

# 具過濾重複音訊能力之無線感測器網路處理設計

李政逸

國立屏東科技大學

資訊管理系

碩士生

M9556011@mail.npust.edu.tw

陳建逸

國立屏東科技大學

資訊管理系

碩士生

M9656036@mail.npust.edu.tw

劉寧漢\*

國立屏東科技大學

資訊管理系

助理教授

gregliu@mail.npust.edu.tw

## 摘要

隨著科技進步，無線感測器網路[2][3]已應用在許多領域，但在聲音感測的應用上尚待努力，且無線感測器網路有許多限制，最重要的就是電力問題。本研究將音訊處理應用在無線感測器網路，但感測器在資料傳輸時會耗費大量電力，因此本研究著重在減少重複資料的傳輸。當聲源發出聲音時，可能會被數個感測器偵測到，當研究只需一份資料時，其它傳送的資料就是多餘。本研究將避免感測器把相同資料傳送回伺服器而導致電力浪費，我們提出適用於無線感測器網路的音訊比對方法，把聲音相同的資料在父節點過濾掉，並只傳回一份資料，且音量是最大的，利用此方法減少電力耗費。經模擬實驗驗證，本方法在建置愈密集的環境愈能有效的節省資料傳輸時所耗費的電力。

**關鍵詞：**無線感測器網路、音訊辨識、節省電力

## Abstract

Wireless sensor networks are applied to many domains with technological advancement, but it is not universal that WSN is applied to audio processing because it has many limits. The most important limit is power. This paper applies audio processing to wireless sensor network and put power consumption into consideration. We focus on reducing duplicate transmission of data. When a sound occurs, it is detected by many sensor nodes. The other data are unnecessary since the research just needs only one. We will avoid the same data being transmitted to server because it will waste the power of sensors. We propose a method to compare audio data on wireless sensor network. If the same data are detected on parent node, the datum with the biggest volume will be transmitted. Simulation results show that the proposed method can effectively save the power for transmission in which high density sensors are used.

**Keywords:** Wireless sensor networks、audio recognizing、saving power

## 1.前言

隨著科技發展，無線網路的成熟，無線感測器網路(Wireless sensor networks, WSN) [2][3]已經被廣泛應用在許多領域，如偵測土石流、氣溫、濕度等。無線感測器網路被應用主要原因有二：1.成本低廉，無線感測器網路最早被研發的概念是應用在戰場，且用完即丟棄，因此成本考量在1美元以下。2.自行建立網路傳送資料，無線感測器網路的運作很方便，只要將電源打開，它會主動與附近的感測器節點建立網路架構，將偵測到的資料傳回伺服器端[2]。

但無線感測器網路有其缺點所在，1.處理能力受限制，由於用完即丟棄、成本低等二項因素使得無線感測器網路的每個感測器的處理能力不強。2.電力受到限制，由於無線感測器網路是佈置在戶外的無線感測裝置，因此電力由電池來供應，電力是有限的，且資料傳送所耗費的電力是資料作運算時的數千倍，所以傳送資料次數與資料大小決定電池的壽命[3]。

無線感測器網路大部份應用在光線、濕度、溫度與影像的偵測，在聲音的應用並不普遍，例如辨識感測器周圍聲音的變化或其他生物所發出的聲音[4][5]。聲音辨識研究越來越成熟，在1970年代有二個重要方法被提出來，一是動態時間校正(dynamic time warping, DTW)[10]，另一個是隱藏式馬可夫模型(hidden Markov model, HMM)[10]，這二方法在聲音辨識中是普遍被使用的方法，但這二方法運算過程較複雜，其應用大部份都在智慧型手機或電腦上運作，例如手機聲控、語音辨識系統，在無線感測器網路的應用不是很廣泛，而且感測器的運算能力有限，因此複雜的運算在感測器上執行非常困難，且聲音資料比一般光線、濕度與溫度資料龐大，因此節省電力的耗費是我們研究重點。

戶外資料收集的工作非常耗費人力，例如

\*為通訊作者

戶外聲音資料收集，須先在戶外場所架設收集資料的設備，如收音機，聲音收集完成再把收集的資料回收，如此反覆的工作非常耗費人力，因此如果利用有網路功能的聲音接收裝置，把收集的資料傳送回伺服器，可以節省龐大的人力成本，而無線感測器網路就是適合的工具。

本研究將聲音辨識應用在無線感測器網路，將無線感測器網路建置在戶外環境，偵測感測器周圍的聲音，例如森林或戶外特定場所，收集這些環境的聲音變化情況，或偵測附近是否有生物出沒，並將音訊資料傳回伺服器端並記錄，建置環境聲音資料庫，提供給相關領域的人作進一步的研究。由於資料傳送耗費感測器大量電力，考慮當聲源發出聲音時可能會被數個感測器偵測，如圖 1 所示，但伺服器端只需要最靠近聲源的音訊資料，其它感測器節點的資料不需要回傳，因為最靠近節點的資料是最清楚。因此本研究的核心是，如何在無線感測器網路上比對聲音，過濾掉相同的音訊，只傳回音量最大的資料，因為音量最大的感測器位置最靠近聲源，藉此節省電力耗費即是本研究重點所在。由於感測器能力限制，因此本研究利用簡單的方法來辨識二個音訊是否相同，我們以音訊的振幅差異性做為辨識依據，當二個音訊的差異不超過門檻值即是相似的音訊，反之則不相似，並利用二個方法來調整音訊起始點的位置，分別為最大振幅調整法及端點偵測法，最大振幅調整法簡單且運算不複雜，可以節省資源，但有其缺點所在，因此我們利用端點偵測法來調整音訊起始點位置，並評估分析此研究成果，比較未使用此方法時與使用此方法後耗費電力的差異。

本論文其它章節如下，第 2 節針對無線感測器及端點偵測做相關研究的探討，第 3 節介

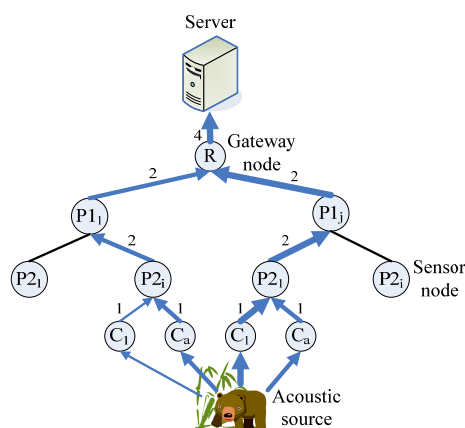


圖 1 情境示意圖

紹本研究要解決的問題及我們所提出的方法，第 4 節是實驗以及說明，第 5 節為結論與未來研究方向。

## 2. 相關研究

無線感測器網路最早由美國加州柏克萊大學 (UC Berkeley) [9] 所研究開發出來的一種體積很小的感測器，稱之為 Smart Dust，採用微電子機械系統 (MEMS) 技術，主要應用在戰場，近年來，隨著無線感測器網路所附加的龐大商機使得它跳脫以往軍事領域的發展，而持續往更多元化應用領域邁進，不但掀起學術界研究的熱潮，亦受到企業界的重視。美國英特爾公司 (Intel)、美國微軟公司 (Microsoft) 等大型公司也開始無線感測器網路的研發，訂立相對應的計畫與行動。

本研究採用的感測器是 Crossbow、英特爾及微軟公司共同開發的 Imote2 IPR2400，Imote2 是新一代的感測器平台，運算能力及記憶體容量遠超過傳統平台，IPR2400 的處理器是 Intel PXA271，另外有 32MB SDRAM 及 32MB Flash Memory，本研究以音訊處理為主，所以需要的運算能力及記憶體空間是傳統平台不能負荷的，因此本研究採用 Imote2，但 Imote2 沒有聲音感測器，只有 ADC 的輸入介面，所以我們製作簡易的聲音感測器搭配 Imote2 進行聲音收集，圖 2 為我們實作的聲音感測器及 Imote2。

端點偵測 (End-point Detection, EPD) [10]，是利用能量曲線與過零率曲線來判斷語音起始點，當語音能量大於某個門檻值時就是語音的起始點，但單單考慮能量是不足夠的，因為在語音中有些輔音不會振動聲帶，能量很小，只考慮能量時會被忽略，因此同時考慮過零率以改善此缺失。

假設語音開始前有一段背景噪音訊號，此方法利用這一段背景噪音來計算能量與過零率的門檻值，作為語音端點的依據，找出起始點位置及語音的結束位置，但此方法是以音框

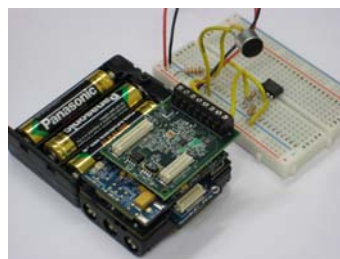


圖 2 聲音感測器及 Imote2

為單位進行計算，該方法所找到的起始點位置是音框位置，會有少許的誤差。

### 3.方法及系統架構

本研究利用無線感測器網路在戶外實行音訊的偵測，並著重在減少相同資料傳送以節省感測器節點的電力，如圖 1，在森林中用無線感測器網路來偵測周圍動物與周遭環境的聲音變動，圖中可以看到當聲音資料被 4 個感測節點接收到時，傳回至 server 的資料多達 4 筆，此情形下會造成上層節點耗費龐大的電力去傳送相同的資料，因此本研究利用音訊比對的方法過濾相同的音訊，只傳回音量最大的資料，節省不必要的電力耗費。

本研究可以分成二個部份，如圖 3 所示，一是各節點的音訊偵測，二是上層節點的音訊比對，本研究重點在父節點的音訊資料比對。因為在無線感測器網路目前取樣率最高只能達到 2Kbs，收集到的聲音用人耳尚可以辨識，因此在音訊資料不完整的限制下，辨識其為相同的音訊是本研究的研究重心，以下將對二個主要的部份來進行說明。

#### 3.1 Sense Node 端的音訊處理

在戶外偵測聲音時，大部份時間的聲音都只有背景音，而背景音不是偵測的重點，因此我們希望當感測器節點偵測到與先前聲音有明顯不同時才進行聲音收集，例如聲音在短時間內突然變大聲，有可能是動物出現在節點附近，因此當聲音有變化時，把聲音資料保留下來，進行更進一步的處理。

在前面提到，無線感測器網路的每個節點的計算能力與記憶容量有限，因此節點內演算法的複雜程度是相當重要的，本研究考慮此限制，利用端點偵測提出一個簡單的音量變動

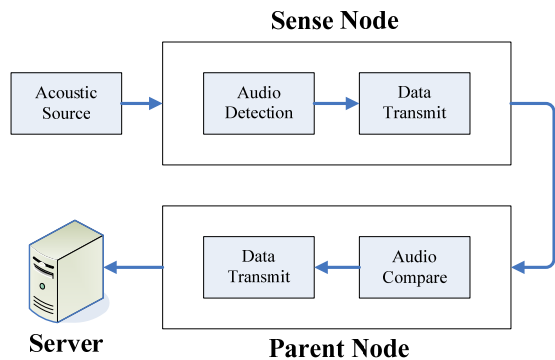


圖 3 音訊偵測與比對流程圖

法。本方法主要是將前面數個音框當成背景聲，以這一段背景作為比對的依據，當聲音變動超過門檻值時，表示有可能是動物在周圍所發出的聲音，保留這一段聲音做後續處理，因此提出此方法如下：

首先計算背景音的能量平均值與變異數，在公式 1 中  $E_{x,n}$  表示每個音框的能量， $n$  表示音框序號， $b$  表示背景音， $N_b$  表示背景音的數量， $\bar{E}_b$  是背景音的平均能量，公式 2 中  $E_l$  表示第  $l$  音框的能量， $\sigma_{Eb}^2$  就是背景音的變異數，公式 3 中  $T_{EL}$  是背景音的能量門檻值。

$$\bar{E}_b = \frac{1}{N_b} \sum_{n=1}^{N_b} E_{x,n} \quad (1)$$

$$\sigma_{Eb}^2 = \frac{1}{N_b} \sum_{l=1}^{N_b} (E_l - \bar{E}_b)^2 \quad (2)$$

$$T_{EL} = \bar{E}_b + \sigma_{Eb} \quad (3)$$

當偵測到聲音能量大於  $T_{EL}$  時，把該聲音記錄下來，並將聲音傳送到父節點，由父節點比對是否有相同的音訊。

#### 3.2 Parent node 端資料重複的比對

父節點資料重複的判斷，在本研究中是最重要的部份，也是最困難的地方，本研究提出一個適合用在無線感測器網路上的聲音比對演算法，來判斷在一個時間範圍裡接收到的聲音資料是否相同，如果相同只傳送音量最大的資料，把音量小的資料丟棄，以減少資料重複造成的電力耗損，我們將二個要進行比對的音訊振幅相減，找出它們之間的差異性，如圖 4 所示，上圖是原始音訊，中圖是音量較小的音訊，下圖為二個音訊振幅相減的結果，如果二個音訊差異性的標準差在門檻值  $T$  之下，判定二個音訊為相同的聲音，公式 4 是門檻值  $T$  的計算過程，其中  $\sigma_{sx}$  是音訊  $x$  的標準差， $\sigma_{sy}$  是音訊  $y$  的標準差， $W$  是調整值。由於感測到的音訊資料每次都不相同，因此門檻值會隨著

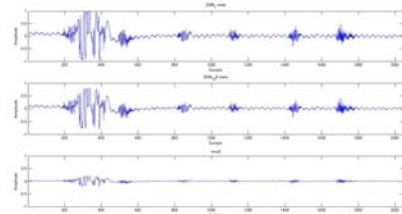


圖 4 音訊相減圖

需要比對的音訊而改變，假設有二個音訊相同但振幅比例相差很大，如果門檻值不能依照比對音訊來調整，在比對音訊上會出現誤判的現象，因此公式 4 中門檻值  $T$  會隨著將進行比對的音訊作調整，在公式 5 中， $S$  代表聲音振幅集合， $S_x$  與  $S_y$  分別為音訊  $x$  與音訊  $y$  的振幅， $S_d$  就是二個聲音振幅差異集合，最後利用  $S_d$  求出標準差  $\sigma_{sd}$ ，公式 6 中  $\bar{E}_d$  表示  $S_d$  的平均值， $N_d$  表示  $S_d$  的數量，如果  $\sigma_{sd}$  小於  $T$  表示二個聲音相同。

$$T = (\sigma_{sx} - \sigma_{sy}) \times W \quad (4)$$

$$S_d = S_x - S_y \quad (5)$$

$$\sigma_{sd}^2 = \frac{1}{N_d} \sum_{l=1}^{N_d} (E_l - \bar{E}_d)^2 \quad (6)$$

在上述方法中採用音訊的振幅差異比對音訊是否相同，但在音訊處理中，與振幅有相同概念的還有過零率，假使利用我們所提出的方法以過零率代替振幅，應該也會有相同的效果，但經由我們實際測試的結果，雖然它們概念相同，可是過零率的效果不如我們所提出的方法，主要因為音訊編碼一般採用 8bits 記錄一個取樣值，當音訊振幅太小時會被記錄為 0，例如某個取樣值為 -0.0039 或 0.0039，利 8bits 的空間來儲存時都會被記錄為 0，如此在過零率上會產生誤差，雖然在我們的方法中也有此情況發生，可是在經由音框的加總求平均之後影響並不大，但過零率記錄的是振幅經過零線的次數，其造成的影響遠大於振幅，而且要以過零率進行比對前，還需要把振幅轉換成過零率，如此又會耗費感測器的電力及資源，因此本研究只考慮振幅差異，不考慮過零率差異。

但即使相同的聲音，它們的音訊資料並不會完全一樣，會有音量大小的差別及音訊起始點位置不同的情況出現，考慮此情況的發生，本研究利用二個調整音訊起始位置的方法，

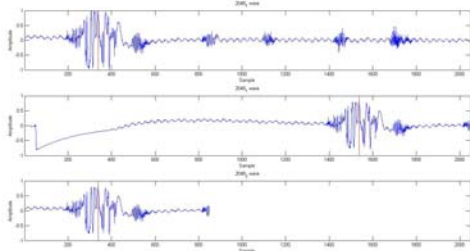


圖 5 最大振幅調整法

1.最大振幅調整法 2.端點偵測法。

### 3.2.1 最大振幅調整法

由於要將二個音訊相減，所以二個音訊起始點的對應非常重要，即使只相差幾個樣本點，所得到的結果相差很大，我們提出最大振幅調整法，此方法簡單且快速，由於音訊資料是很多大小不一的振幅所組成，因此在音訊中一定存在最大振幅，且音訊若相同其最大振幅位置是相同的，但音訊中有可能會出現一個以上的最大振幅，因此本方法只記錄第一個出現的最大振幅位置，分別找出二個音訊的第一個最大振幅位置所在，將最大振幅所在位置處於較後面的音訊往前移動，將二個音訊的最大振幅對齊，如圖 5 所示，上圖是原本的音訊，中圖是起始點較早且音量較小的音訊，下圖是利用最大振幅調整法調整中圖的結果，以下是最大振幅調整法的運算過程，公式 7 和公式 8 中分別找出音訊  $x$  與音訊  $y$  的最大振幅， $MA_x$  與  $MA_y$  分別為二個音訊的最大振幅，公式 9 前半段公式決定要把哪個音訊作移動調整，後半段決定要移動多長的距離， $S_s$  表示移動後的音訊，得到  $S_s$  再回到音訊比對步驟中求出  $\sigma_{sd}$ ，比較二個音訊是否相同。

$$MA_x = \max[S_x] \quad (7)$$

$$MA_y = \max[S_y] \quad (8)$$

$$S_s = \max[MA_x, MA_y] - |MA_x - MA_y| \quad (9)$$

最大振幅調整法固然簡單不會耗費感測器大量資源，但當音訊中出現比最大振幅更大的雜訊時，這個方法會失去其正確性，會找到錯誤的起始位置，因此下面介紹不易受雜訊所影響的端點偵測法。

### 3.2.2 端點偵測法

端點偵測法是音訊處理常使用的方法，其主要功用在尋找一段聲音的起始點與結束點，且此方法不易受到雜訊的影響，下面將詳細介紹其運算方法。

首先將聲音資料轉換為以音框為單位的序列，並計算每一音框的能量與過零率，分別是  $E_{x,l}$  與  $Z_{x,l}$ ， $l$  為音框的序號。

取最前面若干個音框為噪音部分，求其能量與過零率之分佈，並計算平均值與變異數，公式 10 與公式 11 分別為能量與過零率的平均值計算方式，公式 12 與公式 13 分別為能量與

過零率的變異數計算方式。

$$\bar{E}_{bn} = \frac{1}{N_{bn}} \sum_{l=1}^{N_{bn}} E_{x,l} \quad (10)$$

$$\bar{Z}_{bn} = \frac{1}{N_{bn}} \sum_{l=1}^{N_{bn}} Z_{x,l} \quad (11)$$

$$\sigma_{Ebn}^2 = \frac{1}{N_{bn}} \sum_{l=1}^{N_{bn}} (E_{x,l} - \bar{E}_{bn})^2 \quad (12)$$

$$\sigma_{Zbn}^2 = \frac{1}{N_{bn}} \sum_{l=1}^{N_{bn}} (Z_{x,l} - \bar{Z}_{bn})^2 \quad (13)$$

找出能量與過零率的變異數之後，利用變異數得知標準差，利用標準差訂定兩個能量門檻值與一個過零率門檻值，如公式 14、公式 15 及公式 16 所示，其中  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  及  $\alpha_3$  是調整值由使用者自行設定。

$$T_{EL} = \bar{E}_{bn} + \alpha_1 \sigma_{Ebn} \quad (14)$$

$$T_{EU} = \bar{E}_{bn} + \alpha_2 \sigma_{Ebn}, \alpha_1 < \alpha_2 \quad (15)$$

$$T_Z = \bar{Z}_{bn} + \alpha_3 \sigma_{Zbn} \quad (16)$$

找到 3 個門檻值後，利用此 3 個門檻值，從頭尋找第一個能量超過  $T_{EL}$  的音框，並將其標注為  $N_V$ ，如果  $N_V$  之後連續 B 個音框的能量都大於  $T_{EL}$ ，且 B 個音框之後的能量更大於  $T_{EU}$ ，則  $N_V$  視為可能的語音起點。反之，則該  $N_V$  不是語音起點，放棄此點，往下繼續找下一個  $N_V$ 。

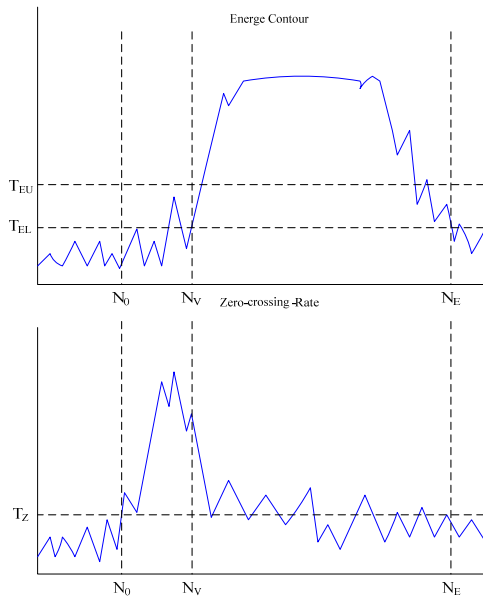


圖 6 語音端點偵測

找到  $N_V$  後，往回檢查  $N_V$  之前的音框，看其前一個音框的過零率是否大於  $T_Z$ ，若是就繼續往前找，直到過零率小於  $T_Z$ ，這時候的音框就視為真正語音起點，將此音框標注為  $N_0$ ，如果在  $N_V$  之前沒有過零率大於  $T_Z$  者，則把  $N_V$  作為真正的語音起點。

從  $N_V$  之後直到能量小於  $T_{EL}$ ，就視為語音結束，標注為  $N_E$ ，因此  $N_0$  或  $N_V$  到  $N_E$  之間，就是語音存在的區域。[10] 如圖 6 所示。

由於端點偵測是以音框為單位進行運算，當端點偵測找到起始點時，它並不是一個正確取樣點位置，而是一個包含正確位置的音框，雖然音框可以經由公式換算轉換成取樣位置，可是轉換過程會有誤差，因此利用此方法找到該音框時，需要將該音框的取樣點逐一進行移動並比對，找出最合適的位置，公式 17 是音框轉換回取樣點的公式， $F_{index}$  表示該音框位置， $F_{size}$  表示音框大小， $O_{size}$  表示音框重疊大小， $S_{index}$  就是轉換後的取樣點位置，因此經由公式 17 轉換，雖然二個音框對應上是相同的，可是並不是每個樣本點都是互相對應的，所以轉換後所得到的樣本點都是每一個音框對應的樣本點，如此有可能會造成少許的誤差，因此需要逐一移動其中一個訊號，找出移動後結果得到的  $\sigma_{sd}$  是最小的，如公式 18 所示，Shift 表示每次移動的距離，由於無線感測器的取樣率最高只有 2K，因此本研究中音框的大小以 32 最為合適，所以在公式 18 中，需向前及向後各移動 16 次，找出其中最小的  $\sigma_{sd}$  即為最佳位置。

$$S_{index} = (F_{index} - 1) \times (F_{size} - O_{size}) + \lceil F_{size} / 2 \rceil \quad (17)$$

$$\text{Min}[\sigma_{sd}] = \begin{cases} S_x - \text{Shift} \\ S_x + \text{Shift} \end{cases}, \text{Shift} = 1, 2, \dots, 16 \quad (18)$$

## 4. 實驗結果

經由本研究所提出的方法，這裡將針對提出的方法做以下的實驗及分析，首先針對公式 7 裡 W 調整值的設定進行實驗，如圖 7 所示，當 W 值為 1.1 時所得到的結果最好，當 W 值越大時正確率與其成反比的關係，因為 W 值越大時原本不相同的音訊會被辨識為相同的，所以判斷錯誤的機率也一直增加，當 W 為 1 時雖然也有不錯的成果，但會把一些相同的音訊視為不相同的音訊，因此我們將本研究的 W 調整值設為 1.1。

在本研究中比較二個修正起始位置的方

法，分別為最大振幅調整法及端點偵測法，在這裡針對判斷起始位置的正確率、加入雜訊後判斷起始位置的正確率，以及耗電量的情況來做比較，實驗環境設定如下：每分鐘接收 2 個 4 秒且相同的聲音，實驗時間為 2 個小時，本實驗不將資料傳送至其它節點，只針對 2 個方法的運算過程所需要的電量，來進行實驗比較，本實驗的耗電量衡量是以實驗 2 個小時後所使用掉的電量，與原來電池電力的比較，實驗中所使用的是 2 顆 3 號 1.5V 的電池，結果如表 1 所示，沒有雜訊時最大振幅調整法的正確率相當高，而運算時所需要的電量遠遠低於端點偵測法，但端點偵測法不易受雜訊影響，由我們的實驗結果顯出當雜訊的振幅只要比最大振幅小，最大振幅調整法都可以維持在

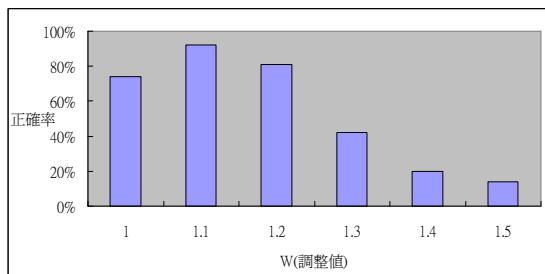


圖 7 W 調整值與辨識正確率

表 1 二個方法的比較

方法	位置正確率 (沒雜訊)	位置正確率 (有雜訊)	耗電量
最大振幅調整	98%	42%	4%
端點偵測法	92%	91%	15%

95%~98%的正確率左右。

本研究最主要的重點在於我們所提出的方法能有效減少電力的耗費，因此探討沒有過濾相同資料與有過濾相同資料之間的差異，沒有過濾相同資料的意思是當 node 接收到音訊資料時，直接把音訊往回傳，不進行資料比對的動作，相對的有過濾相同資料的策略，就是當 node 接收到音訊時會作比對，把相同的資料過濾掉，只傳回一份資料至伺服器端，實驗中環境設定如下，假設每個父節點每分鐘收到 2 個相同的音訊，但起始位置不同的音訊，每個音訊大小為 4 秒，每個節點的距離為 10 公尺，聲音有效範圍為 30 公尺，實驗時間為 2 個小時，來進行比較，實驗結果如表 2 所示，沒過濾相同資料的策略其耗電量遠遠高過有過濾的策略，在有過濾的方法中，最大振幅法的耗電量又比端點偵測法少一些，主要原因是端點偵測所進行的運算比最大振幅法複雜所造成。

表 2 過濾相同資料的耗電量

策略		耗電量
沒過濾		29%
有過濾	最大振幅法	14%
	端點偵測法	17%

表 3 不同密度實驗結果

節點數	1000	3000	6000
平均被過濾資料數	11.6	37.3	113.4

在上一個實驗中，我們所使用的實體感測節點只有 2 個，並不能很能表達出實際情形中本方法的效用，因此接下來我們利用模擬的方法模擬實際情形中使用本方法的結果。環境設定如下，在一長 1000 公尺寬 1000 公尺的平面中隨機建置無線感測器網路，分別建置 1000、3000、6000 個感測器，在平面中隨機產生一個聲音，聲音的有效範圍為 30 公尺，我們採用端點偵測法來偵測起始點位置來執行實驗，如圖 8 所示假設聲音在 sound 的位置產生時，被範圍 A 內的節點所偵測到，利用我們所提出的方法來過濾相同的音訊資料，表 3 是在不同節點密度環境下實驗 1000 次的實驗結果，由本實驗中得知，本方法在建置節點愈密集的地方愈能顯出其優點所在，當此實驗所過濾掉的資料愈多表示節省的電力也愈多。

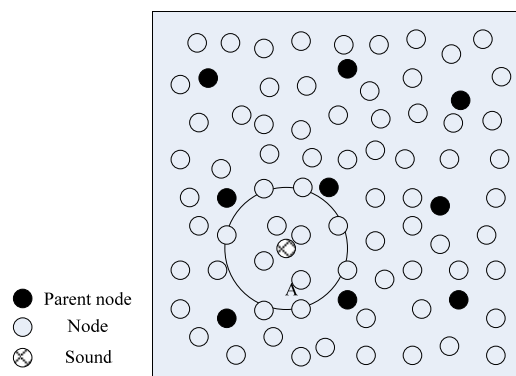


圖 8 模擬環境示意圖

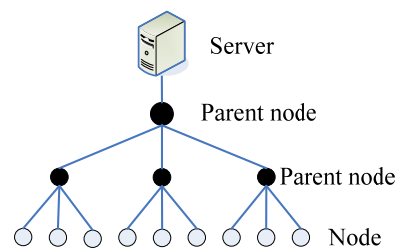


圖 9 模擬環境傳輸路徑樹狀圖

## 5. 結論

戶外資料的收集從最早的人工方式，經由科技的進步有了簡單的工具可以取帶大量的人力，更有精密電子產品研發，不僅取代了人力，更增加了許多方便性及功能性，無線感測器網路就是目前方便的工具之一，但在成本考量下，其能力依然有所限制，因此如何在有限的情況下做最有效的運用就是眾多學者所專著的地方，也是本研究的核心所在。

本研究在無線感測器網路上實現收集聲音的功能，並且把相同的資料過濾掉以節省電力的耗費，但無線感測器網路仍然有些地方有所限制，例如取樣率的不足，儲存容量有限等這些問題。本研究在這些限制下勉強可以收集到可以辨別的聲音訊號，也利用本研究所提出的方法有效的減少電力的耗費，但仍存在改進的空間，相信在未來的研究中是可以被克服的。

## 參考文獻

- [1] Abadi, D., Madden, S., and Lindner, W., "REED: Robust, efficient filtering and event detection in sensor networks," *VLDB*, 2005.
- [2] Akyildiz, I.F., Su, W. and Sankarasubramaniam, Y., "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, 40(8), pp. 102~114, 2002.
- [3] Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Erdal Cayirci Georgia Institute of Technology, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, August, 2002.
- [4] Berisha, V., Kwon, H., and Spanias, A., "Real-Time Acoustic Monitoring Using Wireless Sensor Motes" *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, (2006) p. 4, 21-24 May 2006.
- [5] Berisha, V., Kwon, H., and Spanias, A., "Real-Time Collaborative Monitoring in Wireless Sensor Networks," *Proc. IEEE ICASSP 2006*, Page III-1120 - III-1123, Toulouse, May 2006.
- [6] Chu, D., Deshpande, A., Hellerstein, J., Hong, W., "Approximate data collection in sensor networks," *ICDE*, 2006.
- [7] Gouyon, F., Pachet, F., Delerue, O., "On the use of zero-crossing rate for an application of classification of percussive sounds," *Proceedings of the COST G-6 Conference on Digital Audio Effects (DAFX-00)*, December, 2000.
- [8] Gui, C. and Mohapatra, P., "Power conservation and quality of surveillance in target tracking sensor networks," in *ACM Mobicom*, 2004.
- [9] Hac, A., "WIRELESS SENSOR NETWORK DESIGNS," *John Wiley & Sons, Inc*, 2003.
- [10] Jang, J.S., "Audio Signal Processing and Recognition," (in Chinese) available at the links for on-line courses at the author's homepage at <http://www.cs.nthu.edu.tw/~jang>.
- [11] Mainwaring, A., Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D., Anderson, J., "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring," *ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, September, 2002.
- [12] Saunders, J. "Real-time Discrimination of Broadcast Speech/ Music," *Proc. ICASSP96*, ~01.11, pp993-996, Atlanta, May, 1996.
- [13] Wang, Alice and Chandrakasan, Anantha, "Energy-Efficient DSPs for Wireless Sensor Networks", *Signal Processing Magazine, IEEE*, Volume 19, Issue 4, Page(s):68 – 78, Jul 2002.