

投稿類別：自然科學

篇名：

利用聲音於風扇轉速的量測

作者：

林嘉芸。花蓮縣立花崗國民中學。8 年 05 班

蕭翔。花蓮縣立花崗國民中學。8 年 05 班

指導老師：

龔瑞清老師

壹●前言

每當看著天花板上的吊扇在旋轉時，都會很好奇到底轉多快呢？老師說可以利用轉速計進行量測，後來我們發現電風扇在不同轉速下，聽到的聲音也有點不太一樣，因此我們想了解是否可以從錄下的聲音得知風扇或馬達轉得多快呢？於是開始了我們這次的小論文研究。剛剛好我們開始學有關聲波的觀念，老師說音調的高低與波的頻率有關，因此我們錄下電風扇運轉時的聲音，並對聲音進行頻率分析，許多參考文獻提到將聲音進行快速傅立葉轉換(Fast Fourier transform, FFT)，我們利用 Matlab 軟體進行分析，針對不同轉速下的頻譜圖做觀察，並與市售的轉速計做比較，最後針對不同轉速進行追蹤。

貳●正文

一、實驗儀器與分析方法

我們對家中的電風扇（如圖 1）與教室的電風扇進行量測（如圖 2），首先以手機錄製電扇運轉時所產生的聲音，再以 Matlab 軟體進行 FFT 頻率分析，並與轉速計（如圖 3）所得的結果做對照。



圖 1：家中電扇



圖 2：教室電扇



圖 3：轉速計

接下來我們針對快速傅立葉轉換做簡單的介紹。

二、傅立葉轉換概念介紹

傅立葉轉換（Fourier Transform）是一種數學上的線性積分變換方式，能將週期函數使用轉換為另一個函數。傅立葉轉換也是數學的一個分支領域。在數位信號處理領域上，透過傅立葉轉換可將資料從時域波形轉換到頻譜面上，也就是將訊號進行分解為基礎組合，在現代的物理學與工程等許多領域有大量的應用，以下圖 4 為我們在網路上查到的傅立葉轉換示意圖：

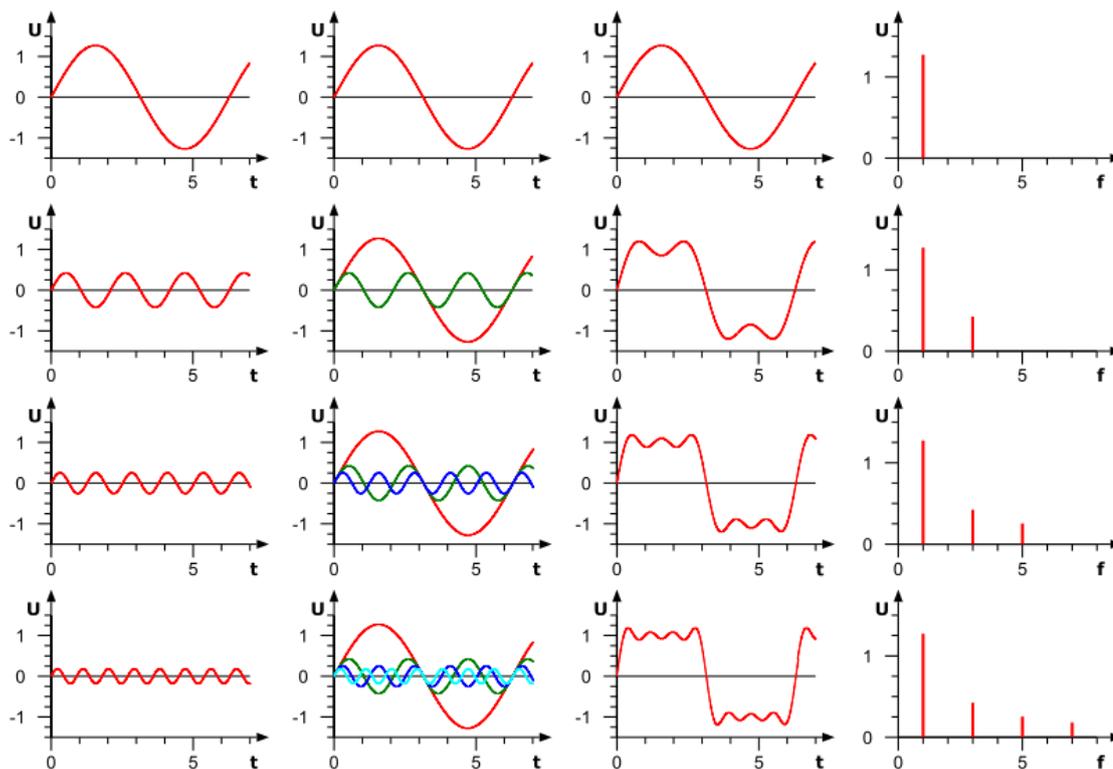


圖 4：傅立葉轉換示意圖（參考來源：維基百科）

波的訊號可以想成各種不同頻率的波進行疊加，透過傅立葉轉換，可以將不同頻率的波所對應的強度計算出來，所以就可以知道聲波的主要頻率有哪些了。我們的實驗報告是先將實驗用風扇不同的檔速用手機錄下來，再用其音檔使用工程軟體 Matlab 進行分析，找出一段聲波轉換成組成它的頻率。

三、家中電扇轉速量測

圖 5~圖 9 為家中電扇在不同強度下（最弱為 3、最強為 7）的聲波與頻率分析結果，表 1 為各種不同轉速下的明顯峰值所對應的頻率與轉速計的整理。

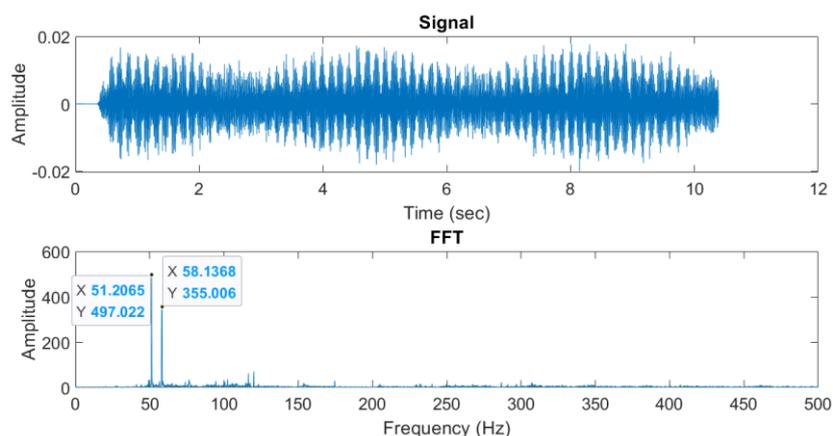


圖 5：強度為 3 的聲波訊號與 FFT 分析結果

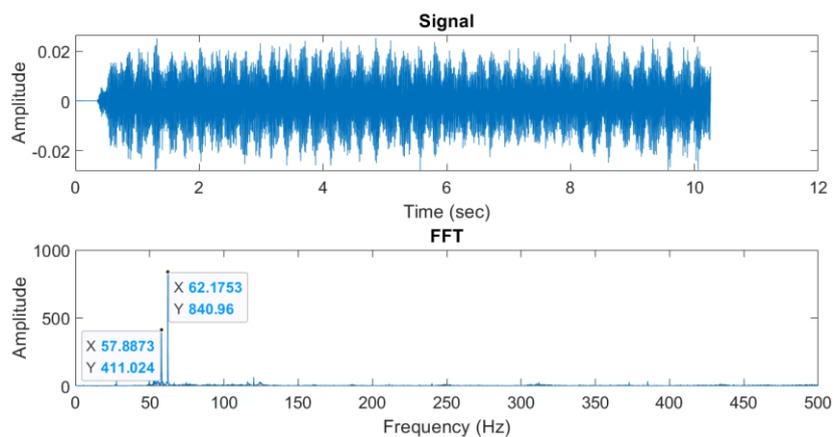


圖 6：強度為 4 的聲波訊號與 FFT 分析結果

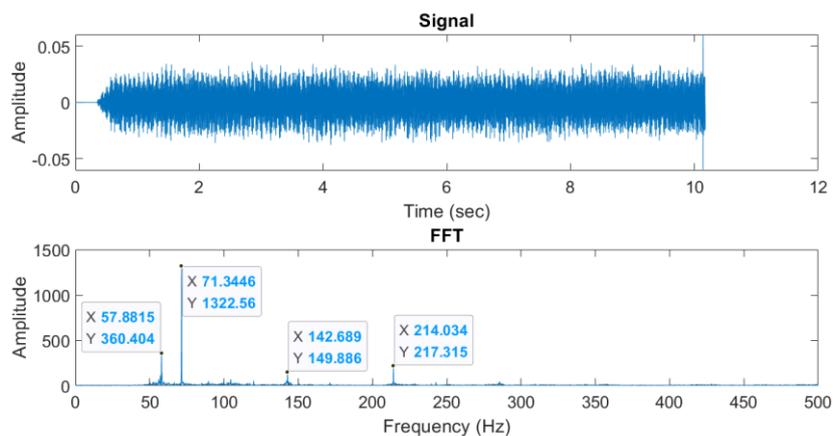


圖 7：強度為 5 的聲波訊號與 FFT 分析結果

利用聲音於風扇轉速的量測

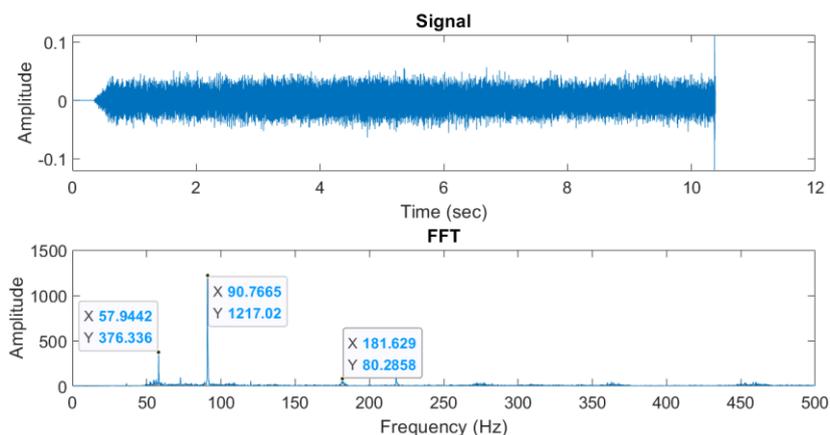


圖 8：強度為 6 的聲波訊號與 FFT 分析結果

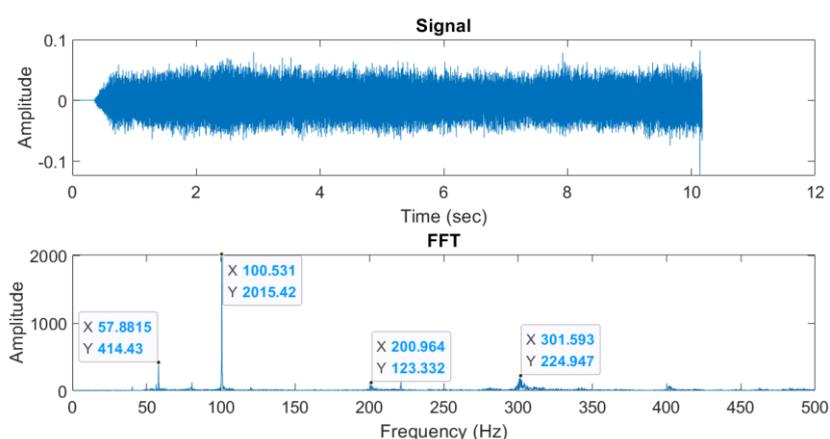


圖 9：強度為 7 的聲波訊號與 FFT 分析結果

表 1：家中電扇聲音訊號 FFT 分析的主要頻率與轉速計測量結果

	第一頻率 (Hz)	第二頻率 (Hz)	第三頻率 (Hz)	轉速計 (rpm)	轉速計 (Hz)
強度 3	51.2	不明顯	不明顯	614	10.2
強度 4	62.2	不明顯	不明顯	745	12.4
強度 5	71.3	142.7	214.0	855	14.3
強度 6	90.8	181.6	不明顯	1087	18.1
強度 7	100.5	201.0	301.6	1207	20.1

觀察圖 5 到圖 9 的 FFT 圖，我們發現不論電扇的強度為何，都有一個頻率 58Hz，所以我們推論這個 58Hz 的頻率應該與電扇轉速無關，而老師上課時說過，台電的交流電流頻率為 60Hz，因此我們推論此頻率應該就是台電的電流頻率，很有可能就是馬達本身的旋轉所造成的聲音。此外，我們發現轉速計的測量結果是第一頻率的 5 倍，我們猜測 5 倍是風扇葉片有 5 片的原因，因此我們對教室 3 片葉片的風扇進行量測，以支持我們的猜測。

四、教室電扇轉速量測

圖 10~圖 12 為教室電扇在不同強度下（分為弱、中、強）的聲波與頻率分析結果，

表 2 為各種不同轉速下的明顯峰值所對應的頻率與轉速計的整理。

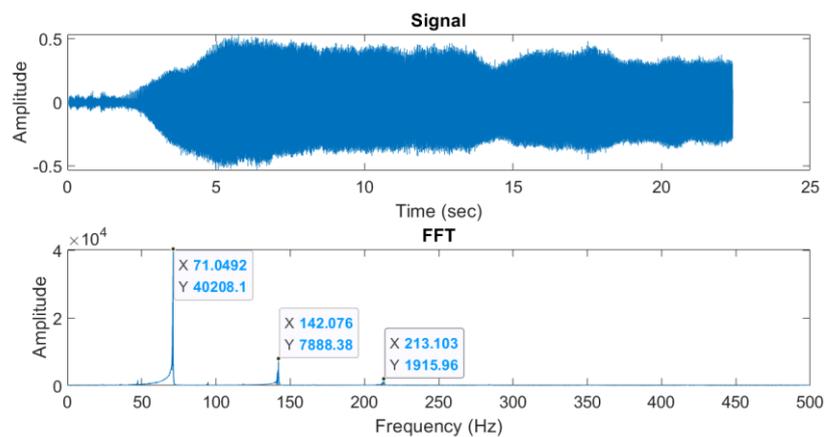


圖 10：強度為弱的聲波訊號與 FFT 分析結果

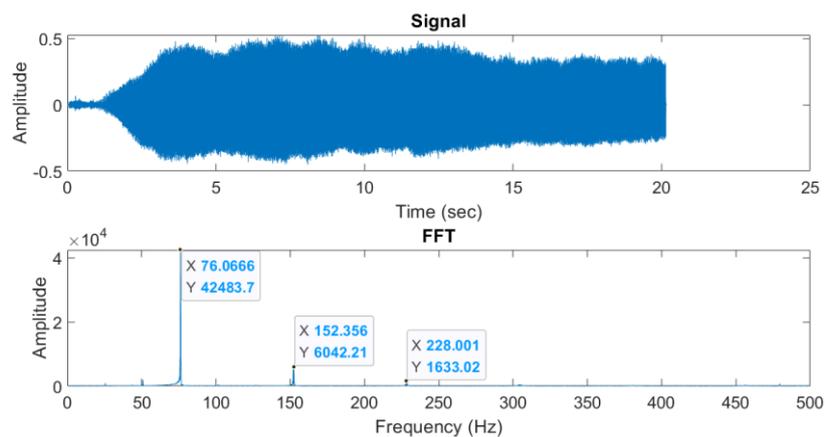


圖 11：強度為中的聲波訊號與 FFT 分析結果

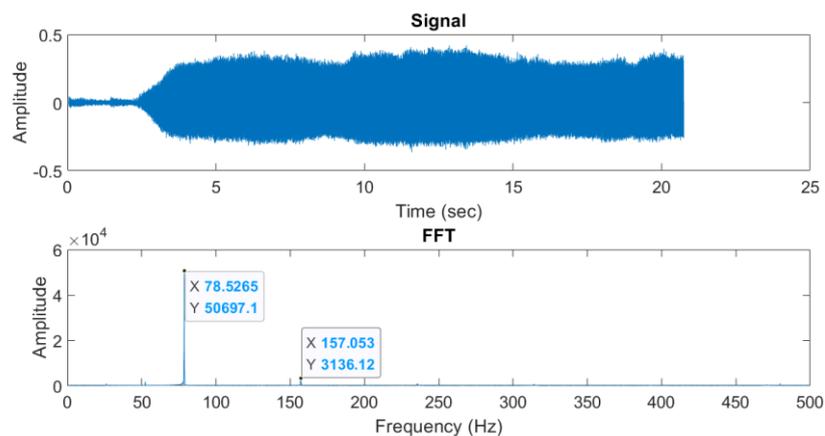


圖 12：強度為強的聲波訊號與 FFT 分析結果

表 2：教室電扇聲音訊號 FFT 分析的主要頻率與轉速計測量結果

	第一頻率 (Hz)	第二頻率 (Hz)	第三頻率 (Hz)	轉速計 (rpm)	轉速計 (Hz)
弱	71.0	142.1	213.1	4200	70.0
中	76.1	152.4	228.0	4570	76.1
強	78.5	157.1	不明顯	4732	78.8

從圖 10 到圖 12 發現，原本接近 60Hz 的頻率已經沒這麼明顯，而實際測量過程我們發現電扇運轉時聲音很大，可能因此把 60Hz 的聲音給蓋過去了。而且教室電扇的 FFT 圖中發現，第一頻率都相當明顯，在強度為弱和中的時候，第二頻率與第三頻率分別就是第一頻率的 2 倍和 3 倍。此外，轉速計的測量結果幾乎與第一頻率相同，而教室風扇葉片有 3 片，但是教室電風扇為金屬可反光的葉片，因此電扇轉一圈時，轉速計會顯示成轉速的 3 倍，因此用轉速計測量金屬葉片時會有此問題，但是用聲音來分析則不會有此問題。最後，我們針對教室的電扇進行強度的切換，圖 13 為風扇強度順序為弱中強的分析結果、圖 14 為風扇強度順序為強弱中的分析結果，若分析整段訊號，FFT 的分析結果三個運轉時的主要頻率皆相當明顯，接著我們嘗試追蹤每秒的轉速。

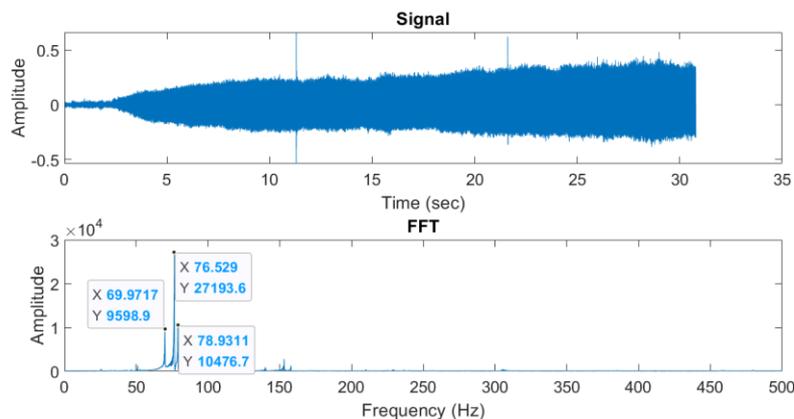


圖 13：教室電扇運轉順序為弱中強的分析結果

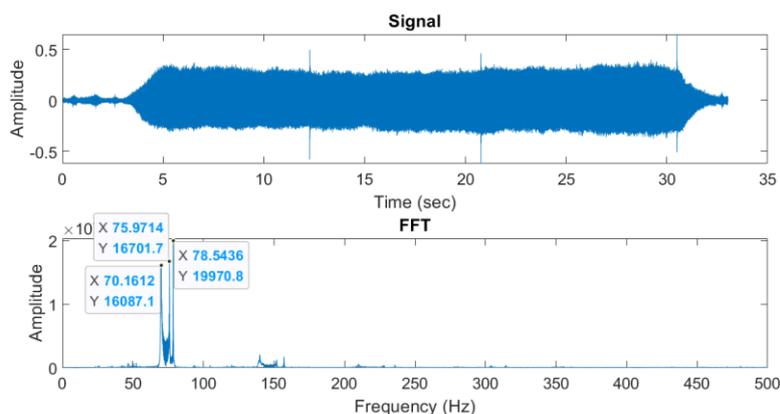


圖 14：教室電扇運轉順序為強弱中的分析結果

五、轉速追蹤

接下來我們想試圖追蹤每秒的轉速，因此分析音訊時，原本是將整段聲波進行 FFT 分析，現在改對每 1 秒進行 FFT 分析（例如：0~1 秒、1~2 秒、...），如下圖 15 為教室電扇在強度為弱時，10~11 秒的聲波訊號與 FFT 圖，我們對最高強度的峰值所對應的頻率紀錄下來，就可以知道整段過程每秒的轉速了。

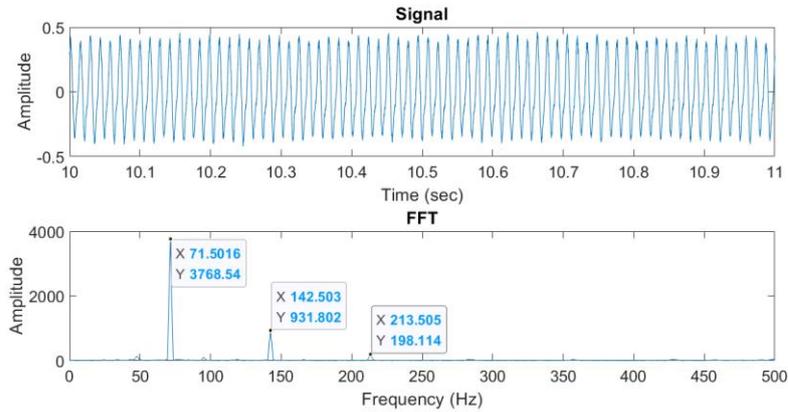


圖 15：教室電扇強度為弱時 10~11 秒的 FFT

如下圖 16~圖 20 為弱、中、強、弱中強、強弱中，五種轉速追蹤結果：

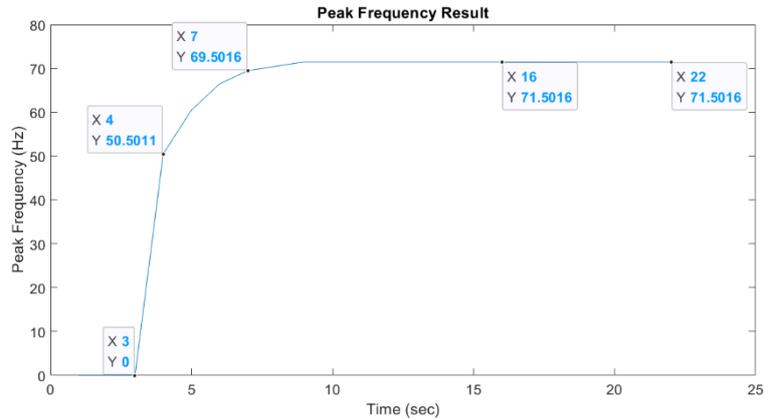


圖 16：教室電扇強度為弱時的運轉頻率的追蹤結果

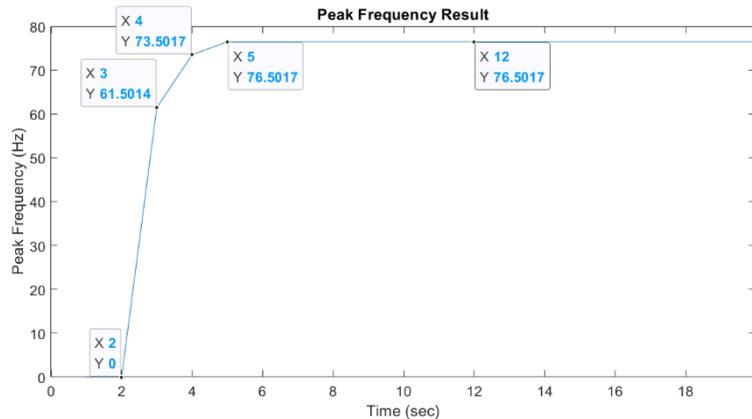


圖 17：教室電扇強度為中時的運轉頻率的追蹤結果

利用聲音於風扇轉速的量測

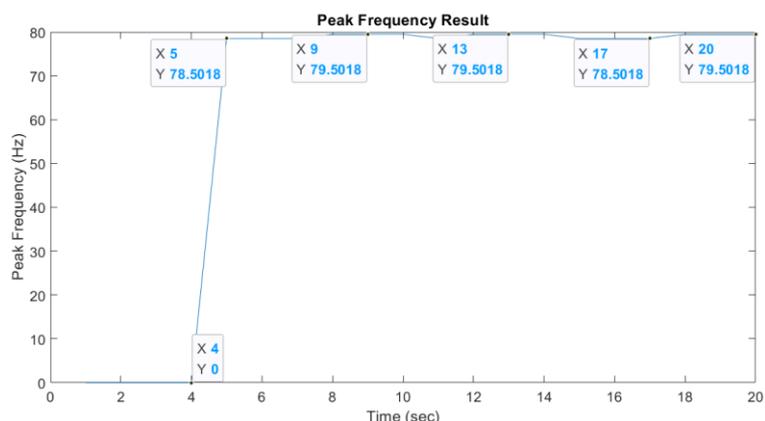


圖 18：教室電扇強度為強時的運轉頻率的追蹤結果

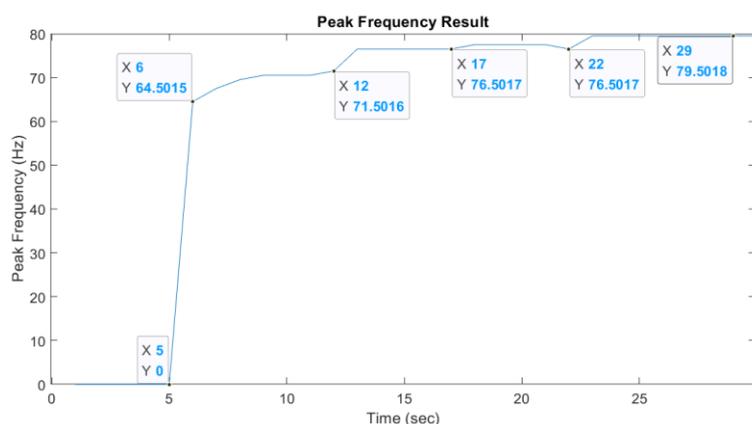


圖 19：教室電扇強度為弱中強時的運轉頻率的追蹤結果

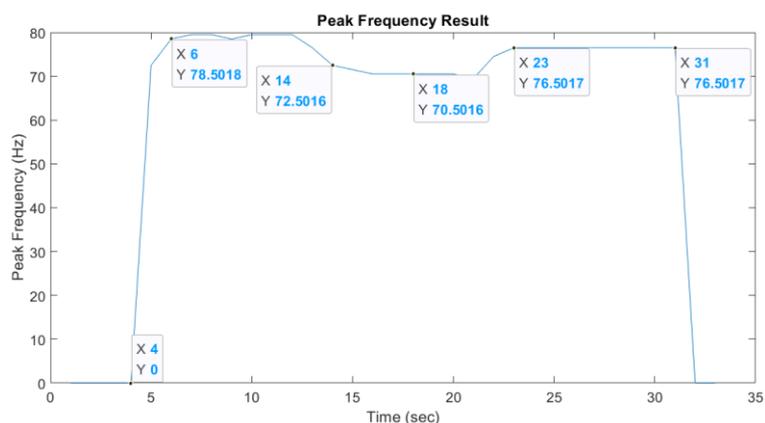


圖 20：教室電扇強度為強弱中時的運轉頻率的追蹤結果

電扇強度為弱和中時（圖 16、圖 17），當轉速穩定時，利用聲音所追蹤出來的轉動頻率也相當穩定，而當風扇強度為強時（圖 18），轉動頻率也是穩定的落於 78.5Hz~79.5Hz 之間，因此利用聲音來進行轉速的量測是相當可行的方式。而由圖 19 和圖 20 實驗結果可知，就算轉速在過程中有改變，每一秒依然可以非常穩定的追蹤到轉速，與風扇強度的順序一致。因此，利用聲音訊號來量測風扇轉速是相當可行的方法，只要事先知道風扇的葉片數，再將所得到的第一主要頻率除以葉片數，就可以得到風扇運轉時候的轉速了。

六、轉速搜尋的 Matlab 程式碼

```

peak_search.m x +
1 |clc;clear;close all;
2
3 |%% Load signal
4 | [file, path] = uigetfile;
5 | [data, fs] = audioread(file);
6 | signal = data(:,1);
7 | time = (0:1/fs:(size(signal,1)-1)/fs)';
8
9 | exp_time = floor(max(time));
10 | peak_freq_row = zeros(exp_time,1);
11 | time_oneSecond = (1:1:exp_time)';
12
13 |%% FFT transform and Peak Search
14 | for i = 1:exp_time
15
16 |     time_short = time((i-1)*fs+1:i*fs,1);
17 |     signal_short = signal((i-1)*fs+1:i*fs,1);
18
19 |     signalHanning = signal_short.*hann(size(time_short,1));
20 |     frequency = (linspace(-1*fs/2,1*fs/2,size(time_short,1)))';
21 |     freqAmplitude = abs(fftshift(fft(signalHanning)));
22
23 |     size_freq = size(frequency,1);
24 |     freq_half = frequency(size_freq/2+1:end);
25 |     freqAmp_half = freqAmplitude(size_freq/2+1:end);
26
27 |     % Peak Search
28 |     [max_amp,max_index] = max(freqAmp_half);
29 |     if max_amp > 1000
30 |         peak_freq = freq_half(max_index);
31 |     else
32 |         peak_freq = 0;
33 |     end
34 |     peak_freq_row(i,1) = peak_freq;
35 | end
36
37 |%% Signal plot
38 | plot(time_oneSecond,peak_freq_row)
39 | title('Peak Frequency Result')
40 | xlabel('Time (sec)');
41 | ylabel('Peak Frequency (Hz)');
42 | ax = gca;
43 | ax.FontSize = 16;
44

```

參●結論

我們做完實驗後發現，用轉速計測量風扇的轉速的時候，數值有時會不穩定（在測量物會反光的情況下），所以較準確的測量結果我們認為是使用麥克風所測量出的聲音，再利用 Matlab 分析轉速的數值則較為穩定和準確。還有一個缺點是：我們在學校實驗用風扇的葉片是鋁（會反光），而且轉速計的原理是接收反射的光，所以測量出的轉速要除以 3（葉片數）；但是家裡的風扇因為是透明塑膠葉片（不會反光），所以測量的結果不須除以葉片數。所以使用轉速計測量轉速時，有時候要除以葉片數，有時候不用，使用上較為不方便，但是使用

聲音訊號則不用考慮反光的問題。因此，利用聲音訊號來量測風扇轉速是相當可行的方法，只要事先知道風扇的葉片數，再將所得到的第一主要頻率除以葉片數，就可以得到風扇運轉時候的轉速了。

肆●引註資料

一、網站

(一) 傅立葉級數

<https://reurl.cc/r1LWXZ>

(檢索日期 2020/9/10)

(二) 國立臺灣大學普通物理實驗室（人耳聽力）

<https://web.phys.ntu.edu.tw/gphyslab/modules/smartsection/iteme52e.html?itemid=37>

(檢索日期 2020/9/12)

二、書籍

(一) 具再熙。數位訊號處理－使用 MATLAB。

(儒林出版社，2007/04/15)。

第一章 信號與系統(Signal and System)

第五章 離散傅立葉轉換 DFT(Discrete Fourier Transform)

(二) 新田英雄。世界第一簡單物理光、聲、波篇。

(世茂出版社，2016/11/02)。

第 2 章：波

第 3 章：聲

三、論文

(一) 以 Matlab 程式預測受振動物體之聲音與頻譜分析

<https://hdl.handle.net/11296/8hs46y>

(檢索日期 2020/9/20)

(二) 車輛內部噪音與聲音品質分析探討

<https://hdl.handle.net/11296/3fyxq5>

(檢索日期 2020/9/22)