



應用壓電聲學元件於母牛分娩聲紋監測

Application of Piezoelectric Transducer for Monitoring of Cows Parturition Voiceprint

沈煜棠 Y. T. Shen¹、陳水財 S. T. Chen²

工研院(ITRI) 智慧感測與系統科技中心¹研發副理
農業部(MOA) 畜產試驗所 技術服務組²副研究員

摘要/Abstract

畜牧產業在全球經濟產業鏈當中扮演相當重要的角色，由傳統的自然放牧與圈養，直到現代因科學技術進步，在生物學、遺傳學以及工業機械的蓬勃發展之下，家畜的養殖、繁衍、數量管理等均有突破性的發展。但在家畜之健康管理當中，往往須透過人力來做初步的監控。在牛隻身體異常或是分娩期間，其鳴聲將產生變化，因此畜牧業者可透過牛隻鳴聲之變化作為健康管理的初步監控指標。利用壓電聲學元件防水、防塵及高訊雜比等特性來進行母牛聲紋監測，搭配聲紋辨識演算法，發展建立聲紋辨識機器技術，偵測牛隻即將分娩的聲紋變化。利用母牛自動化分娩監測系統來預警母牛分娩事件，以取代人力長時間監控。經測試母牛分娩聲紋辨識系統，於單一場域內辨識率可達8成。

The animal husbandry industry plays a very important role in the global economic industry chain, from the traditional natural grazing and captivity, until modern times due to the progress of science and technology, under the vigorous development of biology, genetics and industrial machinery, livestock breeding, reproduction, quantity management and other breakthroughs have been developed, but in the health management of livestock, it is often necessary to do preliminary monitoring through manpower. When the cow is abnormal or during farrowing, its sound will change. Therefore, livestock farmers can use the change in the sound of cattle as a preliminary monitoring indicator for health management. The special lines of waterproof, dustproof and high signal-to-noise ratio of piezoelectric transducer are used to monitor the voiceprint of cows, and with the voiceprint recognition algorithm, the voiceprint recognition machine technology is developed and established to detect the voiceprint changes of cattle about to give birth. The automatic farrowing monitoring system of cows is used to warn of cow parturition events to replace manual long-term monitoring. After testing, the cow delivery voiceprint recognition system can achieve a recognition rate of up to 80% in a single field.

關鍵字/Keywords

壓電效應(Piezoelectric Effect)、分娩(Parturition)、聲紋辨識(Voiceprint Recognition)



前言

澳洲雪梨大學博士生亞歷山德拉(Alexandra Green)在2019年12月《Scientific Reports》發表研究發現，乳牛所發出的聲音具有意義，牛會透過叫聲來表達當下的情緒，不同乳牛的叫聲也有明顯不同，亞歷山德拉認為這項研究有助於酪農業應用，因此透過建構資料庫分析乳牛的情緒狀態。目前母牛分娩還是以人力進行定時巡檢，由於母牛分娩過程只持續半小時到一個小時，如果可以預告分娩或提早通知人員助產，施以適當協助，將可提高分娩成功率，也能維護牧場的經濟效益。

壓電麥克風採用單層薄膜設計，沒有振膜和間隙結構，所以不會因為污染物影響靈敏度和頻率響應，另外也不存在電容技術性能隨時間下降的問題，其具備防水、防塵、超高聲學過載點、消除迴聲等特性。而牧場通常為高濕度及高粉塵環境，且規模通常為大型場域，需要高耐用性及高訊雜比的麥克風進行收音方可取得高品質的聲紋資料，俾便相關辨識程序的開發和應用。

壓電效應及壓電麥克風

壓電性(Piezoelectricity)是一種機械(彈性)能與電能之間的能量轉換現象。早在1880年由Jacques與Pierre Curie兄弟發現某些晶體材料在機械力作用下會產生極化現象，並導致在材料兩端出現極性相反的束縛電荷(Bound Charge)，此種由機械力的作用而產生表面電荷的現象稱為壓電效應(Piezoelectric Effect)。壓電材料即是具有壓電性之材料，而對一結晶體(Crystal)

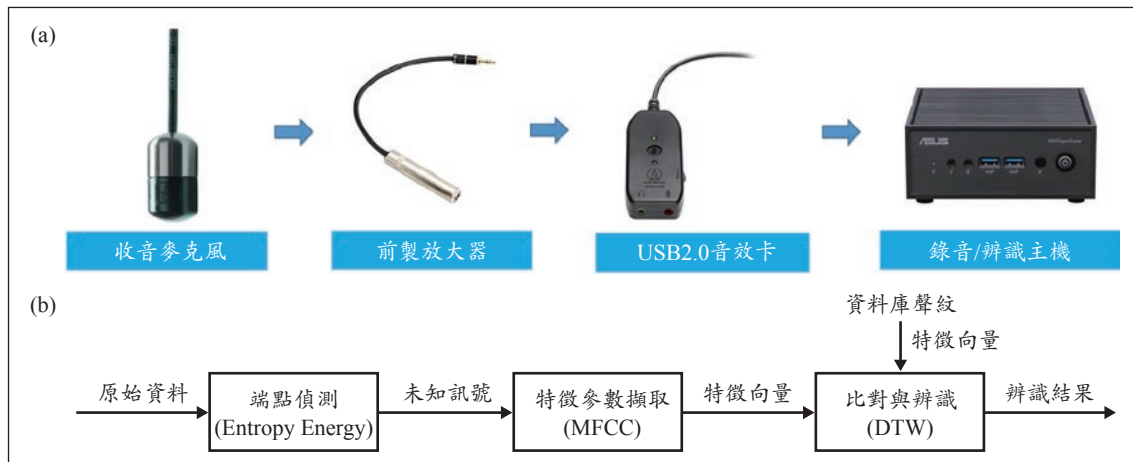
材料而言，其成為壓電材料之先決條件為非對稱中心(Noncentrosymmetry)之晶體結構，亦即是它的正電荷中心與負電荷中心不在同一位置上。所謂「正壓電效應」(Direct Piezoelectric Effect)即當壓電材料被施以一機械應力(Stress)時，壓電材料的兩端分別產生極性相反且與應力大小成比例的電荷；反之「逆壓電效應」(Converse Piezoelectric Effect)和正壓電效應有相反的現象，即當壓電材料被施以一直流電場，材料會產生一應力使晶體產生形變。

壓電麥克風採用單層薄膜設計，沒有振膜和間隙結構，所以不會因為污染物影響靈敏度和頻率響應，也不存在電容技術性能隨時間下降的問題，具備防水、防塵、高訊號雜訊比和消除迴聲之特性。高訊號雜訊比的優點是可以錄製很微弱的訊號，因此適合遠距離採集。

牧場為了控制溫度和飼料粉塵問題，通常為高濕度、高粉塵、高對流的環境，而且規模通常為大型場域，需要高耐用性及高訊雜比的麥克風進行收音方可取得高品質的聲紋資料，以方便相關辨識程序的開發和應用。另外壓電麥克風沒有振膜和間隙結構，所以其在使用時可以大幅降低因高對流環境下造成的風切噪音。

聲紋收集、分析與辨識

聲紋收集設備如圖一(a)所示，包含「收音麥克風」、「放大器」、「音效卡」及「錄音/辨識主機」。其主要由收音設備和聲音擷取裝置組合而成，建置於母牛分娩舍，收音設備接入可錄音的聲音擷取裝置(並可設定定時錄音)，以內建記憶體進行儲存，並可將



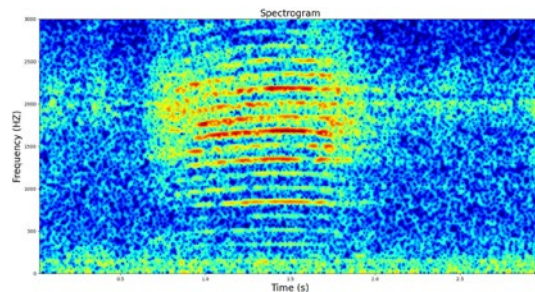
▲圖一 (a)聲紋收集設備；(b)聲紋特徵分析系統聲紋辨識演算法流程圖

錄音資料透過網路傳送到資料庫主機。

收音麥克風使用Aquarian所生產的H1A麥克風，其為壓電麥克風設備，收音範圍為1~100 kHz，母牛聲音範圍約在3 KHz以下，可完全符合母牛聲紋監測。收音麥克風另外使用其專屬的前置放大器PA1來進行聲紋的放大，其約有10 dB增益，可符合場域收音需求。透過具PIP (Plug-in Power)的音效卡將聲紋擷取到主機內，以安裝於主機內的聲紋前處理程序（濾波、正規化等）和聲紋分離程序，達到聲紋擷取目的。程式開發可將聲紋做即時的端點偵測，將母牛的聲紋標記並擷取出來，不須通過人力整理牛鳴聲資料標註。

在聲紋辨識(Voiceprint Recognition)演算法中，主要有以下三步驟(圖一(b))：端點偵測、取得特徵參數以及比對與辨識。

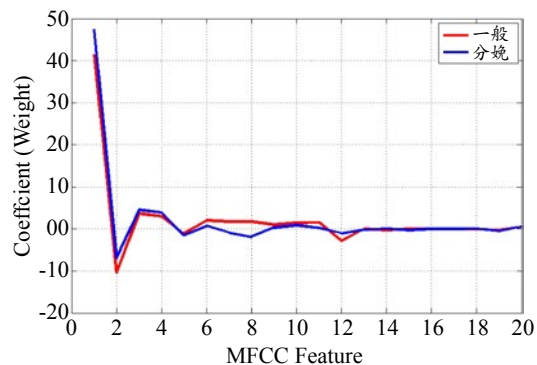
①端點偵測：由於所錄製的聲音資料過長，且大多數資料時間並無特殊事件發生，所以利用聲音頻譜能量強度的Entropy將有事件的聲音時間段挑出來。而當聲音



▲圖二 牛鳴時頻譜圖範例

在頻譜上出現事件時（聲音能量在頻譜上較集中），所計算出來的Entropy會較小，故可以設定門檻，將低於門檻的聲音挑出來，當作聲音的端點。圖二為所擷取之牛鳴時頻譜圖範例。

②特徵參數擷取：母牛聲紋在取得端點偵測結果之後，將擷取後的區段利用梅爾倒頻譜係數(Mel-Frequency Cepstral Coefficients; MFCC)法取得其特徵向量。其主要概念為將聲音訊號模擬人耳對於聲音頻率聽覺特性非線性，在低頻訊號具有較高之音頻解析度，高頻則反之。圖三為



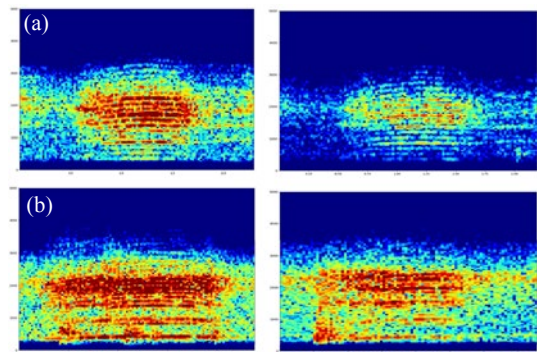
▲圖三 一般鳴叫聲樣本以及分娩時期樣本之特徵參數向量比較圖

一般常態鳴叫聲樣本及分娩時期鳴叫聲樣本，透過MFCC所取得之20維特徵參數向量，橫軸為特徵向量階層，縱軸為特徵能量，並將兩種不同事件之特徵參數平均後進行比對可以發現，大致上特徵參數向量趨勢相近，而在7至9階層處有較明顯差異，此特徵可供後續進行進一步演算法之輸入參數優化，強化兩種事件於特徵參數向量上之差異。

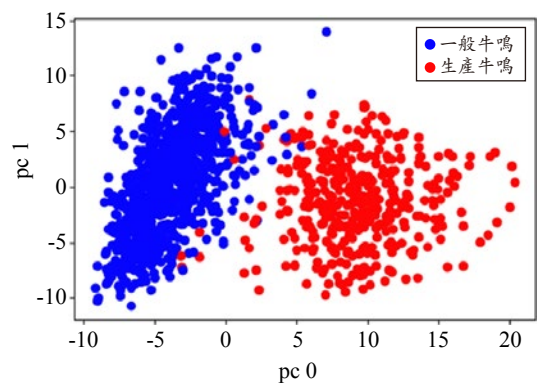
③比對與辨識：由於聲學訊號歷時時間長度皆獨立，比對時常會面臨長度不相同之情形，無法直接透過歐基里德公式來計算向量間距離，本案利用動態時軸校正法(Dynamic Time Warping; DTW)作為特徵向量比對演算法，DTW為一種語音辨識中常使用的比對方式，其特點在於可將欲比對之特徵向量進行延伸或是縮短，再取得兩向量相似度。

辨識結果

在牛鳴時域頻譜圖內(圖四)，一般牛鳴較為短促且較為高亢(低鳴頻段分布較少)，而生產牛鳴的聲音較為長且低鳴能量



▲圖四 (a)一般牛鳴；(b)生產牛鳴之鳴叫樣本



▲圖五 牛鳴主成分分析

較為密集，因此將牛鳴長度及低鳴聲量密度作為主要成分分析的係數進行分類，可得如圖五之分類圖形，一般牛鳴聲(藍)與生產牛鳴聲(紅)在特定特徵向量上存在明顯差異。利用係同擷取系統之牛鳴資料，將一般牛鳴803筆和生產牛鳴547筆資料進行比對，其正確率均可大於8成以上。☑

誌謝

本研究為經濟部科專委託辦理之「農工智慧轉型關鍵協作與示範計畫」研究成果，特此感謝。



參考文獻

1. Volker R., “Vocalization as an indicator of estrus climax in Holstein heifers during natural estrus and superovulation”, Journal of Dairy Science Vol. 101 No. 3, (2018), pp. 2383.
2. Alexandra Green, “Vocal individuality of Holstein-Friesian cattle is maintained across putatively positive and negative farming contexts”, Scientific Reports (2019) 9:18468.
3. 趙明燦, 「MEMS麥克風比一比：壓電式vs.電容式」, EE Times Taiwan, EDN China, 11/08/2019。