

室內紅外線人員位置定位系統設計與應用

洪志忠

南台科技大學 通訊所
ma0s0108@stust.edu.tw

文成康

台南應用科技大學 資管系
ckwen@venus.tut.edu.tw

余兆崇*

南台科技大學 電子系
ctyu@mail.stust.edu.tw

摘要

近年來室內定位技術不斷推陳出新，且在智慧家庭的應用上有很大發展空間與商機。被動式紅外線感測器(Passive Infrared Sensor, PIR)可感應人體紅外線輻射並判別人員是否在感測區域內，非常適合做室內人員位置偵測。本文整合 ZigBee 無線傳輸模組、8051 控制單晶片、紅外線感測等元件，設計與實現一個室內紅外線人員位置定位系統，其中使用多個紅外線感測器以格狀區域感測方式進行人員定位，定位結果同時顯示於電腦螢幕，並應用於電風扇之送風方向自動調控。所實現之原型系統可達到室內定位之功能，並可結合家電廣泛應用於智慧家庭系統。

關鍵詞：紅外線、室內定位。

Abstract

The indoor positioning technology has been received much attention and investigated because it provides a broad domain of location-based applications, such as the light control in a smart home. The passive infrared sensors (PIR) can detect infrared radiation of human body and therefore is a very suitable candidate for developing indoor human positioning systems. In this paper, we integrate ZigBee wireless transceivers, 8051 micro controller, PIRs and designed hardware and software to develop a positioning system that can localize humans inside a building. The proposed positioning system employs multiple PIRs with a centralized structure that constructs a grid detection area to locate human position indoor. The located human position is displayed in real time on a computer screen. The potential applications of the developed system are demonstrated by being successfully applied to automatically control the fan direction according to the located human position. It has been shown that the implemented system has the indoor human positioning ability and can be used in many applications.

Keywords: infrared, indoor positioning.

1. 前言

目前世界許多國家紛紛投入智慧家庭研究，例如台灣之智慧台灣計畫、中國之十二五計畫、歐盟之 Europe 2020 計畫、日本的 U-Japan 以及南韓之 U-City 計畫等等，智慧家庭的相關產品應用與各國政策息息相關，未來發展出的商機不容小覷 [1-5]。室內定位系統可結合家電廣泛應用於智慧家庭，一般常見的定位機制有 TOA(Time of Arrival)、TDOA(Time Difference of Arrival)、AOA(Angle of Arrival)、RSS(Received Signal Strength)等等[6-7]，這些定位機制是透過訊號傳遞的時間、角度或能量，換算為距離或方位來判斷人員位置，以 TOA、TDOA 與 AOA 的方式來說，訊號在空氣中的傳遞速度趨近於光速，所以在選用微控制器的頻率需要很快，這會使硬體成本提高，使用 RSS 方式，人員本身需要攜帶傳訊工具，方可得知訊號能量的強度大小。被動式紅外線感測器可感應人體紅外線輻射並判別人員是否在感測區域內，且人員本身不需要攜帶收發工具，使用微控制器的頻率要求較低，非常適合做室內位置偵測。

被動式紅外線感測器的佈置方式大致分為集中佈置與分散佈置。若感測器做分散佈置，可以選擇使用有線或無線傳輸方式傳送所感測的訊號。有線傳輸需要佈建線路，導致安裝不易；無線傳輸則會增加無線傳輸模組的硬體成本。本文整合 ZigBee 無線傳輸模組、8051 控制單晶片、紅外線感測等元件，設計與實現一個室內紅外線定位系統，其中使用多個紅外線感測器並以集中佈置之格狀區域感測方式進行人員定位。

本系統較現今市場中可找到一些產品更為容易佈置，具有創新性，所完成原型系統經過測試也顯示作品之完整性。此外，本系統可以應用於電扇或冷氣機的風向操控，未來可對此原型系統開發相關的應用，例如近年新聞報導許多獨居老人因末梢血液循環不良而無法走動，最後導致活活餓死的慘劇，利用定位功能判斷人員進入感測範圍後，若長時間沒有移

動，立即發出警報通知人員，可防止類似不幸事件發生，成品具有高度實用性。

本文安排架構如下：第 2 節介紹製作原理，第 3 節說明系統簡介與架構，第 4 節說明軟體架構，第 5 節說明設計方法，第 6 節為測試方法，第 7 節驗證結果，最後第 8 節敘述結論。

2. 製作原理

本節先介紹紅外線感測範圍電路工作原理，並說明如何修改感測器使其感測範圍可以適用於本文之系統。

2.1. 紅外線感測範圍

菲涅爾透鏡可增加感測器接收紅外線範圍與距離，透鏡內面有許多鋸齒形狀的條紋，利用這些條紋使紅外線可折射到感測器內部的感測材料上[8]，說明如圖1所示。TOP-208 PIR模組之透鏡感測範圍如圖2所示為一扇形狀，感測器透過不同角度的鏡面折射紅外線到感測器內，由於鏡面之間銜接角度不同，使隨著距離越遠無法感測的間隙越大，造成感測器可能感測不到人員，為了減少間隙造成的影響，擺放時需仔細調整感測器位置。

本系統採集中佈置之格狀區域感測方式，因此遮蔽透鏡部分鏡面需要加以加工修改[9]，TOP-208 PIR模組加工前後變化如圖3所示，此鏡面加工修改使其感測範圍限制為一個長方形。

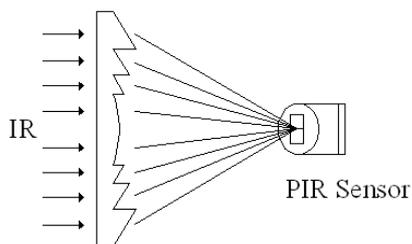


圖 1：菲涅爾透鏡折射紅外線

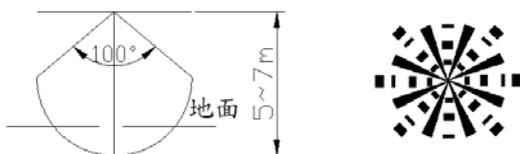


圖 2：TOP-208 PIR 模組感測範圍



圖 3：感測範圍修改前與修改後

2.2. 電路工作原理介紹

PIR Sensor是屬於一種熱型感測器，內部的感測材料接收到紅外線能量會因焦電效應產生一微小訊號，如圖4所示，訊號經過放大、濾波、比較、延遲、輸出驅動等電路傳送到中央處理單元(CPU)，透過程式演算法運算，控制各項不同的受控元件[10][11]，如圖5所示。

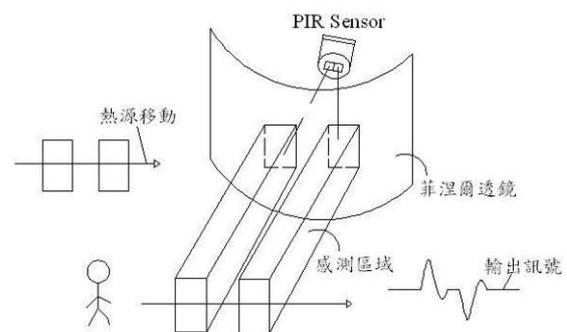


圖 4：感測器感應情形

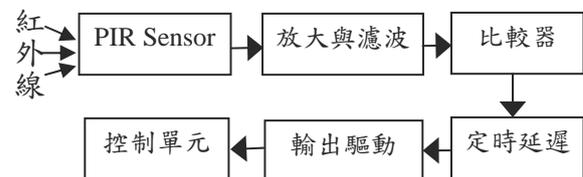


圖 5：PIR 電路方塊圖

3. 系統簡介與架構

3.1. 系統簡介

本文整合ZigBee無線傳輸模組、8051控制單晶片、紅外線感測等元件，設計與實現一個室內紅外線定位系統，圖6為系統示意圖，以集中式佈建6組紅外線感測器於天花板上，形成格狀區域感測方式進行人員定位，當人員進入任一感測區域，感測主控端將週期性定時傳送人員位置訊號到電腦顯示端顯示人員位置。此系統以控制電扇風向做應用功能展示，感測主控端每5秒更新控制訊號到受控端(電風扇)調整其送風方向至人員所在之處。

3.2. 硬體架構

本系統架構主要由感測與主控端、受控端、電腦顯示端三個部份組成。

- 感測與主控端：架構如圖 7 所示，使用集中式佈建 6 組不同角度之紅外線感測器 (TOP-208) 於天花板上，形成格狀區域感測方式進行人員位置偵測，感測器感測訊號經微控制器 (89S51) 程式演算法運算後判別人員位置，再透過 ZigBee 模組 (DRF1605) 週期性無線傳輸方式傳遞人員當前位置訊號至電腦顯示以及受控端 (電風扇風向控制應用)。

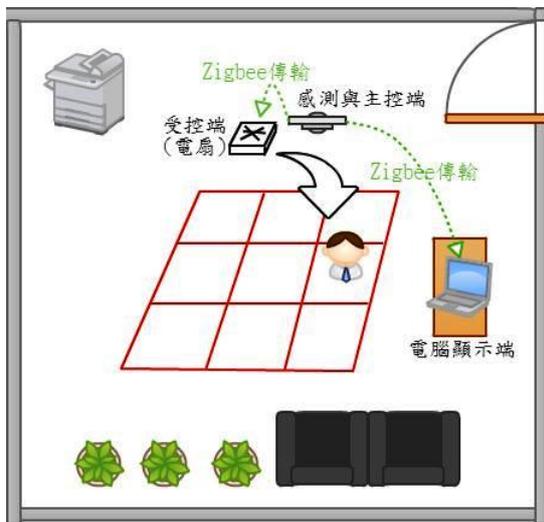


圖 6：室內定位系統與應用情境模擬

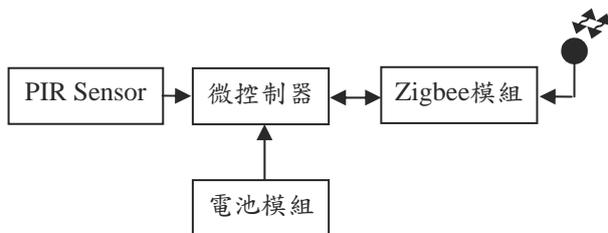


圖 7：感測與主控端系統架構

- 受控端：架構如圖 8 所示，此端 ZigBee 模組接收主控端的控制訊號，經微控制器操控電風扇風向轉動。

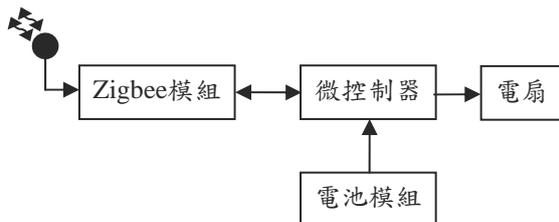


圖 8：受控端系統架構

- 電腦顯示端：架構如圖 9 所示，此端 ZigBee 模組接收主控端所偵測到人員之位置資訊，再以 Visual Basic 程式碼將人員位置顯示於電腦螢幕。



圖 9：電腦顯示端系統架構

4. 軟體架構

對應系統硬體架構，分別設計軟體，概述軟體架構如下：

- 感測與主控端：以第 5 小節之演算法定位，控制 ZigBee 模組以每秒傳送位置訊號到電腦端顯示，並且每 5 秒更新控制訊號到受控端 (電風扇風) 調整其送風方向至人員所在。軟體流程如圖 10 所示。

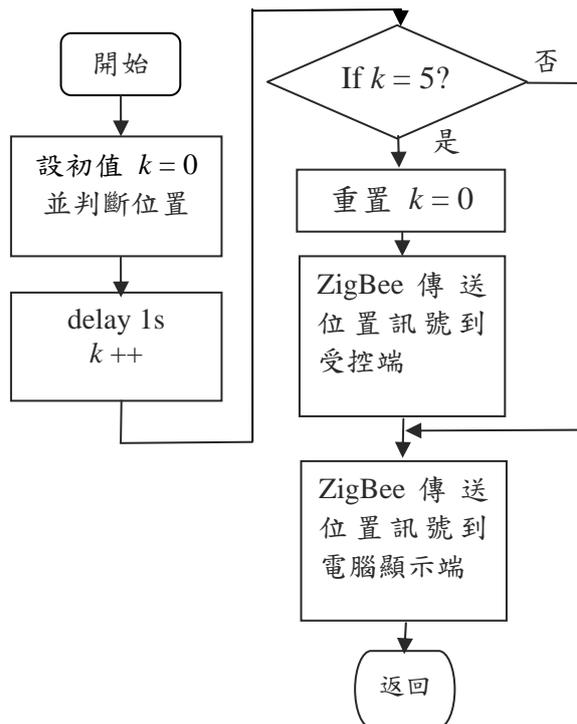


圖 10：感測與主控端軟體執行流程

- 受控端：架構如圖 11 所示，此端 ZigBee 模組接收主控端的控制訊號，經微控制器操控電風扇風向轉動。

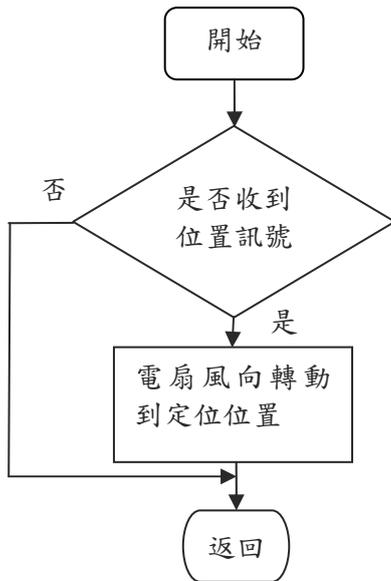


圖 11：受控端軟體控制流程

- 電腦顯示端：架構如圖 12 所示，此端 ZigBee 模組接收主控端所偵測到人員之位置資訊，撰寫 Visual Basic 程式於電腦顯示人員位置。

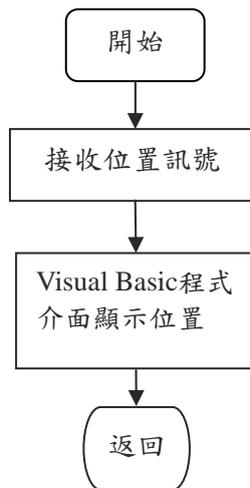


圖 12：電腦顯示端軟體控制流程

5. 設計方法

5.1. 感測器佈置方式

本系統使用兩組感測器(分別為a個與b個)以集中方式佈建，可以感測a × b個區域之格狀感測區域[12]，圖13所示為6 (a = 3與b = 3) 個不同角度的感測器可以感測3x3之格狀感測區域。利用兩組感測器之感測區域重疊方式可以決定人員位置，其中a個感測器與與b個感測器可以切割成兩軸格狀感測區域 [13-15]。

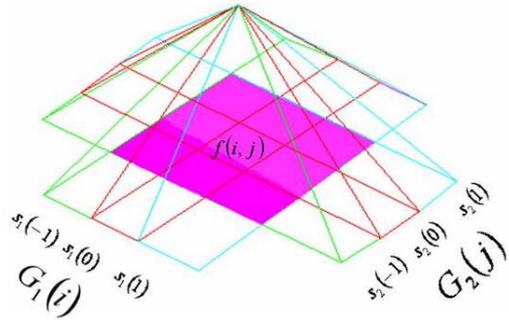


圖 13：集中方式佈建感測器

5.2. 位置偵測演算法

我們以 $f(i, j)$ 之數值表示人員是否在位置 (i, j) ，當 $f(i, j) = 1$ 時表示在位置 (i, j) 偵測到人員，反之 $f(i, j) = 0$ 時表示在位置 (i, j) 沒有偵測到人員，其數學式表示成

$$f(i, j) = G_1(i)G_2(j) = \begin{cases} 1, & \text{人在}(i, j)\text{區域} \\ 0, & \text{無} \end{cases} \quad (1)$$

其中 i 與 j 由函數 $G_1(i)$ 與 $G_2(j)$ 之數值判定， $G_1(i)$ 與 $G_2(j)$ 可表示成

$$G_1(i) = \begin{cases} 1, & s_1(0) = 1, i = 0 \\ 1, & s_1(0) = 0 \text{ and } s_1(\ell) = 1, \text{ if } \ell < 0, i = \max[\ell] \\ 1, & s_1(0) = 0 \text{ and } s_1(\ell) = 1, \text{ if } \ell > 0, i = \min[\ell] \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

以及

$$G_2(j) = \begin{cases} 1, & s_2(0) = 1, j = 0 \\ 1, & s_2(0) = 0 \text{ and } s_2(\ell) = 1, \text{ if } \ell < 0, j = \max[\ell] \\ 1, & s_2(0) = 0 \text{ and } s_2(\ell) = 1, \text{ if } \ell > 0, j = \min[\ell] \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

函數 $G_1(i)$ 與 $G_2(j)$ 之設計主要是因為感測器集中式佈建(理論上是集中於一點)，感測區域從天花板以各種不同角度投射到地面，使空間裡有許多不同斜率的感測區域，這些區域會因人體身高或身寬造多個感測器同時感測到人員，如圖14所示。為方便說明以及設計定位方法，格狀感測區域兩軸位置索引設成對稱方式，考量 a 與 b 皆為奇數情況， $i = -(a - 1)/2, \dots, 0, \dots, (a - 1)/2$ 以及 $j = -(b - 1)/2, \dots, 0, \dots, (b - 1)/2$ ，兩軸判斷是否有人員之準則是以靠近中間之感測器感測到之數值為準，因此得到函數 $G_1(i)$ 與 $G_2(j)$ 之數值與對應之 (i, j) 。

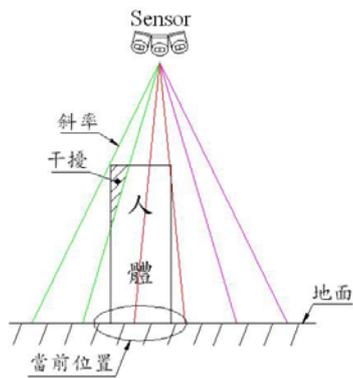


圖 14：人體身高身寬造成干擾

6. 系統功能測試

6.1. 系統原型

我們整合前述之軟硬體設計，完成紅外線室內定位的系統原型，如圖15~圖17所示，其中圖15(a)為感測與主控端外觀，以集中方式佈建兩組感測器感測3x3之格狀感測區域，圖15(b)為感測與主控端系統內部電路，內部整合ZigBee無線傳輸模組、8051控制單晶片與紅外線感測元件等電路。



(a) 系統外觀



(b) 內部電路

圖 15：感測與主控端系統原型

圖16為電腦顯示端系統原型，ZigBee模組接收主控端所偵測到人員之位置資訊，使用Visual Basic程式於電腦顯示人員位置。



圖 16：電腦顯示端系統原型

圖17為受控端系統原型，整合ZigBee無線傳輸模組與8051控制單晶片，操控電扇風向轉動。

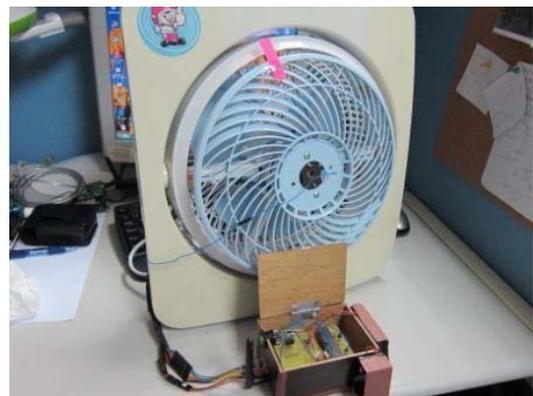


圖 17：受控端系統原型

6.2. 系統測試

感測與主控端安裝在天花板上並開啟電源，受控端電源開啟並將傳輸線與電扇硬體電路連接、電腦與ZigBee模組連接，隨後開啟電腦上的Visual Basic程式介面。當人員進入感測範圍，電腦螢幕即會顯示當前位置，電扇的風向會自動調整至人員的位置。

本系統隨著空間的大小，可決定增加或減少感測器數量，但因實驗室空間有限，只單純測試一個固定範圍。我們使用6組感測器，其室內定位整體範圍約為3.7×3.7 平方公尺，如圖18所示。

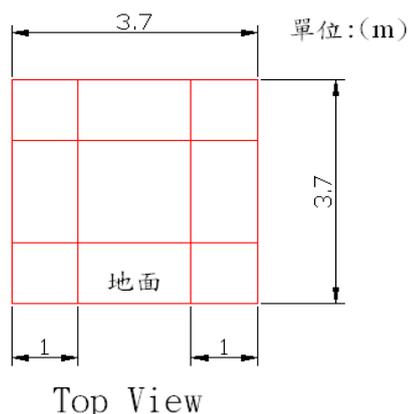


圖 18：感測範圍距離

7. 測試結果

圖 19-20 顯示人員實際位置以及定位結果，同時電風扇調控位置與電腦所顯示的位置一致，系統測試結果驗證本系統室內定位功能與應用確實可行。



圖 19：現場實際測試



圖 20：電風扇調控位置與電腦顯示的位置

8. 結論

本文由探討菲涅爾透鏡對 PIR Sensor 感測範圍之影響，介紹感測器電路工作原理與系

統、軟體架構，利用簡單的感測器重疊感測區域概念判別人員位置，將感測器集中在同一範圍減少硬體成本，設計演算法解決干擾問題，最後實現與測試該系統，完成本次是內定位功能與應用。

感測器接收人體所散發出的紅外線，感測範圍內若有遮蔽物，在遮蔽物後方人員散發出的紅外線無法傳送到感測器，未來將持續研究解決方法。

本系統理論上定位空間大小可由增加或減少感測器來決定，因實驗室空間所限，只使用 6 組 PIR 模組測試 3.7×3.7 平方公尺的空間，因此其他的定位範圍需再測試與驗證。

參考文獻

- [1] 智慧台灣計畫網站，智慧台灣計畫，<http://www.intelligenttaiwan.nat.gov.tw>。
- [2] 陳右怡、李佳恬、金美敬、蔡芝婷、張慈映 編著，中國大陸智慧家庭產業發展特輯，**工業技術研究院**，2011 年 10 月。
- [3] 行政院經濟建設委員會，歐盟「EUROPE 2020 策略」的規劃與啟示，2010 年 3 月 <http://www.cepd.gov.tw/m1.aspx?sNo=0013311>。
- [4] 資策會 FIND 網站，日本最新 IT 政策—u-Japan 介紹，2004 年 9 月，<http://www.find.org.tw/find/home.aspx?page=trend&id=1258>。
- [5] 資策會 FIND 網站，南韓 U-City 計畫整合跨產業 以發展下一代新都市，2005 年 4 月，<http://www.find.org.tw/find/home.aspx?page=news&id=3676>。
- [6] 方群、郭賢生、陸章鑫 編著，室內定位理論方法和應用，**電子工業出版**，2012 年 9 月。
- [7] 洪斌釗，RFID 室內位置感知系統之研究，**朝陽科技大學網路與通訊研究所碩士論文**，2007 年 7 月。
- [8] 桑島幹 編著，透鏡，**瑞昇文化**，2011 年 11 月。
- [9] 蕭榮修、林丁丙、林信標、鐘震華、鄭書峻，基於人體紅外線感測器之室內位置偵測系統，**第八屆無線、隨意及感測網路研討會**，2012 年 8 月。
- [10] 賴耿陽 編譯，紅外線工學基礎應用，**台灣復文興業**，1995 年 1 月。

- [11] 盧明智、盧映宇 編著，感測器應用與線路分析，**全華圖書**，2008年5月。
- [12] G. Monaci and A. Pandharipande, "Indoor User Zoning and Tracking in Passive Infrared Sensing Systems," **Proceedings of 20th European Signal Processing Conference, Romania**, pp. 1089 – 1093, Aug. 27 - 31, 2012.
- [13] H. H. Kim, K. N. Ha, S. Lee, and K. C. Lee, "Resident Location-Recognition Algorithm Using a Bayesian Classifier in the PIR Sensor-Based Indoor Location-Aware System," **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews**, vol. 39, no. 2, pp. 240 – 245, Mar. 2009.
- [14] X. Luo, B. Shen, X. Guo, G. Luo, and G. Wang, "Human Tracking Using Ceiling Pyroelectric Infrared Sensors," **Proceedings of IEEE International Conference on Control and Automation**, pp. 1716 - 1721, Dec. 9-11, 2009.
- [15] R. Ma and Q. Hao, "Buffon's Needle Model Based Walker Recognition with Distributed Binary Sensor Networks," **Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI)**, pp. 120 – 125, Sept. 13-15, 2012.