

民俗童玩木製青蛙之聲音特性探討

王栢村、楊昶昱、吳俞憲、林政璋、黃家賢

國立屏東科技大學機械工程系

wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

在台灣觀光形象商圈上，民俗童玩木製青蛙是常見的商品，可以敲擊或刮刷木製青蛙而發出類似青蛙鳴叫的特殊聲音，因此擬以科學量測方式對木製青蛙的聲音進行研究。本文收集了八隻體型不同之木製青蛙，其中有兩隻大小相近，但不同的製造廠家。實驗設計針對木製青蛙放置在桌上或以手持，分別以敲擊頭部，以及前刮刷木製青蛙背脊的波浪表面，進行聲音量測取得時間域響應，透過快速傅立葉轉換求得自身功率頻譜密度函數以觀察聲音頻譜特性。每隻木製青蛙均有其基音頻率以及數個泛音頻率，此與結構的自然頻率相關，也如預期，大尺寸的木製青蛙，會有較低的聲音頻率，而高模態頻率則會有大小不一特徵，此乃因木製青蛙為手工打造，外形比例類似，且身軀內部掏空也不盡相似。木製青蛙放置在桌上與手持方式的敲擊聲音，基音頻率特性相近，因為桌面邊界效應，在低頻率的聲音頻譜會有較高的現象。取兩隻相近大小的木製青蛙比較，雖然基音頻率相近，其中一隻的迴響較宏亮，推測與內部挖空大小相關。本文探討了不同尺寸木製青蛙之間的聲音特性，未來可透過電腦模擬分析，將有助於改良木製青蛙的聲音品質，或是發展成有調的打擊樂器。

關鍵詞：木製青蛙、自然頻率、時間域響應、自身功率頻譜密度函數。

1. 前言

[1]木雕招財蛙非常有特點。它嘴大吃四方，肚大容萬貫家財，身沉穩坐江山，只進不出，進財而不漏。它吸靈辟邪，放在家中可鎮保家宅，守護家人。隨身攜帶可財源廣進、萬事無憂，為泰國人的招財寶。據說亦是納西族東巴文化中的圖騰，因此在納西族民間，如果青蛙跑進家中來，人們會將其送走，而不加以傷害。納西族先民這樣做是因為他們認為青蛙進家門是代表自然神的到來，是來提醒或索取什麼的。所以，將進家門的青蛙用一點好酒好茶送走，和祭祀自然神儀式一樣，符合納西族人不小小心破壞著自然而求得自然神饒恕的心理。

木製青蛙之材料性質與木魚相似，經敲擊後卻會發出有如青蛙般之蛙鳴聲音，當敲擊力量的不同，會影響敲擊速度，使木製青蛙的聲音品質有所差異。

翁等人[2] 探討樂音指標建立，琴音與頻帶之音量多寡有關，進而訂出二胡之亮度樂音指標，並納入各種客觀因素對二胡音質的影響，來研究二胡在不同溼度，純淨度與低音頻音量質有何差距。徐與田[3]對於二胡樂音評量方式作比對，利用問卷調查當作主觀上的判斷，並依照目前的聲音品質理論與步驟，找出了分析二胡樂音的三個客觀聲音指標（純淨度、厚實度與音量均衡度），經由主觀與客觀的結果符合性來評估一把二胡

之樂音特性。王與蘇[4]利用有限元素分析與實驗模態分析來對木吉他弦、電吉他弦來進行模型驗證，藉上述方法方法得到兩種吉他弦撥動之聲音頻譜，並觀察吉他弦的主頻率與聲音頻譜特性、振動模態之關聯性，另外研究有、無音箱對吉他弦的影響。Boullosa[5]研究吉他弦的共鳴板之振動高頻率變化的量測於CHF 吉他與RRB 吉他，利用它們量測的振動脈衝響應、聲音頻譜圖來比較，可看出在任一頻率都會有聲音響應，低頻時有較強烈的模態激發，且增加一八度音即增加 6dB 的音量。王與謝[6]探討鋁合金及不鏽鋼材質之 C 和弦鐵琴片不同敲擊位置的音色，藉由有限元素分析得到理論結果，再經由不同的衝擊錘配合聲音量測來得到實際發聲結果，將上述結果作比對可得到本身的最佳敲擊位置、不同材質的敲擊棒所敲擊出的音色，從這兩者的實驗數據可以讓我們探討 C 和弦音鐵琴片之聲音頻率、振幅與發聲效果。

王與林[7]本文主要是對鐵琴片的振動與聲音之探討，以實驗求得之模態參數為基準作為有限元素模型修正之依據，由結果顯示，理論有限元素分析與實驗模態分析所求得之模態參數均相當吻合，故成功地完成模型之驗證，也使用不同材質之敲擊錘對鐵琴片進行敲擊，使用硬度高的敲擊錘進行敲擊時，高頻率模態易被激發，而一般鐵琴棒硬度較軟，適於激發第一個振動模態對應之鐵琴片聲音之頻率。王與廖[8]一開始先以有無加速度計不同棒錘進行敲擊分析，分析完可得到各個敲擊的聲音頻譜和聲音頻率比較表，並且可以從中知道在第一模態的聲音皆是所有分貝最大的，因此不同材質衝擊錘並不會影響聲音主頻率，再對木琴條進行有無鑽孔來進行有限元素分析，可得到有無鑽孔的自然頻率，並且可從自然頻率對照出來，其實有無鑽孔沒有影響很大，自然頻率幾乎是一樣的。王等人[9]利用麥克風感測器與頻譜分析儀針對不同打擊樂器，求得打擊樂器之聲音頻譜，對樂器打擊聲音的音高、音色、持續度這三大方向進行探討，而主要影響發聲的要素相當多，如樂器的結構、形狀、尺寸及材質等，因此對不同打擊樂器進行聲音量測，以了解不同打擊樂器的聲音特性。

Mclachlan[10]發現鈴鐺的泛音頻率及音質會因為幾何特徵的範圍而產生大變化，而其幾何特徵的範圍包含鐘的壁厚輪廓、壁曲線、圓錐角、整體寬度或高度等皆會有所影響，故應用新的元素薄殼元素建造銅鐘的有限元素模型，對其做聲音量測，將理論與實際的模態振型、頻率作比較，藉此改良鐘的音色及成本。Bulen[11]以明亮度探討喇叭的發聲特性，主要觀察喇叭之自然頻率，並由音階頻率檢視音準，從自身功率頻譜密度函數看音色，引用明亮度、響度等心理聲學指標連結喇叭的設計。Zicari et al.[12] 針對不同的喇叭吹嘴形狀設計，探討對小喇叭的音色影響，也進行流場分析，預測聲音



壓力及自然頻率。並評估吹嘴形狀之實驗量測結果，客觀方面以音色、聲調、攻擊角、靈活度、響應度等面向，對樂器本身進行評估，在樂器聲音品質的主觀問卷調查則以清晰，宏亮，亮麗，圓潤，深沉，黯淡。

本文量測不同體型、邊界位置與敲擊方式之木製青蛙，分別以手持與放置桌面、正敲與前刮，觀察不同體型之木製青蛙，得到各種體型之木製青蛙之聲音品質，並比對相近大小之木製青蛙之自然頻率結果，得到木製青蛙之聲音頻率差異性，可用於未來改良木製青蛙聲音品質之參考依據。

2. 木製青蛙簡介與量測方法

本節主要說明民俗童玩木製青蛙的特徵，圖 1 為整組木製青蛙實體圖，實驗之木製青蛙共有 8 隻，編號 8 木製青蛙之長寬高為 21x11x11(cm)，背上鋸齒有 11 齒，編號 1 木製青蛙之長寬高為 5x3x3(cm)，背上鋸齒有 7 齒。圖 2 為木製青蛙放置位置，由於木製青蛙之重量太重，以懸吊法模擬自由邊界不可行，故所受到的邊界限制只有手上與桌面，因此實驗之邊界位置有手持與放置桌面兩種。圖 3 為不同敲擊位置及方向，從木製青蛙的外型來觀看，一般人的使用方法皆是以正敲與前刮，因此敲擊方式分為兩種，前刮與正敲，而敲擊點位置則選擇木製青蛙之頭頂與背上鋸齒，發聲較為宏亮。

圖 4 為聲音量測軟體實驗架構圖，量測設備有筆記型電腦、麥克風、木製青蛙，運用筆記型電腦和麥克風對木製青蛙運用聲音量測軟體來進行聲音量測，將量測參數設定完成後即進行量測。圖 5 為訊號處理流程圖，運用聲音量測軟體將麥克風所量測到的聲音轉換成時間域響應，而後續實驗步驟分成兩部份，一部份是時間域響應經過快速傅立葉轉換得到自身功率頻譜密度函數圖；另一部份是時間域響應經慢速傅立葉轉換得到時間頻率圖。圖 6 為聲音量測軟體，聲音量測軟體設定取樣頻率為 44100(Hz)，取樣時間為 2 秒，平均次數為 2 次，重疊率為 90%，將上述設定完成後即進行量測；將量測之時間域響應 $p(t)$ 進行頻譜分析，並得到自身功率頻譜密度函數圖 $G_{pp}(f)$ ，再從自身功率頻譜密度函數圖找出基音頻率，並運用於自身功率頻譜得知是否有簡諧倍頻效果。

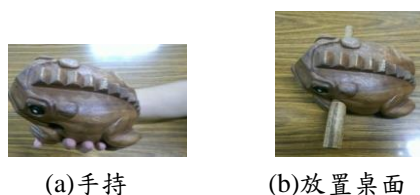
3. 木製青蛙聲音特性分析

木製青蛙之敲擊方式有正敲與前刮，兩者產生之聲音皆不同，故探討木製青蛙的聲音特性；木製青蛙之聲音量測是利用聲音量測軟體，並配合麥克風為感測器，測得主要發聲頻率，透過各種體型之主要發聲頻率，探討木製青蛙之發聲頻率之特性。圖 7 為木製青蛙(編號 8)之不同敲擊方式與不同放置位置比較，在手持前刮 $p(t)$ 可以看出發聲次數之多寡與木製青蛙之背脊齒數大小與數量成正比，故發聲次數曲線與前刮齒數互相對應，而發聲次數之間距則是隨前刮之速度而有所不同；位於低頻時，可發現桌面正敲之聲音壓力位準較手持正敲明顯提高，而手持前刮之自身功率頻譜密度函數之波形較手持正敲密集，不容易判斷發聲頻率之峰值；圖 8 為木製青蛙(編號 8)之時間頻率圖，因為手持正敲

與手持前刮發聲聲音相似，故額外將兩者之時間頻率圖作比較，可發現手持正敲與手持前刮之主要發聲聲帶相近，手持正敲之波形與手持前刮之最大背脊齒產生之波形相似。



圖 1、整組木製青蛙實體圖



(a)手持 (b)放置桌面
圖 2、木製青蛙放置位置



(a)正敲 (b)前刮
圖 3、不同敲擊位置及方向



圖 4、聲音量測軟體實驗架構圖

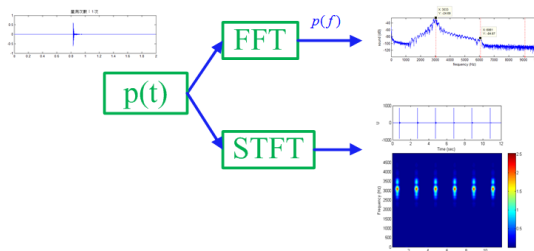


圖 5、訊號處理流程圖

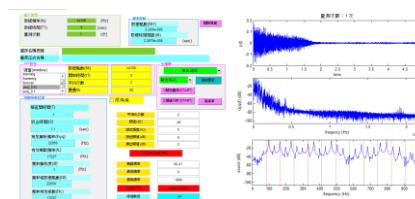
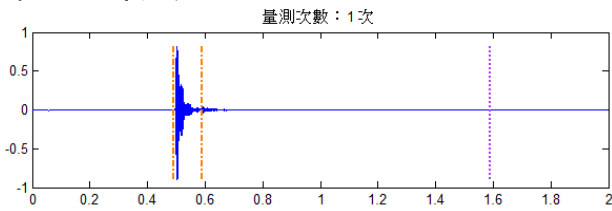


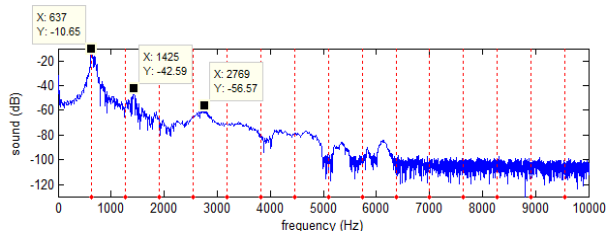
圖 6、聲音量測軟體

表 1 為手持正敲於不同木製青蛙之時間域與頻率域，可從自身功率頻譜密度函數之波形看出共同處，編號 1 到 4 之木製青蛙波形相似，而編號 5 到 8 之木製青蛙波形相似，故可互相比對量測結果是否為雜訊，表 2 為手持正敲於不同木製青蛙之聲音頻率與振幅表，在表中可看到 3056Hz、1281Hz 與 637Hz 之自然頻率，且有逐漸降低的趨勢，而編號 1 與 2 之自然頻率相近，為 3056Hz 和 3033Hz，因為其體型大小相近；編號 1 與各體型之木製青蛙之倍頻關係範圍在 0.99 至 4.76 倍，亦可發現體型越大，頻率越小。表 3 木製青蛙(編號 8)之聲音頻率與振幅表，手持正敲與手持前刮之基音頻率各為 637Hz 和 634Hz，可觀察到手持正敲與手持前刮受激發之自然頻率是相近；手持與放置桌面正敲激發之基音頻率為 637Hz 和 655Hz，表示基音不會受到邊界的影響。

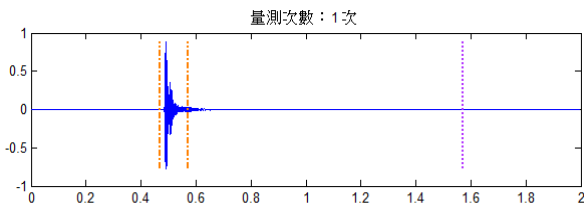
表 4 為相近的木製青蛙(編號 1、編號 2)之時間域與頻率域，可以看出體型相近之 2 隻木製青蛙，受到激發之聲音頻率較少，位於 3000Hz 以下之波形，唯有木製青蛙編號 1 手持前刮之聲音壓力位準較手持正敲有局部提高，表 5 為相近的木製青蛙聲音之聲音頻率與振幅表，可看到編號 2 的木製青蛙在不同的敲擊方式上，受激發之自然頻率誤差較大，是因為本身材質上的差異或加工方式不同。



(a)手持正敲 p(t)

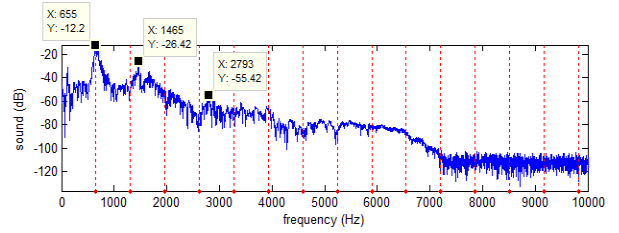


(b)手持正敲 Gpp(f)

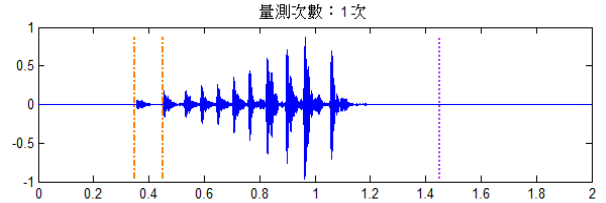


(c)桌面正敲 p(t)

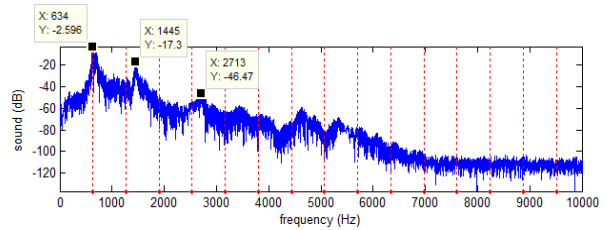
圖 7、木製青蛙(編號 8)之不同敲擊方式與不同放置位置



(d)桌面正敲 Gpp(f)

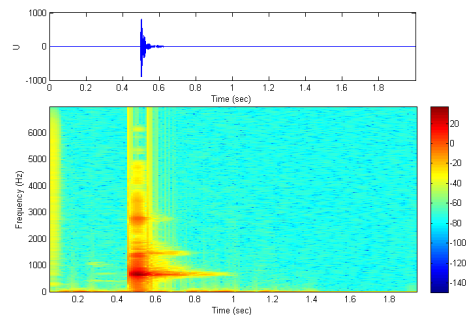


(e)手持前刮 p(t)

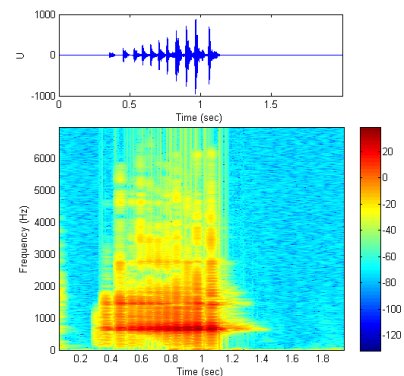


(f)手持前刮 Gpp(f)

圖 7、木製青蛙(編號 8)之不同敲擊方式與不同放置位置比較(續)



(a)手持正敲



(b)手持前刮

圖 8、木製青蛙(編號 8)之時間頻率圖

表 1、手持正敲於不同木製青蛙之時間域與頻率域

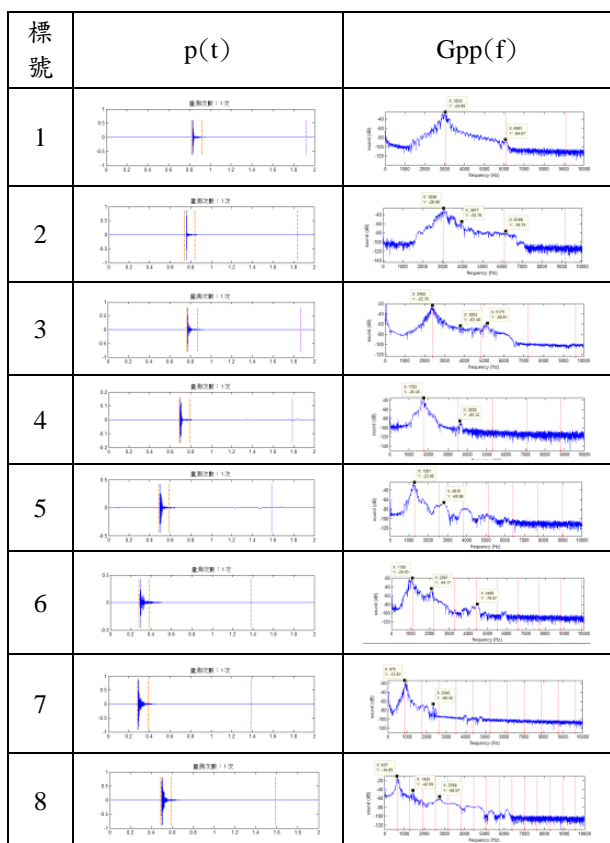


表 3、木製青蛙(編號 8)之聲音頻率與振幅表

		手持正敲	桌面正敲	手持前刮
F ₁	自然頻率(Hz)	637	655	634
	聲音壓力位準(dB)	89.35	87.80	97.40
F ₂	自然頻率(Hz)	1425	1465	1445
	聲音壓力位準(dB)	57.41	73.58	82.70
F ₃	自然頻率(Hz)	2769	2793	2713
	聲音壓力位準(dB)	43.43	44.58	53.53

表 4、相近大小的木製青蛙(編號 1、編號 2)時間域與頻率域

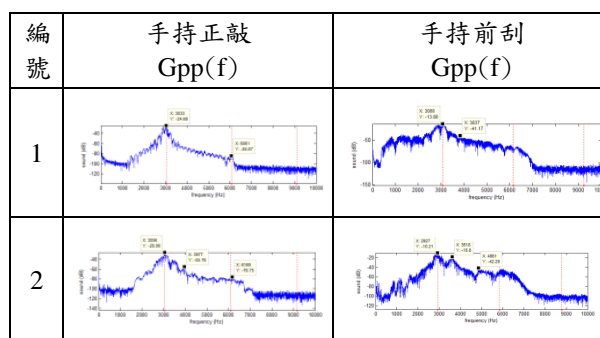


表 2、手持正敲於不同木製青蛙之聲音頻率與振幅表

編號	F ₁		F ₂		F ₃	
	自然頻率(Hz)	聲音壓力位準(dB)	自然頻率(Hz)	聲音壓力位準(dB)	自然頻率(Hz)	聲音壓力位準(dB)
1	3033	75.31	3564	44.63	6061	15.33
2	3056	73.94	3977	44.24	6169	23.25
3	2402	77.34	3802	36.52	5175	41.39
4	1762	64.55	3628	14.68	—	—
5	1281	76.92	2816	34.01	—	—
6	1100	79.97	2097	55.83	4480	20.97
7	875	87.17	2342	33.58	—	—
8	637	89.35	1425	57.41	2769	43.43

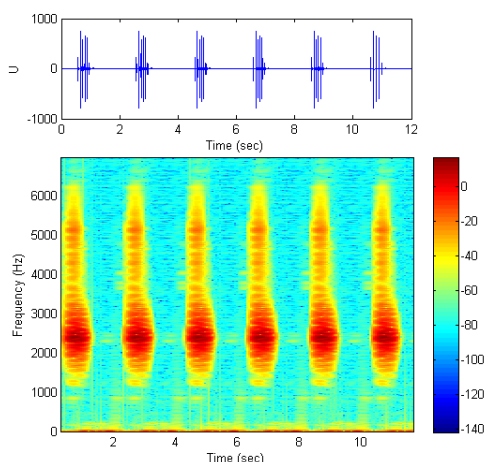
表 5、相近大小的木製青蛙(編號 1、編號 2)之聲音頻率與振幅表

(a)手持正敲

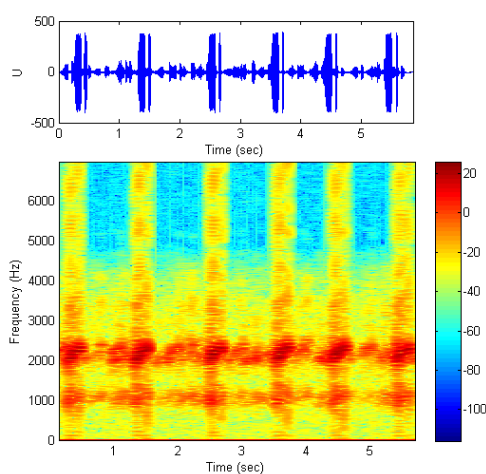
		編號 1	編號 2
F ₁	自然頻率(Hz)	3033	3056
	聲音壓力位準(dB)	75.31	73.94
F ₂	自然頻率(Hz)	3564	3977
	聲音壓力位準(dB)	44.63	44.24
F ₃	自然頻率(Hz)	6061	6169
	聲音壓力位準(dB)	15.33	23.25

(b)手持前刮

		編號 1	編號 2
F ₁	自然頻率(Hz)	3080	2927
	聲音壓力位準(dB)	86.12	89.79
F ₂	自然頻率(Hz)	3837	3618
	聲音壓力位準(dB)	58.83	81.20
F ₃	自然頻率(Hz)	—	4861
	聲音壓力位準(dB)	—	57.71

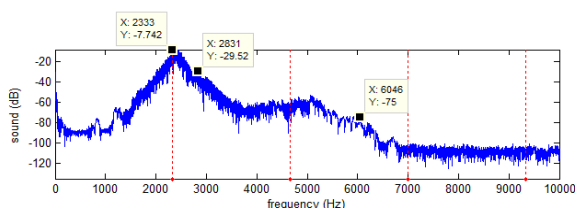


(a) 木製青蛙(編號3)手持前刮

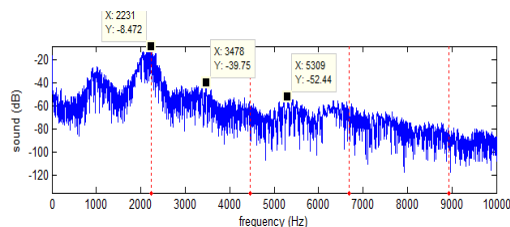


(b) 真實青蛙鳴叫聲音[13]

圖 9、時間頻率圖



(a) 木製青蛙(編號3)手持前刮



(b) 真實青蛙鳴叫聲音[13]

圖 10、自身功率頻譜密度函數圖

4. 木製青蛙與真實青蛙之聲音頻譜圖比較

因為木製青蛙與真實青蛙之聲音相似，故本節針對木製青蛙與真實青蛙之時間域響應之量測結果重複循環六次，將兩者循環之量測結果應用於聲音量測軟體，經慢速傅立葉轉換得到時間頻率圖，進而去探討木製青蛙之聲音特性與真實青蛙蛙鳴聲音之間的關聯性。圖 9 為時間頻率圖，可觀察出木製青蛙與真實青蛙之發聲頻率皆在 2000 至 3000Hz 之間，而真實青蛙之時間域響應較木製青蛙繁雜，是因為受到背景雜音影響。圖 10 為自身功率頻譜密度函數圖，圖 10(a)木製青蛙之後續激發之聲音頻率雜訊較多，導致木製青蛙受激發之聲音頻率偏差大，而圖 10(b)看到真實青蛙受激發之聲音頻率互相吻合，故可以知道木製青蛙之發聲頻率仍有改善空間。

從圖 10(a)與圖 10(b)可得知木製青蛙與真實青蛙之量測結果，可發現兩者之基音頻率僅相差 2Hz，因此木製青蛙與真實青蛙之基音頻率是相符合的，可驗證木製青蛙發聲頻率的可行性。

5. 結論

本研究運用聲音量測軟體，對木製青蛙進行聲音特性分析，確認不同敲擊方式與邊界位置對木製青蛙之影響，並探討各種體型之木製青蛙之聲音特性。綜合探討如下：

- (1) 不論前刮或正敲，放置桌面或手持之自身功率頻譜密度函數，7000Hz 以上之與明顯之，為雜亂且密集在一起，可以視為雜訊。
- (2) 放置桌面之低頻率之波形較手持均有局部的提高，所以在低頻率時，放置桌面之聲音壓力位準會較高。
- (3) 觀察 8 隻民俗童玩木製青蛙之量測結果，並互相比對時間域響應與自身功率頻譜密度函數，可以看出受激發之自然頻率是否有呼應，藉此得到自身功率頻譜密度函數之波形之合理性，並可由波形探討出木製青蛙之間的聲音特性。
- (4) 由聲音功率頻譜函數，可以看出各種體型之木製青蛙所產生之基音頻率之高低，是由體型大至體型小所排序，發現體型越大，基音頻率越小。
- (5) 本次實驗所量測得到之聲音數據圖，得知木製青蛙為無調樂器，未來可供人參考本文來改良木製青蛙為有調樂器或調整聲音品質之優劣。

本文量測不同體型、邊界位置與敲擊方式之木製青蛙，得到各種體型之木製青蛙之聲音品質，觀察不同體型之木製青蛙，分別以手持與放置桌面、正敲與前刮，並比對相同大小之木製青蛙之實驗數據結果，得到木製青蛙之聲音差異性，可用於未來發展新樂器的評估依據，並可讓人參考本文改良成具有簡諧倍頻效果之木製青蛙。

6. 參考文獻

- [1] <http://www.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?zh=zh-tw&lid=265557>
- [2] 翁榮源，徐茂濱，李十三，以樂音指標探討不同因素對二胡音質之影響，中華民國音響學會暨第二十二屆論文會，第1-12頁，2007。

- [3] 徐茂濱, 田英志, 二胡樂音之聲音品質分析, 中華民國音響學會第十七屆學術研討會論文集, 第69-77頁, 2004。
- [4] 王栢村, 蘇集銘, 吉他弦之振動與聲音特性探討, 中華民國音響學會第十九屆學術研討會論文集, 第1-6頁, 台南, 臺灣, 2006。
- [5] R. R. Boullosa, "Vibration Measurement in the Classical Guitar," *Applied Acoustics*, vol. 63, pp. 311-322, 2002.
- [6] 王栢村, 謝明憲, 和弦鐵琴片之聲音特性與設計分析, 中華民國音響學會九十八年會員大會暨第二十二屆學術研討會, 第A-26-A-34頁, 2009。
- [7] 王栢村, 林怡馨, 鐵琴片振動特性與聲音關聯性之探討, 中華民國音響學會年會暨第二十屆論文發表會, 論文編號: C5, 臺北, 臺灣, 2007。
- [8] 王栢村, 廖偉廷, 木琴條聲音與振動關聯性及形狀變更之設計分析, 『屏東科技大學』暨『北京科技大學』第四屆學術交流研討會, 論文編號: C14, 第C-72-C-78頁, 屏東, 臺灣, 2009。
- [9] 王栢村, 吳祥瑞, 徐秀娟, 高正賢, 不同打擊樂器聲音特性探討, 中華民國音響學會第二十四屆學術研討會論文集, 第320-326頁, 新北市, 臺灣, 2011。
- [10] N. McLachlan, "The Application of New Analyses and Design Methods to Musical Bells," *75th ASA Conference*, New York, pp. 1-8, 2002.
- [11] J.C. Bules, "Brightness Measures of Trombone Timbre," *Doctoral Dissertation*, Musical Arts, University of Washington, USA, 1995.
- [12] M. Zicari, J. MacRitchie, L. Ghirlanda, A. Vanchieri, D. Montorfano, M. C. Barbato, and E. Soldini, "Trumpet Mouthpiece Manufacturing and Tone Quality," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 135, pp. 3872-3887, 2013.
- [13] <http://www.jetcityorange.com/nature-sounds/frogs/>

pieces are about the same size but different manufacturers. The experiments are designed to measure the striking and scraping sound of these wooden frogs rest on the table or hold by hands with two types of percussion methods, i.e. striking on the frog head or scraping over the ripple top surface of the wooden frog. Sound measurements are taken to obtain the time domain response and auto power spectral density (PSD) or auto spectra can be determined via FFT to examine frequency contents. Each wooden frog's sound can be characterized with the fundamental frequency and several overtone frequencies that can be structural natural frequencies. As expected, the larger size of wooden frog reveals smaller fundamental frequency; however the higher modal frequencies may vary for different sizes of the wooden frog. The percussion sound of the wooden frog rest on the table reveals the similar response to that hold by hands, except the higher response in low frequency range due to the boundary effect. The same size of different wooden frogs may appear different sound characteristics. This study presents the percussion characteristics of the wooden frogs. In the future, with the aid of computer simulation the folk toy of wooden frog can be improved for its sound spectrum and possible for making the tuned percussion instrument.

Keywords: wooden frog, natural frequency, time response, auto power spectral density (PSD) function

Study on Sound Characteristics of Wooden Frog Folk Toy

Bor-Tsuen Wang, Chang-Yu Yang, Yu-Hsien
Wu, Zheng-Wei Lin, Chia-Hsien Huang
Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

ABSTRACT

The wooden frog is a kind of folk toy and can be found in many traditional markets in Taiwan. By striking or scraping on the wooden frog by using the wooden stick, the radiated percussion sound can be heard like the frog's sound very much. It is interesting to investigate the frequency contents of the wooden frog's sound by scientific measurement. This work collects eight pieces of wooden frogs with different sizes in which there are two

