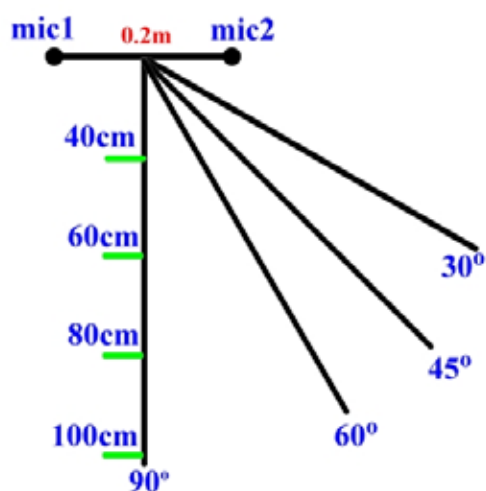


第 4 章 實驗結果

4.1 語料的取樣

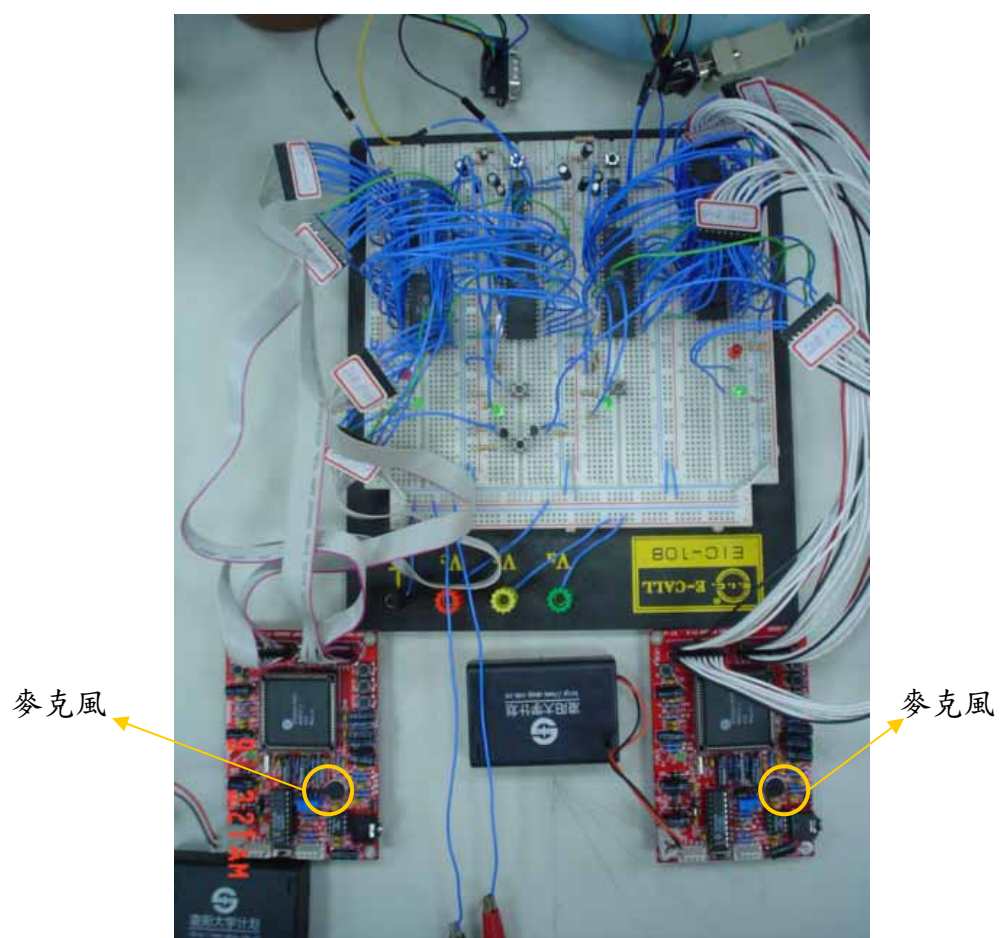
由於用來分析的語料是由兩個麥克風取樣而來，且來自同一個音源，所以為了能使兩個麥克風同步錄音，我們使用兩個凌陽 SPCE061A 微處理器，外加記憶體，利用電路使兩個微處理器能同步錄音，並透過 8051 來控制 RS232，將所取樣到的資料傳回桌上型電腦。

我們所採用的音源語料，主要是非移動中（non-moving）的音源。錄音的方位圖如下：



圖表 14－錄音方位圖

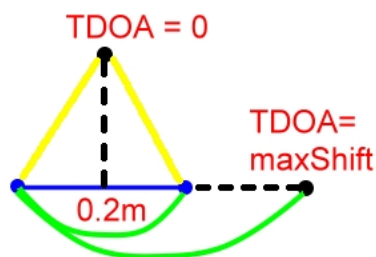
如圖所示，兩個麥克風距離 20 公分，錄音者分別在 30°、45°、60°、90° 四種角度下，距離兩個麥克風中心 40cm、60cm、80cm、100cm 的地方錄音，總共 16 個位置；取樣頻率 16K Hz，內插為 32K Hz，每句 4 秒，共有 14 名錄音者，其中男生 7 人，女生 7 人，所以總共有 224 筆語料。而實際的麥克風配置圖如下：



圖表 15- 麥克風配置圖

4.2 合理的平移範圍

一段合理的平移範圍，可由物理上的意義來推算。當音源與麥克風中心呈 90 度角時，也就是音源與兩個麥克風距離相等時，音源傳遞到兩個麥克風的時間差為 0；而音源與兩個麥克風距離差最大時，則是音源與兩個麥克風三者成一直線時，由平移範圍的示意圖：



圖表 16－ 平移範圍示意圖

我們可知，音源與兩個麥克風距離差的最大值即為兩個麥克風的距離 0.2 公尺，而攝氏 26 度室溫下的聲速約為 347 m/s，取樣頻率 16K Hz 的訊號經內插後為 32K Hz，則

$$0.2(m)/347(m/s)*32000(fs) \approx 18(samples) \quad (18)$$

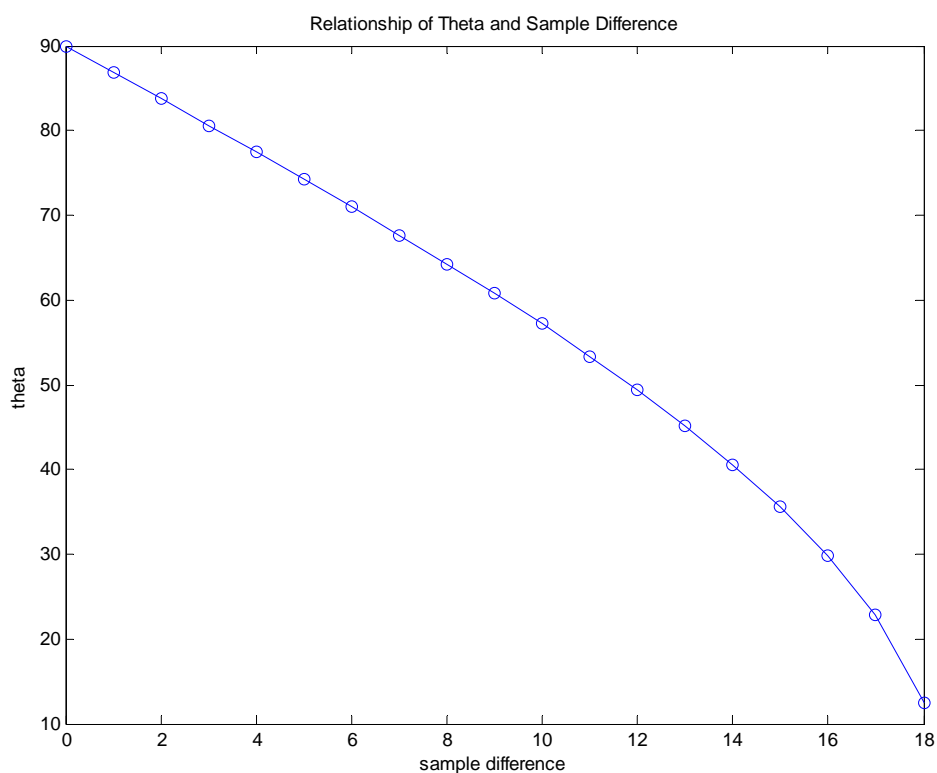
所以，兩段訊號合理的取樣點數差（sample difference）範圍，也就是合理的平移範圍，為 0～18 個取樣點。

0～18 個取樣點（也就是取樣點數差）所對應的方向角 θ 結果為下表：

Sample number	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Angle	90.0	86.8	83.7	80.6	77.4	74.2	71.0	67.6	64.2	60.7
Sample number	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Angle	57.1	53.3	49.3	45.1	40.5	35.3	29.8	22.7	12.5	

圖表 17 – 取樣點與方向角的對應表

下圖則為取樣點與方向角的關係圖：



圖表 18 – 取樣點與方向角的關係圖

由圖可知，取樣點越大，相鄰取樣點所對應的方向角之間的差值則越大。

4.3 實驗一：單句語料

1. 實驗目的：

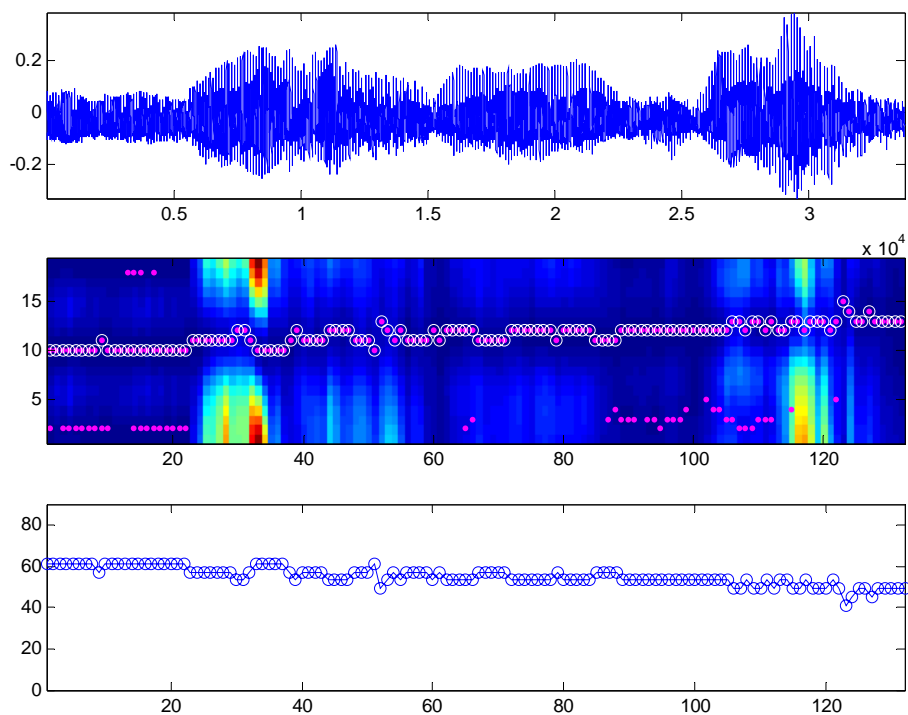
我們以 AMDF 的方法為例，來估算固定位置下所取樣之單句語料的 TDOA 及其方向角的變化趨勢。

2. 語料內容與參數：

距離麥克風中心 80cm，音源與麥克風的夾角為 60 度，錄音者為女生的單句語料。

藉由經驗法則，我們將 AMDF 方法的 weight 設為 0。

3. 實驗結果：



圖表 19－單句語料的 TDOA 及方向角變化趨勢

圖表 19 的上圖為其中一個麥克風所取樣到的訊號，而中圖即為由所有 AMDF 向量所形成的 AMDF 矩陣，橫軸為音框數，縱軸為平移值，顏色越深表示 AMDF 的值越小（藍色），越淺的部份值則越大（紅色）；粉紅色的點表示 AMDF 的 local minima，圈起來的部份則是由最短路徑法所求出的最佳路徑，路徑上的點所對應的平移值則可推算出 TDOA。圖表 19 的下圖是將 TDOA 套入方向角公式後所算出的方向角。

4. 實驗推論：

由圖可看出實驗結果與實際的音源角度差不多，而經過我們對所有語料實驗結果的觀察，發現每句語料所估算出來的方向角，角度變化都有越來越小的趨勢，這是因為受到錄音環境的影響，如聲音的反射（桌面或牆面的反射）以及混響，使得錄音訊號受到干擾；另外，一句語料中，訊號雜訊比(SNR)較小的部份，其 TDOA 結果會受雜訊影響而分佈地較散亂，而較看不出趨勢。



4.4 實驗二：AMDF 方法

1. 實驗目的：

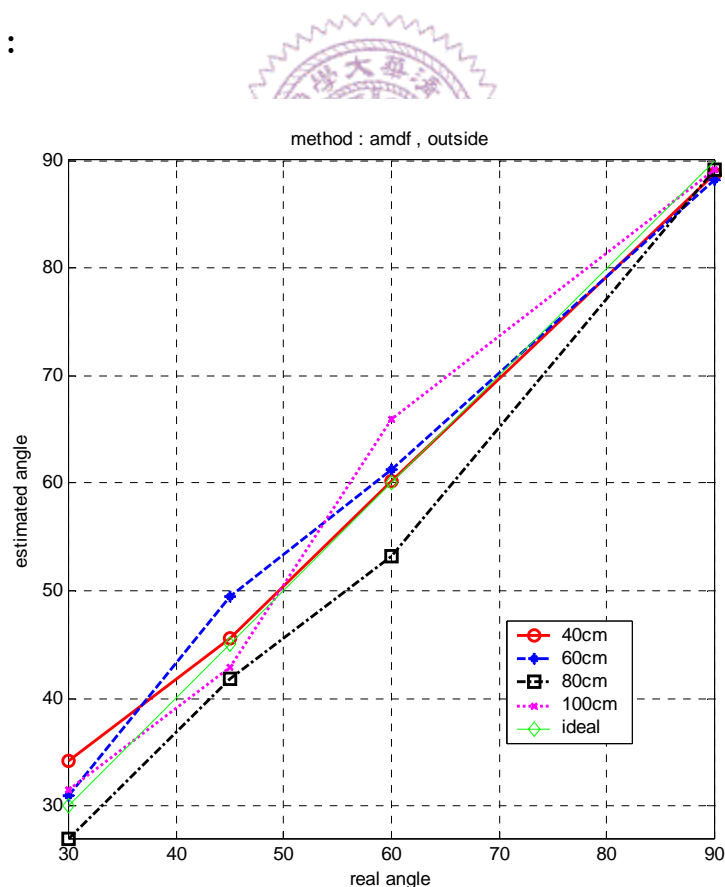
以 AMDF 的方法來估算所有語料的 TDOA 及其方向角，並且計算整個系統的辨識成果。

2. 語料內容與參數：

於 4.1 節中所提及的所有語料，音源類型為非移動中的音源。其中四人男生及三人女生的語料（共 112 筆語料）作為 inside test 的資料，其餘 112 筆作為 outside test 的資料。

經由反覆的實驗，我們得知 weight 為 0 時，inside test 已有最好的效果，所以我們將 AMDF 方法的 weight 設為 0。

c. 實驗結果：



圖表 20 –AMDF 實驗結果曲線圖

誤差範圍 (度)	≤ 5 度	≤ 10 度	> 10 度
inside test (%)	86.61	92.86	7.14
outside test (%)	83.04	91.07	8.93

圖表 21 – AMDF 實驗結果

4. 實驗推論：

由曲線圖可以看出實驗結果與實際理想結果相去不大。若將此方法應用在其他領域，如玩具上，辨識結果誤差小於 5 度是在容忍範圍內的，而 AMDF 方法的辨識率有八成左右，所以是適合用來實作的演算法。



4.5 實驗三：ratioAMDF 方法

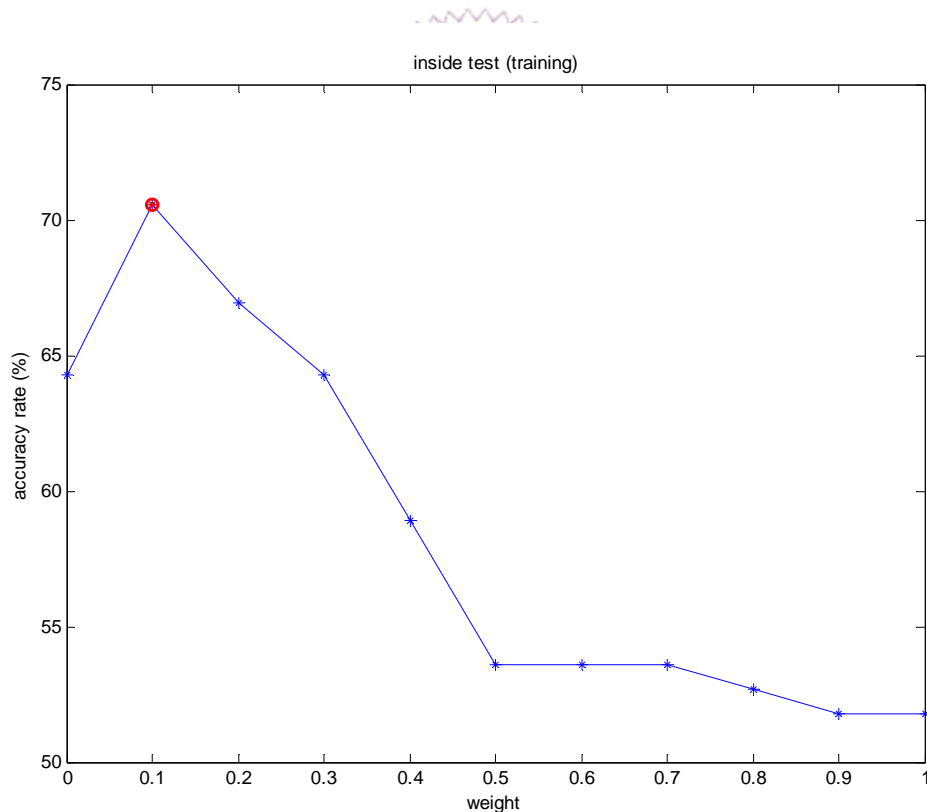
1. 實驗目的：

以 ratioAMDF 的方法來估算所有語料的 TDOA 及其方向角，並且計算整個系統的辨識成果。

2. 語料內容與參數：

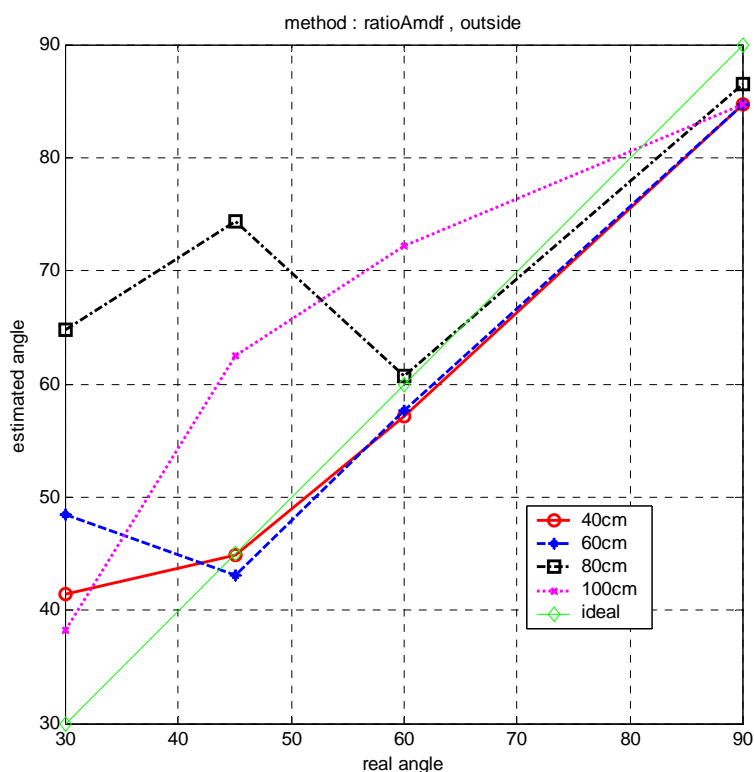
於 4.1 節中所提及的所有語料，音源類型為非移動中的音源。其中四人男生及三人女生的語料（共 112 筆語料）作為 inside test 的資料，其餘 112 筆作為 outside test 的資料。

經由反覆的實驗，如下圖，我們得知當 weight 為 0.1 時，inside test 有最好的效果，所以我們將 cross correlation 方法的 weight 設為 0.1。



圖表 22 – ratioAMDF inside test 曲線圖

3. 實驗結果：



圖表 23 – ratioAMDF 辨識結果曲線圖

誤差範圍 (度)	<= 5 度	<= 10 度	> 10 度
inside test (%)	70.54	75	25
outside test (%)	75	78.57	21.43

圖表 24 – ratioAMDF 辨識結果表

4. 實驗推論：

在所有求 TDOA 的方法中，ratioAMDF 的實驗結果是最差的，因為比值的特性本來就比較不穩定，容易因為分母的值較小而使得比值變的很大，所以實驗出來的結果效果比較不好。由於語料筆數不夠多，所以造成實驗結果與語料本身的好壞息息相關，加上此方法的不穩定，使得 outside test 的結果會比 inside test 的佳，若能增加實驗的語料量，應能改善這個狀況。

4.6 實驗四：最小平方法

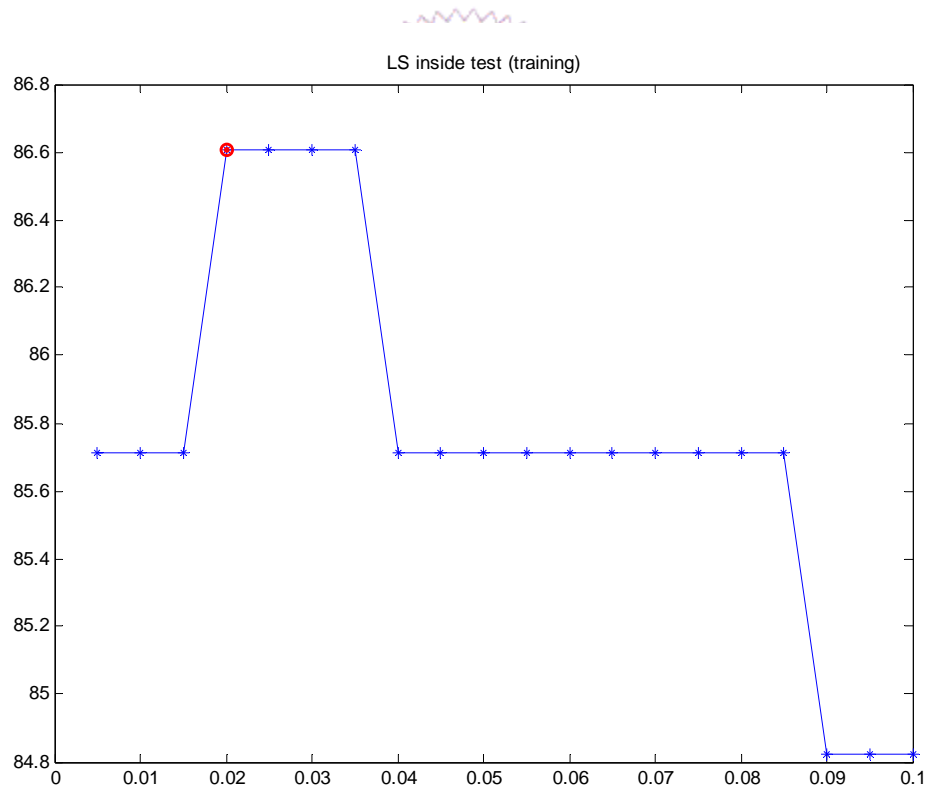
1. 實驗目的：

以最小平方法來估算所有語料的 TDOA 及其方向角，並且計算整個系統的辨識成果。

2. 語料內容與參數：

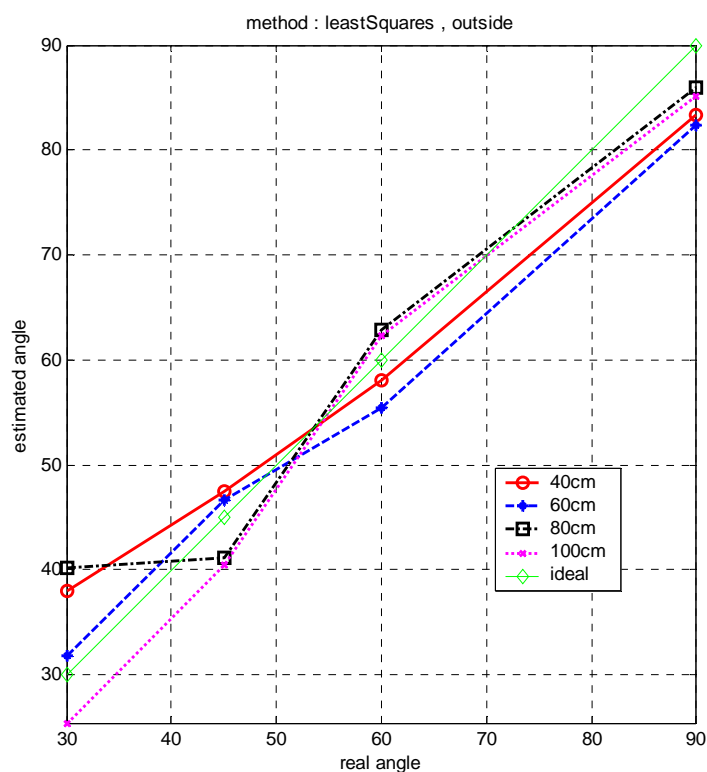
於 4.1 節中所提及的所有語料，音源類型為非移動中的音源。其中四人男生及三人女生的語料（共 112 筆語料）作為 inside test 的資料，其餘 112 筆作為 outside test 的資料。

經由反覆的實驗，如下圖，我們得知當 weight 為 0.02 時，inside test 有最好的效果，所以我們將 cross correlation 方法的 weight 設為 0.02。



圖表 25－最小平方法的 inside test 曲線圖

3. 實驗結果：



圖表 26－最小平方法辨識結果曲線圖

誤差範圍（度）	<= 5 度	<= 10 度	> 10 度
inside test (%)	86.61	92.86	7.14
outside test (%)	83.04	91.07	8.93

圖表 27－最小平方法辨識結果表

4. 實驗推論：

實驗結果中，語者距離為 40 公分、角度為 30 度時的實驗誤差最大，這是因為辨識結果曲線圖是所有 outside test 語者的辨識結果的平均，所以容易因為一兩筆較差的語料而影響平均結果，若實驗的資料更多，實驗結果將會更客觀。

4.7 實驗五：Cross Correlation

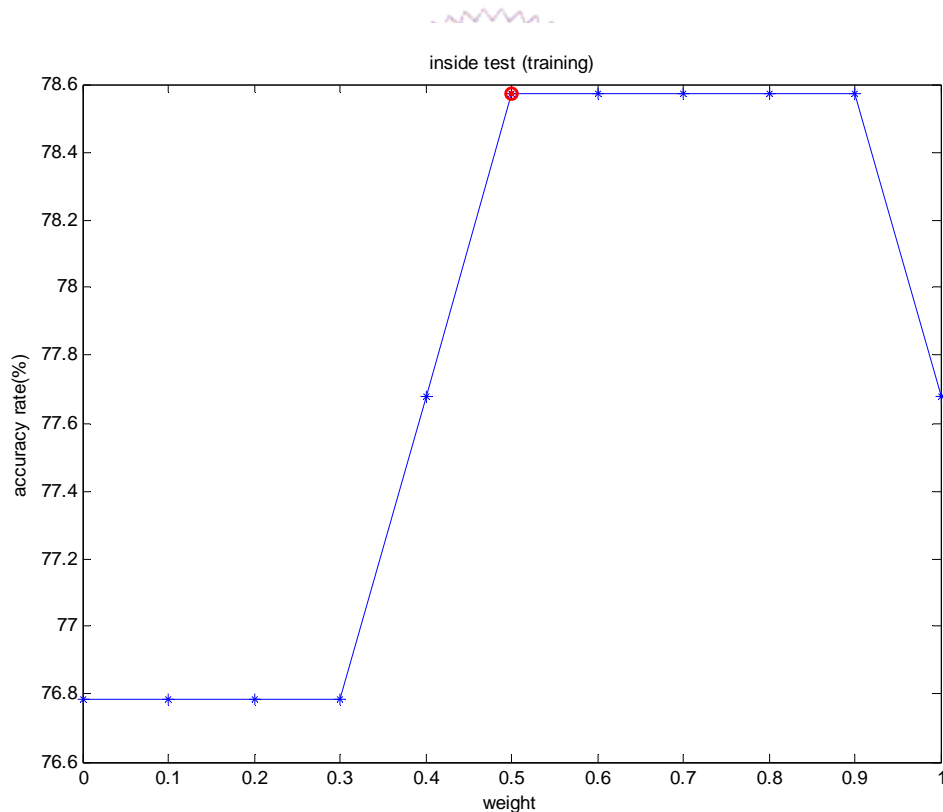
1. 實驗目的：

以 Cross Correlation 來估算所有語料的 TDOA 及其方向角，並且計算整個系統的辨識成果。

2. 語料內容與參數：

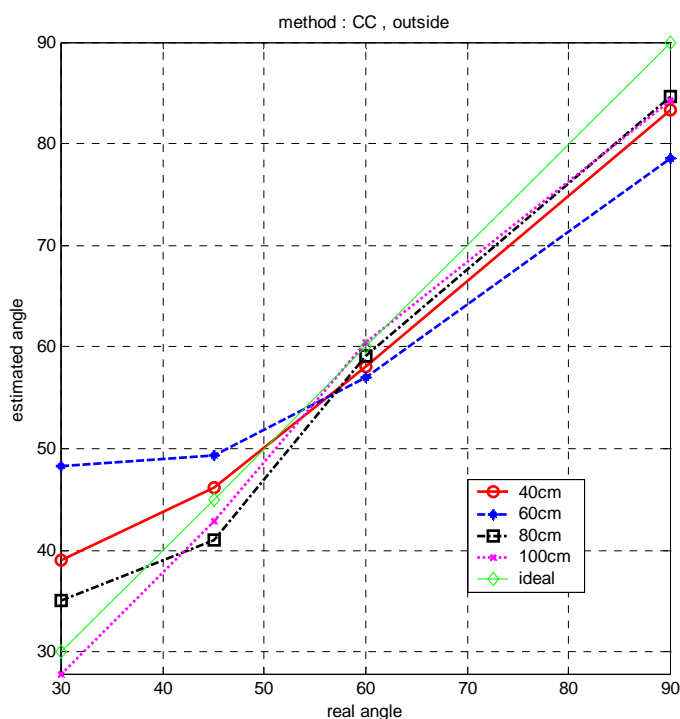
於 4.1 節中所提及的所有語料，音源類型為非移動中的音源。其中四人男生及三人女生的語料（共 112 筆語料）作為 inside test 的資料，其餘 112 筆作為 outside test 的資料。

經由反覆的實驗，如下圖，我們得知當 weight 為 0.5 時，inside test 有最好的效果，所以我們將 cross correlation 方法的 weight 設為 0.5。



圖表 28 – Cross Correlation inside test 曲線圖

3. 實驗結果：



圖表 29 – Cross Correlation 辨識結果曲線圖

誤差範圍 (度)	<= 5 度	<= 10 度	> 10 度
inside test (%)	78.57	88.39	11.61
outside test (%)	77.68	90.18	9.82

圖表 30 – Cross Correlation 辨識結果表

4. 實驗結果：

由圖可知，不論距離為何，在角度為 30 之下的辨識結果有誤差較大的趨勢，這是因為方向角公式所造成。當平移值誤差 1 個取樣點時，其對應的方向角就因方向角公式，而造成取樣點值越大方向角差值越大。由圖表 17 及圖表 18 我們可知取樣點的值越大，對應的角度越小，而其角度差也隨著角度變小而越差越多，所以在取樣點值為 15 及 16 時，其對應的方向角分別為 35.5 度及 29.8 度，雖然取樣點值只差 1，對應的角度差卻已有 5 度以上（角度較大時，取樣點所對應的角度之間的差值約 3 度左右）。

4.9 實驗六：向量中的全部點

1. 實驗目的：

前幾節的實驗中，都是在估算出來的向量的 local minima 中找出一條最佳路徑，來表現 TDOA 的變化趨勢。而本實驗則是以估算出來的向量中全部的點來找出一條最佳路徑，並以 AMDF 的方法來估算 TDOA 及方向角。

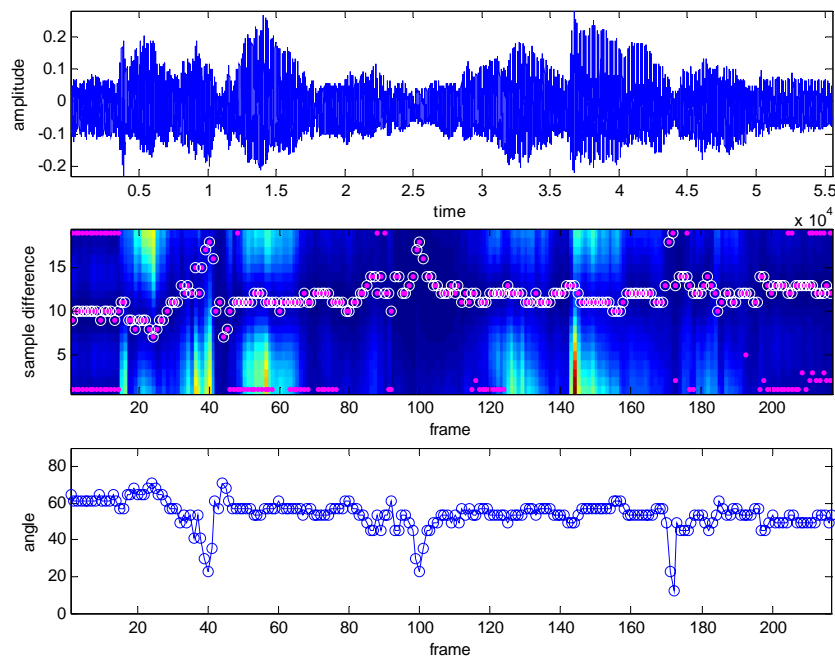
2. 語料內容與參數：

距離麥克風中心 60cm，音源與麥克風的夾角為 60 度，錄音者為女生的單句語料。

以估算出來的向量中的全部的點來找出一條最佳路徑時，我們藉由經驗法則，將 AMDF 方法的 weight 設為 0.0001。

3. 實驗結果：

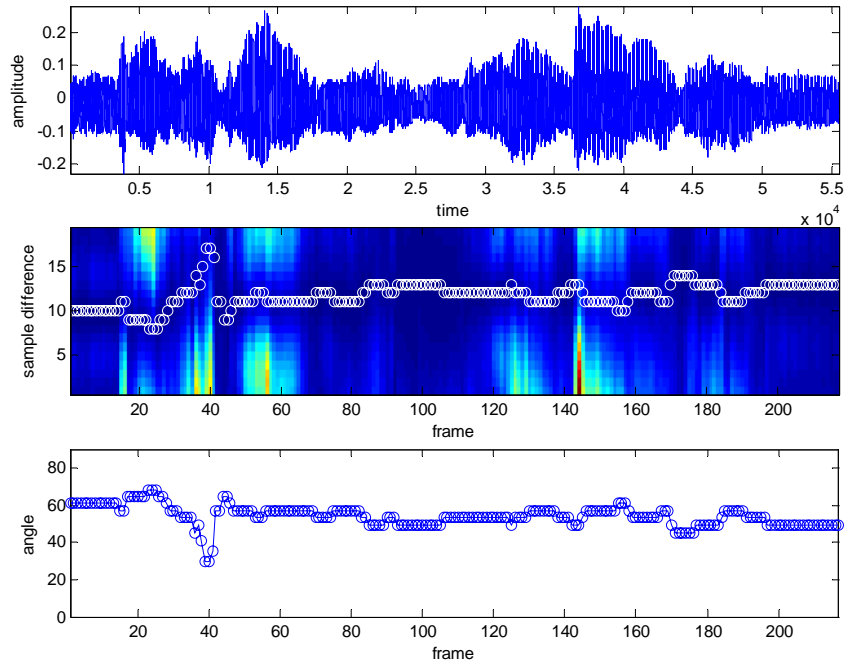
使用 local minima 找出一條最佳路徑的方向角辨識結果為 53 度，如下圖：



圖表 31 – 以 local minima 找出一條最佳路徑的方向角辨識結果

以估算出來的向量的全部的點來找出一條最佳路徑時的辨識結果為 57

度，如下圖：



圖表 32 - 以向量中全部的點來找出最佳路徑的辨識結果

4. 實驗推論：

這個方法適用於估算出來的向量較平緩的 TDOA 方法，如：AMDF、最小平方方法、Cross Correlation。以估算出來的向量中全部的點來找一條最佳路徑時，可以取一個值與 local minima 較相近的點做為最佳路徑上的一點，且由於估算出來的向量是較平緩的，所以此點也會是在 local minima 附近，使得我們找出的最佳路徑也會較平緩、較集中在同一個平移值（或 sample difference）的地方。

但是由於是以向量中全部的點而非以 local minima 來找一條最佳路徑，則所花費的時間較長，這就是一個在辨識率與時間之間作取捨的問題，由於本論文未來的目標是將音源定位應用於生活中，所以我們選擇以運算時間較短的方法：以 local minima 來找一條最佳路徑。

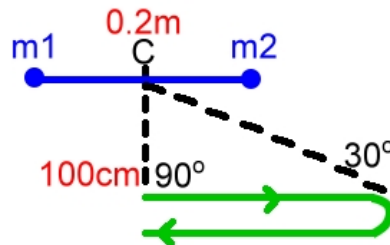
4.8 實驗七：移動中的音源

1. 實驗目的：

前幾節的實驗中，我們都是對固定位置的音源來做實驗，而本實驗則是針對移動中的音源，以 AMDF 的方法來估算其 TDOA 改變的趨勢及其方向角的變化。

2. 語料內容與參數：

音源的移動路徑如下圖所示：

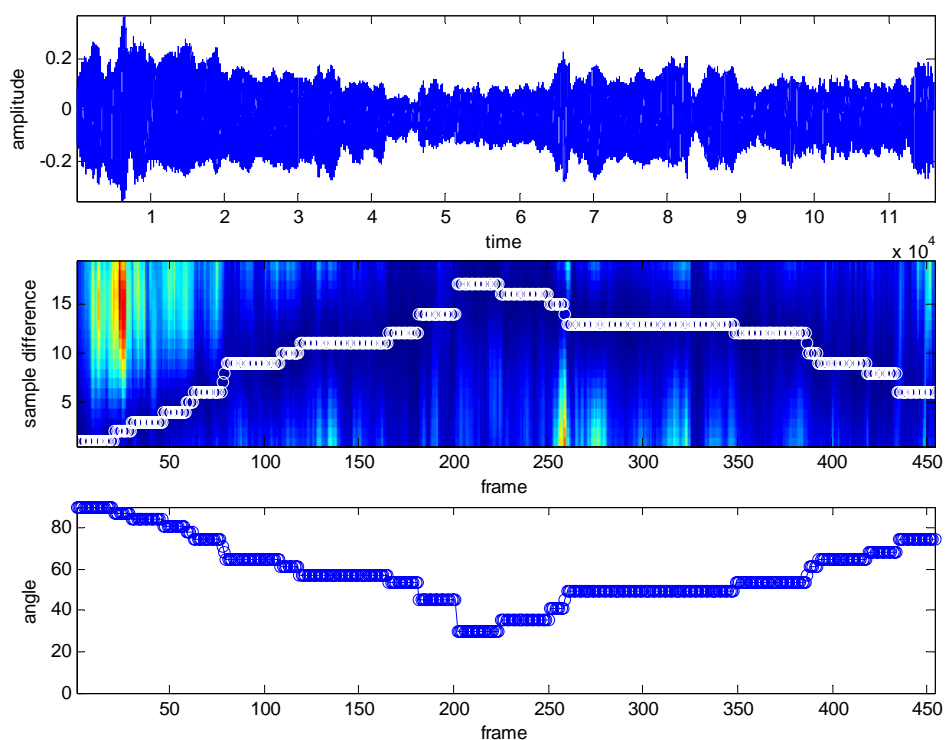


圖表 33— 音源的移動路徑圖

錄音者由距離麥克風中心 100 公分、90 度角的地方，在四秒內，發出「阿」的音，並水平地向右走向距離麥克風 30 度角的地方，再折返回原點。

藉由經驗法則，我們將 AMDF 方法的 weight 設為 0.001，並且以估算出來的向量中全部的點來找出一條最佳路徑。

3. 實驗結果：



圖表 34—移動中的音源實驗結果

4. 實驗推論：

我們所期望的 TDOA 變化趨勢及方向角的變化趨勢，應該要形成一個 V 字形的圖，其中，方向角的曲線應由 90 度角漸漸變化至 30 度角處，再由 30 度角漸漸變化至 90 度角處。實驗結果的 V 字形的圖，理論上應該要對稱，但是由於我們在錄音時無法準確地等速移動，而且錄音環境受雜訊干擾，所以圖形無法完美的對稱。

由此實驗可知，實驗結果與期望的結果相同，證明了本論文提出的 TDOA 方法是可行的。