

第 2 章 音源定位系統

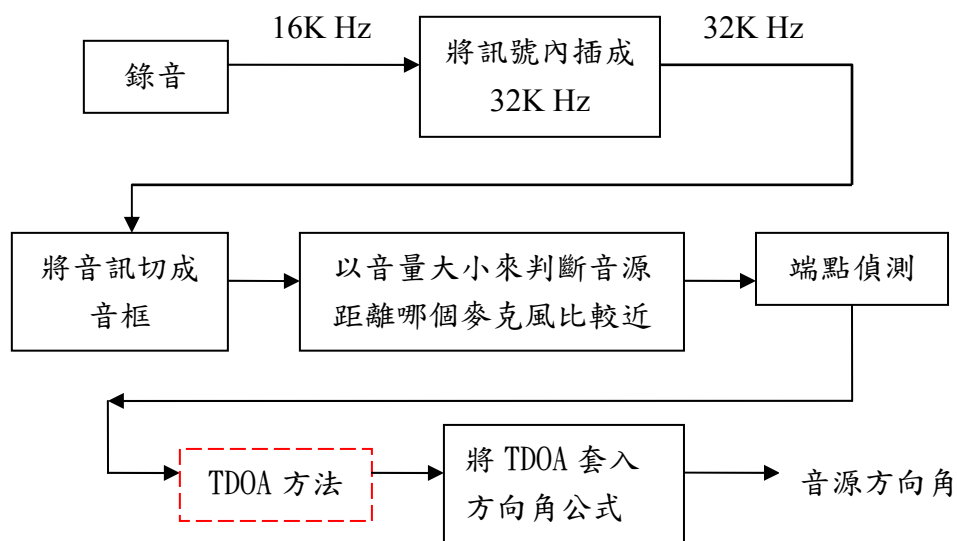
本系統主要流程為：「語料取樣」，接著「估算 TDOA」，最後「計算方向角」，而本論文著重在估算 TDOA 的部份。由錄音系統中的兩個麥克風將音源取樣之後，我們利用時域的 TDOA 演算法來估算 TDOA，最後利用推論出的方向角公式，計算由音源和兩個麥克風所構成之二維空間上的音源入射方向角。

本章節將詳述整個系統流程，和系統中所用到的 TDOA 之定義，以及音源入射方向角的公式推導。

2.1 音源定位系統流程

下圖為音源定位系統的實作流程，詳細說明如下：

- 1.由於在實作上，錄音系統的記憶體有限（詳見第四章 4.1），所以我們在取樣時的取樣頻率為 16K Hz，之後再將 16K Hz 的訊號，內插成 32K Hz 的訊號，以提高方向角的解析度（resolution）。
- 2.分別將兩個麥克風所取樣到的兩段訊號 x_1 及 x_2 切成音框（frame） x_{1i} 及 x_{2i} ，其中 $i = 1, 2, 3 \dots N$ ， N 為音框個數。
- 3.以音量大小來判斷哪個麥克風距離音源比較近，以決定音源的方向。音量較大者，距離音源較近，表示聲音的來源是較靠近此麥克風的方向。
- 4.端點偵測：去除無聲的部份，取前五個音框的音量最大值的 k 倍為門檻值， k 的經驗值為 1.8。（兩段訊號相對應的音框，必須同時存在或捨棄）
- 5.以本論文中的其中一個 TDOA 方法來估算 TDOA。（後面的章節會有更詳盡的介紹說明）
- 6.將已推算出的 TDOA 值，套入方向角公式，即可得知音源的入射方向角。



圖表 1 - 音源定位系統流程圖

2.2 TDOA



由所取樣的訊號來估算 Time Difference of Arrival (TDOA)，也就是估算同一音源的訊號傳遞到兩個麥克風的時間差。所謂 TDOA 為

$$T(\{m_1, m_2\}, s) = \frac{|s - m_1| - |s - m_2|}{v} \quad (1)$$

其中， v 為聲速(m / s)， s 為音源位置的座標， m_1 及 m_2 為麥克風的座標。

2.3 方向角

首先，我們定義音源的入射方向角為音源的方向線到達兩個麥克風中心與兩個麥克風形成的直線所夾的角，參考下圖所示的 θ 角，其中 S 為音源位置， m_1 及 m_2 為麥克風位置。

由於音源的傳遞到達兩個麥克風的時間差（即 TDOA）固定，也就是音源到兩個麥克風的距離差固定，則聲音的可能來源位置可構成一個雙曲線，所以我們可利用雙曲線來推導方向角公式（參考圖 1）。假設音源的位置為遠距離，那麼音源的入射方向角相當於在漸近線上，我們已知雙曲線公式為：

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{c^2 - a^2} = 1 \quad (2)$$

定義 $b^2 \equiv c^2 - a^2$ ，則雙曲線為



$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (3)$$

其漸近線為

$$y = \pm \frac{b}{a} x \quad (4)$$

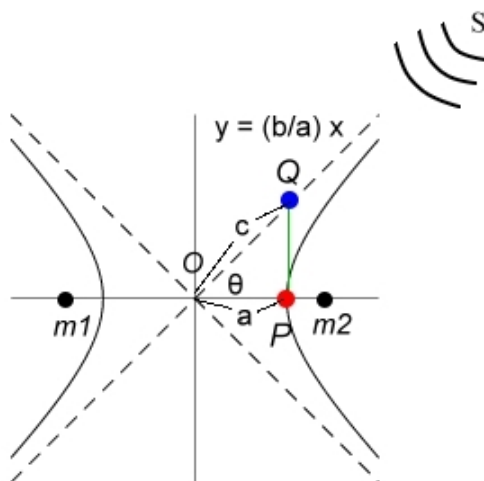
參考下圖，我們可在漸近線上找到一點 Q ，與麥克風中心的距離為 c ，且線段 PQ 垂直於線段 OP 。由雙曲線特性可知雙曲線焦點的距離為 $2c$ ，對應於我們的系統即為兩個麥克風的距離；而雙曲線頂點的距離為 $2a$ ，且雙曲線上任一點至兩個焦點的距離差為 $2a$ ，對應於我們的系統即為音源到兩個麥克風的距離差，所以

$$2c = |m_1 - m_2| \quad (5)$$

$$2a = v \cdot TDOA \quad (6)$$

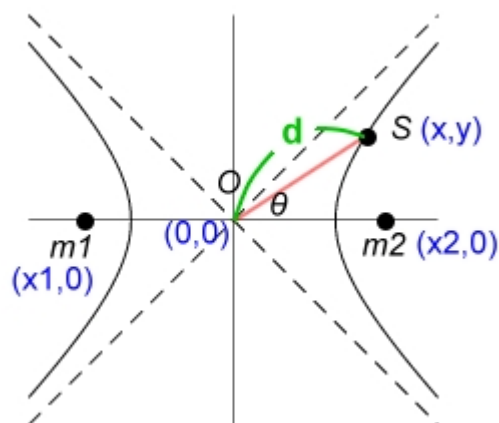
則由圖可知

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{a}{c}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{v \cdot TDOA}{|m_1 - m_2|}\right) \quad (7)$$



圖表 2 - 方向角示意圖

若可得知音源的距離 d ，我們則可修正方向角公式使結果更為準確。如下圖所示：



圖表 3 - 已知音源距離下的方向角示意圖

兩個麥克風的座標分別為 $(x_1, 0)$ 、 $(x_2, 0)$ ， S 為音源，座標為 (x, y) ，音源與麥克風中心的距離為 d ；已知兩個麥克風的距離為 $2c$ ，且音源到兩個麥克風的距離差為 $2a$ ，將式 (5) 與式 (6) 代入雙曲線公式 (2)，即可求得座標 (x, y) ，則

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (8)$$

由於我們是在未知音源距離的條件下所做的研究，所以本論文所使用的方向角公式，為式 (7)。

