

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

座艙聲紋分析系統之研發 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-3114-E-002-004-
執行期間：95年11月01日至97年01月31日
執行單位：國立臺灣大學電機工程學系暨研究所

計畫主持人：陳永耀

計畫參與人員：學士級-專任助理：陳儀儒
碩士班研究生-兼任助理：黃璿、黃昭文、劉俊宏、劉致廷、
張鈺堂
共同主持人：蔡坤諭助理教授、莊禮彰博士

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 97 年 04 月 29 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

座艙聲紋分析系統之研發

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC95-3114-E-002-004-
執行期間： 95 年 11 月 01 日至 97 年 01 月 31 日

計畫主持人：陳永耀 教授
共同主持人：蔡坤諭助理教授、莊禮彰博士
計畫參與人員：黃璿、黃昭文、劉俊宏、劉致廷、陳儀儒、張鈺堂

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
 涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立臺灣大學電機工程學系暨研究所

中 華 民 國 97 年 4 月 29 日

中文摘要

利用飛航記錄器來協助飛機失事調查可能可以獲知飛航事故之可能肇事原因。而飛航記錄器一般有兩種形式，一為座艙語音記錄器(Cockpit Voice Recorder, CVR)，一為飛航資料記錄器(Flight Data Recorder, FDR)。座艙通話記錄器除了記錄駕駛員的通話內容外，還會把非語音的聲音一併記錄起來，例如，螺旋槳噪音、開關撥動聲…等。當螺旋槳噪音的能量遠大於駕駛員語音的能量時，我們很難從其中辨別出駕駛員的語音內容來調查失事的原因。因此，噪音濾除是座艙語音記錄器之訊號處理最首要的任務。傳統的適應性噪音濾除需要兩組感應器來擷取訊號做噪音濾除，但是有些情況下沒有第二組感測器來擷取噪音源訊號。本計畫將利用適應性濾波器基於主要頻率合成及線性預估誤差濾波器來實現單通道噪音濾除。適應性濾波器基於主要頻率合成主要是用來消除螺旋槳噪音；而線性預估誤差濾波器主要是用來消除語音中的餘值噪音訊號。如此，可以清楚辨識駕駛員的語音內容以幫助調查失事原因。

第二部分之成果為針對座艙通話紀錄器的多聲道聲音資料，用模擬的方式發展兩種利用多聲道聲音資料來進行操作開關定位的方法，基於座艙語音記錄器設置於飛機機艙內的固定性，第一種方式是利用預先了解的機艙內開關分布情況，預先建立起各個開關被操作時所收錄到的聲音資料的時間差總表，再將所要定位的聲音資料拿來比對，即可比較出要定位的開關位置；第二種方式，基於數位收錄的聲音資料所判斷出的時間差，一定會有一個取樣點以內的可能誤差，因此推導出另一種判斷開關位置是否落在這一個合理時間帶內的定位方式。

關鍵字：座艙語音記錄器、單通道噪音濾除、適應性濾波器、主要頻率合成、線性預估誤差濾波器、聲源定位

Abstract

We use a flight recorder to assist the aircraft accident investigation for identifying the probable cause of aircraft accident. There are two forms in a flight recorder, the Flight Data Recorder (FDR) and the Cockpit Voice Recorder (CVR). The CVR effectively acts as a latent signal transducer for both speech and non-speech acoustic information such as propeller noise, switch sound...etc. When the power of the noise from propeller is overwhelmingly greater than the power of the desired pilot's speech, we cannot identify the pilot's speech content to investigate the accident cause. A typical technique, adaptive noise cancellation, appears to be the primary task, but it assumes the use of two sensors. In our situation, we do not have the second sensor to pick up the reference signal to achieve noise cancellation. This plan hence focus on single channel noise cancellation using adaptive filter based on principal frequencies synthesis (PFS) and linear prediction error filter (LPEF). Adaptive filter based on PFS is used to cancel the propeller noise form CVR; LPEF is used to whiten the residual noise in speech. Thus we can identify the pilot's speech content more easily from the enhanced speech to assist us in the accident investigation.

The second part of the achievements focuses on the multichannel voice data of the cockpit voice recorder. We develop two methods to locate the operated switch with multichannel voice data by way of simulation. The switch panel in the same type of aircrafts should be the same. Base on this, the first method is depending on the a priori knowledge of the switch panel. Building the lookup table first, then we can compare all data from the same type of aircraft with the lookup table. The second method is position verification. The time-delay of arrival (TDOA) is estimated from digital signal data, and there is a range caused from quantization error. Therefore we can verify that the switch position is all in the reasonable range of all TDOA from each data.

Key Words: Cockpit Voice Recorder, Single Channel Noise Cancellation, Adaptive Filter, Principal Frequencies Synthesis, Linear Prediction Error Filter, Sound Source Localization

一、前言

任何民用航空器不幸失事之後，民航主管機關單位、失事調查員、航空公司、罹難家屬及社會大眾，均會期盼早日尋獲「黑盒子 (Black Box)」，並解讀出航空器失事的原因。所謂俗稱的黑盒子是指飛航資料記錄器 (Flight Data Recorder、FDR) 與座艙語音記錄器 (Cockpit Voice Recorder、CVR)，兩者統稱飛航記錄器。CVR/FDR 之解讀是民用航空器發生失事或重大意外事件後失事調查中的一大工作，處理程序為失事現場搜尋黑盒子、黑盒子與飛機殘骸記錄，以及送往失事調查單位之實驗室解讀與分析，並從中找出造成航空器失事或重大意外事件之原因，進而提出改善飛安之具體方案。其中，座艙語音記錄器 (CVR) 係記錄駕駛艙與塔台間的無線電通話內容以及駕駛艙內的聲音，例如飛行員之間的交談，警報信號或是引擎聲音。飛航資料記錄器 (FDR) 則記錄各項飛航數據，例如高度、空速及航向等。近年來由於聲音訊號分離與辨識的技術提升使得座艙語音記錄器 (CVR) 變成一個提供失事調查的有利工具。[1]

座艙語音記錄器記錄正副駕駛員與飛行組員、正副駕駛員與地面航管人員之間通話的聲音。事實上它記錄座艙內所有的聲音，包括：組員間通話、經由無線電與管制台人員通話的聲音、警告的聲音 (當飛機的狀態到達某種不正常的狀況，飛機上的裝置會發生不同的聲音警告飛行員如火警、近接地面、失速... 等)、開關控制的聲音、引擎聲音及環境雜音等。其目的為記錄失事前座艙內所有的聲音以協助事故之研判。座艙語音記錄器以記憶裝置區分有兩種，磁帶式及固態記憶體式，因此解讀流程也略有不同。首先將磁帶從座艙語音記錄器內取出放到磁帶機上，磁帶機將磁帶上微小電磁訊號放大轉換成一般聲音處理器可接受之訊號。基本上語音記錄器在實驗室內，最主要的工作即是執行聲音處理。就如同錄音室一般，需要混音器整合所有的音源、圖形等化器做適當之等化處理、鑑聽用的放大器及揚聲器。混音器與圖形等化器之不同是對雜音的處理方式，在座艙內可能有失壓時的雜音、引擎雜音、對乘客廣播的聲音、來自地面無線電台干擾的聲音、也可能是磁帶老舊或黑盒子運轉時所產生的雜音。

為了要從一片混亂中聽到清楚的聲音，除了傳統的等化器外，實驗室必須善用頻譜分析儀及窄頻雜音濾波器，濾除不想要的聲音。頻譜分析儀除了可看到每一瞬間頻譜的分布協助聲音處理外，也提供磁帶機運轉速度的同步控制訊號。以上是座艙語音記錄器解讀之基本流程。對於無裝置飛行資料記錄器之直昇機，使用音頻處理軟體即可印出每一時間對特徵頻率之分布情形，因此聲譜分析技術可以鑑別出引擎及主要轉軸運轉的情形。進一步分析則可獲知某一飛行狀態下之特徵頻率變化，進而了解失事之可能情況。固態記憶體式座艙語音記錄器解讀方式與磁帶式最大不同在於，固態記憶體式之記憶裝置因其電路控制方式不同，不同的廠家製造的記憶裝置必須裝上原廠家製造，而且可用的座艙語音記錄器，並使用也是原廠商的解讀裝備才能加以解讀，解讀出來的訊號再加入混音器進行更進一步聲音的處理。為方便各相關調查單位使用，聲音亦可複製在一般卡帶。

對於CVR/FDR 之解讀能量與飛安之關係，依照航空器失事或意外事件發生原因可歸類為三大因素。一、機械因素。包括：航空器之裝備或儀表損壞或功能不正常、結構疲勞與空中解體

等。一般而言，DFDR 能提供航空器飛行過程中的空速、高度、姿態、控制舵面響應位置、引擎狀況、起落架收放狀況與Localizer/Glide Slope等參數。因此，由FDR 研判機械因素所引發之飛安問題較為容易。二、環境因素。包括：天候因素造成之視線不良、亂流、風切、雷擊、空中流量與航道管制、機場助航設施等問題。這些因素很難直些由FDR 找到解答，對於亂流、風切對航空器之飛航影響只能由FDR 估算得之相關參數中推敲研究。天候因素與雷擊與空中流量或航道管制等問題，則需由CVR 的語音記錄中仔細分析座艙間以及機上組員與塔台的通話中求證。三、人為因素。包括：機上組員溝通不良、誤判航空器之裝備或儀表之顯示訊息、未按標準程序操控航空器、人機介面問題、生理因素引致空間迷向或失能等。從CVR 可以逐一查核駕駛員是否按標準作業程序飛行，分析正副駕駛間的溝通與合作模式，CVR 乃是分析研究座艙資源管理問題重要來源。對於未按標準程序操控航空器則由CVR 及FDR 更可找到直接之證據。加上CVR 記錄之訊號轉成頻譜，能有效濾除雜訊、鎖定特定頻率之時間與響應關係，CVR 也能推算出螺旋槳之槳距變化、輪胎與地面磨擦之聲響等訊號，進一步可分析引擎及飛機性能。

飛航資料記錄器（FDR）應用於事故調查之優點，包括：揭露異常之航機行為、判定航機之飛航性能與軌跡、評估航機系統之操作、使用飛航資料進行模擬機測試、消除不同的事故肇因之假說、提供事故調查方向。座艙語音記錄器（CVR）應用於事故調查之優點，包括：座艙組員討論之問題（操作程序、緊急處置等）、座艙資源使用與合作、座艙警告聲響之作動與反應（Alt Alert、TCAS、GPWS、Stall、引擎火警等）、駕駛員與地面航管或空域內其他航機之通信、提供事故發生過程之訊息（環境雜音—按鍵、引擎轉速、地速、爆炸聲響、結構損壞、大雨、打雷等）[2]。

二、研究目的

藉由CVR/FDR之解讀與分析，能輔助航空器失事調查單位找出造成航空器之失事或意外事件之成因與後果，進而依據合理而可靠的證據提出改善飛安之建，但是有些飛航機上並未有FDR 的裝置（例如旋翼機，適航要求為裝置CVR 而已）或是找不到FDR此裝置時的固定翼航空器失事案例分析，只能依靠CVR來解讀所有的資訊，所以如何利用聲紋處理技術分析座艙語音記錄器（CVR）內容以成為國際上航空器失事調查的發展趨勢。

人為因素在飛機失事所佔的七成比例一直是最高的，而且大部分是發生在座艙內，能清楚聽到失事前飛行組員間的對話，對於判別飛行中所產生的問題及導致航空器失事的關鍵因素有著莫大的價值，故本計劃將針對座艙語音記錄器（CVR）內的聲音資料做聲紋處理以達到飛航機的引擎聲音解離、鑑別主要轉軸的運轉情形、辨識控制桿與開關之聲音、背景雜訊之濾除、分析機組人員當時的情緒（是否有緊張、焦慮等）。

三、文獻探討

國外研究成果

國際上較有名的失事調查單位：NTSB、BASI、TSB 等，對於FDR 之飛航數據解讀到飛行軌跡重建與動畫製作均有十分完善的技術[4][5][6][7]。現有航空器多以慣性導航系統（Inertial Navigation System、INS）來獲知飛行過程的軌跡，所謂慣性導航系統是以三軸加速儀與陀螺儀組成。因為FDR 的記錄資料中會直接記錄航空器體軸座標（Body-Fixed Coordinate）的姿態角（包括：俯仰角、滾轉角與偏航角），但是只記錄其相應的加速度分量（縱向、橫向與垂直機身方向）。因此，三度空間的飛行軌跡需要以數學模式進二次積分求取。如果，飛航資料記錄器只有單軸或雙軸加速度，其飛行軌跡只能以飛行速度與航向角作一次積分，並投影成局部平面飛行軌跡，並與高度計測得的航高組合成三度空間飛行軌跡。上述兩種飛行軌跡重建法是目前FDR解讀過程所使用的技術，但並未針對FDR 傳感器（Transducer）誤差、空速/各式高度計量測誤差與INS 的殘差及偏移誤差進行分析。亦即，將來為增進FDR 的飛航資料可靠度，必須考量航空器之動態模式（Dynamic Model）與狀態估測技術來處理FDR 所記錄的資料[2][3][4][5][6]。

國內研究成果

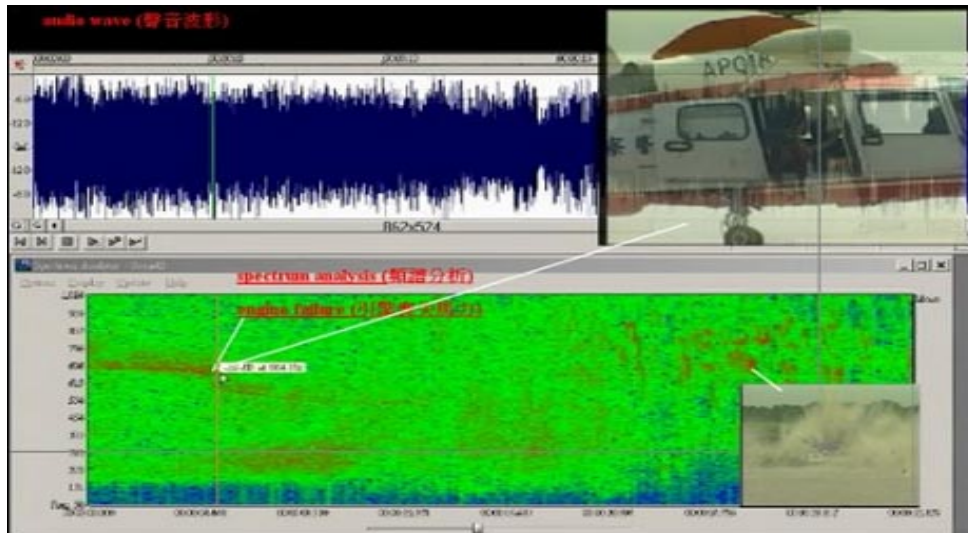
行政院飛航安全委員會調查實驗室座艙語音記錄器所記錄之座艙內組員對話與聲響為重要調查證據。分析這些聲音時，有些無法以人耳辨別，調查實驗室採用聲音能量分布或頻譜分析技術，以探討座艙內聲音的來源、起始時間與持續時間，以及特定警告作動（warning activation）情形。此技術可協助一些發生過程不明確或缺乏飛航資料記錄器之事故調查，如聲紋辨別、動力組件失效分析、空中解體有無爆炸之估算[8]。

國立成功大學航太所遙控飛機與微衛實驗室利用未知訊號分離(BSS)的方法來分離座艙通話紀錄器所錄製的聲音，以提高聲音辨識率，同時利用了類神經網路(BP)來辨識聲音訊號，訊號資料庫的來源亦為實際錄製於民航機中的座艙，此實驗室所提出的聲音訊號分離證實可以有效提高辨識率，且聲音訊號分離與辨識的技術證實可以有效提供飛航失事調查與監視航空器之健康資訊。而鑒於飛機座艙內之聲音普遍具有位置固定之特性，若能將駕駛員語音或開關撥動聲響等發音位置加以定位，則更有助於協助調查人員判別飛行人員於失事前關鍵時刻之操作狀況，作為失事調查之佐證。本實驗室乃模仿生物對於聲音定位之原理，利用音源行進至不同受音器官間所造成的時間差(Time Delay of Arrival、TDOA)，找出可能的位置，達成音源定位之目的[7][8]。

四、研究方法

1. 噪音消除

3

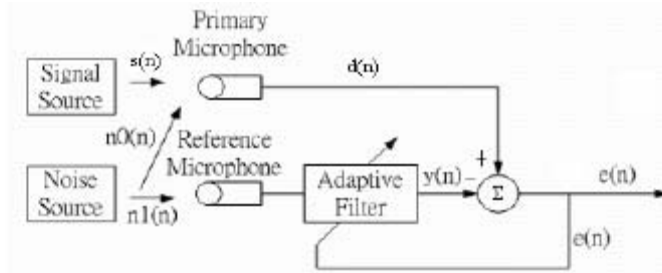


(圖一)空警隊直昇機於台南麻善橋失事之真實地面攝影機取得之影像、聲音及其頻譜圖

在圖一的上方顯示從CVR擷取出隨著時間變化的聲音波形，而圖的下方顯示隨著時間變化聲音訊號的頻率能量大小分布。從圖中發現前半段在直升機正常飛行時，其頻率能量最大之處（紅色部分）的變化並不劇烈，但是在直升機發生問題時，其頻率能量最大之處變化的很劇烈。在此我們先針對直升機在正常飛行時，設計出一套能消除由直升機螺旋槳所引起的噪音，如此即可得到乾淨的語音訊號，方便鑑定人員進行直升機失事鑑定。

傳統消除背景噪音的技術稱為適應性噪音消除(Adaptive Noise Cancellation, ANC)，而其基本概念如下：

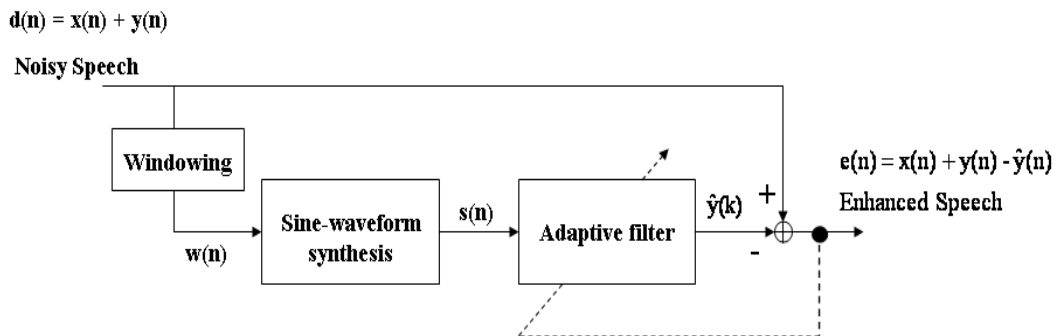
在圖二，我們中使用一個參考麥克風收集噪音源的信號 $n_1(n)$ ，此處的說話者的聲音信號通常較小或不易偵測得到，而主要麥克風收集說話者的信號量及避免不了的少量噪音 $n_0(n)$ ，前者的噪音可經由濾波後產生近似在聲音信號中的噪音成份 $y(n)$ ，再由後者的信號中加以扣除，那麼噪音信號就可以獲得消除或降低。但是由聲音信號中減去噪音信號時，如果沒有經由適當的處理，那麼將有可能導致雜訊功率的增加，這是因為信號傳送的管道(channel)特性常常無法事先獲知或經常是變動的。而這邊所謂適當的處理，就是利用適應性的濾波器，適應性的濾波器利用 $n_1(n)$ 及估測誤差 $e(n)$ 來調整適應性濾波器的係數，使 $e(n)$ 的均方(mean-square)值 (即平均功率) 最小，來達到消除聲音信號中的噪音。假使 $e(n)$ 值表現出良好的收斂行為，那麼就表示適應性濾波器有因適應性調整而表現出良好的通道特性。



(圖二) 傳統式適應性噪音消除架構圖

傳統的適應性噪音消除中，我們是需要兩組麥克風來進行錄音，但是實際上我們只能拿到一組聲音檔來進行噪音濾除，所以傳統的適應性噪音消除是需要做一些改變來符合我們的需求。單通道適應性噪音消除即為我們所提出的解決方案。

◆ 單通道適應性噪音消除 (Single Channel Adaptive Noise Cancellation)

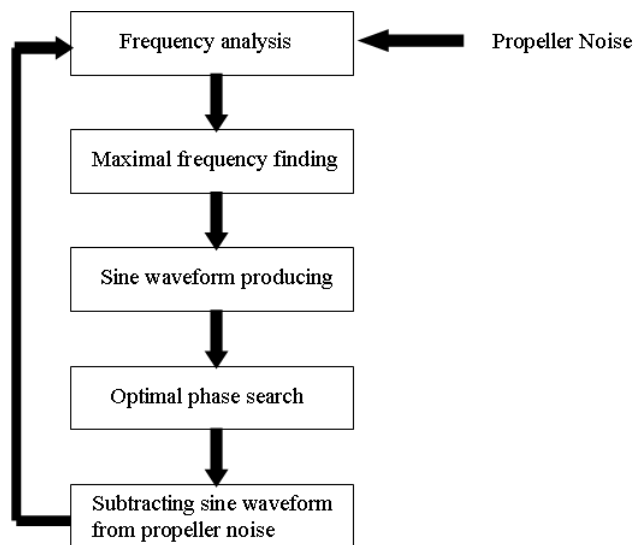


(圖三) 單通道適應性噪音濾除架構

圖三為單通道適應性噪音濾除的架構，其工作原理是先從 CVR 所錄的信號經過 Windowing 取得完全只有噪音的部份 $w(n)$ ，在把此噪音輸入到正弦波合成演算法做處理，正弦波合成演算法在此最主要的目的是計算出噪音訊號中數個最主要的頻率及其振幅和相位，並以正弦波合成的方式來產生另一組近似噪音的訊號，來當作適應性濾波器的輸入，而適應性濾波器利用正弦波合成訊號及估測誤差 $e(n)$ 來調整適應性濾波器的係數，使 $e(n)$ 的均方(mean-square)值 (即平均功率)最小。經過適應性濾波器濾波之後的輸出信號 y 來消除 CVR 所錄的信號的背景噪音信號 d ，使得最後 CVR 所錄的信號中背景噪音成分能夠被消除到最小，最佳的情況是背景噪音能夠被消除到零，但是最佳的情況在實做上具有一定程度的不確定性，所以我們以將背景噪音消除到能夠清楚判斷語音的內容為目標。

下面針對單通道適應性噪音消除中的核心部份做詳細的說明：

◆ 正弦波合成演算法 (Sine-waveform Synthesis Algorithm)



(圖四) 正弦波合成演算法的流程圖

圖四為正弦波合成演算法的流程圖，在取得部份噪音訊號之後，我們針對此噪音訊號進行快速富利葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)，並可以得到噪音的頻譜資訊，接著在此頻譜資訊中找到最大頻率成份，並做快速富利葉逆轉換(Inverse Fast Fourier Transform, IFFT)，就可以取的此頻率成份的振幅值，接著產生一個相同振幅及頻率的正弦波，並與原來的噪音訊號做比對，找到最佳的相位，如此一來即可找到噪音訊號的第一個主要成分，再從噪音訊號中把此主要成分刪除，在進行上述動作，直到噪音訊號變成白雜訊(White noise)即可停止。如此一來就可以從噪音訊號估測出數個最主要的頻率成份來進行正弦波合成，產生一個近似噪音的訊號，來當作適應性濾波器的輸入。

◆ 適應性濾波器 (Adaptive Filter)

一般來說噪音系統會因為噪音源的改變或是系統的內部或外在環境的變化，而具有不確定性，因此需要適應性控制的應用。『適應』的意思就是在環境改變時，能夠改變自身的行為來習慣環境。而一個適應性控制器就是在受控體的參數和外界干擾改變時，能夠修改自己的狀態，以配合環境。而適應性控制包含適應性演算法與數位濾波器，而數位濾波器的形式較多人使用的有 FIR 濾波器與 IIR 濾波器，而 FIR 濾波器由於是全零點的架構，所以其本身是絕對穩定的，且可以得到精確的線性相位，但會有階數過多而影響處理時間過長的疑慮，所以需要針對問題來選擇適當的階數，而 IIR 濾波器由於是極點與零點的架構，所以會有穩定性的問題，但是也因為其同時具有極點與零點，所以其能使用較少的階數去近似物理架構，但由於在調整權種值期間還必須同時監測其極點是否有跑到單位圓之外，如此會增加處理的時間，所以如果要將 IIR 濾波器使用在實際的即時應用上，還需要做更多的研究。由於適應性演算法的種類很多，所以我們只根據我們有使用到的適應性演算法做介紹：最小均方(LMS)演算法。

● 最小均方(LMS)演算法

LMS是最被廣泛使用的濾波器演算法，最大的特點就是簡單。運算過程只有加法、乘法，而且它也不需要對相關函數(correlation function)做計算，更不需要複雜的反矩陣運算(matrix inversion)，所以經常被拿來用作比較的基準。

LMS 演算法是使輸出誤差信號的平均平方值 e^2 最小化 (mineralized)，而其定義為

$$J(n) = e^2, n = 0, 1, 2, \dots$$

目標信號的估測值與真正目標信號的差就是所謂的估測錯誤 (estimation error)，而 $e(n)$ 的定義為

$$e(n) = d(n) - \hat{w}^T(n) \cdot x(n)$$

而 $d(n)$ 為期望值 (desired value)。 $w(n)$ 為時間點 n 時權重係數向量(weight coefficient vector)，其展開式為：

$$w(n) = [w_0 \ w_1 \ \dots \ w_{L-1}]^T$$

$x(n)$ 是輸入向量 (input vector)，其展開式為：

$$x(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-L+1)]^T$$

其中 L 為濾波器階數 (filter order)。所以 LMS 演算法，其著重於調控系統期望值 $x(n)$ 與濾波器輸出 $y(n)$ 之差 $e(n)$ ，其演算法不斷更新修改演算中之權重係數向量 $w(n)$ 值，並使得 $e(n)$ 平方最小，使誤差趨近於零。

以下為LMS演算法之計算式：

$$\text{Filter output : } y(n) = \hat{w}^T(n) \cdot x(n)$$

$$\text{Estimation error : } e(n) = d(n) - y(n)$$

$$\text{Tap - weight adaption : } w(n+1) = w(n) + \mu[x(n) \cdot e(n)]$$

各參數的描述如下：

n ：目前時間索引值 (The current time index)

$x(n)$ ：輸入向量 (The vector of buffered input samples at step n)

$w(n)$ ：係數向量 (The vector of filter weight estimates at step n)

$y(n)$ ：輸出資料 (The filtered output at step n)

$e(n)$ ：誤差值 (The estimation error at step n)

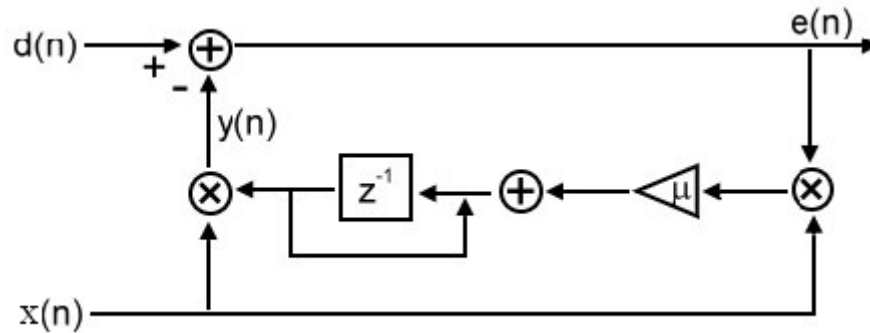
$d(n)$ ：期望值 (The desired response at step n)

μ ：步階值 (The adaptation step size)

LMS演算法其步階參數 μ 值的取捨問題卻相當的重要， μ 值用來調整加權參數的修正速度，若 μ 值選取過小的話，收斂速度會過於緩慢，若是選取過大時，則是會造成收斂不穩定，導致發散，所以找尋最佳的 μ 值是LMS演算法很大的課題。 μ 值的選取上有一定的限制，收斂條件為：

$$0 < \mu < \frac{2}{\sum_{k=0}^{L-1} E\{|x(n-k)|^2\}}$$

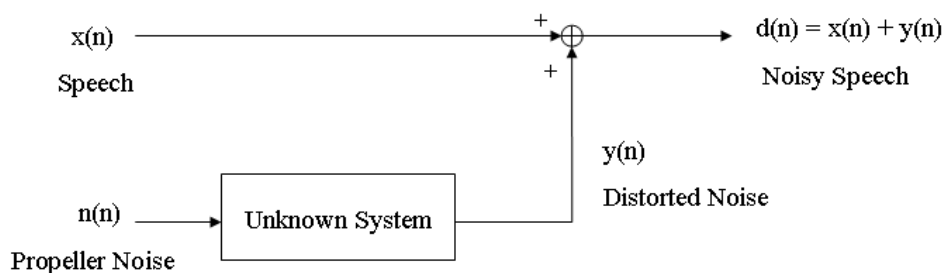
(圖五)為LMS演算法資料流程圖



(圖五) LMS演算法資料流程圖

● 研究模擬結果

本研究噪音消除的實驗資料檔案可以藉由圖六所示來產生



(圖六) 實驗資料產生方塊圖

其中 $x(n)$ 在此用兩組測試語音資料，分別是男生語音資料及女生語音資料，而直升機螺旋槳噪音 $n(n)$ 由飛安會所提供的測試資料。 $n(n)$ 會通過一個 Unknown system 產生一個被破壞的直昇機螺旋槳噪音 $y(n)$ ，其中 Unknown system 在此設計為一個具延遲效果的低通濾波器以符合現實上的需求，因為真實直昇機螺旋槳的噪音在被 CVR

所錄音之前，都會經過空氣傳播到 CVR，因此使直昇機螺旋槳的噪音產生延遲及低通濾波的效應，故我們把空氣視為一個具延遲效果的低通濾波器，以更符合真實情況。d(n) 就是我們需要做噪音消除的語音資料檔案。在此所有的實驗資料的取樣頻率為 16k Hz，同時解析度為 16bits。為了評估噪音消除的能力，我們使用 SNR_{in} 與 SNR_{out} 來當作噪音消除的評估參數。以下說明這兩個參數的定義：

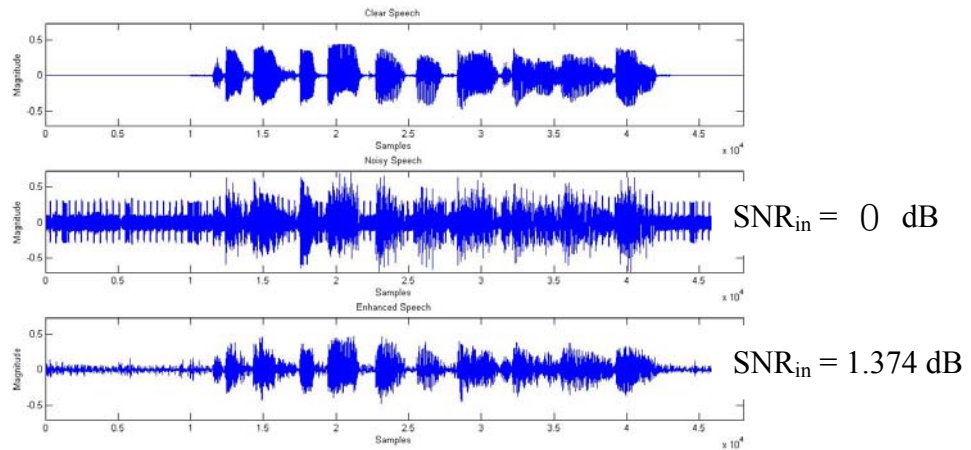
$$\text{SNR}_{\text{in}} = 10 \cdot \log \frac{\sum_{n=1}^N x^2(n)}{\sum_{n=1}^N y^2(n)}$$

$$\text{SNR}_{\text{out}} = 10 \cdot \log \frac{\sum_{n=1}^N x^2(n)}{\sum_{n=1}^N [e(n) - x(n)]^2}$$

其中 x(n) 是乾淨的語音，y(n) 是直升機螺旋槳噪音而 e(n) 是經過噪音消除後語音。

➤ 模擬結果一

圖七為模擬結果一，我們從圖上可以看當 SNR_{in} 為 0dB 時，雖然噪音存在但是我們還是可以清楚的看到語音波形的存在，經過噪音消除之後的語音，可以發現與乾淨語音差異不大。

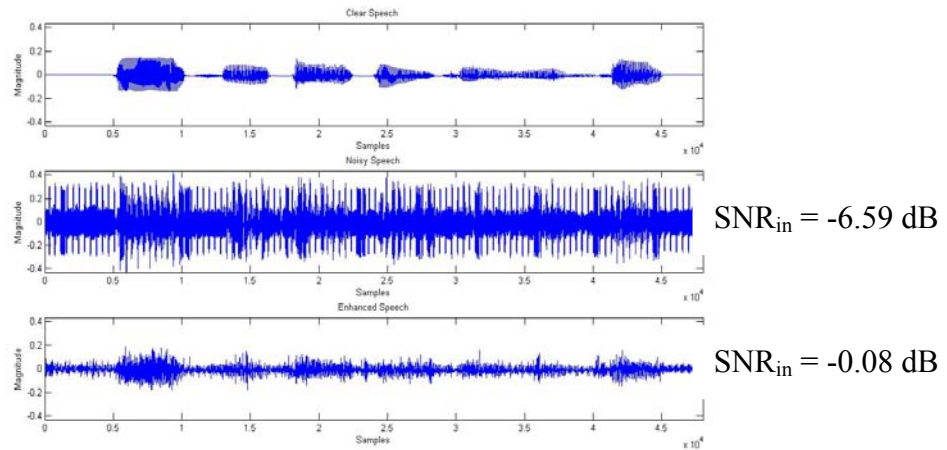


(圖七) 直升機螺旋槳噪音消除結果

- (a) 乾淨語音
- (b) 含有直升機螺旋槳噪音的語音
- (c) 經過噪音消除後的語音

➤ 模擬結果二

圖八為模擬結果二，可以發現未經過噪音消除的語音從波形上看很難清楚了語音到底存在何處，經過了噪音消除的語音可以清楚的發現他們的波形位置。

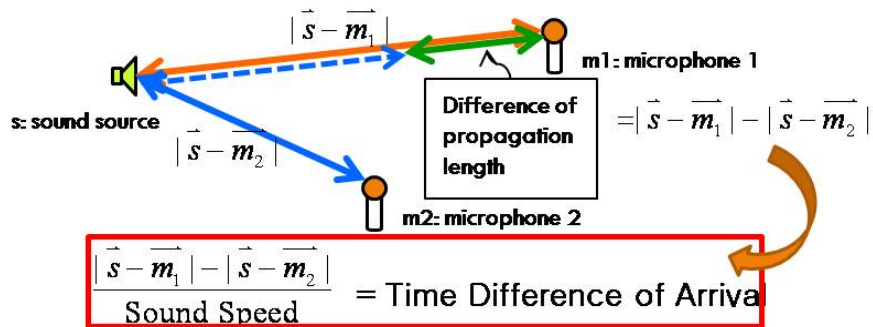


(圖八) 直升機螺旋槳噪音消除結果

- (a) 乾淨語音
- (b) 含有直升機螺旋槳噪音的語音
- (c) 經過噪音除後的語音

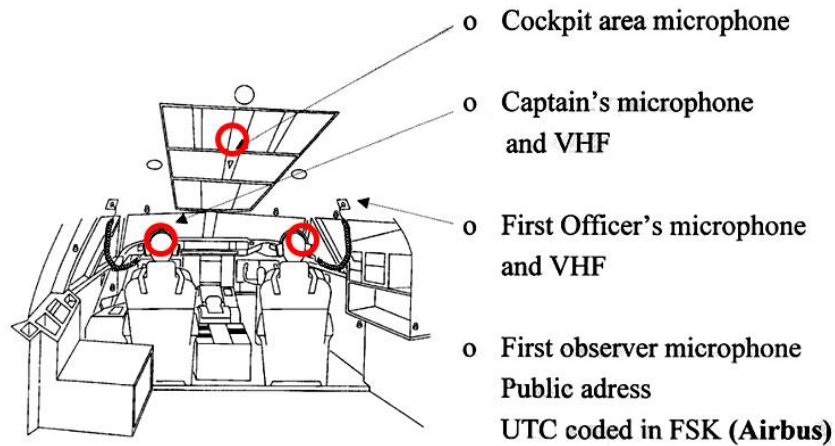
2. 音源定位

鑒於飛機座艙內之聲音普遍具有位置固定之特性，若能將駕駛員語音或開關撥動聲響等發音位置加以定位，則更有助於協助調查人員判別飛行人員於失事前關鍵時刻之操作狀況，作為失事調查之佐證。對於聲音定位之原理，我們利用同受音器官間所造成的時間差(Time Difference of Arrival, TDOA)，找出可能的位置，達成音源定位之目的。



(圖六) 抵達時間差

TDOA方法，其計算流程主要可分為兩步驟：首先；量測並計算單一音源抵達一組不同麥克風時所造成的時間差，其次；再利用此一量得的時間差反推回音源當時之發音位置，其中我們利用交相關(Cross-correlation)法則來求得聲音抵達艙內麥克風組時之時間差異。



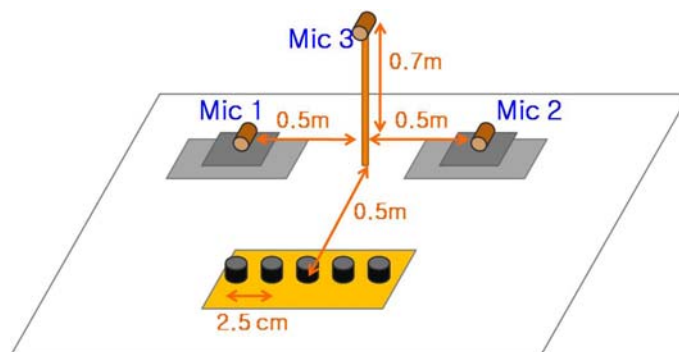
(圖七) 機艙內麥克風配置

而相較於座艙內開關配置的普遍固定性，座艙內的收音麥克風也有相對的固定關係，有固定於座艙上方的艙頂麥克風，以及正副駕駛配帶的通話麥克風，在正副駕駛沒有太大的移動的前提下，我們可以先假設麥克風是位於固定的位置，由此我們發展出兩種定位的方式：

◆ 使用預先建立的TDOA表格定位

使用這種方式的原因在於，各種機型本身的操作面板基本上是相同的，因此我們可以事先或是事後對於需要定位的機型進行所有開關的聲音錄製，並且將其計算出的抵達時間差（TDOA）製作為對應各個開關的對照表，我們就可以將此對照表用於同種機型的聲源定位上面。

而進行模擬的聲源及麥克風配置圖如下。



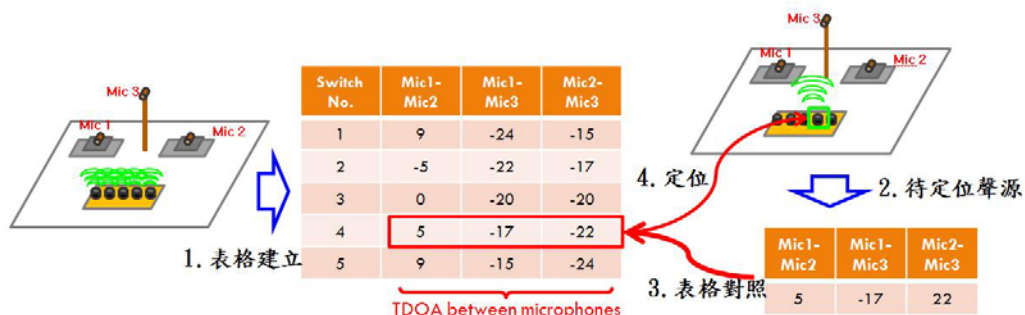
(圖八) 模擬聲源及麥克風配置圖

模擬進行步驟如下

1. 從已知的聲源麥克風之間的幾何相對位置以及先行錄製的開關聲響，運算出各個聲源到達麥克風後的位移狀況
2. 求出錄製到的三聲道資料的抵達時間差表格
3. 再利用所設定的位置的麥克風聲源幾何關係，以及第二次錄製的開關聲

(與第一次聲響有所不同，以求模擬與實際狀況間的近似) 計算出聲源到達麥克風後的位移並求得抵達時間差

- 將上一步驟的結果與之前製作的抵達時間差表格進行比對，看是否能夠達成定位

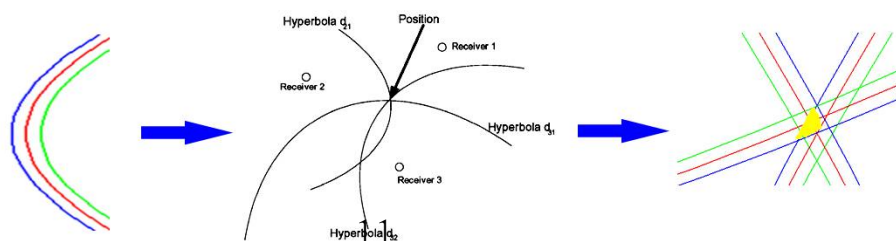


(圖九) 定位步驟示意圖

而以上的模擬是基於麥克風與聲源固定，並且沒有任何噪音與因為取樣頻率造成的誤差所影響的結果，而接下來若將取樣造成的誤差及噪音造成的誤差考慮進來，定位的差異可以使用最小平方法 (least squares) 消除。

◆ 位置驗證法

位置驗證法也是基於座艙開關與麥克風位置的確定性而發展的，但與表格對照的方式比較起來，前一種方法所記錄的抵達時間差值是基於數位錄音與計算出來的結果，因此一個抵達時間差的值是代表著前後半個時間差值的範圍，因此這種方法是將已知的所有可能的聲源位置代入由抵達時間差值所共同負蓋的範圍，可由此驗證出聲源是由哪個位置的開關所發出的。



(圖十) 抵達時間差所共同負蓋的範圍

由抵達計算時間差的基本公式

$$\frac{|\bar{s} - \bar{m}_1| - |\bar{s} - \bar{m}_2|}{\text{Sound Speed} \times T_s} = \frac{\text{TDOA}}{T_s} = \text{STDOA}$$

可推得將前後的可能範圍以四捨五入的方式回復，即可得到一個抵達時間差值所代表的

是一個可能的時間帶

$$\text{STDOA} - 0.5\text{sample} < \frac{|\bar{s} - \bar{m}_1| - |\bar{s} - \bar{m}_2|}{\text{Sound Speed} \times T_s} \leq \text{STDOA} + 0.4\text{sample}$$

因此我們即可以已知的所有開關位置一一代入驗證。

五、 結果與討論

以傳統適應性噪音消除的作法是需要兩筆資料來達成噪音消除，但是實際上我們很難有兩筆資料可以供我們使用，以座艙語音的特性而論，螺旋槳的噪音具有周期性及統計上的特性，而可以簡單的多個正弦波去做合成。故我們發展的一套單通道噪音消除的技術，其原理是利用正弦波合成演算法去製作一個參考訊號，將參考訊號輸入適應性濾波器後以消除螺旋槳的噪音，最後輔以線性估測濾波器去消除一些噪音的殘餘。

從模擬結果來看，可以發現 SNR 有明顯的改善，也成功的把直升機螺旋槳的噪音消除。

由定位的模擬可知，精準的座艙內音源定位是有其可能性的。我們利用對於座艙開關還有麥克風位置的事前資訊，發展出以對表格以及位置代入驗證這兩種獨特、簡單的演算法來定位。以其中模擬用的幾何配置，我們得到了在44.1kHz的取樣頻率下，至少有2.5公分以下的精準度，以理論上而言，甚至可達到0.8公分左右的精確度。

但是若模擬的假設不存在，也就是麥克風會有移動的情況下，定位的精準度會嚴重地下降，因此未來必須發展出將麥克風移動的可能性考量進去的擴充表格及位置驗證方式。

未來仍需繼續進行的部分包括：一、更強健的抵達時間差估測方式，因為必須繼續將背景噪音、聲源在機艙內傳遞所造成的變形、以及取樣頻率若是比模擬的情況更低下時，所造成的精準度下降等情況，都考慮在內。二、對於麥克風的位置，實際上只能以概略的方式得到位置，並且若將駕駛員的移動考量在內的話，目前的兩種方法都會因此失去定位準確度，因此對於麥克風位置的不確定，定位的方式勢必從找出「哪一個」開關退化為找出「哪一區」的開關，對此，將表格擴充已符合實際狀況的演算法還需要持續研究。

未來的工作還有將目前的兩種方法利用實驗的方式來進行驗證，並且將之與目前現有的定位方式進行比較。除了對於聲源的定位之外，對於開關種類的辨識也是對於定位會有直接幫助，因此開關聲音的辨識也是在未來進行研究的項目之一。

參考文獻：

- [1] 戎凱、官文霖、蘇水灶， “黑盒子解讀能量之建立與飛安關係，” 民航季刊第一卷第一期，PP. 99-115，三月，八十八年。
- [2] 官文霖、梁群， “飛航紀錄器於飛航事故調查之應用，” 行政院飛航安全委員會，2004
- [3] Aviation Occurrence Reports, “A Safety Study Of Piloting Skills, Abilities, And Knowledge In Seaplane Operations,” Report No.- 93001, Transportation Safety Board of Canada, 1993.
- [4] Aircraft Accident Report, “Wheels-Up landing continental airlines flight 1943 DC-9N10556,” National Transportation Safety Board, Feb. 1966.
- [5] Aircraft Accident Report, “Fairchild Aircraft Model SA227-AC VH-NEJ, Tamworth, NewSouth Wales,” Investigation report- 9503057, Bureau of Air Safety Investigation, Sep. 1995.
- [6] E. W. Paintin, “Getting value from your flight data,” Proceedings of 10th annual European Aviation Safety Seminar, pp. 42 ~ pp.46, Mar. 1998.
- [7] 韓相宜， “座艙通話紀錄器之聲音訊號分離與辨識之研究”，國立成功大學航空太空工程所碩士論文，2002
- [8] 陳鈺淳， “飛機駕駛艙之音源定位分析研究”，國立成功大學航空太空工程所碩士論文，2003

可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利

 可技術移轉

 日期：97年4月29日

國科會補助計畫	計畫名稱：座艙聲紋分析系統之研發 計畫主持人：陳永耀 計畫編號：NSC95-3114-E-002-004- 學門領域：
技術/創作名稱	座艙聲紋訊號之噪音消除
發明人/創作人	劉致廷、黃璿、陳永耀、蔡坤諭
技術說明	<p>中文： 本計畫利用適應性濾波器基於主要頻率合成及線性預估誤差濾波器來實現單通道噪音濾除。適應性濾波器基於主要頻率合成主要是用來消除螺旋槳噪音；而線性預估誤差濾波器主要是用來消除語音中的餘值噪音訊號。如此，可以清楚辨識駕駛員的語音內容以幫助調查失事原因。</p> <p>英文： Adaptive filter based on the principal frequency synthesis and linear prediction error filter are used in this project to perform single-channel noise filtering. The principal frequency synthesis process is used to reduce the propeller noise, while the linear prediction error filter is used to reduce the noise in the remaining voice signal. The technique is able to reduce the noise in the recording such that a pilot voice can be identified for accident investigations.</p>
可利用之產業及可開發之產品	本技術可用於飛行器失事事件調查，可利用之產業包括政府相關機關、航空公司、安全顧問公司。可開發之產品為語音處理軟體。
技術特點	本技術主要針對飛機駕駛座艙之聲音訊號紀錄，進行噪音消除，以便取得失事前之各種座艙語音及訊號，做為失事調查之依據。處理之方式基本上以座艙環境為主要假設。
推廣及運用的價值	本技術之推廣與運用價值主要是在協助釐清飛機失事原因，對增進飛航安全應有相當之價值。

※ 1.每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

※ 2.本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

※ 3.本表若不敷使用，請自行影印使用。