

數位音頻振幅規模建立—以Avid Pro Tools工作站為例

梁靜謙¹、劉千凡¹、*黃昭智²

¹南臺科技大學視覺傳達設計系、²南臺科技大學流行音樂產業系

*z7m@stust.edu.tw

摘要

隨著數位音頻技術之迅速發展，以往昂貴的高階設備現今於價格越來越友善的前提下，於處理音頻之模組與客製化的功能亦越發強大。而消費級用戶該如何將聲音妥善記錄至載體？於此最初期的工作階段，卻常見諸多疑問。是以妥適振幅規（amplitude scale）的建立，在製作初期堪稱決定作品成敗的重要環節。本研究目的在探討使用麥克風或DI（direct input）錄音時必須注意之基礎工作建立。研究方向採用全球指標獎項葛萊美音樂獎與奧斯卡電影金像獎得獎者高度使用於影音製作之Avid Pro Tools音頻工作站為研究平台，分析錄音流程與振幅規模建立。本研究結論可建議進行錄音與剪輯工序時，如何優化物理條件、應用類比器材與使用數位音頻套件，以確保於錄音階段建立良好振幅規模俾利後續剪輯、混音與母帶處理。

關鍵詞：振幅規模、數位音頻工作站、增益、輸入電平、規格化

The Establishment of Digital Audio Amplitude Scale: The Model Example of Avid Pro Tools Workstation

Ching-Chien Liang¹, Chian-Fan Liou¹, *Chao-Chih Huang²

¹Department of Visual Communication Design, Southern Taiwan University of Science and Technology

²Department of Popular Music Industry, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

With the rapid developments of the audio technology, under the premise that former expensive high-end equipment is more affordable nowadays, the modules and customized functions for processing audio have also become more powerful. As for how should consumer-level users record audio to carriers properly? In the initial working period, many questions have had been found commonly. Thus, proper establishments of the amplitude scales can be regarded as the important parts for determining the subsequent successes or failures of the work in the prime stage of productions. This research explored the attentions which must be paid when doing audio recording employing microphones or DI (Direct Input) for the basic task establishments. The research adopted the Avid Pro Tools digital audio workstation, the highly used workstation by the winners of the global indicator awards, Grammy and Oscars in audio-visual productions, as the research platform to analyze the audio recording processes and the establishments of the amplitude scales. The conclusions of this research suggest how to optimize the physical conditions, the applications of analog equipment, and the uses of audio processing suites during audio recording and editing processes, ensuring to establish eminent amplitude scales at the recording period for facilitating the subsequent editing, mixing and mastering tasks.

Keywords: Amplitude Scale, Digital Audio Workstation, Gain, Input Level, Normalization

壹、緒論

一、研究動機

此時今日於數位影音軟硬體的蓬勃發展現況，諸多於先前年代在專業場域方可得見與應用於處理影像或聲音之應用軟體程式或是實體硬體設備，在其功能愈發強大的同時，於其採購價格也有越來越親民實惠的趨勢。例如，先前只能在要價動輒新臺幣數百萬甚至於上千萬元之大型商用級混音機方得建置配備的推桿自動化（fader automation） [1]功能，在近期數位軟硬體之搭配設置下，可藉由添購安裝一套價格約莫落在新臺幣數千元至一萬餘元的應用軟體後，即可在個人電腦軟硬體等週邊或介面上，透過數位音頻工作站模式以獲得等同甚至於更強大的音樂製作應用功能。是以，無論是專業用戶抑或入門級別的消費使用者，現今透過各式數位或類比設備的搭配，例如：智慧型手機、桌上型或是筆記型電腦、平板電腦產品、商用級固定式大型機櫃組合或是各式輕便可攜式的隨身影音設備，於類比或數位影音處理的功能與製作品質，於諸多工作專案之設定與調校，若可經過並維持妥善的設定與操作維護，其在最終成品的影音品質是可以期待並獲得高水準的結果呈現。

而在音樂製作前期諸多重要工作環節之一的錄音階段，於記錄聲音之工程製作時，常見到錄音人員面臨不知該如何將音訊記錄下來之紛亂狀態，例如記錄到的聲音訊號過大、過小或是有過量的背景雜訊。是以，本研究以錄音振幅規模 [2]之建立為出發點，希冀釐清於音樂製作前期處理之際，如何將此項影響音樂製作優劣的重要關鍵之一的程序妥適完成。

二、研究目的

於進行錄音工程收錄音訊之音樂製作初期階段，以常見使用麥克風等裝置設備直接自發聲端收錄音訊，或是藉由 DI [3]等硬體設備，用以從音源端直接連線至錄音介面以進行收錄音訊之流程，探討因應建立良好數位音頻振幅規模之需求，用於以衡量承接錄音階段後續剪輯與混音工程之妥適，提出給予錄音工程操作者宜理解、注意與維護之音訊工程內容敘述與實務工作項目建議。

貳、文獻探討

關乎妥適的振幅規模之建立，本研究著眼於聲音訊號強度量值的取得、調整、管理與維持。以下分就輸入電平（input level）、增益（gain）、規格化（normalization）以及振幅規模等項目進行文獻探討。

一、輸入電平（Input Level）

於錄音工程前製的初期階段，聲音之輸入電平 [4]在未經前級擴大機（preamplifier） [5]調整放大其訊號強度之前，舉如音源屬於經由麥克風設備收錄之人聲口語發音或是歌唱，就聲訊大小而言，取決於配音員或歌者本身之發聲音量、麥克風設備本體的輸出功率或是麥克風設備與配音員或歌者之間其相對的擺放間距或角度。是以，於錄音製作程序中，若是配音員或歌者於話語或歌唱時音量偏小，或是錄音中所使用之收音麥克風設備的輸出功率偏低，抑或麥克風與配音員或歌者之間的相對擺放間距過大或角度不當，以上都可能是導致輸入電平過小的因素。

承上敘述，反之於錄音製作程序中，若是配音員或歌者在講話或歌唱時音量偏大，或是錄音中所使用之收音麥克風設備的輸出功率偏高，抑或麥克風與配音員或歌者之間的相對擺放間距有不當的偏小情形，這些亦為導致輸入電平之音訊過量（audio clipping） [6]的因素。

二、增益（Gain）

承上輸入電平之項目討論，經由錄音工程人員與配音員或歌者溝通講話或歌唱的音量，同時配搭麥克風設備輸出功率，與麥克風設備和配音員或歌者之間相對擺放間距與角度調校後，若於聲訊輸入電平方面仍呈現不足或是過量的情形時，當下輸入錄音系統之聲訊增益 [7]宜立即被妥善管理與調整。

本研究接續論述可應用下列三種類別之音訊硬體或軟體的相互搭配處理，以求聲訊輸入電平量值之妥適。

(一) 前級擴大機 (Preamplifier)

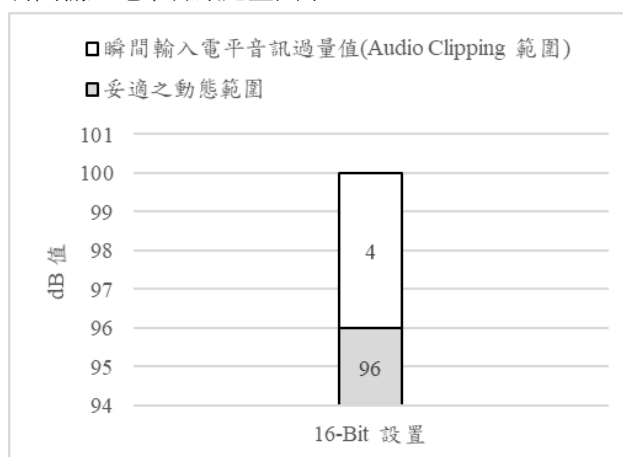
擴大機 [8]此類型的硬體設備，顧名思義就是可利用它將聲音訊號進行擴大以提高增益值的調整，透過使用經由麥克風或是其他相關收音設備，例如電吉他之拾音器 (pick-up) [9]，將所欲收錄的聲音訊號進行擴大以求提高增益值，而後續傳送進入錄音軟體系統或硬體設備。

而前級擴大機也並不是一味的只能將聲音訊號單純執行單向放大加強的提升，舉例諸多廠牌型號產品之前級擴大機配備有 Pad 的功能[10]，可將輸入的聲音訊號直接衰減 10 至 20 分貝 (此衰減量值需視各廠牌型號產品各自之設計而定，並非為固定的分貝數值)，而後續視音樂製作專案當下實際需求，可選擇接續再行調整以求擴大提高聲音訊號的增益分貝數值。

此類型之 Pad 工作邏輯適用於收音音源如音量動態大的樂器，或是拾音器輸出功率偏高的電吉他，將輸入訊號先行衰減一定的量值，而後在該型號前級擴大機可增加的增益範圍分貝數值之內，再行提高增益值調整。例如，例舉有一把音訊輸出音量瞬間上限為 100 分貝的電吉他，若不經由 Pad 功能 (如圖 1 所示) 在瞬間音訊輸出音量為 100 分貝的前提當下，將會直接造成設置為 16-Bit 數位錄音工程專案環境的輸入電平音訊過量[11]。而此時若使用 Pad 功能，即可先將電吉他瞬間輸出之訊號直接衰減 10 至 20 分貝 (如圖 2 所示)，如此一來便爭取到了使前級擴大機有 6 至 16 分貝之增益值的可調整之動態範圍下限，以不造成輸入電平之音訊過量為前提進行後續之錄音工程處理程序 (如圖 3 所示)。

圖1

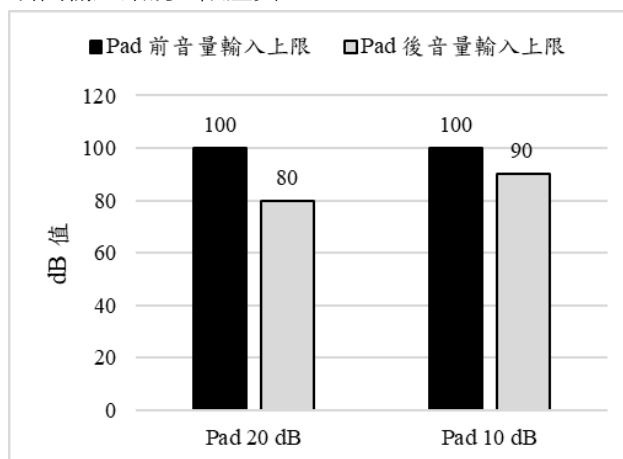
瞬間輸入電平音訊過量圖示



資料來源：本研究繪製

圖2

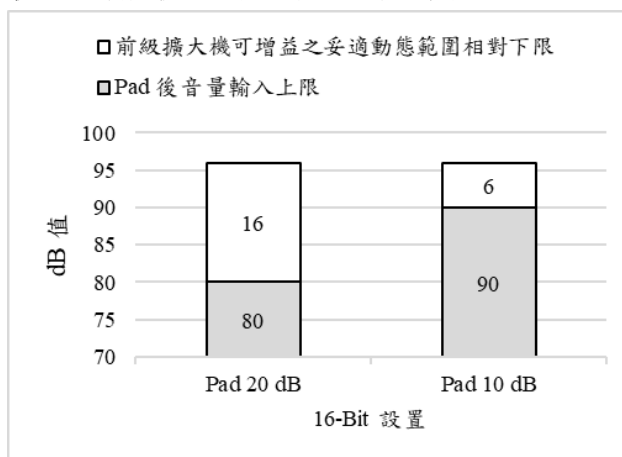
瞬間輸入訊號上限差異



資料來源：本研究繪製

圖3

使用Pad功能後增益值可調整之動態範圍



資料來源：本研究繪製

圖 4

即時(Real-time) EQ Plug-in



介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

(二) 等化器 (Equalizer)

等化器(Equalizer) [12], 英文名詞常簡稱為 EQ, 是用於調整音訊資料其於聲音頻率介於 20 至 20,000 Hertz 增減趨勢與量值之音訊實體硬體設備或電腦處理軟體。錄音工程人員可透過實體設備之 EQ 或是以外掛軟體插件 (plug-in inserts) 模式之 EQ 用以處理音樂或音效製作所需之調整。

常見的 EQ 有兩種：圖形式 EQ (graphic EQ) 與參數式 EQ (parametric EQ)。而此二類設備可調整的設置均主要為下列三種設定的搭配 (如圖 4 所示)：

1. 頻率 (Hertz, 常見縮寫為 Hz) 數值的訂定：可調整之範圍介於人類一般可感知之 20 至 20,000 Hz。
2. Q 值 (quality factor, 常簡稱為 Q Factor) 的訂定：Q 值可經設定以控制處理聲訊頻率的有效寬度[13]。若以 XY 軸座標圖討論，當以 X 軸為頻率值，Y 軸為分貝值時，Q 值越大，其處理頻率所呈現的波形圖形越尖銳；反之，Q 值越小，其處理頻率所呈現的波形圖形則越圓鈍。
3. 增益 (Gain)：在調整 EQ 的程序中，針對所選定的頻率值與 Q 值，設定所欲增減之分貝數值。

(三) 壓縮限制器 (Compressor/Limiter)、擴展開門器 (Expander/Gate)

壓縮限制器以及擴展開門器於錄音工程處理隸屬於動態 (dynamics) 型訊號處理[14], 此類處理亦如同等化器 EQ 可透過實體機櫃設備或是以虛擬外掛軟體插件搭配數位音頻工作站的作業模式，用以處理音樂或音效製作所需。此二類音效處理器隸屬聲音訊號強度音量的動態管理與調整，以本研究之實驗平

台 Avid Pro Tools 數位音頻工作站 (NASDAQ: AVID) 為例，壓縮限制器與擴展閘門器的虛擬外掛軟體插件介面上，諸多調整參數之量化單位均隸屬為音量的分貝 dB 值[15]，例如增益、臨界值 (threshold)、曲度 (knee) 以及調變範圍 (range)，同時搭配其他相關設定如作動時隔 (attack)、釋放時隔 (release) 或壓縮比例 (ratio) 等參數以管理聲訊量值 (如圖 5、圖 6 所示)。

三、規格化 (Normalization)

規格化在數位音樂製作流程中，可將聲訊資料依使用者設定執行音量值放大而不導致於音訊過量。將聲音訊號規格化之步驟是將某定量或以指定比例的增益，施用於先前已錄妥的聲音資料，以期使該音頻振幅達到所需求設定的目標值[16]。以本研究之實驗平台 Avid Pro Tools 數位音頻工作站為例，錄音工程執行者經透過設定音訊縮放參數比例值，可後續在保留所有聲音原始動態樣貌的前提下，將聲訊資料的音量分貝值，以最佳化模式提升或縮小至所設定之比例。

就錄音工程邏輯而言，若以單純將音訊放大之此項作業流程討論，在使用前級擴大機將欲輸入音訊執行增益放大之後，結果導致該段音訊過量的風險是存在的。而應用舉如 Avid Pro Tools 工作站之規格化音頻套件運算軟體 (normalize audiosuite plug-in) 處理音訊放大之流程時，因為該套件軟體採用事先運算整體目標音訊區塊的方式，以分析出原本素材音訊資料內的瞬間最大音量值 (peak) 為參考基準，而後依使用者所設定之 LEVEL 比例 (如圖 7 所示) 做整體音訊資料振幅的最佳化縮放[17]。是以，使用規格化運算套件軟體處理音訊時，於訊號放大的作業流程中，並無導致音訊過量之風險。

四、振幅規模 (Amplitude Scale)

於本研究以 Avid Pro Tools 數位音頻工作站之音訊記錄製作工程討論，振幅規模乃是所需錄製音源其所被記錄至音頻軌道的響度 (loudness) 量值[18]，於 16-Bit 數位設定專案環境之下，採計 96 dB 為最大音量動態範圍。而振幅規模，若以十進制 (decimal) 線性音量計算方式，則可推算出於數值 65,536 單位為最大音量動態範圍 (正相位振幅最大動態為 32,767 單位，反相位振幅最大動態為 32,768 單位；以無聲響之靜止無震幅運動狀態列計為數值 0，而 0 之此數值列計為動態範圍內之 1 單位) [11]。

參、應用與討論

本研究應用以論述數位音頻振幅規模建立之數位工作站平台，與其前後端週邊軟硬體設置，依訊號流程次序分類：以音樂製作前期類比硬體端之實體收錄音麥克風、DI 設備、線材配置、前級擴大機、等化器與音訊壓縮器等 (表 1)，接續以數位音頻工作站之數位類比轉換介面 (analog-to-digital (A/D) and digital-to-analog (D/A) converter) [19]、數位音訊週邊與工作站核心軟硬體配置等 (表 2)，以及搭配後端音訊監聽解決方案 (表 3) 等設置依序列表。

表 1

前期類比硬體端列表

設備分類	廠牌	型號	功能特色
麥克風	MICROTECH GEFELL	UMT 800	電容式麥克風、可切換極性模式
DI 設備	Radial	J48	單聲軌、48V 主動供電式
訊號線	CANARE	L-2T2S	75-ohm 類比式音訊線
接頭配置	NEUTRIK	NC3FXX/NC3MXX	鍍質外殼、銀觸點、三極式線材連接器
前級擴大機	Solid State Logic	XLogic Alpha Channel	具備 Line 和樂器電平切換功能前級擴大機、輸入增益(input gain) +20 dB~+75 dB、輸出增益(output gain) -20 dB~+20 dB
等化器	Avalon Design	VT-737sp	低頻、中低頻、中高頻、高頻：四段式 EQ
音訊壓縮器	TUBE-TECH	CL 1B Compressor	增益值至高+30 dB、作動時隔低至 0.5 毫秒

資料來源：本研究匯整

表2

數位音訊週邊與工作站核心軟硬體配置列表

設備分類	廠牌	型號	功能特色
數位類比轉換介面	Avid	HD I/O	高達 24-bit/192 kHz 音訊取樣、單一機櫃可執行至多 16 聲軌數位/類比聲訊輸入/輸出
電腦	Apple	Mac Pro	2.7 GHz 12 核 Intel Xeon E5 處理器, 64 GB 記憶體
音頻數位訊號處理卡	Avid	HDX PCIe card	單一處理卡具備 18 個 DSP 數位訊號處理運算晶片核心、0.7 毫秒延遲處理時間
錄音製作軟體	Avid	Pro Tools Ultimate	數位類比轉換介面支援高達 64 聲軌、於取樣率 192 kHz 可支援高達 2,048 個音軌

資料來源：本研究匯整

表3

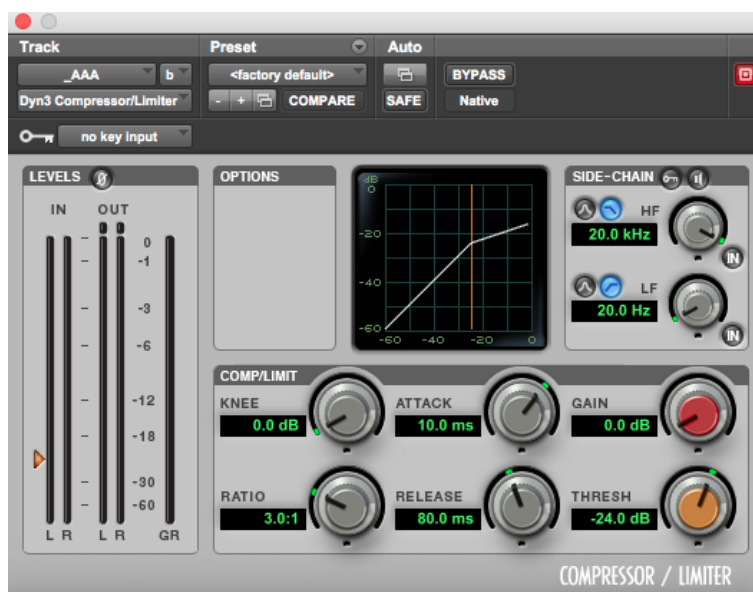
後端音訊監聽解決方案列表

設備分類	廠牌	型號	功能特色
工作站控制臺	Avid	S6 M10 24-5	24 個實體工作軌道(長度 100mm 電動推桿)、每一軌道設置 5 個自定義功能旋鈕
監聽器	GENELEC	1031A PM	可在 1 公尺之監聽距離產生超過 120 dB 的最高電平

資料來源：本研究匯整

圖5

即時(Real-time) Compressor/Limiter Plug-in



介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

執行音樂製作錄音工程階段之際，以本研究之實驗平台 Avid Pro Tools 數位音頻工作站於聲音輸入電平音訊量值管控端工作規範，歷時 16 年以上常年為 Avid Pro Tools 撰寫教育訓練官方手冊的作者 Cook 教授（2017）指出：「應調整輸入電平以獲得扎實清澈的訊號，同時避免輸入電平音訊過量（input levels should be adjusted to obtain a strong, clean signal while avoiding clipping）」，以及宜「保持軌道音量儀表介於黃色範圍之內（keeping the track meter in the yellow range）」[15]。

本章下列分就聲音輸入電平規範於工作站之量值驗證、錄音前期硬體與配搭剪輯處理期軟體的調校，依序討論因應於 Avid Pro Tools 專案建立妥適數位音頻振幅規模之論述與實務應用。

圖6

Expander/Gate Plug-in



介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

圖7

Normalize AudioSuite Plug-in



介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

一、「黃色範圍」量值驗證

Avid Pro Tools 混音介面內的音量儀表，乃是使用分貝為單位，用以量測相對於 full-scale audio (dBFS) 的響度。此 full-scale audio 音量儀表之最高頂部位置點，數值記錄為數據 0，於輸入或輸出的音訊超過 0 dBFS 之際，判定為數位音訊過量[15]。

本研究 Avid Pro Tools 數位音頻工作站之平台，其聲音輸入或輸出的軌道音量儀表之「黃色範圍」音量 dBFS 值的上限與下限數值，可透過下列實測驗證步驟知曉：

- (一) 開設一個 Avid Pro Tools 工作專案。
- (二) 設置一條 Auxiliary Input (Aux) 輔助輸入軌道，以及一條 Audio Track 聲訊軌道。將 Aux 輔助輸入軌道之輸出設定位置指向 Bus 1 (此類 Bus 介面為 Avid Pro Tools 之虛擬訊號集散匯流位置點)，同時將 Audio Track 聲訊軌道之輸入設定位置亦指向 Bus 1，隨後立即啟用此 Audio Track 聲訊軌道之錄音功能。此時若另啟用該聲訊軌道之 Track Input Monitor 功能，亦可達相同測試狀態，是以本研究建議此與啟用 Audio Track 聲訊軌道錄音功能擇一即可。
- (三) 於 Auxiliary (Aux) 輔助軌道 INSERT 插件點上，任選一個位置以外掛插件模式單獨設立一組 SIGNAL GENERATOR (訊號產生器)，如圖 8、圖 9 所示。

- (四) 經由設置 SIGNAL GENERATOR (訊號產生器) 之 LEVEL 推桿量值，如圖 10、圖 11 所示，於圖 8、圖 9 在各自的 Audio 聲訊軌道音量儀表可讀取到此項測試驗證得知，受測 Avid Pro Tools 數位音頻工作站混音介面音量儀表之「黃色範圍」，乃介於音訊輸入強度量值：-6 dBFS 至 0 dBFS 之間。

圖 8

聲訊軌道接受訊號產生器之-6 dB 訊號

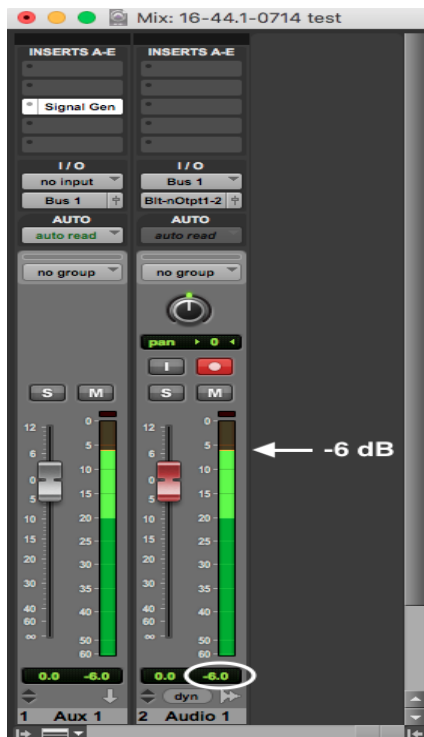
介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

圖 9

聲訊軌道接受訊號產生器之0 dB 訊號

介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

圖10

訊號產生器送出 $-6\text{ dB}/1\text{ kHz}$ /正弦波訊號

介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

圖11

訊號產生器送出 $0\text{ dB}/1\text{ kHz}$ /正弦波訊號

介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

二、錄音前期實體硬體設備外接裝置（Outboard gear）配搭調校

承上節內容所述，當音訊輸入量值在音量儀表介於 -6 dBFS 至 0 dBFS 之間是為妥適值。而在音樂製作收錄音工序階段，若得以所有音訊全程於輸入電平量值皆完美的落在音量儀表 -6 dBFS 至 0 dBFS 之間，則此般無過與不及的收錄音成果，自然不需經由進一步特別的調校處理程序，可立即進入音樂製作後續之剪輯工程階段。

但就音樂製作實務程序而論，隨著各式樂風的特色需求，或是因創意或創作等製作考量所需，就收錄之聲音素材取得過程而言，所需收錄音之聲訊來源，無論是人聲歌唱、口語配音、樂器或敲打樂演奏等，可能時而慷慨激昂氣勢磅礴，也許間或小橋流水悠揚含蓄地於音量強弱動態範圍方面大大小小各有差異，以致造成不盡然於輸入電平量值皆落在音量儀表之 -6 dBFS 至 0 dBFS 之間。

是以，上述之所謂完美音訊收錄，在錄音工程音樂製作的實務過程中，可望發生之機率坦言之實在不高，以致錄音工程師或音樂製作人必須在收錄音工程階段進行當下，對於所需錄製之音訊材料，於此錄音工程製作程序階段實施電平量值的即時調校或後續管理。而就錄音工程於聲訊之調整或管控層面，本節接續以實體硬體設備之外接裝置（Outboard gear） [20]討論其所可能施行之因應或處理。

（一）前級擴大機調校管理

於音樂製作前期錄音階段，經由麥克風或是其他相關收音設備以串接前級擴大機方式進行收錄音工程時，分就下列兩種處理程序討論：

1. 輸入電平於聲訊軌道音量儀表音訊過量

於音訊輸入強度量值在所串接之前級擴大機處於音頻略過（Audio Bypass） [21]狀態的前提下，而該音訊輸入電平仍超過 0 dBFS 之際，本研究建議此時可啟用前級擴大機配備之 Pad 功能。

以本研究選用以實驗之前級擴大機 Solid State Logic/ XLogic Alpha Channel 為例，其所提供之 Pad 功能，透過實測可將輸入音訊衰減 20 dB ，以期解除輸入電平音訊過量狀態。而若在使用 Pad 功能使輸入音訊衰減 20 dB 之後，音訊電平在音量儀表仍呈現超過 0 dBFS 的狀況下，便須搭配串接如本研究後續

論及之等化器與壓縮限制器等外接裝置進行處理。

2.輸入電平於聲訊軌道音量儀表音訊不足

於音訊輸入強度量值在所串接之前級擴大機處於 Audio Bypass 狀態的前提下，而該音訊輸入電平仍低於-6 dBFS 之際，本研究建議可使用前級擴大機之增益功能。

以本研究 Solid State Logic/ XLogic Alpha Channel 前級擴大機測試，比照錄音工程產業界常見之諸多廠牌與型號的各式前級擴大機，此類硬體外接裝置常配備有輸入增益 [22]，以及輸出增益 [23]調整功能，其中 XLogic Alpha Channel 前級擴大機之可用輸入增益為+20 dB 至+75 dB，而輸出增益則為-20 dB 至+20 dB；此即為於輸入電平增益量值方面，XLogic Alpha Channel 具有高達+95 dB 的正值動態提升量。此量能若以數位錄音製作常見之音樂光碟（audio CD） [24]格式，於位元深度（Bit Depth） 16-bit 時，搭配取樣頻率（sample rate） 44.1 kHz 之規格而論，音樂光碟此類型載體之所存取數位音樂資料的音量動態至高為 96 dB [11]。是以 XLogic Alpha Channel 其可達+95 dB 的增益動態工作量能，與音樂光碟載體音量動態值僅有 1 dB 之差距，可足以因應此類 16-bit 數位錄音專案於輸入電平音訊不足時施予增益調整之工作需求。

（二）等化器調校管理

於進行收錄音工程實務使用麥克風、DI（direct input）或訊號放大模擬器（Amp emulator） [25]等相關設備時，經由前述前級擴大機進行輸入電平之增益或衰減，抑或因應音樂製作需求而對於輸入電平不增亦不減以 Audio Bypass 狀態處理時，關乎等化器之調校管理，本研究分就下列兩種可能的處理程序討論：

1.輸入電平於聲訊軌道音量儀表音訊過量

於音訊輸入強度量值在所串接之等化器處於 Audio Bypass 狀態下，而該音訊輸入電平於聲訊軌道音量儀表仍超過 0 dBFS 之際，本研究建議此時可考慮啟用等化器之 EQ 衰減（EQ attenuate） [26]功能。

就等化器 EQ 此類型設備，可調整的參數主要為：頻率、Q 值以及增益。其中以「增益」此項參數，可影響之範疇，即為以音量為主的分貝 dB 值。

以本研究所選用之實體等化器 EQ 外接裝置 Avalon Design/ VT-737sp 為例，此機型提供低頻、中低頻、中高頻與高頻等四段式 EQ，其中就頻率與 EQ 衰減之分貝 dB 值方面，可選用與調整的數值範圍為：

（a）低頻：15 ~ 150 Hz、-24 ~ 0 dB、（b）中低頻：35 ~ 450 Hz、-16 ~ 0 dB、（c）中高頻：220 ~ 2.8k Hz、-16 ~ 0 dB、（d）高頻：10k ~ 32k Hz、-20 ~ 0 dB。

而對於輸入電平於聲訊軌道音量儀表音訊過量之情形，本研究以不論及因調整等化器 EQ 各項參數所導致聲音素材音色之改變，而主要以等化器 EQ 外接裝置提供 EQ 衰減分貝值之調整功能，對於輸入電平予以調配至聲訊軌道音量儀表不超過 0 dBFS 為錄音工程處理方向。

2.輸入電平於聲訊軌道音量儀表音訊不足

在音訊輸入強度量值於串接等化器處於 Audio Bypass 狀態，而該音訊輸入電平於聲訊軌道音量儀表低於-6 dBFS 時，本研究建議可考慮啟用等化器之 EQ 增益（EQ boost） [27]功能。

以本研究等化器 EQ 外接裝置 Avalon Design/ VT-737sp 實測，此機型就頻率與 EQ 增益分貝 dB 值方面，可選用與調整的數值範圍為：（a）低頻：15 ~ 150 Hz、0 ~ +24 dB、（b）中低頻：35 ~ 450 Hz、0 ~ +16 dB、（c）中高頻：220 ~ 2.8k Hz、0 ~ +16 dB、（d）高頻：10k ~ 32k Hz、0 ~ +20 dB。

對於輸入電平於聲訊軌道音量儀表音訊不足之情形，本研究於此亦不論及因調整等化器 EQ 各項參數所導致聲音素材音色之改變，而主要以等化器 EQ 外接裝置提供 EQ 增益分貝值之調整功能，對於輸入電平予以調配至聲訊軌道音量儀表可高於-6 dBFS 為此階段工程處理原則。

（三）壓縮限制器調校管理

於進行收音工程，音訊收錄過程經由前述之前級擴大機或等化器進行相關輸入電平之增益、衰減抑或不增不減的 Bypass 狀態處理時，關乎壓縮限制器之調校管理，本研究分以下列兩種可能的處置討論：

1.輸入電平於聲訊軌道音量儀表音訊過量

於音訊輸入當下在所串接之壓縮限制器處於 Audio Bypass 狀態時，若該音訊輸入電平於聲訊軌道音量儀表仍超過 0 dBFS 時，本研究建議可考慮啟用此外接裝置之壓縮/限制 (compress/limit) [28]等音訊電平管控功能。

以本研究選用於實驗之 TUBE-TECH/ CL 1B Compressor 為例，比照錄音工程產業界常見之諸多廠牌與型號的各式壓縮限制器，此類硬體外接裝置常配備有增益、臨界值、作動時隔、釋放時隔或壓縮比例等參數以管理聲訊電平量值[29]。如 CL 1B Compressor 之增益功能，就音量衰減方向之調整範圍測得：負無限大~ 0 dB，是以若就單純須因應降低輸入電平而論，直接執行調降增益功能以求音量衰減為可用之處理方式之一。

而就壓縮限制器於音訊電平管控功能，可將音訊在輸入電平小於或等於臨界值之際以壓縮比例 1:1 作為管理起點，此時輸入電平等於輸出電平（視同為無進行音量訊號強弱管理），後續透過調整與配搭臨界值、作動時隔、釋放時隔與壓縮比例等參數，對於音訊之輸入電平實施管理[30]，基此期使音訊輸入電平於聲訊軌道音量儀表不超過 0 dBFS：

- (1) 壓縮比值 (Ratio) 超過 1 (但不接近或等於無限大) 之狀態：此時壓縮限制器以「壓縮」模式對於音訊電平進行「動態」管控，唯輸出電平必小於輸入電平。
- (2) 壓縮比值接近或等於無限大之狀態：此時壓縮限制器以「限制」模式對於音訊電平進行「固定」管控邏輯，於輸入電平超過臨界值之際，輸出電平一律以臨界值作為輸出量值。

2. 輸入電平於聲訊軌道音量儀表音訊不足

於音訊輸入強度量值在所串接之壓縮限制器處於 Audio Bypass 狀態的前提下，而該音訊輸入電平仍低於 -6 dBFS 之際，本研究建議可使用壓縮限制器之增益功能。以本研究選用於實驗之 TUBE-TECH/ CL 1B Compressor，其所配備之增益功能，就音量增益方面之範圍經測試得 0 ~ +30 dB，是以若就單純須因應增加輸入電平而言，直接執行調升增益功能以求音量增益為可用之直覺處理方式。

三、剪輯工程處理期軟體設定配搭調校

於前述內容在錄音前期硬體設備外接裝置調校階段之後，當音訊輸入量值在音量儀表介於 -6 至 0 dBFS 之間，而因應音樂製作於後續的剪輯與混音工程需求，如仍需設計進一步的音訊電平調整，在此項工程處理期可使用 Avid Pro Tools 數位音頻工作站以進行非即時 (non-real-time) 或即時 (real-time) 的音頻運算[15]。

其中非即時之處理模式，採用音頻套件 (audiosuite) 處理資料，負擔落在執行運算音訊當下於電腦中央處理器 (CPU)；而即時之處理模式，負擔可選擇落在：(a) 電腦中央處理器 (CPU) 之 AAX Native 模式、或 (b) Avid Pro Tools HDX 數位音訊處理卡 (HDX DSP PCIe card) 之 AAX DSP 模式，並同時可擇一選用下列動態插件處理 (Dynamic Plug-In Processing) [31]之類型：(a) 音訊播放當下執行負擔運算、或 (b) 全時執行負擔運算。

(一) Gain 音頻套件處理

Avid Pro Tools 工作站配置之 Gain 音頻套件 (圖 12)，經本研究測試驗證，於音訊電平就音量增益方面之調整範圍落於 0 ~ +96 dB。此+96 dB 的增益量能，足以因應音樂光碟 16-bit 之所存取資料的音量動態 96 dB 上限值。而另就數位錄音專案亦常見 24-bit 設置之音量動態 144 dB 上限值[32]，此 Gain 音頻套件則可配搭本研究列舉之各式軟硬體因應製作需求以滿足所需之音量動態。

(二) Normalize 音頻套件處理

應用 Avid Pro Tools 工作站配置之 Normalize 音頻套件 (圖 7) 可處理目標區塊 (clip) 欲予以增益的音訊電平調整，此基於 Normalize 音頻套件之工作邏輯，是以預先分析運算目標區塊內之瞬間最大音量值，並依照該音量值為基準，後續依照 Normalize 音頻套件之 LEVEL 設定該區塊音訊電平之加強於增益的比例[33]。

圖 12

Gain AudioSuite Plug-in



介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

(二) Normalize 音頻套件處理

應用 Avid Pro Tools 工作站配置之 Normalize 音頻套件（圖 7）可處理目標區塊欲予以增益的音訊電平調整，此基於 Normalize 音頻套件之工作邏輯，是以預先分析運算目標區塊內之瞬間最大音量值，並依照該音量值為基準，後續依照 Normalize 音頻套件之 LEVEL 設定該區塊音訊電平之加強於增益的比例 [33]。

以圖 13 Normalize 音頻套件進行音訊電平調整運算研究比較，原始之音樂素材為連續相連之 CLIP-A、CLIP-B 與 CLIP-C 三個區塊，若以此三個區塊為統整單一之運算分析目標區塊，由於相較於 CLIP-A 與 CLIP-C，此三個區塊以 CLIP-B 之原始音訊電平為較高，可得圖 13 中間所示的運算結果：CLIP-A-Norm_01、CLIP-B-Norm_01 與 CLIP-C-Norm_01。

圖 13

Normalize AudioSuite Plug-in 運算比較



介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com; Cook, 2020

本研究同時再以 CLIP-A、CLIP-B 與 CLIP-C 三個區塊為 Normalize 音頻套件之分析目標，但以此三個區塊分別各自進行運算，可得圖 13 底部顯示之運算結果：CLIP-A-Norm_02、CLIP-B-Norm_02 與 CLIP-C-Norm_02。此於前段所述之統整單一運算分析目標區塊的工作邏輯不同[17]，兩種手法可視音樂製作需求相互搭配應用。

(三) EQ 效果處理

不同於 Gain 與 Normalize 只有音頻套件的工作模式，Avid Pro Tools 工作站所提供之 EQ，可分就進行非即時或即時的音頻運算處理。經測試，其中音訊電平調整就音量增益方面之範圍於非即時或即時的模式，皆在輸入電平的增益範圍為 0 ~ +6 dB，以及在各別的 Q 值與頻率值之增益電平範圍為 0 ~ +18 dB（如圖 4 與圖 14 所示）。

圖 14

非即時(Non-real-time) EQ Plug-in



介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

(四) 壓縮限制器效果處理

相同於前述 EQ 的工作模式，Avid Pro Tools 提供之壓縮限制器，亦可分就進行非即時或即時的音頻運算處理。經測試，其中音訊電平調整就非即時或即時的模式，在增益電平範圍皆為 0 ~ +40 dB（如圖 5 與圖 15 所示）。

圖 15

非即時(Non-real-time) Compressor/Limiter Plug-in



介面圖片來源：Avid Technology, Inc., www.avid.com

肆、結論與建議

本研究以全球指標獎項葛萊美音樂獎與奧斯卡金像獎得獎者與其團隊高度使用於音樂製作之 Avid Pro Tools 音頻工作站為研究平台，針對此工作站以應用類比硬體設備外接裝置、數位音頻套件與動態插件進行工程處理，期於音樂製作的錄音與剪輯階段獲得良好振幅規模建立，以利後續混音與母帶工程處理。經本研究討論分析，具體結果如下：

一、每一型款之數位音頻工作站或實體錄音硬體設備，皆有所謂如本研究案例 Avid Pro Tools 工作站之「黃色範圍」，用以界定該型款設備妥適之音頻輸入電平的上限與下限響度 dB 值範圍。經本研究實測後得知，本案 Avid Pro Tools 數位音頻工作站之混音介面音量儀表的「黃色範圍」，乃介於音訊輸入電平量值之-6 dBFS 至 0 dBFS。基此，本研究建議執行錄音工程者，宜釐清並知曉使用於音樂製作專案之載體其音頻輸入電平妥適範圍。

二、增益 (Gain) 型管理

(一) **硬體功能**：應用前級擴大機 Pad 功能 (衰減調整模式)、輸入增益或輸出增益功能 (增益調整模式) 管理音訊響度。

(二) **Avid Pro Tools 工作站軟體功能**：應用 Gain 音頻套件或 Normalize 音頻套件處理以進行音訊響度管理。

三、等化器 (EQ) 型管理

(一) **硬體功能**：以 EQ 衰減或 EQ 增益調整功能管理音訊響度。

(二) **Avid Pro Tools 工作站軟體功能**：應用 EQ 非即時或即時音頻運算處理以進行音訊響度管理。

四、動態 (Dynamics) 型管理

(一) **硬體功能**：以壓縮限制器之壓縮或限制音訊電平管控功能 (衰減調整模式) 或增益功能 (增益調整模式) 管理音訊響度。

(二) **Avid Pro Tools 工作站軟體功能**：應用壓縮限制器非即時或即時音頻運算處理以進行音訊響度管理。

音樂製作於工程處理在錄音前期、剪輯、混音與母帶後期等各個階段，關乎音訊響度的管理調配，可稱是牽一髮而動全身。本研究以 Avid Pro Tools 工作站於混音工程階段前，於專案之混音介面音量儀表，以音訊電平量值落於-6 dBFS 至 0 dBFS 為推桿後監聽 “After Fader Listening” (AFL) [34] 為振幅規模之建立目標結果。唯本研究未論及舉如：(1) 進行音訊增益管理時，因執行提升響度調整所可能導致的嘶嘶噪音 (hiss noise) [35] 現象、(2) 調整等化器 EQ 參數時，後續導致聲音素材音色改變，以及 (3) 動用壓縮限制器管理音訊電平後，所產生的響度動態變化等不影響、有助於或無助於音樂製作之可能性，基此建議未來研究方向可著眼於此三個項目進行延伸探討。

誠如英國音樂科技工程學家 Izhaki (2008) 提及：「所有工具都和使用它們的人一樣好 (All tools are as good as the person who uses them.)」 [36]，是以期待在這音樂多元發展百家爭鳴的年代，音樂人的創作理念，可借力於功能越發友善與強大的音樂製作軟硬體工具，讓更多千變萬化的美好音樂作品一一問世。

參考文獻

- [1] P. Novotny. (2019). Creating an immersive fold-out-look ahead. In J.-O. Gullö (Ed.), *Proceedings of the 12th Art of Record Production Conference Mono: Stereo: Multi* (pp. 205–224). Royal College of Music (KMH) & Art of Record Production.
- [2] V. Lazzarini. (2017). Audio and music signals. *Computer Music Instruments*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63504-0_1

- [3] Z. Mohamad, S. Dixon, & C. Harte. (2017). Pickup position and plucking point estimation on an electric guitar. *2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 651–655). <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2017.7952236>
- [4] R.C. Maher. (2018). Audio signal enhancement. *Audio Signal Enhancement*. In: *Principles of Forensic Audio Analysis. Modern Acoustics and Signal Processing*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99453-6_6
- [5] S. Fuada & T. Adiono. (2017). Short-range audio transfer through 3 Watt white LED on LoS channels. *2017 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)* (pp. 398–403). <https://doi.org/10.1109/ISPACS.2017.8266511>
- [6] D. Babić, M. Pul, M. Vranješ, & V. Peković. (2017). Real-time audio and video artifacts detection tool. *2017 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)* (pp. 251–256). <https://doi.org/10.1109/SST.2017.8188704>
- [7] B.I. Callum. (2020, June 19). *Digital audio effects processing: A look into dynamic range processing*. <https://hdl.handle.net/2123/22618>
- [8] D.E. Garcia, J. Hernandez, & S. Mann. (2020). Automatic gain control for enhanced HDR performance on audio. *2020 IEEE 22nd International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/MMSP48831.2020.9287160>
- [9] T. Vets, J. Degrave, L. Nijs, F. Bressan, & M. Leman. (2017). PLXTRM: Prediction-Led eXtended-guitar tool for real-time music applications and live performance. *J. New Music Res.*, 46(2), 187–200. <https://doi.org/10.1080/09298215.2017.1288747>
- [10] MUSIC Group IP Ltd. (2012). *XL48 microphone pre-amplifier user manual*. MUSIC Group IP Ltd.
- [11] C.C. Huang. (2020, May). *Discussions on technical specifications of digital audio sampling*. International Conference on Innovation Digital Design 2020, Tainan, Taiwan.
- [12] M.K. Othman & T.H. Lim. (2019). Run time analysis of an audio graphic equalizer for portable industrial directional sound systems in industrial usage. *2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)* (pp. 2177–2181). <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2019.8833760>
- [13] S.I. Mimitakis, N.J. Bryan, & P. Smaragdis. (2020). One-shot parametric audio production style transfer with application to frequency equalization. *ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 256–260). <https://doi.org/10.1109/ICASSP40776.2020.9054108>
- [14] K. Pedersen & M. Grimshaw-Aagaard. (2018). *The recording, mixing, and mastering reference handbook*. Oxford University Press.
- [15] F.D. Cook. (2017). *Pro tools 101: Pro tools fundamentals I - version 12.8* (pp. 93–94). Avid Technology, Inc.
- [16] N. Papadakis & G. Stavroulakis. (2018). Low cost omnidirectional sound source utilizing a common directional loudspeaker for impulse response measurements. *Appl. Sci.*, 8(9), 1703. <https://doi.org/10.3390/app8091703>
- [17] F. D. Cook. (2020). *Pro tools fundamentals II (PT110 2020/2021)*. NextPoint Training, Inc.
- [18] L. Lupsa-Tataru. (2020). Audio fade-out profile shaping for interactive multimedia. *Technium: Rom. J. Inf. Sci. Technol.*, 2(7), 179–189. <https://doi.org/10.47577/technium.v2i7.1913>

- [19] Avid Technology, Inc. (2021). *Pro tools reference guide version 2021.3*. Avid Technology, Inc.
- [20] A. Romney. (2017). Beyond audacity: Supporting sonic futures through the digital audio workstation. *CCJ*, 3(1), 134–146.
- [21] D. Martin, R. King, & G. Massenburg. (2019). *Dynamic range compressor ear training: Improving critical listening skills through software-assisted practice* [Doctoral dissertation, McGill University, Montreal, Canada].
- [22] M.A. Martínez. Ramírez, O. Wang, P. Smaragdis, & N.J. Bryan. (2021). Differentiable signal processing with black-box audio effects. *2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 66-70). <https://doi.org/10.1109/ICASSP39728.2021.9415103>
- [23] J. Paulus. (2018). Parameter Domain Loudness Estimation in Parametric Audio Object Coding. *2018 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)* (pp. 2469–2473). <https://doi.org/10.23919/EUSIPCO.2018.8553137>
- [24] B. Vessa. (2020). Audio Fundamentals: Audio Magic in Movies and Our Daily Lives. *SMPTE Motion Imaging J.*, 129(5), 8–16. <https://doi.org/10.5594/JMI.2020.2990613>
- [25] C.G. Morales. (2013). *Multieffects processor*. Universitat Politècnica de Catalunya, Department of Electronic Engineering website: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88218/cristian.gil.morales_90750.pdf
- [26] K.N. Fleck & A. Case. (2016). *Audio mastering: An investigation and analysis of contemporary techniques* [Master's thesis, University of Massachusetts Lowell]. <https://www.proquest.com/docview/1808008084/abstract/46238908FC514EF6PQ/1?accountid=11005>
- [27] D. Gibson & M.B. Curtis. (2019). *The art of producing: How to create great audio projects* (1st ed.). Routledge.
- [28] D. Sheng & G. Fazekas. (2019). A feature learning siamese model for intelligent control of the dynamic range compressor. *2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2019.8851950>
- [29] Z. Ma and J. Reiss. (2016). *Intelligent tools for multitrack frequency and dynamics processing*. [Doctoral dissertation, Queen Mary University of London].
- [30] U.K. Mondal. (2018). A novel approach to lossless audio compression (LAC). In J. Mandal & D. Sinha (Eds.), *Social Transformation – Digital Way* (pp. 99-106). Springer.
- [31] Sweetwater. (2014). *Dynamic plug-in processing*. <https://www.sweetwater.com/insync/dynamic-plug-in-processing/>
- [32] W. van den. Belt. (2013). *Audio Engineering-Dynamic Processing*. https://play.google.com/books/reader?id=ia9OAgAAQBAJ&pg=GBS.PA1&hl=zh_TW
- [33] T. Kim, J. Lee, & J. Nam. (2019). Comparison and analysis of SampleCNN architectures for audio classification. *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.*, 13(2), 285–297. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2019.2909479>
- [34] F.C. Scholz. (2015). *Audiotechnik für mediengestalter* (1st ed.). De Gruyter Saur.
- [35] R. Prasad & P. Bojja. (2017). A novel audio noise cancellation using non-diagonal time frequency algorithm. *Int. J. Control. Theory Appl.*, 10(22), 141–148.
- [36] R. Izhaki. (2008). *Mixing audio: Concepts, practices and tools* (p. 75). Elsevier.