動物生活的科學現象個人期末報告

電機資訊學院學士班大三 陳禹之 112000120

選擇方向：方向一（已成熟的仿生創新應用）

探討案例：奧米亞蠅（Ormia ochracea）聽覺機制與 MEMS 指向性麥克風

一、 動機

我是電資院學士班輔系音樂，在實作專題處理即時音訊訊號與開發相關軟硬體時，我發現前端硬體收音的精準度，對後端演算法（如音訊視覺化、空間音效運算）有著決定性的影響。然而，傳統的微型麥克風難以在維持體積輕薄短小的同時，又兼顧過濾背景噪音與辨識聲源方向這兩個功能，但回想自然界的生物為了躲避天敵、判斷移動方向，大多具有敏銳的感官或機制能夠準確的辨識聲源方向或特定頻率的細微聲音。因此，我對仿生聲學產生濃厚的興趣，希望藉由這次的期末報告探究大自然是如何在極微小的實體尺寸下解決聲音定位的難題，並深入了解這項生物機制是否已經成功被轉化、甚至是量產或應用於現代的系統之中。

二、 內容介紹：Soundskrit 仿生微機電指向性麥克風



圖(一) Soundskrit 的 0600 和 0400 系列定向 MEMS 麥克風

(圖片來源：https://soundskrit.ca/zh/products/)

本報告探討的具體案例，是由美國紐約州立大學（Binghamton University）研究團隊發跡，並成功由新創公司 Soundskrit 進行商業化開發的「仿生微機電（MEMS）指向性麥克風」。該產品完美重現了寄生蠅「奧米亞蠅（Ormia ochracea）」的聽覺機制，解決了傳統麥克風在極小尺寸下難以辨識聲音方向的物理限制。

1. 生物原理：

人類與多數哺乳動物依賴雙耳接收聲波的「時間差」與「音量差」來辨別聲音方向（例如：聲音先到達左耳，大腦便判定聲源在左方）。然而，奧米亞蠅的雙耳間距僅有約 1.2 毫米，聲波到達雙耳的時間差甚至小於 50 奈秒，其神經系統理應無法處理如此微小的差異。

生物學家發現，奧米亞蠅演化出一種極為特殊的機械耦合結構（Mechanical Coupling）。牠的兩個鼓膜之間由一座宛如蹺蹺板的堅硬幾丁質橋樑連接，當特定頻率的聲波從某一側傳來時，聲波會推動一側的鼓膜，透過這座橋樑產生槓桿效應，連帶牽動另一側的鼓膜產生反向的放大運動。這種機械結構會把原本非常小、幾乎難以測量的時間差，放大成較明顯的振動差異，因此即使耳朵距離極短，奧米亞蠅依然能辨識聲音方向，使其能精準定位遠處宿主（蟋蟀）的位置。

2. 具體案例與技術轉化：Soundskrit 仿生 MEMS 麥克風

傳統的消費性電子產品（如智慧音箱、耳機）為了達成「指向性收音」與「降噪」，通常必須安裝陣列麥克風（多顆麥克風），並耗費大量的邊緣運算算力進行傳統的數位訊號處理（DSP）以計算時間差。但當產品體積縮小，麥克風之間的距離過短時，這種演算法就會失效。

新創公司 Soundskrit 直接捨棄了傳統的聲壓感測與多麥克風陣列方法，將奧米亞蠅的機制實體化為 MEMS 晶片，其具體的技術轉化步驟如下：

1. 工程師利用半導體蝕刻技術，在單一矽晶片上打造出一片具有中央樞紐的微型矽晶薄膜，用這片薄膜模仿奧米亞蠅的幾丁質聽覺橋樑結構。傳統麥克風是透過感受聲波的壓力來震動，無法分辨方向；而這片仿生薄膜則是對聲波推動空氣的流速與方向（Acoustic flow）產生反應。
2. 當外界聲音從特定角度傳來時，矽晶薄膜會像蹺蹺板一樣產生不同傾斜角度的擺動。
3. 晶片底部的微型電容感測器會精準捕捉薄膜翹起的傾斜度與位移量，將這份物理運動直接轉換為數位電子訊號。

透過這種仿生設計，Soundskrit 成功製造出單一顆就能辨識聲音方向的微型麥克風。它不僅將原本需要複雜演算法才能做到的事，直接在硬體層就處理完畢，大幅降低設備的運算功耗，還把體積縮小到只有傳統麥克風的幾分之一（約四分之一指甲大小）。這項技術目前已被視為下一代高階助聽器、AR/VR 頭戴裝置以及智慧型手機中，實現空間音訊收音與抗噪的關鍵解決方案。

三、 心得與反思

在深入探究奧米亞蠅與 MEMS 麥克風的案例後，我對跨領域結合有了更深刻的體會。生物學家觀察動物習性，並研究出自然界演化出的機制原理，而電資與微機電工程師則把這些原理轉化成實際的產品。過去我在處理音訊相關專題時，通常比較習慣從後端演算法的角度思考問題，例如利用 DSP 做降噪或空間音效運算；但這次的仿生案例讓我發現，有些問題其實可以先從硬體本身的結構去解決。相較於後續再耗費大量算力進行複雜運算，透過仿生機械結構直接改善收音與方向辨識，反而是一種更有效率的做法。這種利用物理結構降低運算負擔的思維，也讓我對未來系統設計有了不同的想法。

此外，這個案例也讓我重新思考仿生技術產品化的可行性與遇到的困難，大自然經過長時間演化留下來的機制，往往具有很高的效率與很低的能耗，因此仿生技術確實是一個很有潛力的方向。不過，要把生物機制真正轉化成能量產的電子產品，其實還需要克服許多工程上的限制。例如我在查資料時發現，奧米亞蠅的聽覺結構本身是非常複雜的立體生物構造，但工程師必須把這些特性簡化成可以利用矽基半導體製程量產的 MEMS 結構，這不只牽涉到微機電蝕刻技術本身，也需要考量製程良率、材料成本以及是否能與現有電子產品整合。這讓我意識到，真正成功的技術不只是原理創新而已，還必須兼顧市場需求與實際量產的可行性，這也是這次報告中對我來說最有啟發性的地方。

四、 參考資料

1. Miles, R. N., Su, Q., Cui, W., Shetye, M., Garcia, F. E., Jones, B. T., ... & Ando, F. (2009). A low-noise differential microphone inspired by the ears of the parasitoid fly *Ormia ochracea*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *125*(4), 2013-2026.
2. The University of Texas at Austin. (2014, July 22). *Tiny device recreates fly's super-hearing power*. Cockrell School of Engineering News. https://cockrell.utexas.edu/news/tiny-device-recreates-flys-super-hearing-power/
3. Yu, M. (2018). Biomimetic directional microphones: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, *280*, 150-163.
4. Soundskrit. (n.d.). *Technology*. https://soundskrit.ca/zh/technology/

五、 生成式 AI 使用聲明

- 使用工具名稱： Google Gemini

- 使用範圍：協助篩選符合電資與聲學應用之成熟仿生案例、文章架構梳理，文章潤飾。
- 正確性驗證方式：
    - 由 AI 推薦奧米亞蠅案例後，本人已親自檢索 R. N. Miles 教授團隊之相關文獻及產品官網，確認 MEMS 元件的技術原理與量產應用現況。
    - 報告之動機與心得與反思皆為本人基於自身對於硬體開發及產品管理之理解親自撰寫定稿，其餘段落有使用 AI 協助閱讀文獻並自行理解。