



低功耗語音活動偵測晶片之呼吸訊號分類系統

Breathing Signal Classification System Based on a Low-Power Voice Activity Detection Chip

組別：晶片系統組

專題生：汪子晴

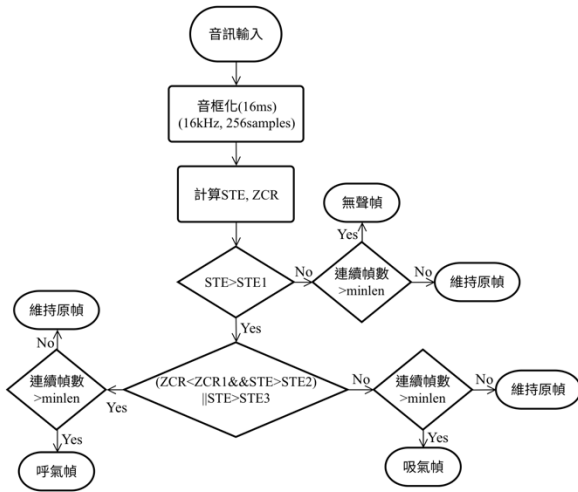
指導教授：朱元三 教授

摘要

本研究旨在設計一套基於語音活動偵測 (VAD) 之呼吸音訊分類系統，能自動化區分呼氣、吸氣與無聲段。由於呼吸聲在能量與頻率特性上與一般語音訊號顯著不同，傳統語音辨識前端模組不易直接套用，因此本研究專注於時域特徵的擷取與分析，提出以短時距能量 (STE) 與過零率 (ZCR) 組成之二階層判斷法，並搭配連續幀數門檻濾波以提升分類穩定性與抗雜訊能力。

在軟體層面，本研究方法於呼吸分類的準確率達 97.4%，優於其他方法而具備邏輯簡潔與硬體實作友善等優勢，被選定為系統主體。在硬體層面，最終分類準確率達 96.9%，驗證所提出架構在維持分類效能的同時，仍能實現低功耗與小面積之優勢。

系統流程圖



演算法

呼吸分類系統中的 VAD 模組，其主要目的為去除無聲段，並加以標注呼氣/吸氣，減少後級計算資料量並降低功耗。本研究使用時域特徵法：

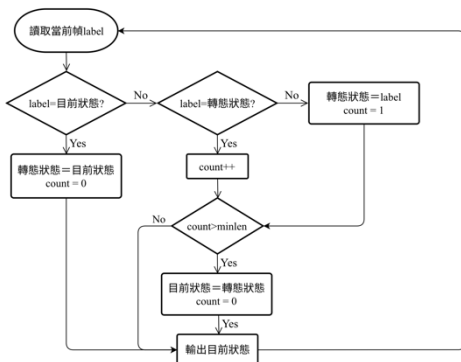
- 短時能量 (Short Time Energy, STE):

$$STE_n = \sum_{i=0}^{N-1} x_n^2(i)$$

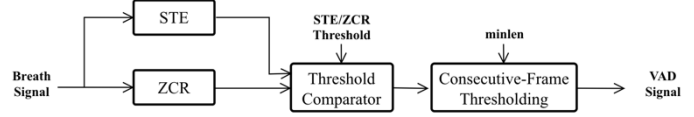
- 短時過零率 (Zero Crossing Rate, ZCR) :

$$ZCR_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} |sgn[x_n(i)] - sgn[x_n(i-1)]|$$

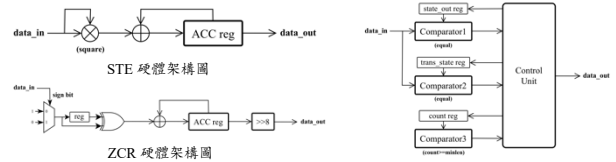
並後接連續幀數門檻濾波進行平滑處理，減少孤立的誤判點，進一步提升實際應用上的穩定性與抗雜訊能力。流程圖如下：



硬體架構圖

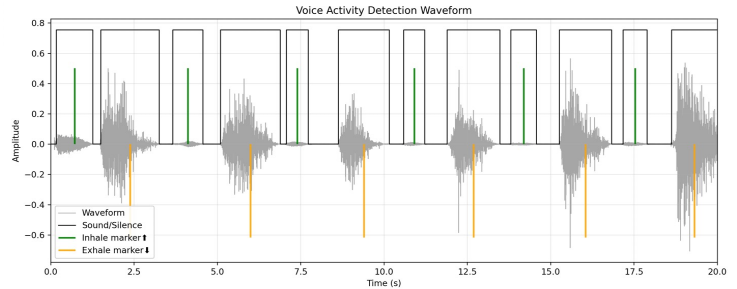


呼吸訊號分類系統硬體架構圖



連續幀數門檻濾波硬體架構圖

結果波形圖及準確率



| 二分類法系統架構 | 準確率 |
|----------|--------|
| VAD 軟體 | 98.0 % |
| VAD 硬體 | 97.4 % |

*二分類法：呼吸段/無聲段

| 三分類法系統架構 | 準確率 |
|----------|--------|
| VAD 軟體 | 97.4 % |
| VAD 硬體 | 96.9 % |

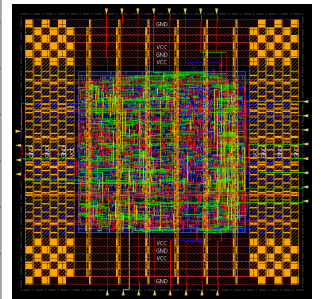
*三分類法：呼氣段/吸氣段/無聲段

| 單一門檻 STE [3] | 頻譜變化量[4] | 本專題 VAD 方法 |
|--------------|----------|------------|
| 92.8% | 96.4% | 98.0% |

三種方法於軟體層面之呼吸區段正確分類總準確率比較 (二分類法)

實作結果

| | |
|----------------------|------------------------------|
| Process Tech. | TSRI U18 |
| Core Utilization (%) | 70.2% |
| Period (ns) | 7.5 |
| Frequency (MHz) | 133.33 |
| Power (mW) | 2.0235 @133.33 MHz |
| Area | Core area (μm ²) |
| | 343.48 μm * 336.49 μm |
| Gate Count | 2918 |
| | |
| Core VDD (V) | 1.62 |



晶片佈局圖

參考文獻

- [1] K. Yang, L. Zhu and W. Shan, "Design of an ultra-low Power MFCC Feature Extraction Circuit with Embedded Speech Activity Detector," 2021 IEEE International Conference on Integrated Circuits, Technologies and Applications (ICTA), Zhuhai, China, 2021, pp. 82-83
- [2] 陳凱霖, "呼吸音訊的切割與分類及其應用", 中正大學電機工程研究所碩士論文, 2019
- [3] 謝建平, "針對戶外噪音之可攜式呼吸音訊降噪系統", 中正大學電機工程研究所碩士論文, 2022
- [4] Shankar N, Bhat GS, Panahi IMS. Real-time dual-channel speech enhancement by VAD assisted MVDR beamformer for hearing aid applications using smartphone. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2020
- [5] 趙殷霆, "應用於呼吸信號分類之低功耗 MFCC 整合 VAD 與 DNN 系統晶片設計", 中正大學電機工程研究所碩士論文, 2025