個音符，節奏複雜度值為(-2)-(-4)等於 2。而若小節內可細分為 12 個音符單位，則可使用以下樹狀權重圖計算，圖 11 的左上、右上、下方分別為  $3 \times 2 \times 2$ 、 $2 \times 3 \times 2$ 、 $2 \times 2 \times 3$  細分圖：

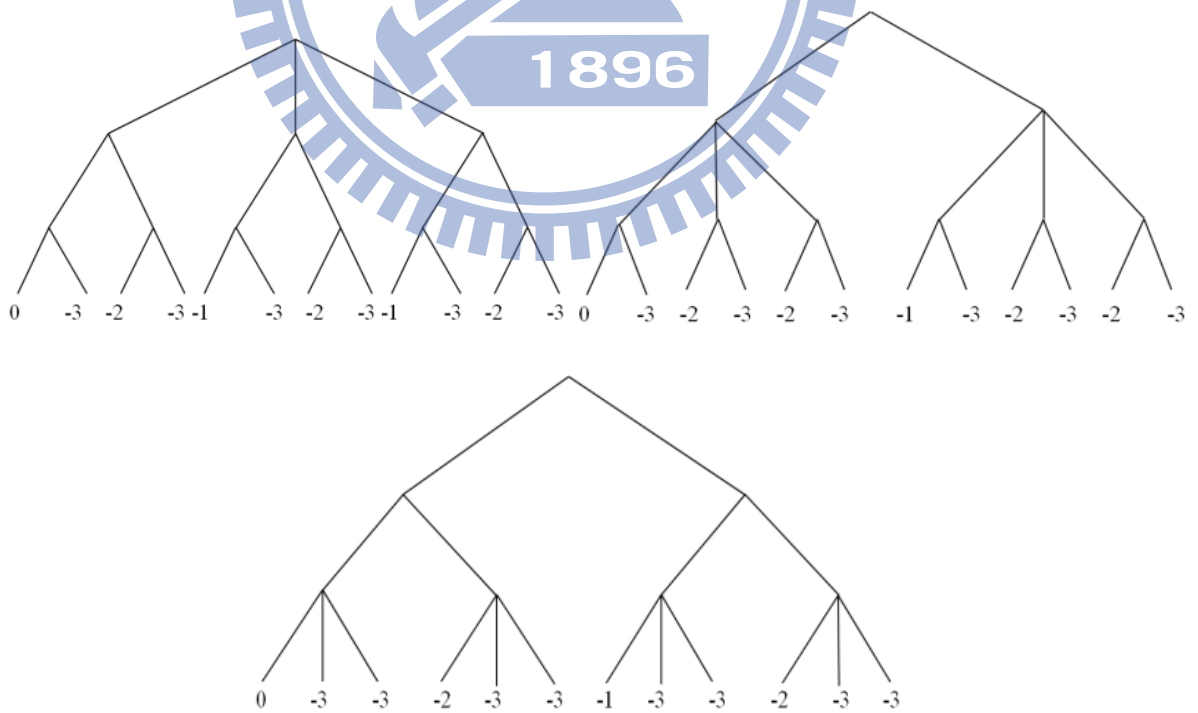


圖 11 一小節 12 單位的 LHL 權重圖[2]

### 3.1.4 Fitch and Rosenfeld

這是一個由LHL發展出來的算法，此演算法與LHL相似，但在計算的定義上，增加了一些規則。Fitch與Rosenfeld將此節奏複雜度算法，用於其2007年節奏感知實驗中，探討節奏脈動追蹤(pulse-tracking)、節奏再現(rhythm reproduction)、立即辨別(immediate recognition tasks)等音樂節奏感知[33]。此算法與LHL的差異，主要在於休息音對於音符的影響，只要能對音符造成切分的休息處，節奏複雜度值皆要納入計算，示意圖如圖12所示[12]，箭頭是LHL法計算是否有切分的位置，星號(\*)是在下一個音符開始前、LHL法沒採用但是能產生切分的位置：

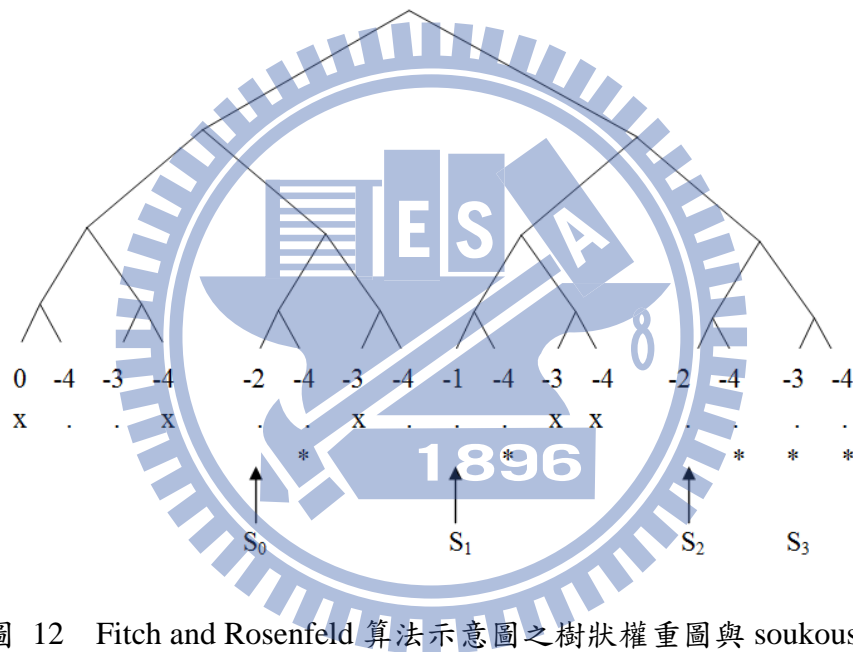


圖 12 Fitch and Rosenfeld 算法示意圖之樹狀權重圖與 soukous 節奏[12]

若以LHL的算法，圖12的節奏複雜度值為 $S_0+S_1+S_2$ ，即 $(-2)-(-4)+(-1)-(-3)+(-2)-(-4)=6$ ，但以Fitch and Rosenfeld的方法，需將 $S_3$ 處其 $(-3)$ 的位置也算進去，因為 $(-3)-(-4)=1$ 大於零，在此處也能產生節奏切分的現象。而圖12的\*處為onset音後面，除了連接在x後面，能產生切分位置的其它被跳過休息音。將能產生節奏切分的休息音位置，加入節奏複雜度計算，是這個方法最重要之處。

### 3.1.5 Autocorrelation-based measure

這個方法主要是將自相關的概念，用於音樂節奏，意指兩個時間序列其音符時間位移的相關性[34]。當給定一個時間位移的數值(lag)，自相關中較高的值，能形成較規律

的序列。而關於這個函數的呈現，可以使用Matlab MIDI Toolbox分析，估測音符起始時間(onset times)的自相關(autocorrelation)，其權重可以根據音符起始間距(inter-onset interval duration)和旋律音高明顯處(melodic accent)得到[13]。

有兩個較常被使用的音樂明顯處(accent)，分別為節奏與旋律的特徵。旋律音高明顯處(melodic accent)主要是指兩個連續音符，其改變的半音距離，是旋律輪廓線(melodic contour)的關鍵改變處；而和節奏韻制相關的節奏明顯處(rhythmic accent)，較常以插入休止音來創造節奏明顯處[35]。而這兩個音樂特徵可以圖13來描述：

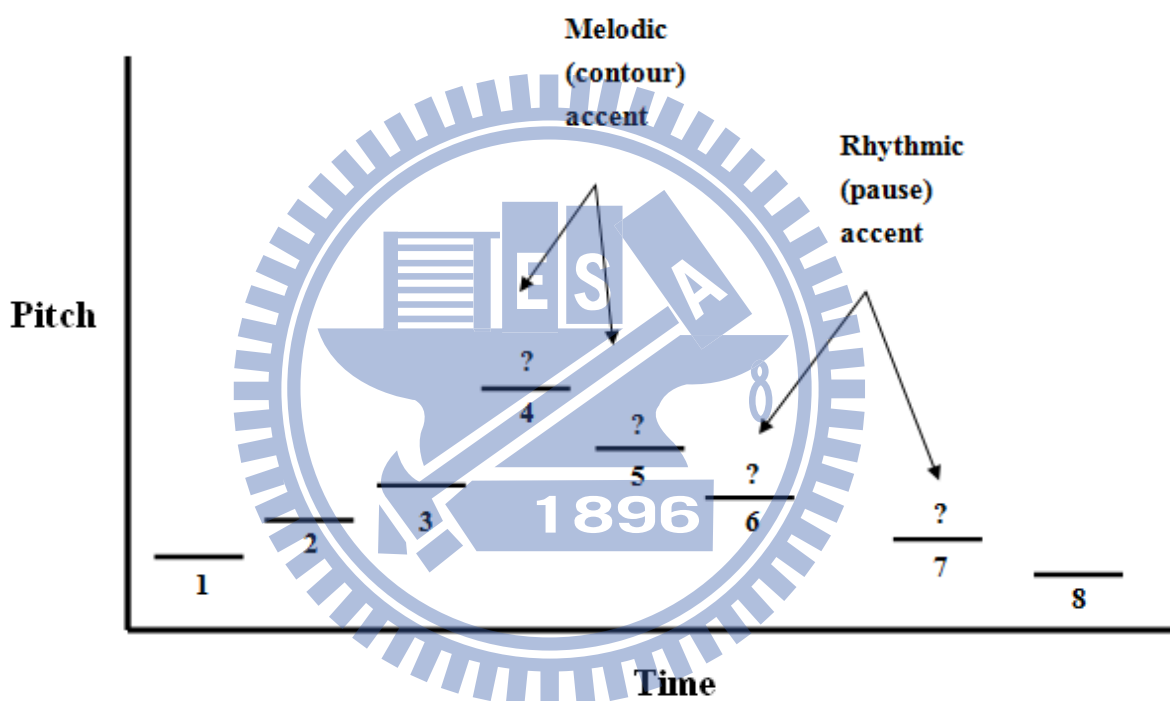


圖 13 旋律與節奏明顯處範例[35]

音符起始間距的權重(inter-onset interval duration weights)符合Parcutt的音常顯著模型(duration accent model)定義[36]，而melodic accent weights是根據Thomassen的旋律音高顯著模型(melodic accent salience model)所決定[37]。而音符事件的權重值，是音符起始間距(inter-onset interval duration)和旋律音高明顯處(melodic accent)的權重總和。音符起始時間(onset times)根據最短的最佳細分時間間距來定義，最短時間可為四分音符、八分音符、十六分音符等，若以lag-4 檢視自相關，lag-4的時間位移為四分音符，因此八分音符為在音長的定義為半拍(half of beat)。自相關將音樂事件的明顯強度(accent strength)

分為兩個節拍(beat)，以序列的概念來看，兩個序列的明顯強度(accent strength)越相似，則越符合音樂的韻制結構(metric structure)。而以此推論節奏複雜程度，若兩個節拍/奏(beat)的明顯強度(accent strength)差異越大，則越違反韻制結構(metric structure)。因此在lag-4的自相關分析，越低的lag-4自相關係數，節奏切分程度越小；反之，較高的係數，意指節奏複雜度越高[13]。

關於此自相關函數的方法，可參考源自於1993年Brown的描述[38]。此方法可用於節拍(meter)感知，辨別音樂節奏為三拍子或兩拍子。自相關函數由音符起始脈衝函數(onset impulse function)組成，其中，音樂旋律包含N個音符起始時間(onset time) $t_i$ ， $i=1,2,\dots,N$ ，而每個音符有一個關聯的明顯值(accent value)  $a_i$ ， $i=1,2,\dots,N$ ， $a_i$ 為其各自音的音長(duration)。因此，onset impulse function  $f$  是包含 $a_i$ 的時間序列，且 $a_i$ 位於每個音符起始音的位置，onset impulse function可表示如下[34]：

$$f(n) = \sum_{i=1}^N a_i \delta_i(n) \quad n = 0,1,2, \dots, \quad (4)$$

其中

$$\delta_i(n) = \begin{cases} 1, & n = [t_i/dt], \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (5)$$

$dt$ 代表sampling interval， $[\ ]$ 是指最接近的整數值。

自相關是指兩個時間序列相關性，自相關函數由 $f$ 組成，而自相關函數 $F$ 定義如下：

$$F(m) = \frac{\sum_n f(n) f(n-m)}{\sum_n f(n)^2} \quad (6)$$

其中 $m$ 是指單位sampling interval的lag，分母將函數 $F$ 標準化到 $F(0)=1$ ，函數與序列長度無關。自相關函數的最大值，可用來估測音樂節奏韻制(meter)。音樂序列、onset impulse function、自相關函數可以圖14表示：

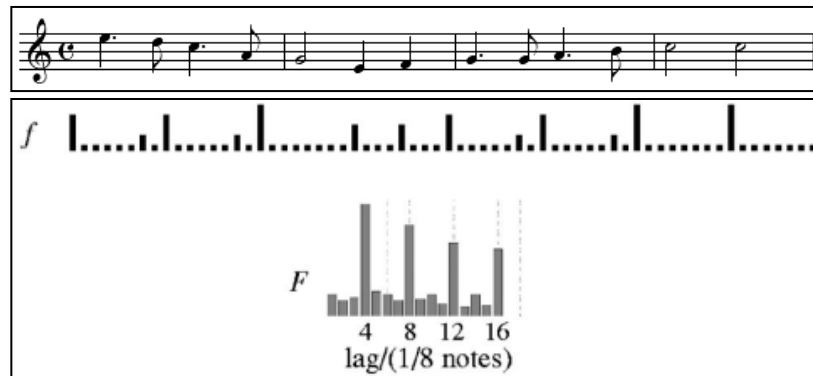


圖 14 音樂旋律對照 onset impulse function 與自相關函數[34]

### 3.2 測量方法

節奏複雜度與其他節奏特徵的關係，以及與音樂情緒的關係建構，採用認知與心理科學的測量方法，並加入複雜度的數學分析方法，達成一個對普遍現象的概念化 (conceptualization)。然而，要建構出對一個特徵項的概念，以及對此項目的普遍概念敘述，是一件不太容易且棘手的工作。因此，過去許多心理認知研究者，曾對不少方法進行探討，並發展出一些對應不同研究情形的方法。

為了測量出節奏複雜度對應一些心理認知項的相關性，在實驗過程中，首先會給予受試者一個音樂外部事件，當受測者接收到外部事件後，會根據接收到的事件，以及預判別的項目，去做後續的回應，反應出對外部事件的內在心理感受。成分理論 (Componential theory) 架構的形成，需由一個複雜且快速的測量過程所決定，將模糊或被提議的語意詞彙進行實驗分析，建構出普遍被意識到的概念 (conscious conceptual)。若是此被測驗的音樂事件，能讓受測者對事件產生恰當的回應，則在評測分析的過程中，會對此被假定、討論的音樂事件產生符合的回應。藉由大量受測者的回應，從被評測的過程中，找出在一些特定情形下，假若受測者能產生一致的回應，則此評測過程稱為回應一致性 (response synchronization)。而在此過程中，受測者接收到的音樂事件時間長度不宜過長，主要是為了避免正在進行實驗的受測者，對音樂事件過長而感受到壓力或精神疲勞，使受測者的回應能力保持活力與彈性。

然而，在建構概念工作的方法中，幾乎是沒有完全(黃金)標準的測量方法。更確切的說，若有量測方法能夠評測出特定事件其欲被探究的概念，且此方法能使現象呈現特定走向，以及其現象是能被理解的，則此方法便具有量測的功能。以下概述三種常被使

用的評量方式，並且填答示意圖如圖15所示：

1. 若是給定幾個語意詞彙供受測者勾選，意指受測者只能勾選這些詞彙，若受測者欲勾選的選項未被列出，則受試者只能勾選「其他(other)」或是在「其他(other)」處填寫自己的感受，此方法是會讓受測者的回應答案較固定，因此這個方法是比較固定的回應測量方式(fixed-response measure)。
2. 假若評量方式是讓受測者自由填答，無特定的選項去蒐集受測者的答案，則此評量方式是較自由的測量方法(free-response measurement)，主要是根據受測者寫下的答案，收集受測者的詞彙並分類以及得到較一致的現象，並將較模糊的詞彙用類別的概念說明。
3. 第三種使用特定數量(數字)範圍，用來測量語意、感受或是特定現象、內部特性(interval characteristic)等的方法，讓受測者在給定量測範圍內填寫評分，則此方法為促使受測者選擇的測量方式(forced choice measure)。若是測量情緒的話，會給定受測者一些曾被描述過的情緒名詞，或是給受測者valence、arousal兩個維度(dimension)；若是測量語意感受的話，則會給定一些感覺名詞(feeling nominal)，給受測者一段量尺等級(scale)，像是給3點、5點、7點、10點或是給定1-100等，讓受測者根據感受到的強弱程度給分[39]。

<input type="checkbox"/> 詞彙 A	<input type="checkbox"/> 詞彙 B	<input type="checkbox"/> 詞彙 C	<input type="checkbox"/> 詞彙 D	<input type="checkbox"/> 其它	<input type="text"/>
-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	----------------------

填答

	1	2	3	4	5	6	7	
語意詞彙 E	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	反義詞彙 F

圖 15 三種常見的實驗問卷填答方法

上述方法的第三種，較常被拿來使用於心理認知科學研究，而這個類型的測量方法，以李克特量法(Likert Scales)最常見，常被用在對特定敘述的同意程度，或是用在對特定敘述的語意認知程度，即語意差異法(Semantic differential scale)。而本論文綜合上述研究方法，讓受試者依節奏變化，感受情緒詞彙與節奏特徵產生的影響，而給定變化程度。由於本論文會探討節奏複雜度方法與人對節奏感知的差異，而每個節奏複雜度的數值範圍皆不相同，因此參考Peter E. Keller與Emery Schuber的測量情緒與節奏的量尺，無論造成的影響，是增加或是減少，皆給定範圍100的量尺範圍，讓受試者填答[40]。填答示意圖如圖16所示：

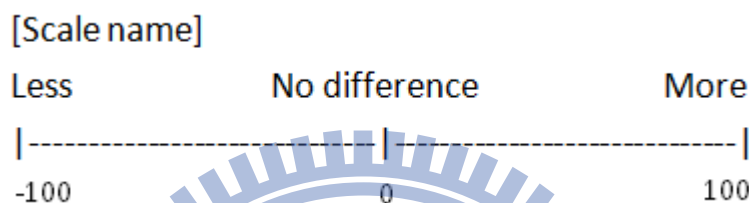


圖 16 評量詞彙受影響程度的填答方式

### 3.3 相關與迴歸

一個研究所涉及的議題往往同時涉及到兩個或兩個以上連續變數關係的探討，在統計學上，涉及兩個連續變項的關係多以線性關係的形式來進行分析。線性關係分析是將兩個連續變項的關係以直線方程式的原理來估計關聯強度，例如積差相關就是用來反映兩個連續變項具有線性關係強度的指標；積差相關係數越大，表示線性關聯越強，反之則表示線性關聯越弱，此時可能是變項間沒有關聯，或是呈現非線性關係。而迴歸分析是運用變項間的關係來進行解釋與預測的統計技術，在線性關係假設成立的情況下，迴歸分析是以直線方程式來進行決策與應用，又稱線性迴歸(linear regression)。一般來說，兩個變項的關係先以相關係數去檢驗線性關聯的強度，若相關達到統計顯著水準，表示線性關係是有意義的，便可進行迴歸來進行進一步的預測與解釋[41][42]。

#### 3.3.1 迴歸分析基本統計假設

在使用迴歸分析之前，必須要確認資料是否符合迴歸分析的基本統計假設，否則，當資料違反迴歸分析的基本統計假設時，會導致統計推論偏誤的發生。迴歸分析的基本統計假設有下列四項：

### 1. 線性關係假設

兩個連續變項間的共變關係可能有多種形式，其中最常見的關聯型態是線性關係，亦即兩個變項之間的關係呈現直線般的共同變化，數據的分佈可以被一條最具代表性的直線來表達，依變數與自變數存在著相當固定比率的關係，若是發現依變數與自變數呈現非線性關係時，可以透過轉換成線性關係，再進行迴歸分析。

### 2. 常態性假設

若是資料呈現常態分配，則誤差項也會呈現同樣的分配，當樣本數夠大時，檢查的方式是使用簡單的直方圖，若是樣本數較小時，檢查的方式是使用常態機率圖。

### 3. 誤差項的獨立性

自變數的誤差項，相互之間應該是獨立的，也就是誤差項與誤差項之間沒有相互關係，也就是無自我相關(nonautocorrelation)，而誤差項也需與自變項相互獨立。否則，在估計迴歸參數時，雖然仍可進行參數估計，但是標準誤差會產生偏誤而降低統計的檢定力，誤差項獨立性檢驗可以藉由殘差圖形分析來檢查。

### 4. 誤差項的變異數相等(homoscedasticity)

自變數的誤差項除了需要呈現常態性分配外，其變異數也需要相等，也稱為誤差等分散性，變異數的不相等(heteroscedasticity)會導致自變數無法有效的估計應變數，造成違反假設。

## 3.3.2 迴歸模式的顯著性考驗

迴歸模式的顯著性檢定，一般都使用 F 檢定，F 檢定計算所有自變數，看應變數與自變數是否具有統計顯著性。迴歸分析使用最小平方法，尋求最佳迴歸預測線，假設原始觀察值為 $(X_i, Y_i)$ 、迴歸預測值為 $(X_i', Y_i')$ 、迴歸平均數 $(\bar{X}, \bar{Y})$ ，誤差平方和表示迴歸方程式無法充分解釋依變數的變異比例，預測值得 $Y_i'$ 與 $\bar{Y}$ 的離均差平方和，是導入迴歸後所能解釋的變異。這兩個部分加總即得到 Y 變數的總離均差平方和，以 SS 形式表示：

$$SS_t = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum (Y_i' - \bar{Y})^2 + \sum (Y_i - Y_i')^2 = SS_{reg} + SS_e \quad (7)$$



將  $SS_{reg}$ 、 $SS_e$  各除以自由度，則可得到變異數，相除後得到  $F$  統計量：

$$F = \frac{SS_{reg}/df_{reg}}{SS_e/df_e} = \frac{SS_{reg}/p}{SS_e/N - p - 1} \quad (8)$$

$F$  檢定的虛無假設如下：

$$H_0 : \beta = 0 ; H_1 : \beta \neq 0 \quad (9)$$

$\beta$  為迴歸模式的標準化迴歸係數，若  $F > F_{crit}$ ，顯著性存在，推翻虛無假設，需做進一步的解釋檢定或解釋；若  $F \leq F_{crit}$ ，則顯著性不存在，接受虛無假設。配合  $F$  分配，進行迴歸模式的變異數分析考驗，用以檢驗迴歸模型是否具有統計意義。

當  $F$  考驗具顯著意義，則可進一步檢視迴歸模型的解釋力。迴歸解釋力是指  $Y$  變項被自變項所削減的誤差百分比，即依變數  $Y$  與預測值  $Y'$  的相關係數，以  $R^2$  表示，當  $R^2$  為 0 表示自變項對依變項沒有解釋力，當  $R^2$  為 1 表示自變數能夠完全解釋依變項的變異。迴歸解釋力  $R^2$  表示如下：

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{reg}}{SS_t} \quad (10)$$

在統計考驗中，最重要的一個步驟是計算檢定統計量，而檢定統計量的計算，是將樣本上所觀察到的統計量經過特定數學轉換，所獲得的一個可以配合某一種抽樣分配來檢測該統計量意義的檢定值。不同的檢定統計量具有一個共通點，就是統計檢定量多為檢定值與抽樣誤差的比值，如果檢定統計量越大，表示檢定值大於隨機誤差值，具有統計上的顯著意義；反之，檢定統計量越小，表示檢定值沒有不同於隨機變化，小於統計臨界值則無統計意義。

檢定統計量通常使用虛無假設進行檢驗，具體的做法是假設  $H_0$  為真，主張事件發生是一個隨機狀態，並沒有特殊現象。然後利用機率理論，計算每一種可能的隨機事件發生的機率值，建立一個機率分配。假設考驗的目的，是決定一個檢定統計量，是屬於  $H_0$  分配上的一個隨機觀察值，還是不屬於  $H_0$  分配，如果不屬於  $H_0$  分配，則屬於  $H_1$  分

配， $H_1$  為  $H_0$  的對立假設。

要決定檢定統計量是屬於  $H_0$  分配還是不屬於  $H_0$  分配，通常會訂定一個臨界值，然後，找出臨界值自己的尾機率值( $p$ )，然後將尾機率值與  $\alpha$  相比。尾機率法以  $\alpha$  水準判斷結果是否顯著的統計機率值，一般若  $p < 0.05$ ，即表示拒絕  $H_0$ ，指此一假設考驗的結果是顯著的，當接受  $H_0$  時，則此假設考驗為不顯著，而  $\alpha$  水準又被稱為顯著水準。

### 3.3.3 積差相關原理

兩個連續變項的線性關係，可以利用相關(correlation)的概念來描述，用以描述相關資料情形的量數，稱為相關係數。而相關係數的原理可以利用變異數的概念來說明，在單一連續變項中，變異數越大，代表一個變數的數值越分散，而變異數是用來描述單依變數離散情形的統計量數。若要以一個統計量數來描述兩個連續變數  $X$  與  $Y$  的分佈情形，由於兩個變項各有其不同的離散情形，故須各取離均差  $X - \bar{X}$  與  $Y - \bar{Y}$  來反映兩者的離散性，兩個離均差相乘之後加總，得到積差和，除以  $N - 1$  後所得到的離散量數，即為共變數，如下所示：

$$Cov(X, Y) = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{N - 1} = \frac{SP_{xy}}{N - 1} \quad (11)$$

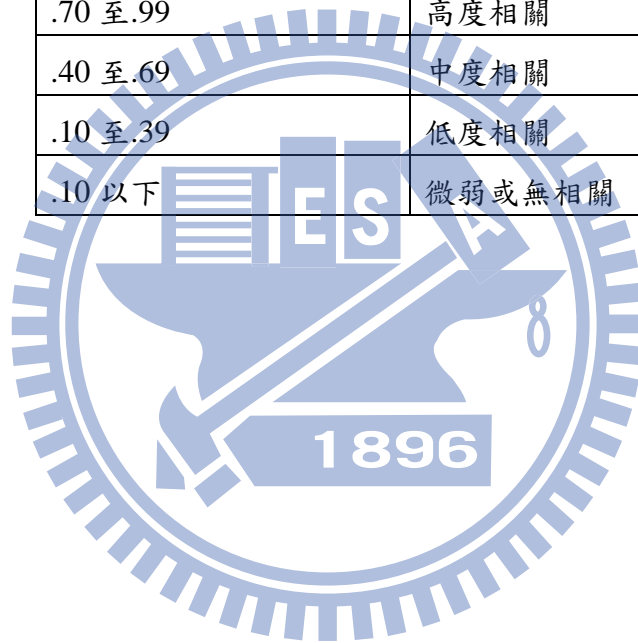
共變數就像變異數一樣，是帶有單位的量數，其數值沒有一定的範圍，會隨著單位變化而變化。若將單位去除，以兩個變數的標準差作為分母，將共變數除以兩個變數的標準差，即得標準化相關係數，此方法由皮爾森(Pearson)所提出，因此稱為皮爾森相關係數，簡稱為 Pearson's  $r$ ，皮爾森相關係數適用於兩個連續變數的線性關係情形的描述。公式如下：

$$r = \frac{cov(x, y)}{s_x s_y} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} = \frac{SP_{xy}}{\sqrt{SS_x SS_y}} \quad (12)$$

相關係數為一標準化係數，其值不受變項單位與集中性的影響，係數值介於±1 之間，相關係數值越接近±1 時，表示變項的關聯情形越明顯。值得注意的是，相關係數為標準化係數，係數數值非呈等距關係，因此係數數值不能被視為等距尺度，係數的加減乘除沒有意義，僅可以順序尺度的概念，來說明數值的相對大小。相關係數的解釋與應用，必須經過顯著性考驗來決定係數的統計意義，一旦顯著之後，研究者即可依據表 2 來解釋係數的強度，給予實務意義。

表 2 相關係數的強度大小與意義[42]

相關係數範圍(絕對值)	變項關聯強度
1.00	完全相關
.70 至 .99	高度相關
.40 至 .69	中度相關
.10 至 .39	低度相關
.10 以下	微弱或無相關



## 四、實驗方法

### 4.1 音樂刺激物

給受測者聆聽的音樂刺激物，每一首旋律皆涵蓋兩段皆4/4拍、四小節的音樂，因此，每一首音樂會有八個小節，並可分成前後兩段。音樂的組成主要依據節奏的類型作排列組合，在這個實驗中，我們將節奏分為兩類，一類是較不具切分型態的節奏(unsyncopated rhythm)，另一種是具有切分型態的節奏(syncopated rhythm)，因此，在組成音樂節奏上，可分為以下幾種可能：

1. 從非切分節奏到非切分節奏(U-U)
2. 從非切分節奏到切分節奏(U-S)
3. 從切分節奏到非切分節奏(S-U)
4. 從切分節奏到切分節奏(S-S)

音樂刺激物主要參考Peter E. Keller在實驗中所使用節奏和旋律[22]，每一首音樂的前後段主題相同、節奏不同。節奏的部分總共使用四組節奏，如圖17所示：

The figure displays eight musical staves, each representing a different rhythmic pattern. The patterns are labeled U1 through U4 and S1 through S4. Each staff shows a sequence of four measures of music. The notation includes various note values (quarter, eighth, and sixteenth notes) and rests, illustrating different rhythmic structures. The patterns are arranged in pairs: U1 and S1, U2 and S2, U3 and S3, and U4 and S4. The notation includes various note values (quarter, eighth, and sixteenth notes) and rests, illustrating different rhythmic structures.

圖 17 四個非切分節奏(U1-U4)和四個切分節奏(S1-S4)

每一組的有切分程度節奏(syncopated rhythm)皆是由非切分節奏發展而來(unsyncopated rhythm)，原先Peter E. Keller使用的切分節奏，彼此切分程度差異不大。而由於本研究欲進一步探討人對節奏切分程度感知差異，因此，在實驗設計上，將節奏加入十六分音符，使節奏S1到S4有切分差異，數學節奏複雜度計算結果也不盡相同。較無切分程度的節奏，每一小節皆有四個音符，每一小節只有一個音符不在正拍上(downbeat)；而較有切分程度的節奏，則將原本較無切分程度的節奏，移動小節內音符的位置，使音符位在後半拍，或是加入十六分音符與十六分休止符，使音符位於不在正拍也不在半拍的位置上，形成四種不同切分程度的節奏：S1、S2、S3、S4。因此，每一組的U和S，例如U1、S1，參考前述節奏組合說明(U-U、U-S、S-U、S-S)，各自與其他組的節奏做組合，故有48種節奏組合，如表3所示：

表 3 本實驗的所有音樂節奏組合

U1S2	U1U2	S1U2	S1S2
U1S3	U1U3	S1U3	S1S3
U1S4	U1U4	S1U4	S1S4
U2S1	U2U1	S2U1	S2S1
U2S3	U2U3	S2U3	S2S3
U2S4	U2U4	S2U4	S2S4
U3S1	U3U1	S3U1	S3S1
U3S2	U3U2	S3U2	S3S2
U3S4	U3U4	S3U4	S3S4
U4S1	U4U1	S4U1	S4S1
U4S2	U4U2	S4U2	S4S2
U4S3	U4U3	S4U3	S4S3

而音樂刺激物的旋律，本研究沿用Peter E. Keller與Emery Schubert實驗所得到的結論[13]，將48首音樂刺激物控制在同一調性，並使用P.E.K所提出並在實驗中使用的旋律。由於本研究主要在探討節奏變化對於情感以及節奏認知的影響，因此，決定音樂刺激物時，主要著重節奏變化，其他音樂特徵，例如音色，則不做前後段音色變化。而為了讓受測者能辨別音樂有分前後段，但是又要讓前後段音樂相同，因此，在後段音樂增加一

個旋律聲部，讓受測者能辨別前後兩段節奏差異，如圖18所示：

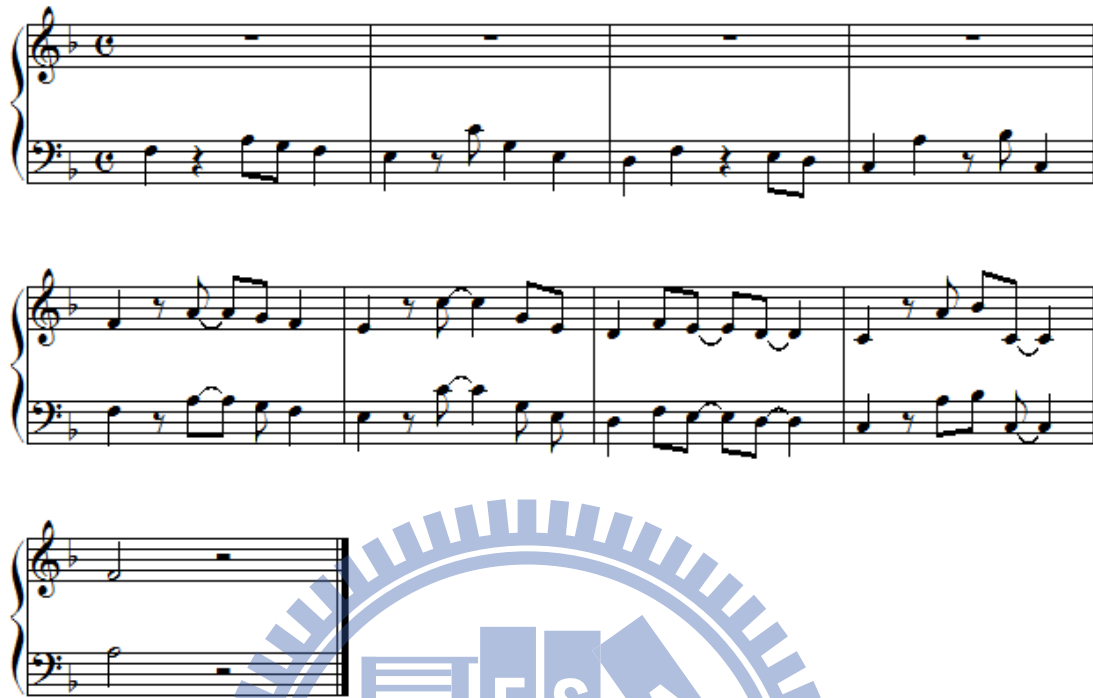


圖 18 音樂刺激物範例

音樂刺激物的音色，使用取樣撥弦樂器，製成midi檔與錄成wave檔，wave檔供受測者聆聽，midi檔用來分析。然後，每一首音樂速度相同，固定使用b.p.m 120的速度，製成音樂刺激物。

## 4.2 研究對象

邀請 30 位音樂受試者參與音樂實驗，平均年齡為 22.3 歲，年齡範圍為 19~28 歲，有 14 位男性、16 位女性，實驗受試者皆無聽力障礙。而這 30 位受試者中，又可依是否學過樂器，被均分做以下三組：

- (1) 無學過樂器，意指從小到大，除了學校音樂課，無另外學習過其他樂器
- (2) 有學過樂器，但無接受過音樂專業訓練
- (3) 受過音樂專業教育訓練，例如：大學、研究所等

### 4.3 音樂實驗流程

施測方法採一對一實驗法，意指一次找一位受試者做實驗，並非在同一時間召集所有受試者進行實驗。而受試者參與實驗時，會被安排至一個無其他干擾的空間裡，並坐在音樂播放功能正常的電腦前、戴上耳機，然後依照指示作答。實驗開始之前，會先針對實驗內容做詳細介紹，然後讓受測者做預試題(trial)，同時調整耳機音量。

在介紹實驗內容時，會先引導受試者仔細聆聽範例音樂的前後段音樂節奏差異，並就以下情緒和節奏的詞彙做解釋：

1. Positive：以情緒正向程度檢測音樂情緒，例如音樂使得情感較為開心是正向情緒增加；反之，若是較為難過、傷心，則為正向情緒減少。
2. Arousal：情緒活躍程度，Arousal較高意指情緒較為激昂、強烈、激烈；Arousal較低指情緒較沉靜、緩和
3. Happiness：情緒快樂程度
4. Enjoyment：感到愉悅、喜愛、享受的程度
5. Complexity：節奏複雜程度，若演奏難度高、切分音多可能造成節奏較複雜；演奏難度低、切分音少可能造成節奏較為簡單
6. Regularity：節奏規律程度，意指節奏是否有規律地反覆出現，若有，則規律程度高；反之，則較不規律。
7. Outstanding：檢測節奏明顯程度，意指讓受試者感受節奏是否突出、明顯、容易辨認；反之，則較不明顯
8. Firm：檢測節奏穩定程度，意指讓受試者感受節奏型態是否固定、速度較為不變；反之，若感受到節奏型態較不固定、速度比較自由，則節奏較不穩定。
9. Variety：探討節奏是屬於比較有變化的節奏或是比較沒有變化的節奏。

以上為欲探討的九個詞彙，主要根據過去相關研究，整理出可能與節奏複雜度有關的詞彙進行音樂實驗。若受試者已瞭解詞彙涵義，則進入下一階段，讓受試者填寫預試題。預試題和真正的實驗題目不會重複，讓受試者做預試題的用意，主要是先讓受試者熟悉實驗內容與操作方式。實驗方法為每次播放一首音樂，每一首音樂可分做前後兩段，並且有節奏差異。提示受試者仔細聆聽前後段音樂的節奏差異，並且感受後段音樂相較於前段音樂，節奏差異是否對情緒和節奏特徵造成影響，即上述的九個詞彙。若有造成

程度上的增減，則使用滑鼠移動電腦頁面上的操作拉桿(slider)，根據感受評定其增減與幅度。

受試者在操作拉桿過程中，從左到右可看到less、no difference、more三個標示，受試者根據感受移動拉桿，從左到右對應的數值範圍為-100到100，示意圖如圖19所示：

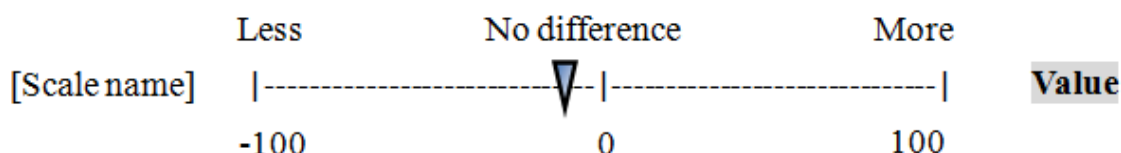


圖 19 音樂實驗填答操作示意圖

為了模擬正式實驗，受試者在做預試題的時候，會列出欲探討的九個詞彙，供受試者感知與練習。若受試者對實驗操作方法無其他疑問，則可進入正式實驗流程。正式實驗總共有48首音樂讓受試者聆聽，受試者須根據每一首音樂的前後節奏差異，去感受節奏差異對情緒以及節奏造成的感知影響。在填答過程中，若受試者感受到疲倦，可建議受試者休息片刻再繼續。所有實驗流程可以圖20表示：



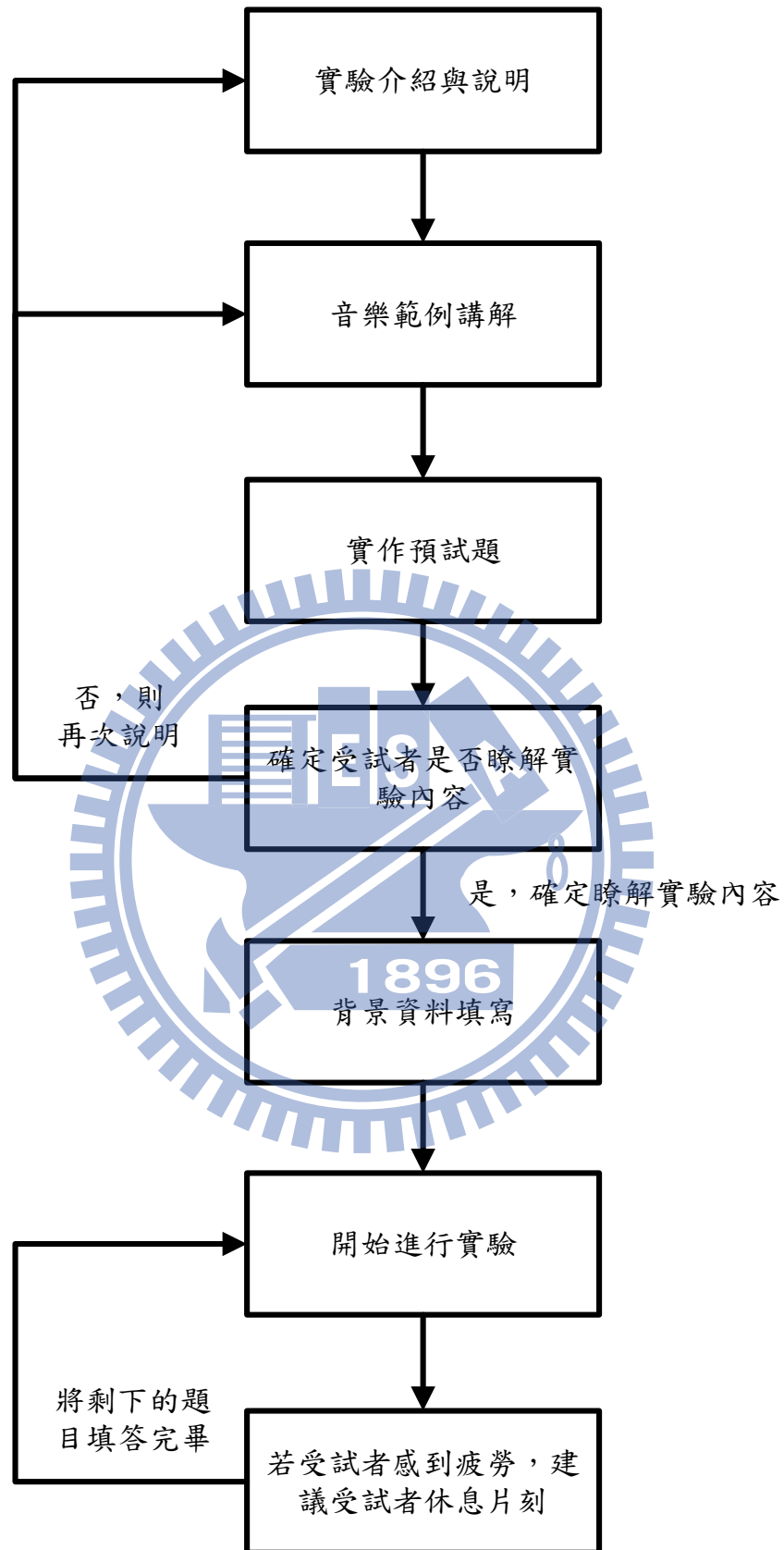


圖 20 實驗流程示意圖

## 4.4 資料分析

所有音樂刺激物的節奏資料，需先以數學節奏複雜度方法，計算所有音樂的節奏複雜度值，其中，Autocorrelation-based measure方法需以Matlab的MIDI Toolbox的函數計算。而為了找出節奏複雜程度與人類感知的相關性，本研究使用SPSS(Statistical Product and Service Solutions)，參考心理認知科學分析方法，使用迴歸分析與變異數分析，並就三組受試者的實驗結果資料，探討以下內容：

### 1. 主要分析：

- (1) 人類節奏複雜度與數學節奏複雜度計算方法的感知差異
- (2) 人類節奏複雜度感知與情緒認知關係
- (3) 人類節奏複雜度感知與節奏感知探討

### 2. 細項分析：

- (1) 五種數學節奏複雜度方法間的關係
- (2) 音樂情感特徵間相關性
- (3) 節奏特徵間相關性

第一部分為本研究最重要的三大主要分析，第二部分為各細項間、方法間的相關性。而本研究的實驗分析流程可如圖 21 所示：

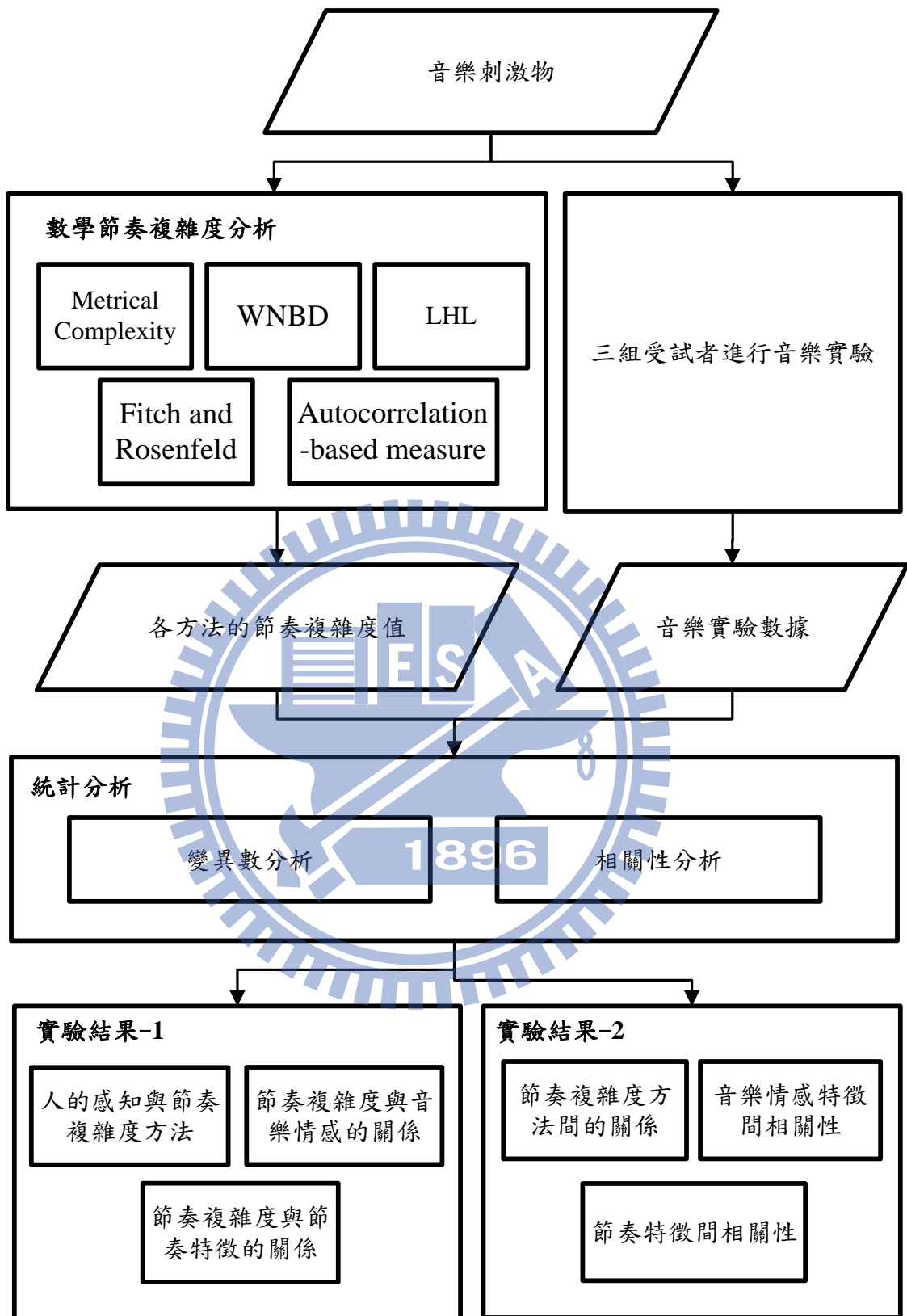


圖 21 音樂資料分析流程圖

由於本研究有探討到數學節奏複雜度的計算方法，與人的感知符合程度，因此，藉由迴歸分析的相關性，可找出最符合人對節奏感知的計算方法。而藉由此計算方法，可用來探討節奏複雜度與音樂情感維度，發展兩者之間可被應用的關係。



圖 22 節奏複雜度方法進階應用

## 五、實驗結果與討論

實驗結果主要可分成三大部分，分別將數學節奏複雜度與人對節奏感知、人對節奏感知與音樂情感認知、人對節奏感知與節奏特徵認知作分析，也就是著重於探討節奏複雜度與方法、情感、節奏的關係，建構對節奏複雜度在音樂上的概念，而且也分三組實驗對象做討論，三組對象分別是沒學過樂器、有學過樂器以及有受過音樂專業教育訓練。除了分析出三大部分的結果外，也將各個被討論的內部細項，做交叉分析。

### 5.1 數學節奏複雜度與人對節奏複雜程度感知

由於本研究找了三組受試者做實驗，而這三組受試者的感知結果與節奏複雜度方法的相關性，如表4所示，A組是沒有學過樂器的受試者、B組有學過樂器但是沒有受過音樂專業教育訓練、C組是受過音樂專業教育訓練的受試者。從表4可以看出人對節奏切分程度感知與各計算方法的相關性皆是C組最佳、B組次之、A組較差，即 $C > B > A$ 。由實驗結果可以合理推測：若受過音樂訓練、甚至是較嚴謹完整的音樂專業教育訓練，對節奏變化越敏銳。

而這五種計算節奏複雜度的數學方法，與人對切分程度感知的相關性，其變異數分析(ANOVA)的F考驗皆達顯著標準，p也皆小於0.05，達顯著標準，如表5所示，因此五種數學方法與人的感知皆有顯著相關。這五個方法中，以Metrical Complexity與WNBD這兩個方法，其結果與人的感知較符合，而LHL、Fitch and Rosenfeld與Autocorrelation-base measure這三個方法與人對節奏切分程度感知的相關性較低，如表4所示。

Fitch and Rosenfeld又比LHL較佳，推測可能是因為這個方法能計算到存有較多切分音的節奏複雜度數值，因為這個方法是將位於休息處後面，能產生切分音的組合，皆納入計算；而LHL的算法主要著重於對連接在休息處後的音判斷是否產生切分，也許因為這樣遺漏了一些在感知上能被察覺出的切分音，節奏較複雜的組合。而Metrical Complexity與WNBD這兩個與人的感知較符合的方法，剛好都有考慮到音符個數，可能是這個因素，成為此計算方法的優勢，不單單只就音符出現的位置做判斷。這五種計算方法中，又以Autocorrelation-base measure與人的節奏複雜感知相關性最低，推測是這個計算方法的概念，較不易計算出人在判斷節奏切分與否的判斷依據，因為人在聆聽音樂

節奏，常常會聽到後來卻遺忘前面的節奏，較常根據突然的節奏變化，判定節奏是否較為複雜或簡單，較不會根據整體節奏來判斷節奏複雜程度。因此，這個以整體節奏片段來探討片段內的節奏自相關方法，較不易計算出人對節奏複雜程度感知的感受。

表 4 三組受試者對人的節奏感知與節奏複雜度方法相關性

Rhythm Complexity 受試者類別	Metrical Complexity	LHL	WNBD	Fitch and Rosenfeld	Autocorrelation-base measure
Human Complexity(A)	0.652	0.536	0.627	0.542	-0.610
Human Complexity(B)	0.74	0.605	0.717	0.64	-0.635
Human Complexity(C)	0.863	0.689	0.842	0.784	-0.691

表 5 節奏複雜度方法與人類感知相關性之變異數分析：F 考驗與 p 考驗

Rhythm Complexity 受試者類別	Metrical Complexity		LHL		WNBD		Fitch and Rosenfeld		Autocorrelation-base measure	
	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig
Human Complexity(A)	33.947	.000	18.509	.000	29.799	.000	19.123	.000	27.287	.000
Human Complexity(B)	55.782	.000	26.622	.000	48.723	.000	31.860	.000	31.127	.000
Human Complexity(C)	137.175	.000	41.605	.000	111.919	.000	73.455	.000	42.092	.000

除了探討節奏複雜度與人的感知相關性，同時也可五種方法做交叉比較，觀察各方法間的實驗結果。表6列出五個方法間的相關性，表7列出五個方法間的單因子變異數分析，可看出F考驗與p考驗皆達顯著相關，亦即可探討五個方法間的相關程度。由表可7看出Autocorrelation-base measure這個方法與其他四個方法的相關性明顯較低，推測是由於這個方法與其他方法的計算概念差異太大，導致相關程度較低。其他四個方法主要根

據音符位置的權重、音符是否落在強拍或弱拍上，決定其計算方法，因此，Metrical Complexity、LHL、WNBD、Fitch and Rosenfeld這四個計算方法主要還是跟音符的位置有關；而Autocorrelation-base measure在計算上不直接考慮音符位置，因此可能是這個原因造成此方法與其他方法的相關性低。

表 6 節奏複雜度計算方法間相關性

Pearson Correlation	Metrical Complexity	LHL	WNBD	Fitch and Rosenfeld	Autocorrelation-base measure
Metrical Complexity	1	0.862	0.998	0.973	-0.591
LHL	0.862	1	0.885	0.836	-0.432
WNBD	0.998	0.885	1	0.982	-0.582
Fitch and Rosenfeld	0.973	0.836	0.982	1	-0.567
Autocorrelation	-0.591	-0.432	-0.582	-0.567	1

表 7 節奏複雜度計算方法間之變異數分析：F 考驗與 p 考驗

ANOVA	Metrical Complexity		LHL		WNBD		Fitch and Rosenfeld		Autocorrelation-base measure	
	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig
Metrical Complexity	1	1	133.606	0.000	9.407	0.000	832.020	0.000	24.740	0.000
LHL	133.606	0.000	1	1	165.584	0.000	106.569	0.000	10.584	0.000
WNBD	9.407	0.000	165.584	0.000	1	1	1.245	0.000	23.506	0.000
Fitch and Rosenfeld	832.020	0.000	106.569	0.000	1.245	0.000	1	1	21.778	0.000
Autocorrelation-base measure	24.740	0.000	10.584	0.000	23.506	0.000	21.778	0.000	1	1

## 5.2 人對節奏複雜程度感知與情感認知相關探討

除了探討數學節奏複雜度與人對節奏感知外，也探討人對節奏複雜程度感知與音樂情感的關係，藉由與音樂情感的關聯，加強建構對音樂節奏複雜度的概念與定義。由於本研究的研究對象，共有三組實驗受試者，因此，可根據每一組的實驗結果，探討人對情感的主觀認知與節奏複雜感知的相關。表8是A組的實驗結果，A組是完全沒學過樂器的受試者，可看出若節奏的複雜程度，與受試者對音樂的正向程度、快樂程度、愉悅程度皆呈顯著相關，如表9所示，其F考驗與p考驗皆顯著。因此，假若音樂節奏變得較複雜，沒學過樂器的受試者會覺得音樂情感的正面情緒減少、越來越不快樂、越來越不愉悅，而對音樂情感的激昂程度(arousal)感受不明顯，無顯著相關性。這組受試者的正向程度、快樂程度、愉悅程度，兩個變項之間皆有高度正相關，而情緒激昂程度(arousal)則與其他項目無顯著相關性。

表 8 A 組之人的節奏感知與情感認知相關性

Pearson Correlation	Human Complexity(A)	Positive	Arousal	Happiness	Enjoyment
Human Complexity(A)	1	-0.508	0.209	-0.581	-0.657
Positive	-0.508	1	0.186	0.901	0.841
Arousal	0.209	0.186	1	0.24	0.203
Happiness	-0.581	0.901	0.24	1	0.901
Enjoyment	-0.657	0.841	0.203	0.901	1

表 9 A 組之人的節奏感知與情感認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗

ANOVA	Human Complexity(A)		Positive		Arousal		Happiness		Enjoyment	
	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig
Human Complexity(A)	1	1	15.961	0.000	2.106	0.153	23.381	0.000	34.849	0.000
Positive	15.961	0.000	1	1	1.648	0.206	198.858	0.000	111.264	0.000
Arousal	2.106	0.153	1.648	0.206	1	1	2.821	0.1	1.976	0.167
Happiness	23.381	0.000	198.858	0.000	2.821	0.1	1	1	199.326	0.000
Enjoyment	34.849	0.000	111.264	0.000	1.976	0.167	199.326	0.000	1	1



B組是有學過樂器、但沒有受過音樂專業訓練的實驗受試者，由表10與表11可得知這組受試者的實驗結果與其顯著相關現象。先探討人的節奏複雜程度感知與其他項的關係，若節奏複雜程度增加時，音樂情感的激昂程度(arousal)會增加，而且當節奏複雜程度增加時，會讓受試者對音樂情感產生較不快樂與不愉悅的感受產生，其中，不愉悅的程度呈現高度相關。而這組受試者認為音樂正向程度會對快樂程度、愉悅程度造成影響，尤其對快樂程度所造成的影響幅度大於愉悅程度、相關性較高。而音樂激昂程度(arousal)與愉悅程度有顯著低度負相關，而愉悅程度與快樂程度呈現顯著正相關。

表 10 B 組之人的節奏感知與情感認知相關性

Pearson Correlation	Human Complexity(B)	Positive	Arousal	Happiness	Enjoyment
Human Complexity(B)	1	-0.261	0.544	-0.581	-0.73
Positive	-0.261	1	0.138	0.74	0.499
Arousal	0.544	0.138	1	-0.008	-0.287
Happiness	-0.581	0.74	-0.008	1	0.772
Enjoyment	-0.73	0.499	-0.287	0.772	1

表 11 B 組之人的節奏感知與情感認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗

ANOVA	Human Complexity(B)		Positive		Arousal		Happiness		Enjoyment	
	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig
Human Complexity(B)	1	1	3.353	0.074	19.382	0.000	23.491	0.000	52.541	0.000
Positive	3.353	0.074	1	1	0.898	0.343	55.542	0.000	15.254	0.000
Arousal	19.382	0.000	.898	0.343	1	1	0.003	0.956	4.124	0.048
Happiness	23.491	0.000	55.542	0.000	.003	0.956	1	1	68.047	0.000
Enjoyment	52.541	0.000	15.254	0.000	4.124	0.048	68.047	0.000	1	1

C組是受過音樂專業教育訓練的受試者，由表12和表13可得知一些顯著相關現象。這組受試者對於節奏切分變化造成音樂激昂程度(arousal)的感受較敏銳，當音樂節奏較複雜時，會讓受試者覺得音樂激昂程度增加，並且愉悅程度也增加，而這組受試者認為音樂節奏變化不至於會對音樂情感的正、負向與快樂程度造成明顯變化，反而是組成情緒的另一個維度，也就是情緒激昂程度(arousal)較容易被明顯感受。而這組受試者認為音樂正向程度與快樂程度、愉悅程度個別呈顯中度相關，而快樂程度與愉悅程度呈現正相關。

表 12 C 組之人的節奏感知與情感認知相關性

Pearson Correlation	Human Complexity(C)	Positive	Arousal	Happiness	Enjoyment
Human Complexity(C)	1	0.124	0.775	0.141	0.510
Positive	0.124	1	0.124	0.546	0.506
Arousal	0.775	0.124	1	0.389	0.637
Happiness	0.141	0.546	0.389	1	0.709
Enjoyment	0.510	0.506	0.637	0.709	1

表 13 C 組之人的節奏感知與情感認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗

ANOVA	Human Complexity(C)		Positive		Arousal		Happiness		Enjoyment	
	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig
Human Complexity(C)	1	1	0.716	0.402	69.085	0.000	0.935	0.339	16.181	0.000
Positive	0.716	0.402	1	1	0.714	0.403	19.564	0.000	15.797	0.000
Arousal	69.085	0.000	0.714	0.403	1	1	8.195	0.006	31.414	0.000
Happiness	0.935	0.339	19.564	0.000	8.195	0.006	1	1	46.534	0.000
Enjoyment	16.181	0.000	15.797	0.000	31.414	0.000	46.534	0.000	1	1

綜合以上敘述，可發現三組不同受試者，其對節奏複雜程度的感知與音樂情感認知的相關性，有主觀認知上的差異，如表14所示。而有學過樂器的B組與受過音樂教育訓練的C組，能充分感受到音樂節奏切分變化對音樂激昂程度(arousal)所造成的影響，尤其C組又比B組相關性更高，對音樂激昂程度(arousal)的感受更敏銳。因此，根據B組和C組的實驗結果，可得知對學過樂器的受試者而言，若感受到音樂節奏變得比較複雜，對於音樂情緒的音樂激昂程度(arousal)感受也會增加。

若就節奏複雜程度改變，對快樂程度與愉悅程度造成的影響，C組的實驗結果皆與A、B組有差異。對沒有受過音樂專業教育訓練的A組和B組受試者而言，若音樂複雜程度增加，則快樂程度減少，且愉悅程度也減少。而C組的受試者可能是因為對節奏變化較敏銳、受過音樂專業訓練、接觸過多種音樂類型等，對判別快樂與愉悅程度有其他的想法與感受，造成這組受試者認為音樂節奏複雜程度改變，對快樂程度的影響無顯著相關性；對於愉悅程度的感受，也不同于A組和B組。

表 14 三組受試者對人的節奏感知與音樂情感認知的相關性

受試者類別	Rhythm Complexity	Positive	Arousal	Happiness	Enjoyment
	Human Complexity(A)	-0.508	0.209	-0.581	-0.657
Human Complexity(B)	-0.261	0.544	-0.581	-0.73	
Human Complexity(C)	0.124	0.775	0.141	0.510	

### 5.3 人對節奏複雜程度感知與節奏認知相關探討

由於過去有研究整理出一些關於節奏的詞彙，而節奏複雜度主要是描述音樂節奏的切分程度，因此，若是這些節奏詞彙與節奏複雜度有相關性，可以將這些詞彙加入建構節奏複雜度的概念中。A組是沒學過樂器的受試者，由表15和表16可看出當音樂節奏複雜程度增加或減少時，受試者能感受到其對於節奏規律程度、穩定程度和變化程度造成的影響，節奏複雜程度與這三項節奏特徵呈現顯著相關性，但是，對節奏明顯程度的感

受則不顯著，因此，可得知A組受試者對於規律程度、穩定程度、變化程度，較能直接判斷，對於節奏複雜程度對明顯程度造成的影響，則較難評斷。

而A組受試者認為節奏的規律程度和穩定程度有顯著相關，並且呈現高度相關性，當音樂節奏較規律時，其穩定程度較高。而節奏的規律程度，也會對明顯程度造成影響，表15顯示節奏規律程度與明顯程度呈現中度相關，因此，可推測若音樂節奏較規律時，A組受試者較能感受其節奏變得較明顯。而節奏規律程度除了影響節奏明顯程度，也對節奏變化程度造成影響，若節奏規律程度減少，則節奏變化程度增加。

而節奏穩定程度也會對明顯程度和變化程度造成影響，當節奏較穩定時，A組受試者能感受出其節奏也會較為明顯，呈現普通相關，但是節奏變化程度則會減少。尤其對變化程度的感受大於明顯程度，因此，可得知若節奏變得較穩定時，可充分感受出其變化程度減少、而明顯程度增加，但是，受試者不見得這麼容易能感受到穩定程度對於變化程度、明顯程度的影響，相較於前兩者，受試者最能感受到節奏穩定程度對於規律程度的影響，當穩定程度減少時，規律程度會明顯減少。

表 15 A 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性

Pearson Correlation	Human Complexity(A)	Regularity	Outstanding	Firm	Variety
Human Complexity(A)	1	-0.838	-0.244	-0.854	0.776
Regularity	-0.838	1	0.502	0.933	-0.689
Outstanding	-0.244	0.502	1	0.436	-0.055
Firm	-0.854	0.933	0.436	1	-0.726
Variety	0.776	-0.689	-0.055	-0.726	1

表 16 A 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗

ANOVA	Human Complexity(A)		Regularity		Outstanding		Firm		Variety	
	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig
Human Complexity(A)	1	1	108.758	.000	2.902	0.095	123.909	0.000	69.622	0.000
Regularity	108.758	.000	1	1	15.503	0.000	310.959	0.000	41.595	0.000
Outstanding	2.902	0.095	15.503	0.000	1	1	10.783	0.002	0.140	0.710
Firm	123.909	0.000	310.959	0.000	10.783	0.002	1	1	51.203	0.000
Variety	69.622	0.000	41.595	0.000	0.140	0.710	51.203	0.000	1	1

B組是有學過樂器的音樂受試者，由表17和表18可以看出，當節奏複雜程度改變時，受試者對於節奏規律程度、明顯程度、穩定程度、變化程度的感受，皆有顯著的改變。當節奏複雜程度增加，B組受試者會明顯感受到規律程度減少、穩定程度減少、變化程度增加，以及與節奏明顯程度減少，呈現普通負相關。而規律程度與穩定程度呈現高度正相關，規律程度與變化程度呈現負相關。

而這組受試者的規律程度與其他三個節奏特徵，皆有顯著相關性，規律程度與明顯程度呈現正相關，因此，當音樂節奏的規律程度增加時，對B組受試者而言，節奏會變得較明顯、較突出、較容易辨認。而規律程度與穩定程度也呈現正相關，與變化程度則是呈現負相關，因此，當節奏變化程度增加時，受試者會覺得節奏越來越不明顯，即明顯程度減少。

當節奏變的比較穩定時，受試者能充分感受到節奏變得比較規律，變化程度也明顯減少，而節奏的明顯程度，則是呈顯普通正相關；而當節奏變化程度增加時，對於穩定程度、規律程度的變化呈現高度負相關，且感受幅度差異不大，但是，對於明顯程度的感受呈現普通負相關，低於前面兩者的幅度。

表 17 B 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性

Pearson Correlation	Human Complexity(B)	Regularity	Outstanding	Firm	Variety
Human Complexity(B)	1	-0.894	-0.556	-0.91	0.824
Regularity	-0.894	1	0.567	0.92	-0.817
Outstanding	-0.556	0.567	1	0.675	-0.492
Firm	-0.91	0.92	0.675	1	-0.83
Variety	0.824	-0.817	-0.492	-0.83	1

表 18 B 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗

ANOVA	Human Complexity(B)		Regularity		Outstanding		Firm		Variety	
	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig
Human Complexity(B)	1	1	183.938	0.000	20.552	0.000	222.213	0.000	97.642	0.000
Regularity	183.938	0.000	1	1	21.849	0.000	254.606	0.000	92.347	0.000
Outstanding	20.552	0.000	21.849	0.000	1	1	38.418	0.000	14.672	0.000
Firm	222.213	0.000	254.606	0.000	38.418	0.000	1	1	101.559	0.000
Variety	97.642	0.000	92.347	0.000	14.672	0.000	101.559	0.000	1	1

C組是有受過音樂專業教育訓練的受試者，這組受試者對於節奏差異的感受最敏銳，由表19和表20可看出，C組受試者在音樂節奏複雜程度改變時，會認為其對於規律程度、明顯程度、穩定程度、變化程度的感受皆會造成影響、且F考驗和p考驗皆顯著，因此，具有顯著相關性。然而，節奏複雜程度除了與節奏變化程度呈現負相關之外，與其他三項皆呈正相關，因此，當節奏變得比較複雜時，受試者能感受到其節奏變得較不規律、較不穩定、較不明顯，以及變化程度增加，而對於明顯程度的感受幅度，略低於對其他三項的感受。

而節奏規律程度與穩定程度呈現明顯正相關，規律程度與變化程度呈現明顯負相關，因此，當音樂節奏變得較規律時，C組受試者能明顯感受到節奏變得比較穩定，並且節

奏會較沒有變化。而節奏規律程度與明顯程度也有顯著相關，不過，節奏複雜程度和穩定程度、變化程度的相關性高於節奏明顯程度，因此，當節奏規律程度增加時，受試者較能充分感受出節奏會變得比較穩定、變化程度減少，也能感受的到節奏變得比較明顯，但是感受到的幅度較低。

節奏明顯程度與規律程度、穩定程度呈現正相關，與變化程度呈現負相關，因此，當節奏變得比較明顯、較容易辨認時，此時的節奏可能是較規律、較穩定，以及較沒有變化的。而節奏穩定程度與變化程度呈現高度負相關，高於穩定程度對於規律程度以及明顯程度的影響。

表 19 C 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性

Pearson Correlation	Human Complexity(C)	Regularity	Outstanding	Firm	Variety
Human Complexity(C)	1	-0.871	-0.762	-0.916	0.939
Regularity	-0.871	1	0.710	0.891	-0.834
Outstanding	-0.762	0.710	1	0.775	-0.784
Firm	-0.916	0.891	0.775	1	-0.902
Variety	0.939	-0.834	-0.784	-0.902	1

表 20 C 組之人的節奏感知與節奏特徵認知相關性變異數分析：F 考驗與 p 考驗

ANOVA	Human Complexity(C)		Regularity		Outstanding		Firm		Variety	
	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig
Human Complexity(C)	1	1	145.028	0.000	63.776	0.000	240.895	0.000	341.935	0.000
Regularity	145.028	0.000	1	1	46.875	0.000	176.747	0.000	105.275	0.000
Outstanding	63.776	0.000	46.875	0.000	1	1	69.130	0.000	73.396	0.000
Firm	240.895	0.000	176.747	0.000	69.130	0.000	1	1	201.040	0.000
Variety	341.935	0.000	105.275	0.000	73.396	0.000	201.040	0.000	1	1

綜合三組受試者的實驗結果，如表21所示，可發現每一組受試者，對於當節奏複雜程度改變時，皆能感受到規律程度的變化，並且皆呈現負相關。而節奏複雜程度對於穩定程度造成的影響，三組受試者都呈現負相關，而且有學過樂器、甚至是受過音樂專業訓練的受試者，越能感受到節奏會變得越穩定，不過，三組受試者的感受幅度沒有太大差異，呈現高度負相關。而當節奏複雜程度增加時，對於音樂節奏變化程度的感受幅度，則是C組大於B組、B組又大於A組，即沒有學過樂器的實驗受試者，對變化程度的感受則是敏銳度最低，但是節奏複雜程度改變對於節奏變化程度造成的影響，三組受試者皆呈現明顯正相關，無太大差異。

表 21 三組受試者對人的節奏感知與節奏特徵認知的相關性

Rhythm Complexity 受試者類別	Regularity	Outstanding	Firm	Variety
	Human Complexity(A)	-0.838	-0.244	-0.854
Human Complexity(B)	-0.894	-0.556	-0.91	0.824
Human Complexity(C)	-0.871	-0.762	-0.916	0.939

#### 5.4 綜合討論

本研究參考Peter E. Keller的實驗方法[17]，將音樂刺激物的旋律的音樂分做前後兩段，並且將切分節奏設計成四種不同切分程度，讓受試者聆聽並評分。此方法不同於過去使用節奏片段、沒有加音高的音樂刺激物[2, 8]，也不同於過去使用古典管絃樂[14]、或是將音樂加上伴奏旋律、改變拍號等方法[12]。本實驗使用含音高旋律的音樂刺激物、不含和聲與伴奏，為了不讓受試者受到節奏以外的因素干擾，但卻要讓受試者感受音樂情感，因此，音樂刺激物使用音樂旋律，但只改變一種特徵變項，讓受試者聆聽音樂節奏變化，做為判斷音樂情感與影響其他節奏特徵的依據。而此方法的實驗結果，與過去只使用節奏片段、不加音高的實驗結果相符[2]，因此，可使用這個實驗方法，探討節奏變化與人的相關感知。



在五個數學節奏複雜度計算方法中，Metrical Complexity和WNBD這兩個方法，與人的感知最相符；LHL、Fitch and Rosenfeld、Autocorrelation-base measure這三個方法則次之，其中，Fitch and Rosenfeld是從LHL發展而來，與人對節奏複雜的感知也較LHL符合。而Peter E. Keller和Emery Schubert使用Autocorrelation-base measure方法計算節奏複雜度[17]，在本研究中發現使用這個方法可算出越複雜的節奏，其自相關函數值越低，並且與人的感知也有顯著相關性，因此，這個方法也可用來計算節奏複雜度。此方法不直接根據權重去發展計算方法，並且與人的感知有顯著相關性，因此，綜合其他四個方法與自相關函數計算方法的概念，可得知若節奏複雜度越高，節奏片段內的相近的節奏韻制(meter)排列越少、自相關程度越低、節奏片段裡的音符起始位置不在強拍上的機率越高，造成人對節奏複雜程度感知增加、對演奏難易度增加。

本研究欲觀察節奏複雜度與音樂情感的關係，根據實驗結果發現，若是給予受試者較為明顯的情緒名詞，例如快樂、愉悅等詞彙，受試者較能感受節奏變化對情緒詞彙的影響，而節奏變化對於情緒正負向(valence)的影響，受試者無法直接明顯感受此情緒維度的變化，因此，將所有實驗結果的資料分成S-U、U-S、S-S、U-U，參考Peter E. Keller和Emery Schubert的分析方法[17]，將U-S減去U-U當作一組、S-U減去S-S的值當作另一組，觀察是否因為節奏變化走向不同，致使受試者對於節奏複雜度造成情緒正負向的影響，存在著不對稱的結果，因此受試者對於情緒正負向的感受不顯著。但分析結果仍發現，B組和C組的受試者，對於節奏複雜度變化造成情緒正負向的影響仍不顯著，但是根據受試者對於節奏變化對於快樂程度和愉悅程度的影響，可知對一般聆聽音樂的人、無接受過音樂專業教育訓練的受試者，對他們而言，若感受到節奏變得比較複雜，他們會覺得音樂情感快樂程度減少、愉悅程度也減少，但是，對有受過音樂教育訓練的人，由於他們受過的音樂薰陶較多，對音樂的想法可能不同於一般人，他們認為有些音樂情感的愉悅程度增加，其節奏複雜程度也增加。因此，若將此節奏複雜度與愉悅程度以及快樂程度的結果，應用至其他領域，若是應用至音樂治療領域，則可以不同的治療情形，做合適的節奏編排，並可根據治療對象的背景差異，做適度的調整。若是作曲者必須針對特定對象編曲，也可參考對於快樂程度及愉悅程度的結果。

而節奏複雜度與情緒活躍程度(arousal)的關聯性，本研究探討出其兩者具有顯著相關性，而且對有學過樂器的受試者而言，尤其是有受過音樂專業教育訓練的聆聽者，更容易感受到節奏複雜度對情緒活躍程度的影響(arousal)。相較於Peter E. Keller和Emery

Schubert的實驗結果，本實驗的音樂刺激物，涵蓋數學複雜度值較低與很高的節奏，即較為簡單與很複雜的節奏，而Peter E. Keller和Emery Schubert所使用的音樂刺激物，其節奏複雜程度是屬於中等複雜類型，沒有使用太複雜的節奏作為實驗的音樂刺激物。因此，其實驗結果並無找出音樂節奏複雜度與音樂激昂程度的關係，他們推測可能是因為他們使用的音樂刺激物，無法讓受試者感受對音樂激昂程度的明顯變化。而本實驗將音樂刺激物的節奏複雜程度做修改，根據實驗結果，可觀察到節奏複雜度變化對音樂激昂程度的顯著現象，即節奏複雜程度越高，能感受到音樂的激昂程度越高，為本研究很重要的實驗結果。而此實驗結果符合表1其音樂情感對音樂特徵的歸類，節奏較複雜的音樂較容易出現在音樂激昂程度較高的象限裡，從表1可看出是在第二、三、四象限，由圖7可得知是在音樂激昂程度為正的象限裡，因此，本研究關於節奏複雜度與音樂激昂程度的實驗結果，符合過去相關研究其音樂情感對節奏特徵的分類，並使用迴歸分析方法找出兩變項之間的關係。

根據五種數學節奏複雜程度計算方法與人對節奏切分變化感知的分析結果，可得知Metrical Complexity這個方法與人的感知最接近，而有學過樂器甚至是有受過音樂專業教育訓練的受試者，能感受到節奏複雜程度變化對音樂激昂程度的影響，因此，若要應用在自動作曲、情緒音樂、音樂治療等領域，可以輸入一首音樂，先計算其節奏複雜程度，再根據欲達到的音樂激昂程度(arousal)做節奏複雜度調整，而兩組受試者的實驗結果關係圖如圖23和圖24所示。圖23的關係式為： $\Delta Arousal(B)=0.733 * \Delta Metrical Complexity + 11.792$ ，圖24的關係式為： $\Delta Arousal(C)=1.767 * \Delta Metrical Complexity + 5.115$

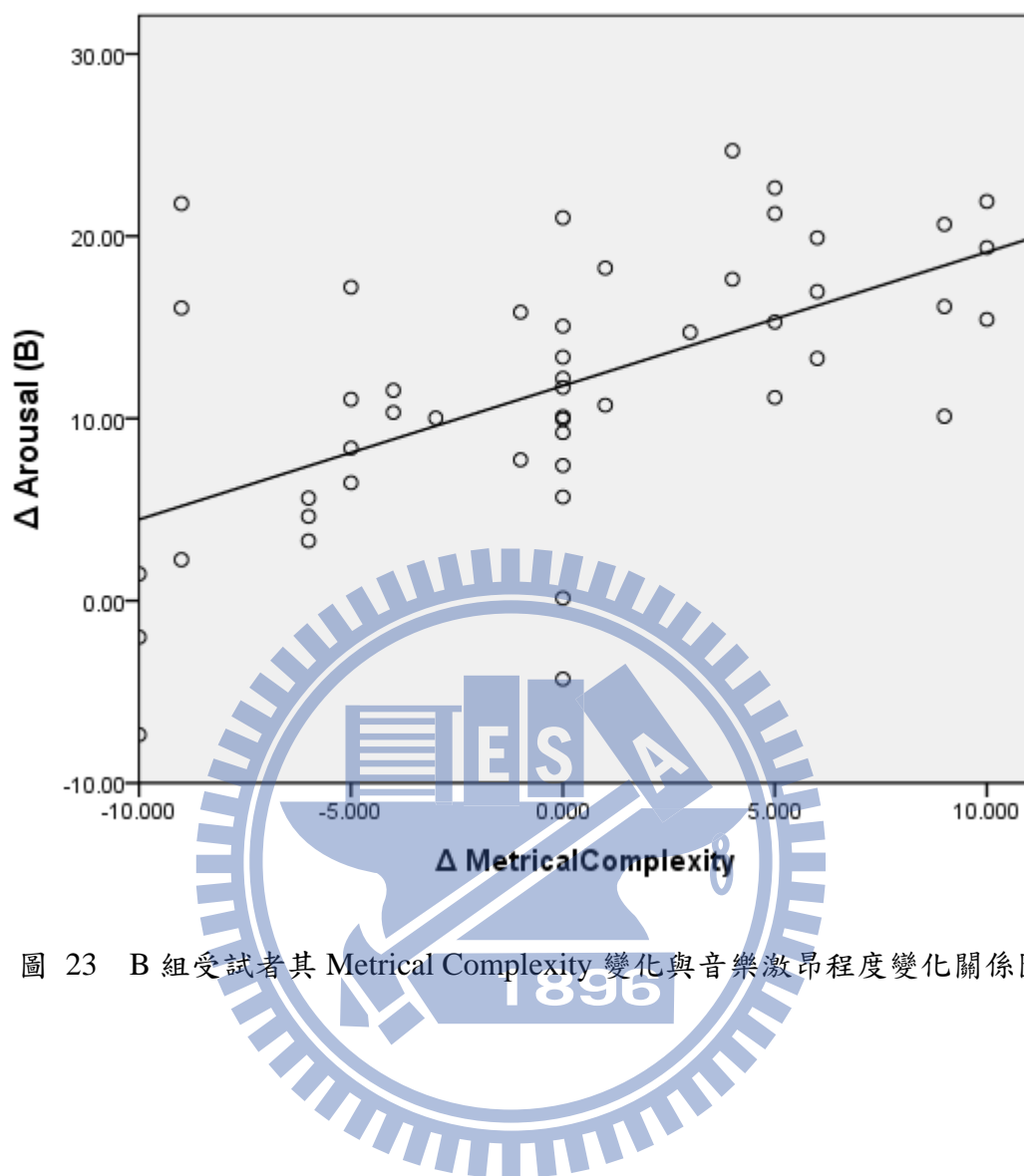


圖 23 B 組受試者其 Metrical Complexity 變化與音樂激昂程度變化關係圖

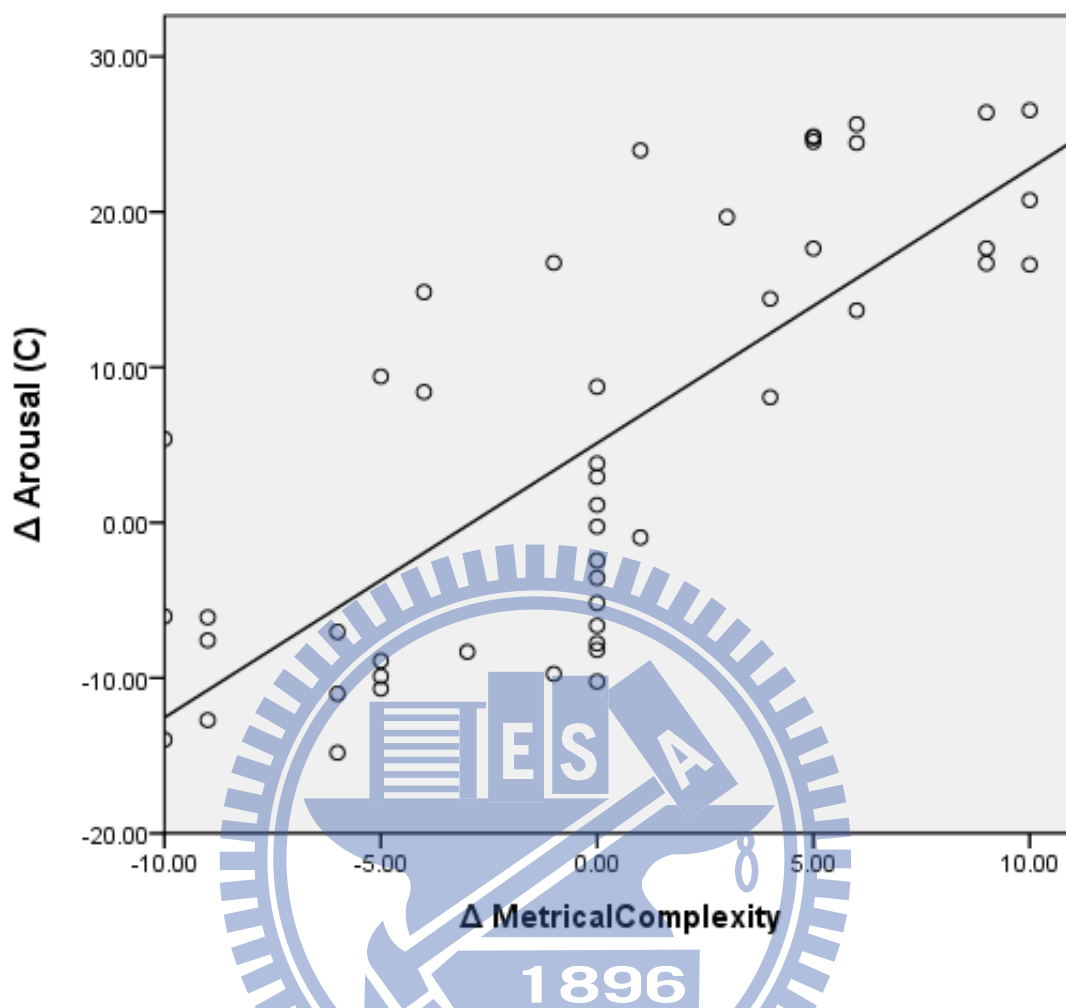


圖 24 C 組受試者其 Metrical Complexity 變化與音樂激昂程度變化關係圖

本研究將節奏複雜度與過去被提出的節奏特徵詞彙做相關性分析，並發現節奏複雜度與這些被提出的節奏特徵具顯著關係，像是有學過樂器、甚至是有受過音樂專業教育訓練的受試者，他們能感受到節奏複雜程度增加時，節奏的明顯程度減少，使得節奏變的越來越不明顯、越來越模糊、較難以辨認。此節奏特徵曾被視為一種節奏維度，讓受試者聆聽音樂並感受其明顯(outstanding)與模糊(vague)程度[14]，該研究並無使用節奏複雜度供受試者評量。本研究分析人對節奏複雜感知與數學節奏複雜度的相關性，探討出與人的感知最接近的方法，藉由其數學計算方法發展出的節奏複雜度標準量尺數值，分析節奏複雜度與音樂情感的關係。節奏複雜程度被分析出與音樂激昂程度呈現正相關，而Patrick Gomez和Brigitta Danuser的實驗結果，觀察到節奏明顯程度與音樂激昂程度呈負相關，節奏明顯程度減少，音樂激昂程度增加[14]。因此，兩個節奏特徵與音樂激昂程度的關係一致，兩個節奏特徵之間也呈顯著相關。

節奏複雜度與其他被整理出來的節奏特徵，也呈現顯著關係。三組受試者皆認為當節奏變的較不複雜的時候，會感受到節奏是呈現較規律以及較穩定的狀態，並且節奏會變得較沒有變化。雖然不同的節奏特徵其定義不同，但是音樂節奏若產生變化，例如改變音樂複雜程度，即對節奏切分程度做修改，仍會造成聆聽者對其他節奏特徵的感知變化，因此，若要應用情緒音樂至其他領域，像是音樂治療等，需評估使用的節奏特徵會造成的影響，參考各類音樂情緒可能涵蓋的音樂特徵，做適當的修正。



## 六、結論與未來展望

本研究著重於探討人對節奏複雜程度的感知，並以音樂情感與節奏特徵建構節奏複雜度的概念，也在眾多數學節奏複雜度的計算方法中，探討出與人的感知相近的方法。其中，Metrical Complexity 與 WNBD 這兩個方法的計算結果與人對節奏複雜程度的感知最接近，與過去研究結果相符，並研究出節奏複雜度變化與音樂情感維度的音樂激昂程度變化，有顯著相關性，即節奏複雜程度增加，音樂激昂程度也會增加。而節奏複雜度與過去被整理出來的節奏特徵也有顯著相關性，此實驗結果使節奏複雜度的概念，又多了更細節的意義，較複雜的節奏會使得節奏較不穩定、較不規律、較不明顯，而音樂節奏是較有變化的，而節奏複雜度可利用數學計算方法去分析其複雜程度。

本研究將找了三組受試者做實驗，而三組受試者的實驗結果不太一樣，若未來需要將實驗結果應用至其他領域，可針對特定對象編排節奏複雜程度，並注意節奏特徵可能對其他特徵造成的影響。本研究初步得到節奏複雜程度與音樂情感及節奏特徵的關係，未來可加入不同類型的音樂節奏做分析，並可試著發展出多聲部音樂的節奏複雜程度分析方法，並可將與人感知較接近的節奏複雜度分析方法反推，產生不同複雜度值的音樂節奏，應用至自動作曲上。而節奏複雜程度與音樂情感的關係，未來也可加入腦波分析方法，分析音樂節奏變化與腦波的關聯，加強印證兩者之間的關係。而本研究的音樂刺激物僅只改變節奏複雜程度，且前後兩段音樂使用相同旋律，未來可加入和聲與伴奏，將音樂刺激物控制在接近人在聆聽音樂時的情況，做進一步多聲部音樂節奏的探討。

## 七、参考文献

- [1] I. Shmulevich and D.-J. Povel, "Complexity measures of musical rhythms," in *Rhythm perception and production*, 2000, pp. 239-244.
- [2] E. Thul and G. T. Toussaint, "Analysis of musical rhythm complexity measures in a cultural context," in *Proceedings of the Canadian Conference on Computer Science and Software Engineering*, 2008, no. 8, pp. 1-9.
- [3] J. Pressing, "Cognitive complexity and the structure of musical patterns," in *Proceedings of the 4th Conference of the Australasian Cognitive Science Society*, 1999.
- [4] F. Lerdahl and R. Jackendoff, *A Generative Theory of Tonal Music*. MIT Press, Cambridge, 1983.
- [5] I. Shmulevich, O. Yli-Harja, E. Coyle, D.-J. Povel, and K. Lemström, "Perceptual Issues in Music Pattern Recognition : Complexity of Rhythm and Key Finding," *Computers and the Humanities*, vol. 35, no. 1, pp. 23-35, 2001.
- [6] F. Gómez, A. Melvin, D. Rappaport, and G. T. Toussaint, "Mathematical Measures of Syncopation," in *BRIDGES: Mathematical Connections in Art, Music and Science*, 2005, pp. 73-84.
- [7] S. Arom, *African polyphony and polyrhythm: musical structure and methodology*. Cambridge University Press, 1991.
- [8] G. T. Toussaint, "Classification and phylogenetic analysis of African ternary rhythm timelines.," in *BRIDGES: Mathematical Connections in Art, Music and Science*, 2003, pp. 23-27.
- [9] G. T. Toussaint, "A mathematical measure of preference in African rhythm.," in *Abstracts of Papers Presented to the American Mathematical Society*, 2004, vol. 25, p. 248.

- [10] G. T. Toussaint, "Mathematical features for recognizing preference in Sub-Saharan African traditional rhythm timelines.," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Pattern Recognition*, 2005, pp. 18-27.
- [11] E. Thul and G. T. Toussaint, "On the relation between rhythm complexity measures and human rhythmic performance," in *Proceedings of the Canadian Conference on Computer Science and Software Engineering*, 2008, pp. 199-204.
- [12] E. Thul, "Measuring the Complexity of Musical Rhythm," *McGill University, Master Thesis*, no. June, 2008.
- [13] P. E. Keller and E. Schubert, "Cognitive and affective judgements of syncopated musical themes.," *Advances in cognitive psychology*, vol. 7, pp. 142-156, 2011.
- [14] D. Randel, Ed., *The Harvard Dictionary of Music*. Harvard University Press.
- [15] E. Thul and G. T. Toussaint, "RHYTHM COMPLEXITY MEASURES : A COMPARISON OF MATHEMATICAL MODELS OF HUMAN PERCEPTION AND PERFORMANCE," in *Proceedings of the 9th International Society for Music Information Retrieval Conference*, 2008, pp. 663-668.
- [16] E. W. Large, "Beat tracking with a nonlinear oscillator," in *In Proceeding of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1995, pp. 24-31.
- [17] S. Dixon, "An Empirical Comparison of Tempo Trackers An Empirical Comparison of Tempo Trackers," in *Proceedings of the 8th Brazilian Symposium on Computer Music.*, 2001, pp. 832-840.
- [18] D. Mulvihill, "RENI : Real Time Beat Tracking and Metrical Analysis," *Master of Science, University of Edinburgh*, 2008.
- [19] J. A. Russell, "A Circumplex Model of Affect," *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 39, no. 6, pp. 1161-1178, 1980.



- [20] G. Colombetti, "Appraising Valence," *Journal of Consciousness Studies*, vol. 12, no. 8–10, pp. 103-126, Jul. 2005.
- [21] G. Husain, W. F. Thompson, and E. G. Schellenberg, "Effects of Musical Tempo and Mode on Arousal, Mood, and Spatial Abilities," *Music Perception*, vol. 20, no. 2, pp. 151-171.
- [22] S. R. Livingstone and A. R. Brown, "Dynamic Response : Real-Time Adaptation for Music Emotion," in *Proceedings of the Second Australasian Conference on Interactive Entertainment*, 2005, vol. 9, no. 2, pp. 105-111.
- [23] S. Vieillard, I. Peretz, N. Gosselin, S. Khalfa, L. Gagnon, and B. Bouchard, "Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions," *Cognition & Emotion*, vol. 22, no. 4, pp. 720-752, Jun. 2008.
- [24] L.-L. Balkwill and W. F. Thompson, "A Cross-cultural Investigation of the Perception of Emotion in Music : Psychophysical and Cultural Cues," *Music Perception*, vol. 17, no. 1, pp. 43-64, 1999.
- [25] P. Gomez and B. Danuser, "Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion," *Emotion*, vol. 7, no. 2, pp. 377-387, 2007.
- [26] A. Gabrielsson and E. Lindström, "The role of structure in the musical expression of emotions," in *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*, P. N. Juslin and J. Sloboda, Eds. Oxford University Press, 2010, pp. 367-400.
- [27] J. A. Simpson and E. S. C. Weiner, Eds., *The Compact Edition of The Oxford English Dictionary, Second Edition*. Oxford University Press, 1971, p. 2537.
- [28] J. London, "How to Talk About Musical Metre, UK Lectures." [Online]. Available: <http://people.carleton.edu/~jlondon/UK PPT/HTTAM Web Version.htm>.
- [29] K. Hevner, "The Affective Value of Pitch and Tempo in Music," *The American Journal of Psychology*, vol. 49, no. 4, pp. 621-630.

- [30] A. Friberg and A. Hedblad, "A COMPARISON OF PERCEPTUAL RATINGS AND COMPUTED AUDIO FEATURES," in *Proceedings of the SMC 2011 - 8th Sound and Music Computing Conference*, 2011.
- [31] G. T. Toussaint, "A Mathematical Analysis of African, Brazilian and Cuban Clave Rhythms," in *Proceedings of BRIDGES: Mathematical Connections in Art, Music and Science*, 2002, pp. 157-168.
- [32] M. Yeston, *The Stratification of Musical Rhythm*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1976.
- [33] W. T. Fitch and A. J. Rosenfeld, "Perception and Production of Syncopated Rhythms," *Music Perception*, vol. 25, no. 1, pp. 43-58, 2007.
- [34] P. Toiviainen and T. Eerola, "Autocorrelation in meter induction: The role of accent structure," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 119, no. 2, pp. 1164-1170, 2006.
- [35] P. Q. Pfordresher, "The Role of Melodic and Rhythmic Accents in Musical Structure," *Music Perception*, vol. 20, no. 4, pp. 431-464.
- [36] R. Parncutt, "A Perceptual Model of Pulse Saliency and Metrical Accent in Musical Rhythms," *Music Perception*, vol. 11, no. 4, pp. 409-464.
- [37] J. M. Thomassen, "Melodic accent : Experiments and a tentative model," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 71, no. 6, pp. 1596-1605.
- [38] J. C. Brown, "Determination of the meter of musical scores by autocorrelation," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 94, no. 4, pp. 1953-1957.
- [39] K. R. Scherer, "What are emotions? And how can they be measured?," *Social Science Information*, vol. 44, no. 4, pp. 695-729, 2005.
- [40] C. E. Osgood, G. J. Suci, and P. H. Tannenbaum, *The measurement of meaning*. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1957.

- [41] 蕭文龍, *多變量分析最佳入門實用書-SPSS+LISREAL*. 台北市, 基峰資訊, 2007.
- [42] 邱皓政, *量化研究與統計分析(第五版) SPSS(PASW)資料分析範例解析*. 五南, 2011.

