

基於手機感應器之行人行走步數和轉向角度之估算

彭威然

淡江大學資訊網路與通訊所
e-mail: ms855187@hotmail.com

許輝煌

淡江大學資訊工程學系教授
e-mail: h_hsu@mail.tku.edu.tw

摘要

目前各種熱門公共場所都是許多觀光客常常會去的地方，例如地下街，各百貨公司。而這些地方通常都很大，第一次去的民眾大多會逛一逛之後，搞不清楚自己目前所在的位置而迷路。如此狀況下，如果有一套室內定位系統，讓使用者隨時可以知道自己目前所在的位置是一件很方便的事情。為了使用上方便，我們建構在現在幾乎人人皆有的智慧型手機上面。我們希望使用低成本且方便的方式來達到室內定位的效果，因此排除了在環境內架設感應器來定位的方式，而採用 PDR (Pedestrian Dead Reckoning) 的方式來進行行人航位推算，即是假設起始位置已知，再以使用者走路的步數，步伐大小和方向來進行目前所在位置的推算。使用者以手動方式輸入目前所在位當作起始點位置。使用了手機內建的感應器，如加速度感應器、陀螺儀感應器來獲得行人步行的資訊。以此方式來進行室內定位，則可以達到低成本且方便的室內定位效果。本研究初步結果針對行走步數和轉向角度進行測試，在之後的研究中即會加入定位的功能，並在地圖上顯示使用者的位置。

關鍵字: 加速度感應器、室內定位、步數估計、方向判斷

Abstract

Many people get lost easily in public places if they are not familiar with the environment. It would be more convenient to have an indoor localization system to help. Many researches in indoor localization can be found in the literature. However, they usually need to deploy sensors in the environment. It is costly and inconvenient. In this research, we propose to develop a smartphone indoor positioning system based on accelerometer. The PDR (Pedestrian Dead

Reckoning) method is used to build this system. In this method, we first input the location for the user to get his/her initial point. We then use accelerometer data to estimate the number of steps and step length, and gyroscope data to get the orientation. Preliminary results in step count and orientation show high accuracies. In the future we will combine all the information to determine the user's position and mark it on the map.

1. 緒論

1.1 研究動機

近年來智慧型手機蓬勃發展，幾乎可以說是人手一支。各家廠商不斷推陳出新，功能也越來越多樣化。搭配上手機硬體支援各種感應器，各式各樣讓人們生活上更方便地的應用程式也不斷地在推出。有可以使用手機進行讀唇的應用程式[13]，有老人摔倒偵測進行救護的應用程式[12]等等。智慧型手機的發展進步，使得一些專門做來應用於某些用途的設備，可以整合至手機當中。如車用導航系統不再是一個專門的配備，只需要一支手機有 GPS、陀螺儀等等感應器，配上適合的導航軟體，即可將車用導航系統轉移至手機中。人們只需要有手機，就可以一機多用，而不需要另外的購買一個車用導航系統。除了車用導航，我們想到是否可以在室內進行導航，如航空站、車站、百貨公司、博物館、地下街等等。在一些一般民眾常去而較容易迷路的地方進行室內導航，如此可以避免許多走冤枉路的麻煩，而增加使用者的便利性。所以本研究提出了一套以低成本方便性為主的手機室內定位系統。

1.2 研究目的

一般的導航系統皆都是使用衛星定位方式來判斷使用者所在的位置，但是在室內定位，因為都是在建築物中，衛星定位訊號無法明確的判斷使用者所在的精確位置，因此我們需要使用另外的方式來進行室內定位。目前在室內定位方面已經有不少相當成熟的方法，例如RFID[9]、WIFI[6]等等。但是這些方法都需要在環境內布上許多的感應器，成本較高，且事先的環境感應器安置相當麻煩。所以本研究目的在提出了一種基於一般智慧型手機上都有內建的加速度感應器、陀螺儀感應器，可以手動輸入目前所在的位置來確定起始點位置，捨棄掉在環境中布置許多感應器的高成本和步驟，來進行室內定位的系統。以達到人們只需要有一支手機，就可以在任何你想要進行定位的地方使用這套系統，如此既是一個省成本且方便的系統。

2. 文獻探討

關於室內定位方法，有直接使用加速度感應器取得加速度數值，用加速度來換算速度和距離[2]，但這方法並不適用於行人。我們所要進行的是一個以低成本且方便為訴求的室內定位系統，在[5]中，使用了PDR(Pedestrian Dead Reckoning)的一個方法，以使用者步行的狀態來進行位置推算。即是假設起始點已知，再以使用者走路的步數，步伐大小和方向來進行目前所在位置的推算。這個方法只需要根據使用者本身所提供的數據資料則可以判斷目前所在的位置，相較於其他使用外部感應器來進行判斷的方法，我認為這個方法較符合我們所要做的事情。而為了取得這些所需的資訊，我們需要找到一個在手機內合適的感應器來使用。目前手機內支援的感應器有相當多種，有加速度感應器、溫度感應器、光感應器等等。目前有相當多於人體活動上的判斷都是基於使用加速度感應器[3, 4]。在步數估算上面也

有許多不同的方法[8]，可以使用陀螺儀來進行判斷[7]但是手機擺放的位置是放置於褲子口袋，或是以加速度數值來進行估算[10]。本篇研究所做的設定為使用者以手持的方式來進行。手持的狀態中行走，陀螺儀的數值並無法有效地看出特徵變化，但是陀螺儀在針對轉向角度估算上則是有很大的影響。因此我們認為，要取得行人步行活動的資料，使用加速度感應器，轉向的部分使用陀螺儀感應器是最合適的。

在步伐大小的估算上面，可以是一個固定的步伐大小數值，但是基於準確性，基本上每個人所行走的步伐大小皆不相同，需要經過適當的運算才能得出確實的步伐大小。可以由使用者的腿長來進行估算，但是使用者一般不會知道自己的腿長為多少，此方法較為麻煩。現在已經有不少論文都已經針對步伐大小有做了研究[1, 11]，可以直接使用這些既有的方法來進行。

方向預測為一個相當重要的部分，如果步數、距離判斷皆準確，但是方向卻錯了或是歪了，那對於定位的結果將會是很大的影響。與方向有關的感應器有地磁感應器、電子羅盤和陀螺儀。而地磁感應器和電子羅盤皆會因為環境周遭附近有電纜線，或是任何會產生電磁效應的物品而受影響，精確度較低。在[11]中提出了電子羅盤配合陀螺儀，搭配上他的一套演算法來進行方向預估的方法。但是電子羅盤在一些有干擾的場合中除了精確度較低之外，甚至可能會無法進行作業，因此本研究中完全不將電子羅盤納入考慮，單純使用陀螺儀對三軸旋轉的角速度來進行方向的估測。

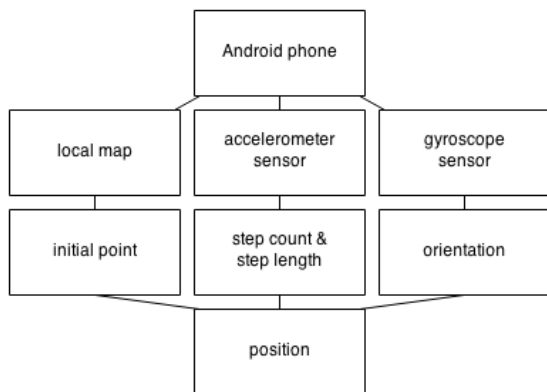


圖 1 功能架構

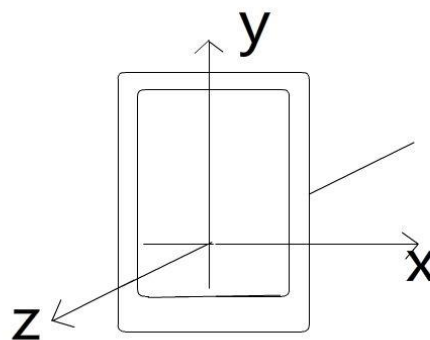


圖 2 手機坐標軸所對應的方向

3. 研究方法

3.1 功能架構

如圖 1 所示，使用者只需要一台搭載加速度感應器和陀螺儀的 Android 智慧型手機，即可以相當簡單的方式使用本系統。設定為使用者以使手持方式進行，使用者於螢幕上所載入的地圖上點擊目前位置來做為室內定位的起始點位置，在取得起始點位置後，偵測加速度感應器的數值，進行走路步數偵測，和步伐大小的估算，以陀螺儀感應器進行方向判斷，在整合以上資料來得到最終定位的結果。

3.2 系統流程

首先請使用者載入目前所在地之地圖，可由手機內讀入，或是由本套系統提供。使用者可於載入的地圖上面點擊目前所在的位置，如此即可確定起始點位置。確認了起始點位置之後，使用者即可已開始使用本系統進行室內定位，在移動過程中，系統會偵測加速度感應器的三軸加速度數值，來分析使用者的步伐大小，和對使用者的移動步數做計算。偵測陀螺儀感應器的數值，進行轉向角度的估算。結合了以上各點，有了起始點位置、步數、步伐大小、和轉向的角度。即可以由 PDR 的方法來達到使用者所在位置的推算。

3.3 資料處理

手機上的三軸座標系統表示如圖 2。x 軸代表左右，y 軸代表上下，而 z 軸代表前後。加速度感應器和陀螺儀感應器所偵測到的訊號皆有三個，分別為對 x 軸、y 軸和 z 軸的加速度和旋轉的角速度。我們分別對各個變數給予變數名稱，方便之後辨別。加速度感應器所偵測到的三個軸上的數值分別為 x_a 、 y_a 、 z_a ，陀螺儀所偵測到的三軸數值分別為 x_g 、 y_g 、 z_g 。我們只是需要利用加速度來偵測走路的步數和步伐大小，陀螺儀數值來判斷方向，並不是要判斷各種不同的動作，所以不需要許多細微的三軸變化，但是需要整體的數值來取得特徵值，因此將三軸加速度的資料使用公式 1 合併成一個數值 Acc 。我們以手持的方式來設計本系統，陀螺儀的 x_g 數值為圍繞 x 軸所旋轉的角速度，因此在轉向角度方面只需要使用到 y_g 和 z_g 即可以判斷轉向的角度。使用公式 2 來將兩個資料進行合併。

$$Acc = \sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2} \quad \text{公式 1}$$

$$Gyr = \sqrt{y_g^2 + z_g^2} \quad \text{公式 2}$$

我們使用加速度感應器取得的原始資料，因為硬體設計的關係，並不是絕對的穩定，即使是放著靜止不動，數據仍然會有些微幅度的震動和雜訊。因此我們不能直接使用取得的原

始數據來進行作業，需要對原始數據做一個去除雜訊的處理。我們取五筆資料做平均，來得到新的數據，即一個簡單的低通濾波器。

圖 3 為走路五步的 Acc 原始數據，圖 4 為經過低通濾波器處理過後的 Acc 數據，可明顯看出低通濾波器對於處理雜訊有顯著的效果。

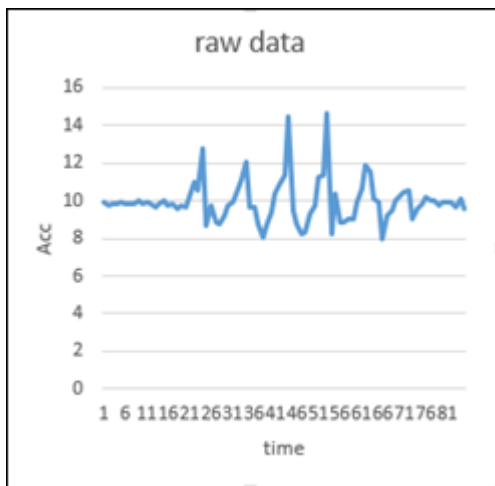


圖 3 行走五步原始數據 Acc

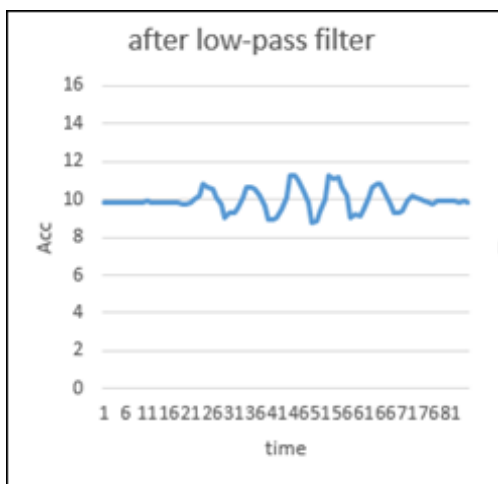


圖 4 經過低通濾波後 Acc

3.4 步數估計

3.4.1 滑動視窗判別法

我們觀察圖 4 這些數據，很明顯的可以看出，在進行行走狀態的時候，一步的波形就是一個高峰再配上一個峰谷。在[10]中提到，人

走一步的速率大概為 2Hz，不同人行走的速率不同，可能快一些或是慢一些，平均一步所需的時間為 0.4 秒到 1.2 秒之間。在 Android 程式中，資料取樣的頻率可設定四個速率，分別為 Fastest、Game、Normal、UI[14]，官方資料中並沒有詳細準確的頻率數據，只有相對的最快到最慢。而研究中所使用的頻率為 UI，經過實際測試結果為 70 毫秒至 80 毫秒之間，觀察實驗數據，高峰值和低峰值大概差距 6 筆資料，符合前面所提到的人所行走的速率。我們根據[6]中運用了取一個滑動視窗大小的概念來設計了一套演算法，這對於我們需要找尋的特徵值是出現在特定大小的範圍內是一個很好的方法。

因為峰值得相差資料筆數是 6 筆，我們設定視窗的大小為 10，而滑動的方式則是相重疊五筆資料，即每取得五筆資料則滑動一次。在視窗中，我們要找尋高峰和峰谷，高峰和峰谷必須相差到設定的閾值以上，才可以判定為峰值。如果不設定此閾值，一些些微的震動都會造成誤判。而為了更精確的判斷，我們設定必須在高峰值之後找尋峰谷，才不會因為滑動視窗可能包含到前一步已經計算過的峰谷而造成的誤判。

3.4.2 zero-crossing

在經過多次測試下發現，不同人行走的速度、步伐大小皆不相同，即使是同一個人，走的步伐大小不同，會影響到數據呈現的差異。圖 5 為行走步伐較大之情況，在步伐較大的時候，每步所需的時間會拉長，而 Acc 也會有較大幅度的變化。使用滑動視窗的方法來判斷步數，已經固定的一步所需的時間，但是此種方法沒有辦法針對不同的步伐大小來進行判斷，可能造成實際上走的是一步，但是因為滑動視窗的範圍較小，在一步中卻判斷為多步。

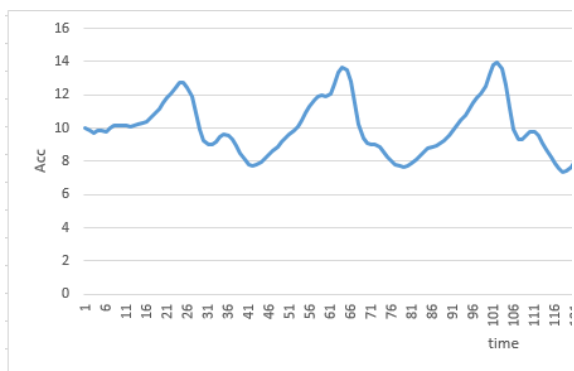


圖 5 行走步伐較大時 Acc 變化

為了解決針對不同步伐大小問題，我們使用 zero-crossing 的方法來進行步數判斷。我們仍針對步行的特徵，波峰與波谷來進行判斷。首先將 Acc 數值都先減去重力加速度 9.8，讓其在靜止時會維持在 0，如此在即可以正負號來使判斷更容易。取 Acc 中連續三筆資料來進行尋找，如中間的資料為最大且超過預設的閾值即可判斷為波峰。在偵測到波峰後找尋波谷，一樣以 Acc 中三筆連續資料中若是中間的值小於前後兩筆資料且小於預設的閾值則可判定為波谷。當最後數值資料從負數的波谷回到正數，即經過了正負正的特徵，如此才判斷為一步。

此種方法可以有效的解決掉針對不同人行走的步伐大小、速度不同造成行走間隔時間不同的影響。

3.5 方向判斷

方向感應器、電子羅盤等感應器在各種室內環境中皆會受到很大的影響，甚至是無法使用，因此研究中捨棄掉此方法，改採用陀螺儀偵測三軸旋轉角速度的方式來估算轉動的角度，面朝的方向。陀螺儀感應器所偵測到的資料單位為每秒的弧度(rad/s)，一個完整的圓弧度為 2π ，所以一弧度等於 $180^\circ/\pi$ ，約為 57.29577951° 。行人再轉向時是繞著世界座標的 Z 軸進行旋轉，而所偵測到的 x_g 、 y_g 、 z_g 數據為手機上的三軸座標，即為世界座標 Z 軸旋

轉的三個分量。為了降低手持時晃動造成的影響，我們捨棄掉 x_g 不納入計算。使用公式 2 算出角速度向量和，得到我們所要的圍繞世界座標 Z 軸的轉動角速度 Gyr ，乘上擷取每筆數據的間隔時間 $Time_k$ ，加總後再將之轉換為度數，得到行人所旋轉的角度 Ori ，如公式 3。 k 為每一筆資料， $Time_k$ 為每筆資料中的間隔時間。

$$Ori = \sum_{k=0}^k (Gyr_k * Time_k * 57.29578) \quad \text{公式 3}$$

根據右手定則，右轉為負數，左轉為正數，且加入度數範圍 0 度至 359 度。以此我們可以判斷出行人目前所朝向的方向，和行進間所轉彎的狀況。圖 6 為原地進行右轉 90 度四次，左轉 90 度兩次所得到的轉向角度，而其中在第 208 筆資料中有明顯的數值變化是為設定的範圍為 0 度至 359 度，如得到 360 度則判斷為 0 度，即為一圈，其方向相同。

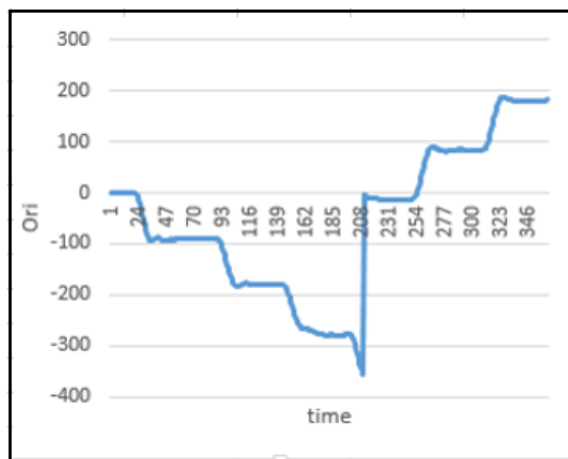


圖 6 原地轉向測試

3.6 步伐大小推算

推算步伐大小可以由使用者的身高體重來做計算，或是可以請使用者直接輸入固定的數值，但是這些方法都不夠精準。在其他研究中已經有不少應用加速度感應器來推斷步伐大小，且相當不錯的方法，如[11]中所提出，

每一步的距離大小 L_k ，可以使用一步間隔中的最大加速度數值 Acc_{max} 和最小加速度數值 Acc_{min} ，用公式 4 來計算。

$$L_k = \eta * \sqrt[4]{Acc_{max} - Acc_{min}} \quad \text{公式 4}$$

$$\eta = \frac{d_{real}}{d_{estimated}} \quad \text{公式 5}$$

公式 4 中的係數 η 為實際距離 d_{real} 和估測距離 $d_{estimated}$ 的比例如公式 5，根據每個使用者的不同，可以調整此係數來進行校正。

此方法使用加速度數值和計算出的係數 η 可以推算出使用者不論是跨的大步或是小步皆可以判斷出步伐大小。但是針對不同使用者所得出的係數 η 不盡相同，在系統啟動時會請使用者行走 10 步以進行個人化設定，並且輸入 10 步中所行走的距離，如此即可以計算出係數 η 。

但是實際情況下使用者可能無法得知自己行走的距離，我們可提供請使用者直接輸入步伐大小，或是使用身高來判斷步幅的方式來使用。因本篇探討範圍為行走步數判斷和轉向角度估計，步幅大小和位置評估在之後的研究中將會加入詳細討論。

3.7 位置評估

取得了行人行走的資訊，步數、步伐大小、方向和起始點位置。我們需要將這些資訊整合在一起，配合上適當的地圖，達到室內定位的效果。以二維坐標系作為定位的平面，X 軸代表東西向，Y 軸代表南北向，使用者在畫面地圖上點擊目前所在位置設定為起始點，將起始點位置設為原點座標。經過個人化之後得到步幅大小 L 。以一個圖示標記行人目前所在的位置並且隨之移動，室內平面圖比例尺大多是 1:50 或是 1:100，根據行走步數判斷和步伐大小 L 搭配上轉向角度 θ ，以此比例尺在平面上

移動。在每一步移動中，都會先檢查轉向的角度 θ ，可由三角函數計算出於 X 軸和 Y 軸分別增加的長度。X 軸長度為 $L * \cos\theta$ ，Y 軸長度為 $L * \sin\theta$ 。以此方式整合行走的各種資訊，取得定位的結果。

4. 實驗結果與分析

4.1 實驗環境與方法

為確保本研究中所使用的方法能夠確實判斷出使用者的位置，進行一系列模擬實驗，包含步數判斷和方向偵測。實驗使用 new HTC one 進行。四核心 1.7GHz 處理器，採用 Android 4.3 作業系統，並有搭載陀螺儀、加速度感應器、趨近感測器和環境光線感測器等等，適合用來作為本研究進行實驗。

實驗環境為淡江大學工學館八樓，以手持手機觀看螢幕方式，分別對步數判斷和方向偵測做實驗。以步行直線 50 步方式來測試步數判斷，分別以 sliding window 和 zero-crossing 方式進行實驗。轉向角度部分因為以手持方式進行，較細微的度數如 10 度 20 度較難進行實驗，所以以右轉和左轉九十度來測試，分別都進行十次，並將結果整理成表格，檢視方法的準確率。

4.2 實驗結果

表 1(a) 為 sliding window 方法的實驗結果，從結果可觀察出，整體平均的正確率只達到 78.40%，且十次實驗計算出的步數誤差的部分都是大於實際行走的步數。可得確定在 window 範圍大小設定上並無法準確的判斷出行走步數。表 1(b) 為使用 zero-crossing 方法進行的步數判斷結果。其正確率達 98.60%，其中的誤差可能為受手持裝置時的晃動導致，但正確率仍在可作為實際應用上的接受範圍。兩種步數判斷方法相比較之下，很明顯的可以得到 zero-crossing 是比較好的方法，不但可以解決

行走速率不同的問題，且準確率較高。

表 2(b) 轉向角度測試結果

表 1(a) sliding window 行走步數測試結果

實驗編號	實際行走步數	sliding window	正確率
1	50	60	80.00%
2	50	61	78.00%
3	50	58	84.00%
4	50	63	74.00%
5	50	63	74.00%
6	50	54	92.00%
7	50	65	70.00%
8	50	59	82.00%
9	50	58	84.00%
10	50	67	66.00%
average	50	60.8	78.40%

實驗編號	左轉90度	測得度數	正確率
1	90	94.95	94.50%
2	90	89.726	99.70%
3	90	90.368	99.59%
4	90	83.134	92.37%
5	90	93.118	96.54%
6	90	91.377	98.47%
7	90	86.718	96.35%
8	90	91.331	98.52%
9	90	85.403	94.89%
10	90	95.671	93.70%
average	90	90.1796	96.46%

表 1(b) zero-crossing 行走步數測試結果

實驗編號	實際行走步數	zero-crossing	正確率
1	50	50	100.00%
2	50	50	100.00%
3	50	51	98.00%
4	50	50	100.00%
5	50	53	94.00%
6	50	52	96.00%
7	50	50	100.00%
8	50	51	98.00%
9	50	50	100.00%
10	50	50	100.00%
average	50	50.7	98.60%

5. 結論與未來展望

轉向實驗結果如表 2(a)和表 2(b)，以陀螺儀的分量進行整合所得到的角速度換算角度結果，不論是右轉或是左轉平均正確率皆有 96% 以上，其中的誤差值可能為實驗中人為轉向的誤差，但是使用此方法應用於本研究中足以判斷使用者所行走的方向。

表 2(a) 轉向角度測試結果

實驗編號	右轉90度	測得度數	正確率
1	-90	-90.234	99.74%
2	-90	-91.058	98.82%
3	-90	-95.894	93.45%
4	-90	-93.479	96.13%
5	-90	-88.358	98.18%
6	-90	-90.736	99.18%
7	-90	-95.301	94.11%
8	-90	-89.632	99.59%
9	-90	-91.504	98.33%
10	-90	-86.881	96.53%
average	-90	-91.3077	97.41%

本研究基於低成本和方便性和各種室內公共場所皆可以使用為目標，使用 PDR 方法於智慧型手機設計一套室內定位系統。初步研究利用智慧型手機內的加速度感應器擷取三軸加速度資料，分析行走的特徵值用以判斷步數。整合陀螺儀感應器三軸角速度分量，估算行人轉向角度，在實驗結果上都仍算相當準確，可於實際生活上應用。未來的研究中會加入地圖的載入和起始點的輸入，整合以上各項資訊達到室內定位的效果，讓使用這套系統的使用者都可以放心的在陌生環境中隨心所欲的逛街，在生活上增加許多方便性和減少擔心迷路的困擾。系統中仍有些地方可以進行改進，對於轉向角度方面需要較精準的準確度，因為在位置評估上，轉向角度的誤差是會持續累加上去的，且因為手持裝置的關係，在行進間的震動皆會影響角度的判斷。未來研究希望可以排除掉這個問題。本室內定位系統時做出以後，須實際針對各個室內公共場所進行定位準確度測試，和其他的室內定位方法做比較，評估實用性。未來更可能可以針對地圖的圖像處理，加入導航的功能，結合網路告知親友位置，結合店家資訊更可以成為一份電子導覽地圖，在功能上更多樣化，更加的便利。

參考文獻

- [1] Alvarez, D., Gonzalez, R.C., Lopez, A., Alvarez, J.C., “Comparison of Step Length Estimators from Wearable Accelerometer devices”, *28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 5964-5967, 2006
- [2] Ching-Hsien Hsu, Chia-Hao Yu , “An Accelerometer Based Approach for Indoor Localization”, *Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing*, pp. 223-227, 2009
- [3] Dernbach, Stefan, Das, B., Krishnan, Narayanan C., Thomas, B.L., Cook, D.J., “Simple and Complex Activity Recognition Through Smart Phones”, *Conference on Intelligent Environments*, pp. 214-221, 2012
- [4] Fahim, M., Fatima, I., Sungyoung Lee, Young-Koo Lee, “Daily Life Activity Tracking Application for Smart Homes using Android Smartphone” *International Conference on Advanced Communication Technology*, pp. 241-245, 2012
- [5] Gusenbauer, D. , Isert, C., Krösche, J., “Self-Contained Indoor Positioning on Off-The-Shelf Mobile Devices”, *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, pp. 1-9, 2010
- [6] Jahyoung Koo, Hojung Cha, “Unsupervised Locating of WiFi Access Points Using Smartphones”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, pp. 1341-1353, 2012
- [7] Jayalath, S. ,Abhayasinghe, N., “A Gyroscopic Data based Pedometer Algorithm”, *International Conference on Computer Science & Education*, pp. 551-555, 2013
- [8] Marschollek, M., Goevercin, Mehmet, Wolf, Klaus-Hendrik, Bianying Song, Gietzelt, M., Haux, R., Steinhagen-Thiessen, Elisabeth , “A performance comparison of accelerometry-based step detection algorithms on a large, non-laboratory sample of healthy and mobility-impaired persons”, *30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 1319-1322, 2008
- [9] Po Yang, Wenyan Wu, Moniri, M., Chibelushi, C.C., “Efficient Object Localization Using Sparsely Distributed Passive RFID Tags”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, pp. 5914-5924, 2013
- [10] Wen-Yuah Shih, Liang-yu Chen, Kun-Chan Lan, “Estimating Walking Distance with a Smart Phone”, *Fifth International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Programming*, pp. 166-171, 2012
- [11] Wonho Kang, Seongho Nam , Youngnam Han, Sookjin Lee , “Improved Heading Estimation for Smartphone-Based Indoor Positioning Systems”, *IEEE 23rd International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 2449-2453, 2012
- [12] Ying-Wen Bai, Siao-Cian Wu, Cheng-Lung Tsai, “Design and Implementation of a Fall Monitor System by Using a 3-Axis Accelerometer in a Smart Phone” *IEEE 16th International Symposium on*

Consumer Electronics, pp.1-6, 2012
[13] Young-Un Kim, Sun-Kyung Kang,
Sung-Tae Jung, “Design and
Implementation of a Lip Reading System
in Smart Phone Environment” *IEEE*

*International Conference on Information
Reuse & Integration*, pp. 101-104, 2009
[14] <http://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorManager.html>