

# 基於無線射頻與電腦視覺技術的停車位 導引系統

## PARKING GUIDANCE SYSTEM BASED ON RADIO FREQUENCY AND COMPUTER VISION

黃志泰 Gai-Tai Huang<sup>1</sup>

(98 年 3 月 17 日收稿，98 年 7 月 27 日第一次修改，98 年 12 月 30 日  
第二次修改，99 年 3 月 7 日定稿)

### 摘 要

在大型公共停車場中要尋找一個空的停車位，對駕駛來講是一大問題，目前臺灣已建置有各種不同的停車導引（管理）系統，不過直到現在大多無法真正做到引導駕駛到空停車位來停車。因此本文提出一套創新的基於無線射頻和電腦視覺技術的停車空位導引系統，我們結合無線導引感測網路與攝影監視系統，建構出一套容易安裝使用的停車位導引系統，並且開發出結合 ZigBee 與 LED 的動態導引資訊看板，以 ZigBee 作為控制訊號傳輸網路，在停車場中佈建出一個無縫隙的無線導引感測網路。除此之外，我們提出一個以影像識別為基礎的非學習式停車空位偵測方法，這個方法只要簡單四大步驟，就能完成停車空位偵測。經由實驗驗證，這套系統在模擬或實際停車場環境中運作，皆獲得不錯的效果，因此，此一系統架構不失為改良現有系統的一個參考做法。

**關鍵詞：**停車空位偵測；停車位導引系統；角點偵測；影像識別；  
無線射頻

---

1. 德明財經科技大學資訊管理系助理教授（聯絡地址：114 臺北市內湖區環山路一段 56 號 德明財經科技大學資訊管理系；電話：02-26585801；E-mail：hgt@takming.edu.tw）。

## ABSTRACT

*A major problem regarding large scale parking lots is having to search for a parking space. Parking space detection is one of the key technologies in parking guidance or management systems. In Taiwan various parking guidance or management systems have been proposed, but until recently all of them provided surplus information of parking spaces to the users only, and could not direct drivers to available spaces close to them.*

*In this paper a novel parking guidance system based on radio frequency and computer vision is presented. The goal of this paper is to present a wireless guidance sensor network that combines with a visual-based surveillance system that can allow easy, inexpensive monitoring of the vehicle berth in a car park. The wireless guidance sensor nodes are small in size, low cost, easily installed, and use ZigBee wireless communication technology to direct drivers to available spaces close to them. In addition, we present an unsupervised vision-based system for parking lot occupancy detection. The proposed method exhibits low computation complexity and uses just a few processes. The method is based on four main processing stages. In the first section, a raw image acquired from a camera system is preprocessed to mark the regions of the parking spaces. In the second step, the raw image is converted to a gray image. In the following step, car characteristics in the gray image are detected via the Harris corner detection algorithm. Finally, a parking place status is evaluated. Experimental results from both artificial and real scenes show promising results even in quite challenging conditions. Nonetheless a scope for improvement of the presented method is given.*

**Key Words:** *Parking spaces detection; Parking guidance system; Corner detection; Vision-based system; Radio Frequency; ZigBee*

## 一、前言

近年來，大型社區大樓、物流中心、百貨購物商場、醫院、辦公大樓林立，這些地方的停車位一般都分布在地下、地上或停車場各樓層當中，往往整個停車場可能擁有數百到數千個停車位，開車到這些場所，需要花費非常多的時間穿梭在各樓層當中來尋找停車位，因此，如何在這類大型公共停車場中導引駕駛找到便捷的停車位，變成一個非常實際而待解決的問題。

目前停車場大部分都有提供車位剩餘標示，普遍的做法，是在停車場入口或停車場各樓層出入口透過感測器，提供如「目前的停車空位數量」的資訊給予駕駛。但是，這種做法還是無法正確告知車位位置，駕駛還是要問：「空車位到底在那裡？怎麼開到那個車位？」，這樣的問題若透過人力來指揮導引，是非常耗工耗時，而且人力成本會非常高，若是在每個停車位裝設感應元件，然後透過停車位感應器來判斷，不僅施工佈線的成本高，後續的維護花費可能會更高。因此，簡易架設與低成本，便成為這類停車位導引系統

的基本要求。所以本研究結合無線射頻技術 (ZigBee) 與電腦視覺技術，開發出一套停車位導引雛型系統，冀望透過這個雛型系統，可以發展出具高效能、簡易架設與低成本的停車位導引系統。

## 二、相關技術方法探討

目前既有的停車場即時車位資訊系統的做法，是在每處停車場的出入口裝設車輛感應器，計算車輛進出數，以測得停車場剩餘空位數，再將資訊顯示在看板。這種傳統做法的缺點是可能會計算錯誤，其次是當停車場已停滿大量車輛時，駕駛經常要繞行半天才可能找到空的車位，因為這種系統無法指引車輛駕駛人尋找適當的停車地點，因此假若能於停車場內設計一套停車位導引系統，在高停車率時，停車者可依照指示的方向前往某一車位或區塊停車，那麼停車者就不需再花費額外的時間尋找車位，如此必能改善停車場的管理及使用效率。

近年來開始有業者或研究者開發或研究出能指引停車位的停車場停車位導引系統，基本上停車位導引系統的主要技術為車位偵測技術及資訊傳遞與控制技術，其中車位偵測技術主要是偵測車位是否已停有車輛，是整個停車位導引系統的運作核心技術，主要的技術方法可分為埋設式與非埋設式兩大類，埋設式技術，有以金屬導體線圈埋設於停車位下，藉車輛通過該線圈而改變線圈之電感量，以偵測是否停有車輛的感應線圈式，及利用通過車輛的重量閉合壓力板的壓力式等；而非埋設式技術則有紅外線或光柵式，其方法是在車位兩側發射及接收許多水平紅外線或其它光束，當車輛停放阻斷紅外線或光束時，即可得知已停有車輛。其次為無線射頻辨識 (RFID)，此方式主要是在車位裝設無線射頻讀取器來讀取車輛上的無線射頻標籤 (Tag)，若系統能讀取到車輛上的無線射頻標籤資訊，則表示已停有車輛；至於最常見的技術則是採用超音波，一般是在車位上方裝設超音波發射器傳送超音波，透過計算超音波遇到障礙物時折射返回的時間，算出發射器與障礙物間的距離，當計算之距離小於某個範圍時則判定已停有車輛。而最新之技術則是所謂的電腦視覺，其方法是採用影像攝影方式，透過停車場中架設之攝影機拍攝之影像，經由影像識別技術直接判定停車位是否停有車輛。目前這類電腦視覺的研究採用的技術方法有：

### 1. 重建停車場的幾何位置結構<sup>[1,2]</sup>

這類研究試圖從高空攝影機或空照圖像中，分析整個停車場的幾何位置資訊，用以重建停車場的停車位結構，並與目前的停車狀態做比對，以偵測出停車場的停車狀況，主要的方法是平面投影轉換與停車位格線偵測。理論上此方法適用於室外畫有停車位格線的大型停車場，而且需要事先重建停車場的停車位分布結構，並且也需要花費一些計算時間來判斷停車狀況。

## 2. 車輛移動追蹤更新<sup>[3,4]</sup>

此類方法的主要概念，是透過持續不斷的追蹤與記錄車輛的移動位置，來比對更新停車場的空位狀態。這類方法通常需要非常大的記憶體儲存量與影像比對計算。

## 3. 停車位地面顏色比對

若直接拿停車位的地面顏色與車輛的顏色來比對找出是否為空停車位，可能會有很大的誤差，因此這類的研究，是先找出停車位的顏色直方圖 (histogram) 後，再用分類比對方法來找出空停車位，至於分類比對方法，有些是用 K 近鄰 (k nearest neighbor) 演算法來分類比對<sup>[5]</sup>，有些則是採用支持向量機 (support vector machine) 分類器來進行分類比對<sup>[6]</sup>，當然這類方法大多還要搭配機器學習機制來訓練與學習辨識空停車位。

## 4. 車輛特徵擷取比對<sup>[5,7]</sup>

車輛特徵比對方法，是先建立車輛各部位的特徵資料庫，如各類型車輛的車燈、後視鏡、車輪、車窗等，然後與停車位中的影像做比對，若停車位範圍內有出現這些車輛特徵，則判定停車位已停有車輛。不過，這類方法大多還要搭配機器學習機制來訓練與學習，才能有效辨識出空停車位。因為有各式各樣的新型車輛在市場上銷售，所以這類方法還要隨時更新車輛特徵資料庫。

而車位偵測技術選用的主要考量因素，除準確度外，安裝施工與建置成本是最重要的影響因素。因此，目前商售與研發中的車位偵測技術，在安裝施工方便與低成本的考量下，大多以非埋設式技術如紅外線、RFID、超音波、電腦視覺為主，至於資訊傳遞與訊息控制，同樣在施工方便與成本考量下，大多採 ZigBee、Wi-Fi 等無線傳輸方式為主，亦有少數以有線網路與電力線來傳輸。

目前市場上有許多無線網路傳輸技術，如上述之 Wi-Fi、ZigBee 等，這些標準雖然有類似的用途，但實際的使用情境卻又不盡相同。例如，Wi-Fi (IEEE 802.11a/b/g，11Mbps ~ 54Mbps) 使用 2.4GHz，傳輸距離可達 400 公尺，有不錯的有效範圍及高資料傳輸率，可以使用在大部分的場合，但是耗電量可能相當大。ZigBee (IEEE 802.15.4，20kbps ~ 250kbps) 使用 2.4GHz、868MHz(歐洲)以及 915MHz(美國)，傳輸距離 100 公尺，傳輸速率和距離的表現都沒有 Wi-Fi 好，不過具有最省電、最大網路節點數及最低成本等優勢，被定位在專為低成本、多節點的低功耗資料傳輸網路應用。目前這類的研究與系統，主要有以 ZigBee 為傳輸基礎或以 RFID 為車輛辨識基礎的停車導引 (管理) 系統，分為探討分析如下。

### 1. 以 ZigBee 為基礎的停車導引系統

以 ZigBee 為基礎的停車導引系統，主要是利用 ZigBee 低成本、低功耗與多節點的特性，來構築停車場資料傳遞與訊息控制網路，所以其著眼點在停車位資訊傳遞與停車設備 (出入柵欄、計費器) 及停車導引看板控制，至於停車空位偵測，則以搭配非埋設式偵測技

術為主。

法國的 Innovative Technologies 公司於 2008 年 5 月，發表一套基於 ZigBee 傳輸技術的室內停車場自動化管理系統<sup>[8]</sup>，在車位偵測上，是在停車位上方安裝一個車輛偵測模組 (vehicle detection modules ,VDM)，這個模組透過超音波，一次可偵測 2 個車位的停車狀況，然後將訊息透過 ZigBee 傳輸到主控端，再由主控端整理分析後透過 ZigBee 傳輸到導引指示看板，以導引駕駛將車輛停到最近的空停車位位置，系統運作模式如下圖 1。

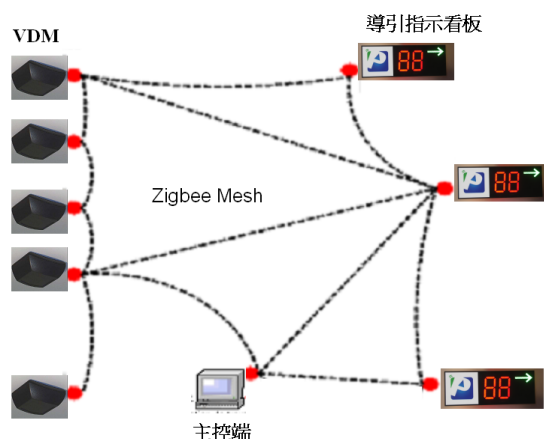


圖 1 Innovative Technologies 公司基於 ZigBee 傳輸技術的停車場管理系統<sup>[8]</sup>

美國舊金山市政府則於 2006 年 8 月發表一個路邊停車導引系統<sup>[9]</sup>，其方法是在每個停車位地面上安裝一個感測器 (sensor)，這個感測器可以偵測停車位停車狀況及附近道路交通狀況，並可與停車計時器連線檢視付費狀況，這些訊息透過 ZigBee Mesh 資料傳輸網路傳送到路邊燈桿上的閘道器 (gateway)，再透過手機通訊網路傳送到後端的伺服器上，管理人員與駕駛只要連線到網站 (web server) 即可查知街道路邊的停車空位狀況，而駕駛就可將車輛停到目前有空位的街道路邊停車位，運作模式如下圖 2。

## 2. 以 RFID 為基礎的停車導引系統

以 RFID 為基礎的停車導引系統，主要是利用無線射頻辨識技術來識別車輛，透過裝設在停車場的無線射頻讀取器 (reader) 來讀取車輛上的無線射頻標籤 (Tag)，所以其著眼點在停車空位偵測與車輛進出識別管制，至於資訊傳遞則還是要靠無線或有線網路來傳送。目前大部分商售的 RFID 停車管理系統，只做到車輛進出識別管制，比如說停車場的無線射頻讀取器讀取到車輛上的無線射頻標籤，就會自動打開出入柵欄及更新看板車位剩餘標示。下圖 3 SmarterParking 系統<sup>[10]</sup>及下圖 4 Invengo 公司的 RFID 停車管理系統架構<sup>[11]</sup>就是屬於這類系統，這種系統市面上已有非常多的公司在製造銷售，除 Invengo 及 SmarterParking 外，還有 Pongee (<http://www.pongee.com>)<sup>[12]</sup> 等公司。

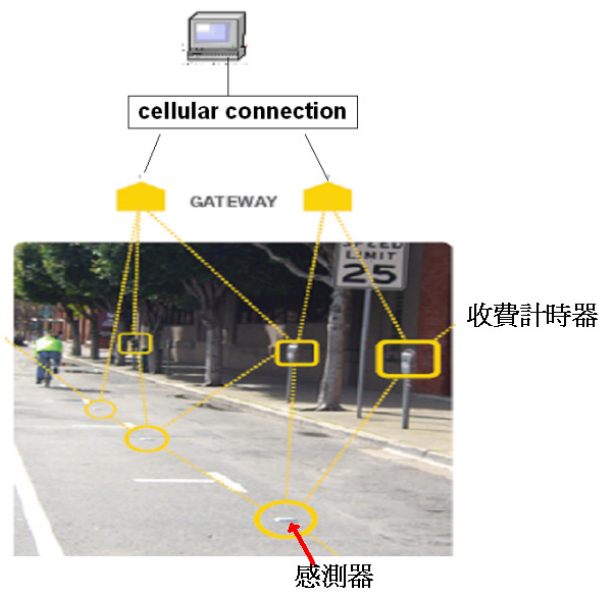


圖 2 美國舊金山市政府基於 ZigBee 傳輸的路邊停車位管理系統<sup>[9]</sup>

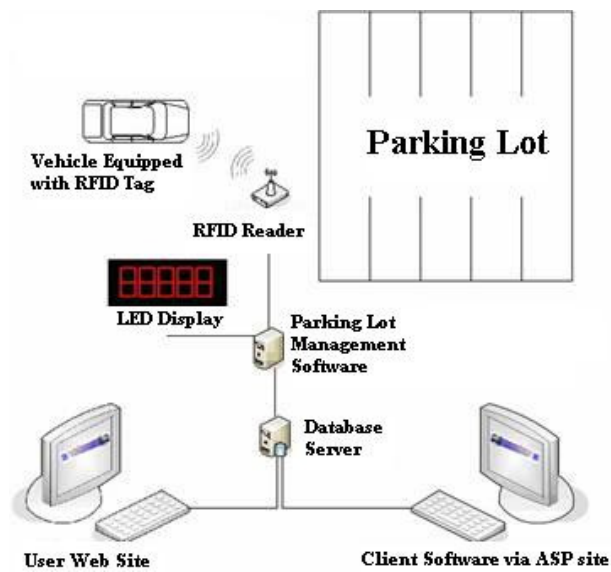


圖 3 SmarterParking 的 RFID 停車管理系統架構<sup>[10]</sup>

上述的 RFID 系統其實無法做到停車位導引功能，而真正要做到導引功能，則必須能透過 RFID 偵測每個停車位的狀況，當然這類系統就必須在每個車位附近佈建 RFID 讀取器，其建置成本會非常高，目前這類系統主要運用在貨櫃車場管理，其系統組成除出入口

RFID 讀取器外，還有裝設在每個車位附近用來偵測停車位狀況的 RFID 位置感測器，只要車輛上的 RFID Tag 被停車位 RFID 位置感測器偵測到，就可換算出那個停車位已停有車輛。如 PINC Solutions (<http://www.pincsolutions.com/>) 與 Fluensee (<http://www.fluensee.com>) 的車場 (yard) 管理系統。

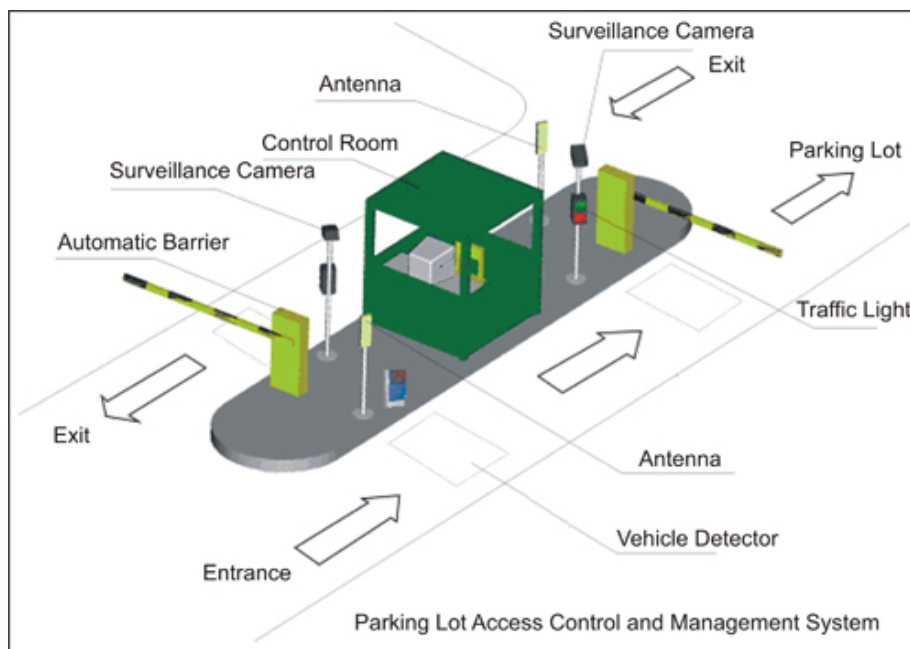


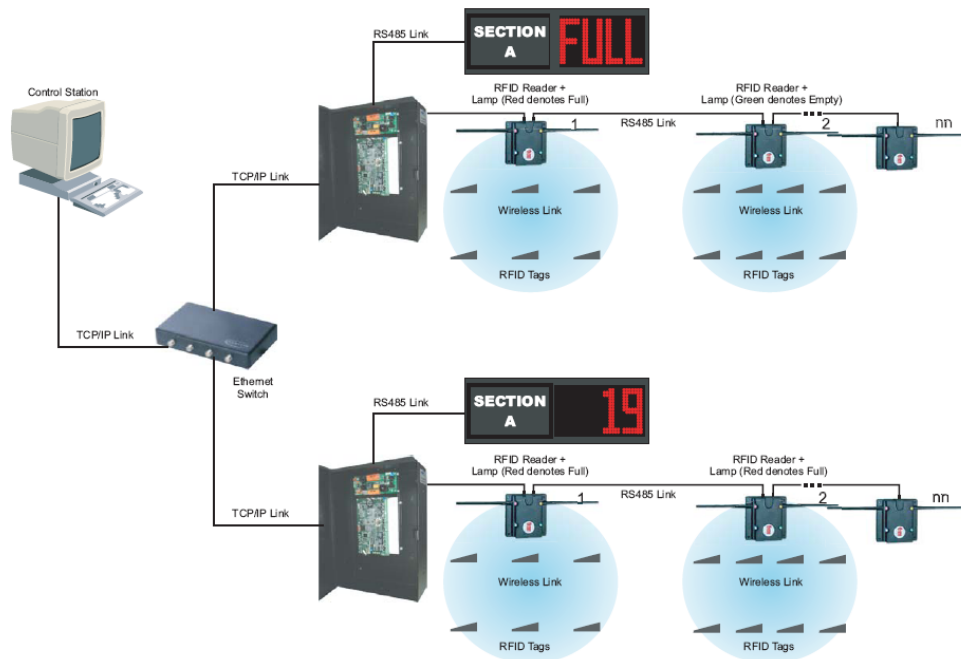
圖 4 Invengo 公司的 RFID 停車管理系統架構<sup>[11]</sup>

而為了降低 RFID 讀取器的數量，也有另外一種佈建 RFID 的方式，如 i-ParkSystems<sup>[13]</sup> (<http://www.i-parksystems.com>)，其做法是在每個停車位地板裝設停車空間偵測器(RFID Tag)，然後每 3 ~ 4 個車位裝設一部 RFID 讀取器來讀取 RFID Tag，以判斷是否停有車輛，如下圖 5 所示。

當然也有系統把停車位偵測交由非埋設式偵測技術來處理，而不採用 RFID，如 Infronics Systems<sup>[14]</sup> (<http://www.infronics.com>)，其做法是在每個停車位裝設超音波車位偵測器，然後利用 RFID 來做車輛進出識別管制及停車場車輛行進位置偵測，以便做即時停車位導引，整個系統架構如下圖 6 所示。

經過上述文獻分析與整理後，可以發現目前與未來停車導引系統的發展趨勢，是以無線射頻 (RFID) 作為車輛進出停車場的識別管制，以無線網路傳輸技術 (WiFi、Zigbee) 作為資訊與控制訊號的傳輸媒介，並以非埋設式技術 (如紅外線、RFID、超音波、電腦視覺等) 作為停車空位偵測方法，不過基於停車場安全監視與保全因素考量，除非是採用電腦視覺的停車空位偵測技術 (已裝設有攝影機)，其餘的偵測方法還是要額外架設攝影機，才



圖 5 i-ParkSystems 的 RFID 停車位導引系統架構<sup>[13]</sup>

能做到停車場安全監視，所以基於成本及系統發展趨勢考量，本研究認為未來停車導引系統，將朝無線射頻與電腦視覺技術發展，因此嘗試透過雛型系統實作方式來驗證其可行性，並在本篇文章中分析整理其實驗結果，以作為未來系統發展之參考依據。

### 三、系統架構及技術方法

本研究結合無線射頻傳輸技術、電子控制及電腦視覺技術，開發出停車位導引系統，具備容易佈建等特性，可應用於室內公共停車空間及開放式室外公共停車場環境，能隨時偵測停車位停車狀態，並具有即時導引停車位置等功能。系統架構包含硬體的裝置元件及軟體的控制程式。硬體部分由攝影機、ZigBee 停車導引 LED 資訊看板、RFID 讀取器、ZigBee 柵欄及主控伺服器組成，軟體則包括電腦視覺停車空位偵測、停車位導引控制及車輛識別。車輛識別程式結合具 RFID 電子標籤停車卡，經由佈建在停車場出入口的 RFID 讀取器讀取電子標籤資訊，經過識別比對後記錄相關資訊，然後透過 ZigBee 傳輸，控制 ZigBee 柵欄開啟或關閉，停車位導引控制程式則運用電腦視覺停車空位偵測程式偵測結果，計算分配出最佳停車位置及行進路徑，然後透過 ZigBee 傳輸，控制 ZigBee 停車導引 LED 資訊看板切換與更新空停車位數及行進方向指示，電腦視覺停車空位偵測程式用來偵測停車位是否有車輛停放，利用攝影監視的影像，透過無線網路傳輸到主控伺服器，交由本研究自



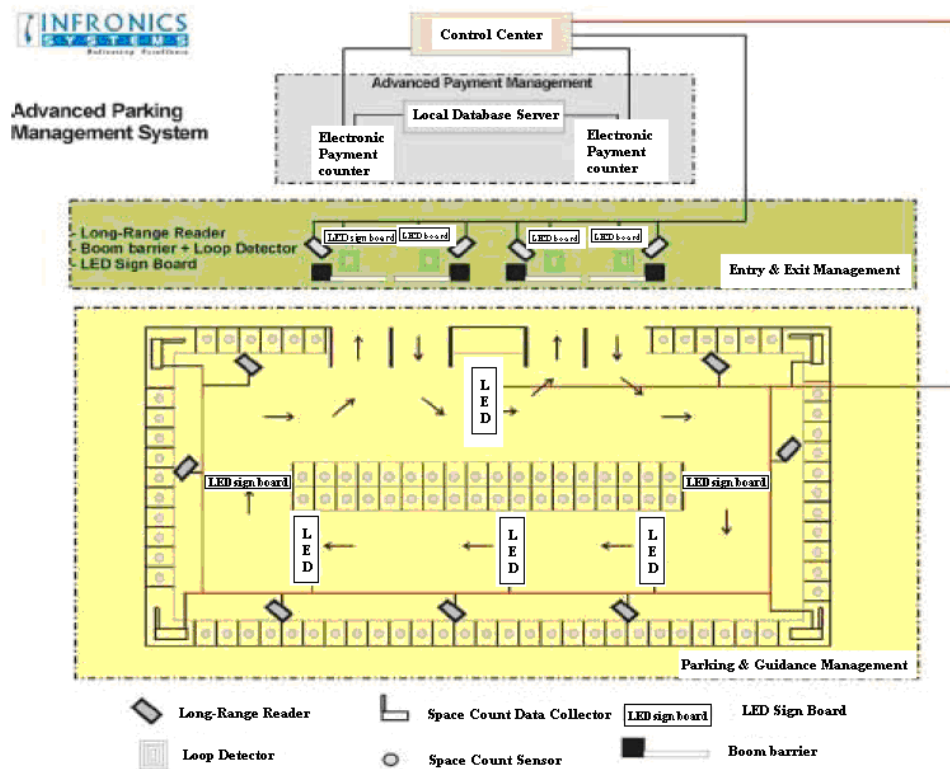


圖 6 Infronics Systems 的 RFID 停車位導引系統架構<sup>[14]</sup>

創的電腦視覺停車空位辨識演算法，進行畫面中的車輛占用車位判斷，整個系統軟硬體建置架構示意圖如圖 7 所示，而系統運作流程圖則如圖 8 所示，至於電腦視覺停車空位辨識與停車位分配導引演算法，及 ZigBee 傳輸控制技術設計說明，則在後續章節中詳述。

### 3.1 電腦視覺停車空位偵測方法

本章節先介紹本研究所提出的電腦視覺停車空位偵測方法，偵測方法及程序非常簡單只有四大步驟，依序是：停車位範圍標定與偵測、圖像轉灰階、角點偵測及停車空位判定。本研究跟以往研究者所提出的辨識方法最大的差異在於：

#### 1. 不用重建停車場的藍圖

因為不需要把停車場的影像透過投影方式重建出其位置結構，所以省卻一些影像合併與投影計算的時間成本。

#### 2. 不用大量的記憶儲存

本研究不採用追蹤與記錄車輛位置的方式來判別停車空位，所以不用大量的記憶儲存空間。



圖 7 基於無線射頻與電腦視覺技術的停車位導引系統軟硬體建置架構示意圖

### 3. 不使用停車位顏色比對，也無需學習與訓練

本研究不靠停車位的地面顏色來比對車輛顏色進行判別，所以不用事先學習、訓練或做好停車位分類。

### 4. 不用進行車輛特徵比對

本研究沒有利用車輛的特徵來比對，所以不用事先建立各類車輛的特徵資料庫。

因此，本研究採用方法非常簡單，在實際運用上系統建置也非常容易。以下說明本研究的四大步驟演算法。

#### 3.1.1 停車位範圍標定與偵測

本研究提出方法的第一步，是先從停車場的每個攝影機中擷取出一張靜態影像，然後透過半人工方式，在這個靜態影像上進行停車位範圍標定(regions of interest, ROIs)，作用是標定這個攝影機所負責的停車位監視範圍，為何要做停車位監視範圍標定？因為所擷取拍攝到的影像範圍可能很大，因此會有與停車位無關的景物攝入，比如車道、牆壁、柱子及樹木等，或者有過遠而太小或失真的景物。為了加快影像處理速度，避免不必要的計算及雜訊，所以要先標定出要偵測的停車位範圍，至於本研究為何要用半人工方式而不是全自動化方式來進行停車位範圍標定，主要原因是認為不需要，因為停車場的攝影機位置幾乎是固定的，攝影拍攝的角度也是固定的，攝影機的數量也不會太多，而且停車位範圍標定的工作只有在系統初次安裝設定時才要執行，甚且只要執行一次，所以不會花費太大的

人力，其次是因為若要執行自動化的停車位範圍標定，就需要有完整與明顯的停車位格線，若停車場是採用簡略的停車位格線或沒有明顯的分隔線，就無法執行自動化的停車位範圍標定工作，這樣會造成後續的停車空位偵測工作也無法順利執行。

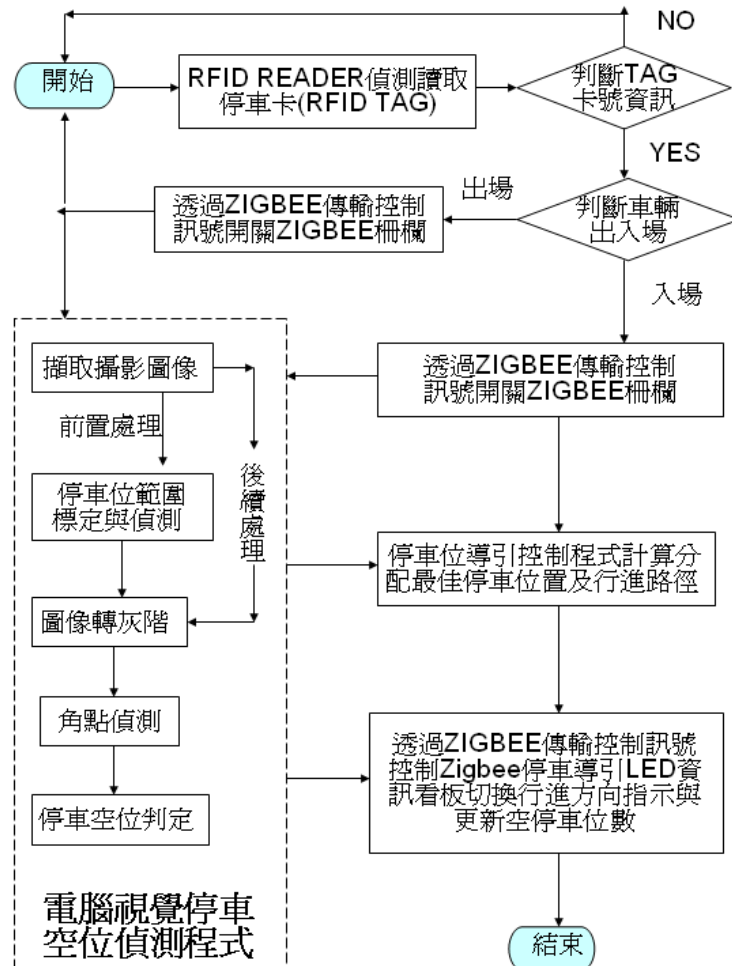
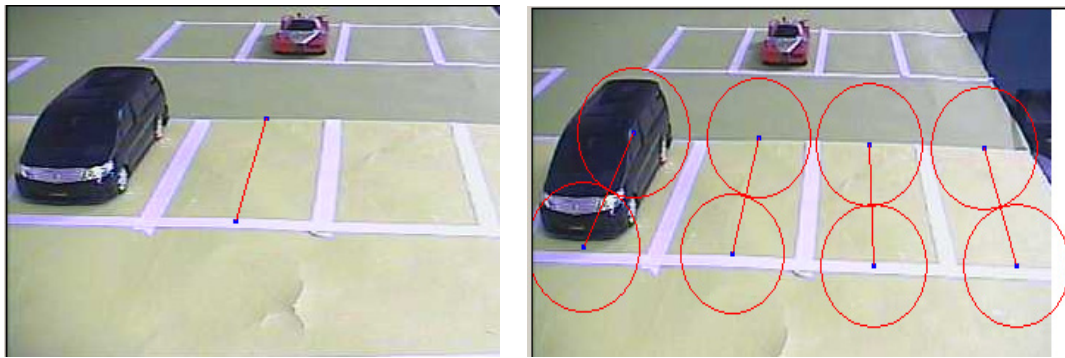


圖 8 基於無線射頻與電腦視覺技術的停車位導引系統運作流程圖

至於本研究採用之半人工停車位範圍標定與偵測方法，是先透過人工方式，在影像上大略點出每一個停車位可能停車的前後中心位置，如圖 9(a)中的點，是人工標點的停車位前後中心位置，而線則是由系統自動拉出。之後透過電腦計算出每一個車位這兩個標點間的距離，然後取其距離之一半為半徑，以這兩個標點為中心各繪出一個圓，如圖 9(b) 所示，這兩個圓的涵蓋範圍就是假設車輛停放在此停車位中的前後大小範圍。

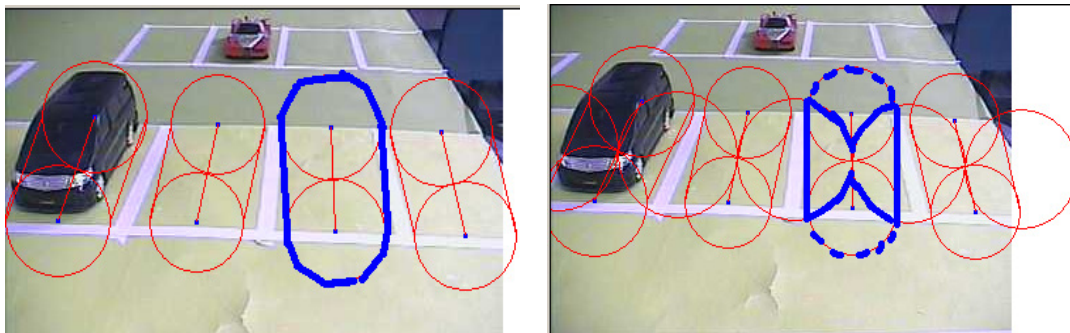


(a) 人工標點車位的前後位置

(b) 電腦估算停車位的前後範圍

圖 9 半人工停車位範圍標定作業

下一個動作是利用停車位中這兩個圓的左右切邊，分別拉出兩條左右切線來概略估算出車位的左右邊緣範圍，如圖 10(a) 所示。我們在圖 10(a) 中特別用黑線框出一個目前電腦偵測估算出的停車位範圍，由於要識別一部車輛大部分是注意其特徵，而車輛的特徵大部分是出現在車頭、車燈、車尾、車窗及車輪等位置，特別是這些位置分布在車輛的左右兩側，因此對應到停車位就要再估算出其重點偵測範圍，所以本研究運用兩兩相鄰車位間的標點中心點，透過電腦計算出這兩個中心標點間的距離及其中心點，然後取其距離之一半為半徑，並以其為圓心繪出一個圓，如圖 10(b) 所示。在圖中我們特別用實黑線框出相對的半圓範圍，這就是電腦自動偵測估算出的停車位重點偵測範圍，在這個範圍內，就是理論上停車位車輛特徵應該出現的位置，虛線框範圍則為次要偵測範圍，因為理論上這個區域為車頭或車尾的中間部分，不該出現過多的車輛特徵，至於每個停車位的虛實框線以外的區域，則視為不偵測區而不予理會，以避免不必要的計算及雜訊。至於圖中後排的停車



(a) 偵測估算整個停車位範圍

(b) 偵測估算停車位重點偵測範圍

圖 10 電腦估算停車位的偵測範圍

位，因為不是此攝影機所負責的停車位監視範圍，所以後方的紅色車輛停車位置及相鄰停車位，就不會在此時進行停車位範圍標定與偵測工作。

### 3.1.2 圖像轉灰階

當系統完成第一個步驟後，就會把整個停車場的每一個停車位的偵測範圍記錄下來，主要是記錄標定座標、中心點座標、圓方程式及切線方程式等，以方便後續辨別作業。之後系統就可以開始進行停車空位偵測動作，首先從停車場攝影機定時擷取影像，而為了後續「角點偵測」處理，必須先把擷取到的 RGB 彩色影像，透過式 (1) 公式轉換為灰階圖像，轉換產生之灰階圖像如圖 11 所示。

$$Gray = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (1)$$



圖 11 RGB 轉灰階圖像作業

### 3.1.3 角點偵測

在影像處理技術中，一般為了要識別或比較影像中的物件，採用的方法都是進行角點偵測，因為角點偵測法可以找出影像中的物件特徵，而且與影像物件的旋轉角度也較無關係，所以適合用在影像特徵擷取與影像比較。在本研究中我們同樣利用角點偵測演算法，來找出影像中的車輛特徵，由於角點偵測演算法眾多，我們只採用評價較好的 Harris 角點偵測 (Harris corner detection) 演算法<sup>[15]</sup>，作為車輛特徵擷取的運算子。Harris 角點偵測演算法的運算式如下：

$$E(x, y) = \sum_{u, v} w(u, v) [I(x+u, x+v) - I(x, y)]^2 = [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$M = \sum_{u,v} w(u,v) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

以上式 (2)、式 (3) 中的  $I$  為影像像素矩陣， $w$  是檢測視窗， $(x, y)$  為圖像像素座標， $I(x, y)$  為  $(x, y)$  點的像素值， $I_x$ 、 $I_y$  分別為圖像像素在水平方向和垂直方向的 1 階偏微分， $I_x^2$ 、 $I_y^2$  分別為圖像像素在水平方向和垂直方向的 2 階偏微分， $(u, v)$  為偏移座標，並令  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  為  $M$  矩陣的兩個特徵值 (eigenvalue)。最後，計算下式 (4) 角點強度函數  $R$ ，就可以檢測出圖像中的角點：

$$R = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2 \quad k \in [0, 0.04] \quad (4)$$

其中式 (4) 中的  $\det(M) = \lambda_1 \lambda_2$ ； $\text{trace}(M) = \lambda_1 + \lambda_2$ ； $k$  為經驗值，在我們的研究中  $k$  取 0.04，檢測門檻值設定為 5000，然後把灰階影像導入，透過上述式 (2)、式 (3) 及式 (4) 的計算，就可檢測出圖像中的角點 (以 + 表示)。若以圖 11 這個灰階影像為例，計算得出的角點檢測圖像如下圖 12 所示。

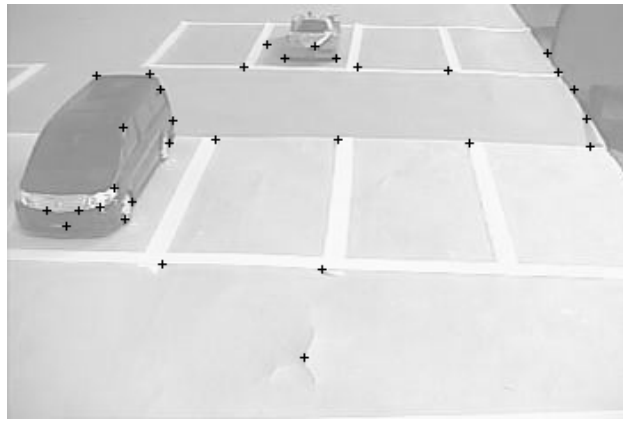


圖 12 角點檢測結果圖像

### 3.1.4 停車空位判定

在說明停車空位的判定規則前，我們回顧一下在第一個步驟中所偵測計算得出的每一個停車位的偵測範圍，如下圖 13 所示，可以分割出 8 個區域 (黑色框內編號 1~8)，如果車輛正常停放在這個停車位內，編號 2、3、4 的範圍應為車輛的左側邊，而編號 6、7、8 的範圍應為車輛的右側邊，這兩個部分依照一般車輛特徵應該是車邊角、車燈角、車門角、車窗角等大量角點特徵出現之處，至於編號 1、5 的範圍應為車輛的前後端，理論上應該較為平滑，若透過角點偵測應該無法獲得眾多的角點特徵，換言之，車輛的角點特徵不該



大量出現在編號 1、5 的範圍。

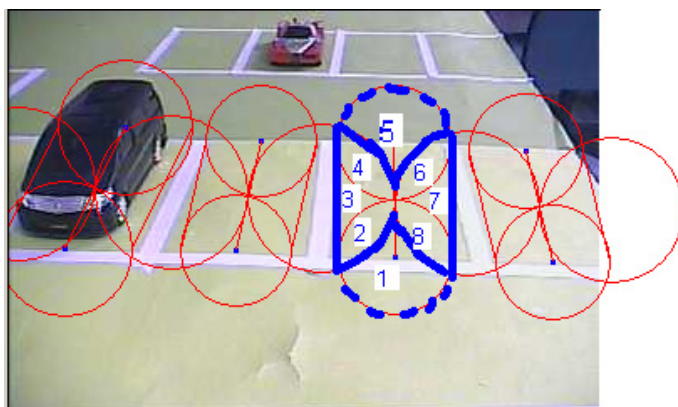


圖 13 停車位偵測範圍區域圖

因此，經過以上的分析後，我們就採用得票的方式來訂出停車空位的判定規則，規則說明如下：

1. 若在編號 1 或者 5 的範圍內偵測獲得的角點特徵，不管有幾個只能算得到 1 票。
2. 若在編號 2、3、4、6、7、8 的範圍內偵測獲得的角點特徵，則有幾個就算得到幾票。
3. 當選門檻為至少要 6 票，若剛好為 6 票就一定要出現在編號 2、3、4、6、7、8 的範圍內。若不符合此規定則判定此停車位為空停車位。

以下圖 14 為例，當偵測出的角點特徵與停車位的偵測範圍結合運算後，以圖中的黑色車輛為例，編號 1 的範圍沒有偵測出角點特徵，所以得到 0 票，編號 2、3、4 的範圍內偵測出 4 個角點特徵，所以得到 4 票，編號 5 的範圍雖然偵測出 4 個角點特徵，但只能計算得到 1 票，編號 6、7、8 的範圍內偵測出 5 個角點特徵，所以得到 5 票，合計總共得到 10 票超過當選門檻 6 票，因此判定此停車位已停有車輛，至於此黑色車輛的右方第一個車位只有 2 票、第二個車位只有 1 票、第三個車位只有 1 票，所以都判定為空停車位。

### 3.2 停車位分配導引方法

前述停車空位偵測結果，會統計出所有的空停車位數與所在位置，接下來就會交由本節的停車位分配導引控制程式，運用 8 連通演算法，來計算分配出最佳停車位置及其行進路徑（每個車位皆已先記錄其行進路線方向指示），然後就可透過 ZigBee 傳輸，控制 ZigBee 停車導引 LED 資訊看板切換與更新空停車位數及行進方向指示，如此就可完成整個停車導引動作。



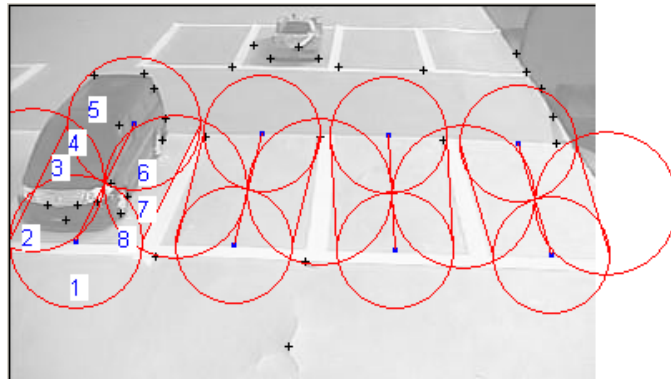


圖 14 停車空位判定範例影像

由於停車場的最佳停車位置有其主觀性，有些人認為應該在出入口或樓梯間附近，但有些人認為應該是容易停車處，因此，我們的方法，是先透過人工方式在每層停車空間中任選出幾個自認最佳之停車位，然後以這些停車位為基點，各自運用 8 連通規則逐步往外擴展，建構出整層停車空間的停車位分配序列，我們定義的 8 連通規則以自選之最佳停車位為中心基點，先左、右，後上、下，然後依序為左上、右上、右下、左下等順序往外擴展，以形成車位分配序列。這個規則是用來定序最佳車位分配的先後次序，如下圖 15 所示，假設圖中間編號 0 之車位為自認最佳之停車位，則次佳之車位為左方編號為 1，再次佳之車位為右方編號為 2，其餘依 8 連通規則類推出其分配順序。



圖 15 停車位分配 8 連通規則

以下舉一個簡單的例子 (如圖 16 所示)，說明最佳停車位置分配計算流程。假設圖中有 13 個停車位依序編號，其中車位編號 1 及 9 為自認最佳之停車位。



圖 16 最佳停車位置分配計算之簡略停車位說明範例圖

首先我們依據 8 連通規則，先逐步擴展建構出以這兩個最佳車位為基點之整層停車空間的停車位分配序列如下表 1：

表 1 停車位分配順序序列表

分配順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
停車位分配序列(1)	1	2	7	4	3	8	<b>9:0</b>	10	5	<b>12:0</b>	13	11	6
停車位分配序列(2)	<b>9:0</b>	5	10	7	<b>12:0</b>	4	8	13	11	6	2	1	3

其中停車位分配序列 (1)、(2)，是分別以最佳車位編號 1 及 9 為基點，然後依 8 連通規則逐步往外擴展所形成的車位分配序列，之後系統會結合停車空位偵測結果，在序列中標示出空停車位，如上序列中有標示“0”的為空車位，其餘沒有標示的則為已停有車輛。現假設一部車輛要進入停車場停車，程式會依分配順序於各對應之停車位分配序列中，依序搜尋空停車位，如上述之例子會從分配順序 1 開始搜尋起，因停車位分配序列 (1) 順位

排第一之車位編號 1 已停有車輛，所以會往下搜尋挑選分配序列 (2) 中第一順位編號 9 之車位，而剛好編號 9 之車位標示為空停車位，所以系統就以編號 9 之車位為目前最佳之車位來導引其停車，而本系統就以此方式不斷結合停車空位偵測結果，隨時計算分配出最佳停車位置並引導停車。

### 3.3 ZigBee 控制裝置與傳輸方法

本研究之停車位導引系統中，幾乎所有的控制訊號與控制設備動作指令傳輸，都透過 ZigBee 來完成，我們運用 ZigBee 晶片結合自行開發之軟體、電子電路，設計出各種控制模組，來完成整個停車位導引自動化動作。系統模組區分為 ZigBee 主控模組 (圖 17 左上) 及 ZigBee 終端控制模組，其中 ZigBee 終端控制模組包含 ZigBee LED 停車導引資訊模組 (圖 17 下圖)、ZigBee 柵欄控制模組 (圖 17 右上) 等，詳細說明如下。



圖 17 ZigBee 控制模組

### 3.3.1 Zigbee 主控模組架構

停車導引系統主控電腦要傳送控制訊號給 LED 停車導引資訊看板或出入柵欄控制模組時，就透過主控電腦之 RS232，傳輸控制訊號給 ZigBee 主控模組，所以 ZigBee 主控模組的主要功能，就是從 RS232 接收控制訊號，然後交由 ZigBee 無線模組 (ZigBee-pro)，透過無線廣播至各終端控制模組，以達到無線傳輸控制之目的，而主控電腦經由主控模組，亦可接收及傳送信號至其他控制模組，模組架構如下圖 18 所示。

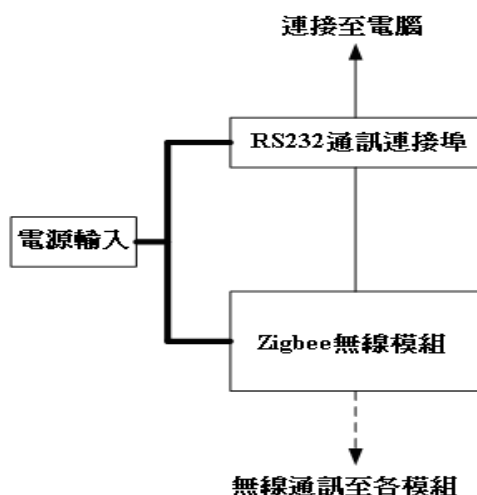


圖 18 ZigBee 主控模組架構圖

### 3.3.2 ZigBee 終端控制模組架構

ZigBee 終端控制模組，主要是由 ZigBee 無線模組 (XBee-PRO)、微處理器 (AT89S52) 及控制元件 (LED 停車導引資訊看板或出入柵欄控制) 所組成，其中 ZigBee 無線模組負責 ZigBee 無線訊號的傳送及接收，微處理器則是處理由 ZigBee 無線模組傳來的控制訊號，以控制所對應的控制元件。微處理器與 ZigBee 無線模組間透過 UART 傳輸，主控電腦經由 ZigBee 主控模組傳送的控制訊號，透過無線通訊傳送至各 ZigBee 終端控制模組，各終端控制模組也可透過無線通訊回傳訊號給主控模組，模組架構如圖 19 所示。

### 3.3.3 ZigBee 控制模組資料通訊格式說明

主控電腦與各 ZigBee 控制模組間的通訊是以 RS232 通訊模式為主，以下將介紹各模組的通訊協定設定。

#### 1. 控制模組間 RS232 通訊協定

鮑率 (Baud Rate)：57600bps

資料位元數 (Data Bit) : 8 bits

停止位元數 (Stop Bit) : 1 bit

同位位元 (Parity Bit) : None

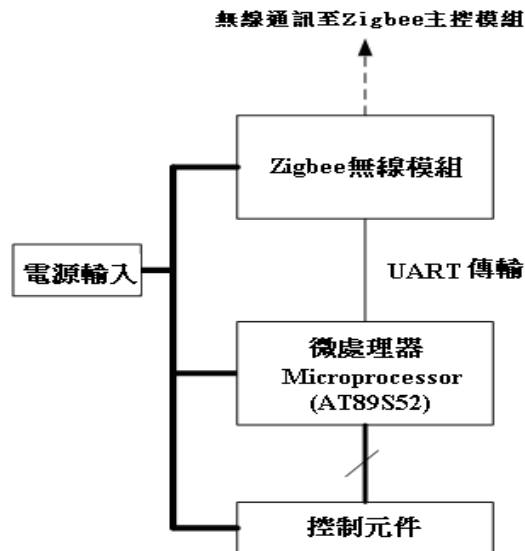


圖 19 Zigbee 終端控制模組架構圖

## 2. 資料通訊格式

主控電腦與各 ZigBee 控制模組間以 4 個位元組之封包來進行資料傳輸，第 1 個 Byte 為 ZigBee 控制模組識別碼，用來識別及驅動個別的 ZigBee 控制模組動作，第 2 個 Byte 為通訊碼，也就是動作類別指令，用來告知 ZigBee 控制模組準備執行某類動作指令，第 3 個 Byte 為控制碼，也就是動作指令，用來告知 ZigBee 控制模組執行某個動作指令，第 4 個 Byte 為終止碼，其值一律為 0 (00h)，用來辨別封包與分隔封包，封包資料格式如表 2 所示。不同的 ZigBee 控制模組有不同的識別碼、通訊碼與控制碼，系統中使用到的柵欄開關感測，與 LED 停車導引資訊看板的資料通訊格式說明如下。

表 2 封包資料格式

第 1 個 Byte	第 2 個 Byte	第 3 個 Byte	第 4 個 Byte
識別碼	通訊碼	控制碼	終止碼

### (1) 柵欄開關感測資料通訊格式

ZigBee 柵欄開關控制模組通訊方式，為由主控電腦端發出 4 個 Byte，第 1 個 Byte 為

識別碼，在柵欄開關感測控制中識別碼為 247 (F7h)；第 2 個 Byte 為通訊碼，在柵欄開關感測中通訊碼為 160 (A0h)；第 3 個 Byte 為柵欄開關的控制碼，若為 0 (00h) 則表示將柵欄放下，若為 1 (01h) 則表示將柵欄升起；第 4 個 Byte 則為 0 (00h) 作為終止碼。

#### (2) LED 停車導引資訊看板通訊資料格式

ZigBee LED 停車導引資訊看板控制模組通訊方式，為由主控電腦端發出 4 個 Byte，第 1 個 Byte 為識別碼，在 LED 停車導引資訊看板控制中識別碼為 248 (F8h)；第 2 個 Byte 為通訊碼，在 LED 停車導引資訊看板控制中通訊碼為 208 (D0h)；第 3 個 Byte 為 LED 方向指標及空車位數量顯示的控制碼，若為 0 (00h) 則表示方向指標全滅，若為 16 (10h) 則表示方向指標顯示右轉，若為 32 (20h) 則表示方向指標顯示左轉，若為 48 (30h) 則表示方向指標顯示直行；而 0 ~ 9 (00h ~ 09h) 則為顯示空車位數 0 ~ 9，10 (0Ah) 則為將空車位顯示全熄，例如：欲顯示右轉方向有 5 個空車位，則第 3 個 Byte 為 21 (15h)。欲顯示左轉方向有 2 個空車位，則第 3 個 Byte 為 34 (22h)。欲將方向指標及空車位顯示燈號全熄，則第 3 個 Byte 為 10 (0Ah)。而第 4 個 Byte 同樣為 0 (00h) 作為終止碼。

## 四、實驗與結果分析

為了驗證本研究所研發之停車位導引系統的運作狀況是否能符合預期目標，因此發展建置了雛型系統，本雛型系統主要是由 RFID 停車卡感應、ZigBee 傳輸控制(出入柵欄及導引燈號)，與停車空位偵測等三大部分組成，其中 RFID 停車卡感應，主要是透過佈建在停車場出入口的 RFID 讀取器，來負責讀取 RFID 停車卡資料，因 RFID 讀取器佈建位置固定，且讀取距離可依環境或需求調整 (1 公分 ~ 5 公尺)，所以在 RFID 停車卡感應與資料讀取判別上有一定的可靠度，因此不再進行此部分的實驗與分析，所以本章節僅就 ZigBee 傳輸控制 (出入柵欄及導引燈號)、停車空位偵測、系統整合測試與建置成本分析等進行實驗測試驗證。

### 4.1 ZigBee 傳輸控制實驗與分析

#### 4.1.1 ZigBee 傳輸控制實驗目的

本雛型系統使用 ZigBee 無線傳輸方式，來控制分佈在停車場中各處的 ZigBee 出入柵欄及 LED 導引燈號節點。為了能將控制訊號從 ZigBee 主控端正確無誤地傳送到各個終端節點 (出入柵欄及 LED 導引燈號)，必須充分了解 ZigBee 無線通訊距離與控制訊號資料傳輸正確率。ZigBee 無線通訊與一般無線傳輸一樣，訊號強度會因為距離過遠而衰減，而且也同樣會受到週遭環境干擾而影響收訊及資訊傳輸成功率，過去曾有研究文獻實驗測試 Tmote Sky (Moteiv, USA) 晶片在室內與室外環境下之傳輸距離<sup>[16]</sup>，結果顯示 Tmote Sky 晶片在室內的可靠傳輸距離為 30 公尺，而室外的可靠傳輸距離達 60 公尺。而英國

Flexipanel 公司的 ZigBee 晶片，經研究實驗測試<sup>[17]</sup>在室內無阻擋物的情況下，傳輸距離可達到 30 公尺，但在中間有一道牆的情況下，傳輸距離約 20 公尺，不過在一般狀況下，依照各家 ZigBee 晶片的功能規範，在室外平均傳輸距離約為 60 ~ 100 公尺，在室內則為 30 公尺以內。以我們應用於停車場而言，若控制訊號在室外能正確無誤地傳送到將近 100 公尺外的各個終端節點（出入柵欄及導引燈號），則足以滿足大部分室外停車場的範圍需求（100 公尺×100 公尺，約 400 個車位），因為所有的終端節點（出入柵欄及導引燈號）幾乎都在通訊範圍內，不需額外佈建中繼路由節點，而且兩個相鄰節點之間的距離就算拉長到大約 100 公尺左右，還可滿足資料傳輸的需求。這是因為室外停車場其訊號遭到阻隔或干擾的因素會較室內停車場少，在無封包遺失率下其平均傳輸距離可達 60 ~ 100 公尺。

不過，各家 ZigBee 晶片若用在室內，其平均傳輸距離則會劇降到 30 公尺以內，而且從相關的研究實驗資料中發現，不同的室內環境在無封包遺失率下其有效傳輸距離落差甚大，從 10 公尺以內到 20、30 公尺之內皆有，這會嚴重影響到室內停車場的 ZigBee 節點佈建與建置成本，當然若室內的傳輸距離能越遠越好，因此為驗證本研究設計的 ZigBee 出入柵欄及導引燈號裝置，在室內停車場環境下的確切有效傳輸距離，我們必須進行室內停車場環境傳輸距離與控制訊號資料傳輸正確率測試驗證。

#### 4.1.2 ZigBee 傳輸控制實驗環境及驗證程序說明

ZigBee 測試裝置使用 MaxStream XBee-PRO ZigBee 晶片，依照其產品規格在室內傳輸距離可達 100 公尺，室外在可視距離下則可高達 1500 公尺，我們將此 ZigBee 晶片外加 3dbi 天線，裝設在大約 40 公尺×30 公尺見方大小的室內地下一層停車場內進行實地傳輸控制測試，實驗環境如圖 20 所示，為一般大樓的地下停車場配置，除車輛進出口及停車場監控機房外，是為開放的室內停車空間。

在測試環境中除架設測試用的 ZigBee 裝置節點外，另外在主控伺服器附近額外架設了 8 個 ZigBee 節點，2 部 RFID 讀取器及 1 部 WIFI 無線基地台，ZigBee 主控端與主控伺服器則放置在停車場機房內，以模擬停車場管理室的實際環境，阻隔物除機房之輕隔間牆外，在 10 公尺處亦有一道半阻隔之輕隔間牆，其餘則為開放空間。

而我們的驗證程序是以每 5 公尺為單位，等距遞增的方式與受測 ZigBee 節點進行傳輸測試，測試方法是主控端每 15 秒發送一 4 Byte 的控制訊號給受測節點，若受測端 15 秒內未收到傳送之控制訊號，則判定訊號遺失，若受測端 15 秒內收到傳送之控制訊號但資料錯誤，則判定訊號沒有遺失但是資料傳送錯誤（資料不正確），若受測端 15 秒內有收到傳送之控制訊號，資料也正確，則判定為正確傳送，如此以每 5 公尺為單位，在各點進行 200 次傳送測試，然後取其訊號遺失率及資料正確率平均值加以分析。

#### 4.1.3 ZigBee 傳輸控制實驗結果分析

測試結果如下表 3 所示。由上述實驗結果發現，ZigBee 晶片皆宣稱室內傳輸距離可達



100 公尺，但經本研究及上述相關研究實驗證明，在有阻隔的室內空間，其傳輸極限大約只能到達 30 公尺左右，而且在室內停車場環境，其有效傳輸距離大約只有 25 公尺左右，並且就算是在傳輸訊號能到達的範圍內，不管距離遠近，一直有訊號遺失的問題，從短距離 5 公尺內 1% 訊號遺失率到 25 公尺的 40% 訊號遺失率，並且資料正確率也隨傳輸距離拉長而劇降到 85%，所以 ZigBee 若應用在室內停車場的控制訊號傳輸，在沒有中繼節點的狀況下，其能容許的保證傳輸距離大約在 25 公尺左右，也就是說每 25 公尺就要佈建一個 ZigBee (中繼) 節點，這大約是每 10 個停車位的寬度或 4 排停車位的長度，就要架設一個 ZigBee (中繼) 節點，以便在室內停車場構築出無縫隙的 ZigBee 控制訊號傳輸網絡。

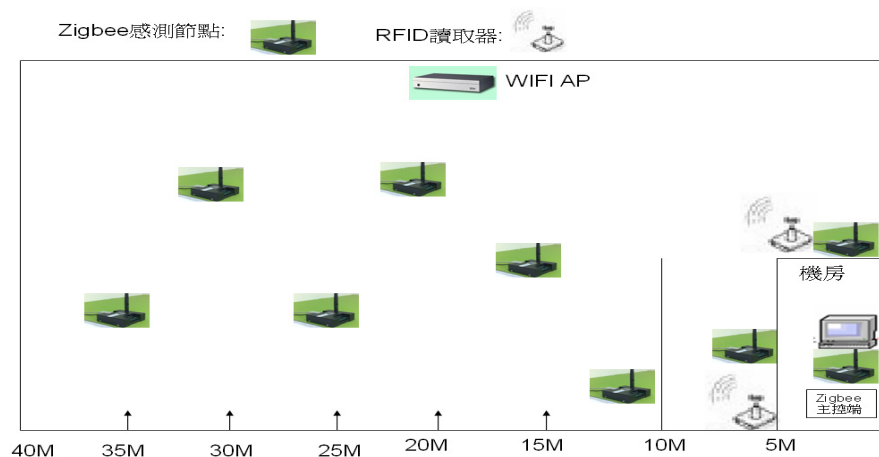


圖 20 ZigBee 室內停車場傳輸控制測試環境示意圖

表 3 室內停車場 ZigBee 傳輸距離測試

傳輸距離(公尺)	訊號遺失率	資料正確率
5M	1%	100%
10M	1.5%	100%
15M	3%	96%
20M	3%	93%
25M	40%	85%
30M	99.5%	0%
35M	100%	0%
40M	100%	0%

## 4.2 電腦視覺停車空位識別實驗與分析

### 4.2.1 停車空位識別實驗目的

本研究所提出的電腦視覺停車空位偵測方法，是應用角點偵測技術再加上本研究獨創的偵測識別方法，跟以往其它學者所提出的方法最大的差別，是程序非常簡單而且不用事先學習或訓練，因此希望透過實驗驗證來證明本方法的停車空位偵測正確率，並找出其適用環境或限制因素等。

### 4.2.2 停車空位識別實驗環境、驗證程序與限制條件說明

首先，先說明一下本研究所提出的電腦視覺停車空位偵測方法，是適用於正面拍攝之影像，所以攝影機的架設位置會影響辨識結果，因此本方法的影像擷取限制條件是必須正面拍攝停車位之影像，因此，停車場中側攝與斜攝之攝影機則必須予以排除，不能當作停車空位偵測的攝影機，而這樣的做法也可避免因為側攝或斜攝造成停車位車輛重疊或覆蓋的影像辨識問題。

其次，為了驗證本研究所提出的電腦視覺停車空位偵測方法的偵測正確率及適用性，本研究挑選 2 個室外與 3 個室內真實的停車場場景，作為長時間實地驗證與實驗環境，並挑選符合正面拍攝之攝影機，以定點分時擷取大約 100 張測試影像進行實驗分析，希望透過實驗驗證，獲知不同停車方式與不同拍攝距離對停車空位偵測正確率的影響程度。當然不同光源會影響影像品質與內容，所以不同停車方式與不同拍攝距離的停車空位偵測驗證，是在正常光源下進行驗證，而以下實驗所謂的正常光源，若在室外則指白天順光源或夜間有適當的燈光照明，若在室內則指有燈光或自然光源環境下。至於弱光源或逆光源，則不再單獨或詳細說明其驗證結果，因為透過本研究的停車空位偵測方法，在弱光源或逆光源下，角點特徵數會變少，所以連帶其停車空位偵測正確率大約只達到 75% 左右。所以本停車空位偵測方法，若要獲得較佳的偵測正確率，必須在正常光源環境下進行。

### 4.2.3 停車空位識別實驗結果分析

#### 1. 不同拍攝距離的停車空位偵測正確率

由於攝影機拍攝的範圍廣，物件就會變小，反之物件就會變大，以本研究的停車空位偵測方法而言，若拍攝的範圍廣，停車場中必須裝設的攝影機相對就較少，反之就要較多，這牽涉到系統建置的成本問題，因此透過此實驗，希望能獲得較高停車空位偵測正確率與較大拍攝範圍的結果數據。因此，為了方便後續實驗分類分析，本研究定義若攝影機只能拍攝到 3 個停車位（含）以下的範圍，則稱為短距（如下圖 21），若能拍攝到 4 ~ 5 個停車位範圍為中距（如下圖 24），拍攝到 6 個停車位（含）以上的範圍為則稱為遠距（如下圖 23）。經實驗發現，中距以下本研究之方法其停車空位偵測正確率可達到 99% ~ 100%，如圖 22 所示，但在遠距模式下其停車空位偵測正確率只達到 50% ~ 60% 左右，如圖 23 所示。



圖 21 短距模式下停車位範例影像

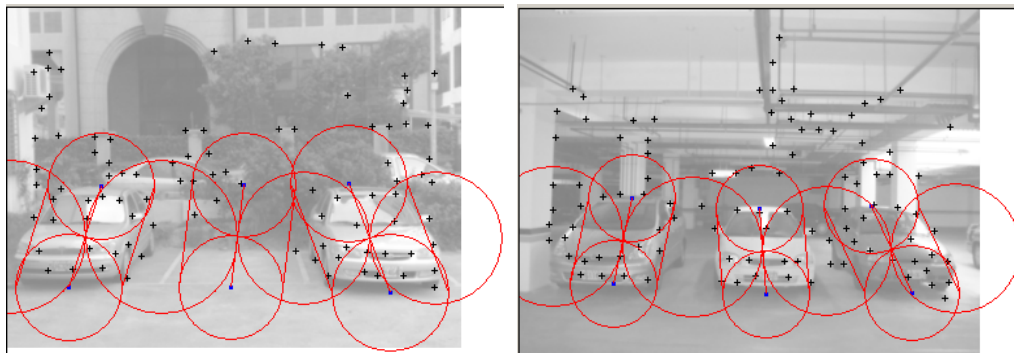


圖 22 短距模式下停車空位判定範例影像

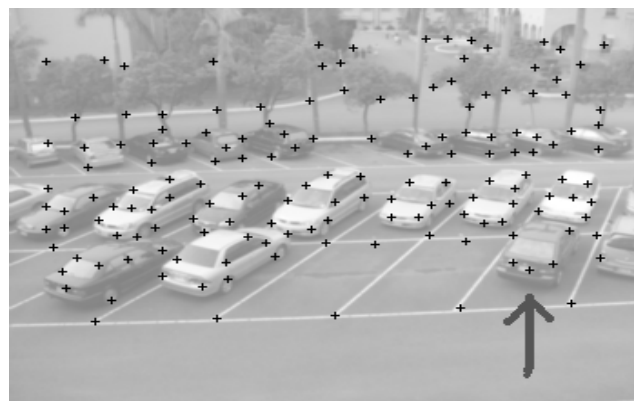


圖 23 遠距模式下停車空位判定範例影像

這是因為採用 Harris 角點偵測演算法，發現當影像中的車輛變小時，其角點特徵數會不足 6 個，因此就算停車位範圍標定與偵測正確，還是無法達到當選門檻 6 票，而被誤判為空停車位，如下圖 23 中箭頭所指為第一排停車位，攝影偵測範圍車位數為 6 個，停車車輛數為 4 部，其中右兩部車其角點特徵數可能不足 6 個，之後為第二排停車位，攝影偵測範圍車位數為 7 個，停車車輛數為 7 部，其中左一部車其角點特徵數可能不足 6 個，最後為第三排停車位，攝影偵測範圍車位數為 10 個，停車車輛數為 9 部，可能沒有一部車其角點特徵數會超過 6 個，因此這些車輛的停車位置可能都會被誤判為空停車位。所以採用本方法，攝影機的拍攝範圍最多 4 到 5 個停車位為最佳，也較能獲得較高的停車空位偵測正確率。

## 2. 不同停車方式的停車空位偵測正確率

在正常光源角度下，我們拿停車場中常見的單排停車與對停方式來比較，下圖 24 (a) 為單排停車，攝影偵測車位數為 4 個，影像中停車車輛數為 2 部；圖 24 (b) 為對停方式，攝影偵測車位數為 4 個，影像中停車車輛數為 0 部，不管是單排或對停方式理論上都可能因為停車位後方的車輛、隔牆或樹木等，而產生過多的角點特徵值，而影響前方停車空位的偵測與判斷。



(a) 單排停車



(b) 對停方式

圖 24 不同停車方式示意圖

不過，經實驗驗證本研究提出的停車位範圍標定與偵測方法，在中距以下不管何種停車方式，其停車空位偵測正確率仍保持 99% 以上，證明可有效切割這些雜訊，使這些角點特徵值落入次要偵測範圍或非偵測範圍內，而不會讓其對停車空位的判定造成影響。以圖 24 為例，其對應產生之停車空位判斷如下圖 25 所示，圖中箭頭所指之空車位，依照本研究的判定規則，其角點特徵數計算結果可能為 4、3、2，皆不會超越門檻值而造成誤判為已停有車輛。所以只要採用中距以下的攝影方式，不管是何種停車方式，都不會對停車空位偵測正確率造成影響。

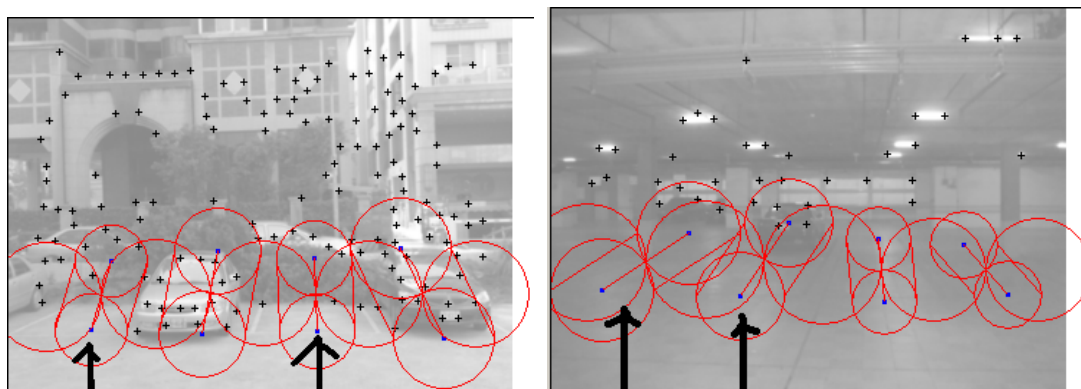


圖 25 不同停車方式的停車空位偵測結果圖

### 4.3 系統整合測試

#### 4.3.1 系統整合測試環境與實驗目的

透過前述的單元測試，已獲知本研究所提出的停車位導引雛型系統，其架設環境條件為攝影機的拍攝範圍最多 4 到 5 個停車位，能獲得較高的停車空位偵測正確率。其次是室內停車場的環境，在沒有中繼節點的狀況下，本研究所開發的 ZigBee 出入柵欄及 ZigBee LED 導引燈號控制裝置等，其保證傳輸控制距離大約在 25 公尺以內。因此，本研究就依此條件在上述圖 20、圖 21 的室內停車場環境，架設了 8 部中距拍攝的攝影機、8 個 ZigBee LED 導引燈號控制裝置、2 部 RFID 讀取器、ZigBee 出入柵欄，和 ZigBee 主控端與主控伺服器，希望透過小型系統整合測試，來驗證整體車位偵測處理時間與偵測正確率，並找出本停車位導引雛型系統適用環境及限制因素等。

#### 4.3.2 系統整合測試驗證程序說明

本研究設定系統每 5 秒鐘自動擷取一次各攝影機的拍攝影像，進行停車空位偵測，之後就開始記錄完成一次整體車位偵測與更新停車空位狀態及數量所需時間，這個程序主要是用來驗證整體車位偵測處理時間與判定偵測正確率，另外亦進行系統連動訊號整合測試，其測試程序是每間隔 1 ~ 10 秒，分別進行 20 次 RFID 刷卡進入停車場的導引訊號連動測試，若 RFID 刷卡後，能正確連動開啟 ZigBee 出入柵欄及正確顯示各 ZigBee LED 導引燈號資訊，則判定系統連動正確且控制訊號沒有遺失，反之則判定系統無法正確連動且控制訊號有遺失。這個測試程序，也可順便模擬驗證車輛流量以進行壓力測試。當然，本實驗是先假設排除駕駛不依指示導引位置停車的狀況。

### 4.3.3 系統整合測試驗證結果分析

首先針對整體車位偵測處理時間與偵測正確率分析如下：

#### 1. 空車位偵測正確率

前述單元測試，在拍攝範圍 4 到 5 個停車位進行靜態分析時，其停車空位偵測正確率，約可達到 99% ~ 100% 左右，在系統整合測試時進行動態分析，若以每 5 秒擷取之影像分析，其車位偵測正確率約降到 78% ~ 83% 左右，若以每 30 秒擷取之影像分析，其車位偵測正確率可提升到 85% ~ 88% 左右，若以每 60 秒擷取之影像分析，其車位偵測正確率可恢復到 90% 以上，這是因為若擷取分析之影像間隔時間太短，會拍攝到許多路過或正在停車位中移動的車輛影像，因而造成辨識錯誤。因此，為穩定與提高車位偵測正確率，應至少以每 1 分鐘擷取之影像來進行分析。

#### 2. 整體車位偵測處理時間

前述單元測試，分析每個攝影機所拍攝的 4 到 5 個停車位影像進行車位偵測時，其所花費的處理時間約為 0.1 秒左右，在系統整合測試時，因要整合 8 部攝影機的影像進行分析，所以其平均處理時間變為 1 秒左右，若以此數據推算，平均每增加一部攝影機的影像進行分析，則會額外增加約 0.025 秒的處理時間，因此假設一個有 100 個停車位的停車場，若佈建 25 部攝影機，則推算其整體車位偵測處理時間應該約為： $25 \times 0.1 + 25 \times 0.025 = 3.125$  秒左右。以分析結果來看，整體車位偵測處理時間，當然會因為攝影機的數量增加而變慢，不過若以一般大小的停車場(50 到 100 個停車位)來看，整體花費 1 到 3 秒的車位偵測處理時間，應該是可容許的範圍。

其次針對系統連動訊號整合測試結果探討，則如下表 4 所示。從表中數據可發現，若間隔 4 秒以上才有一部車進入停車場，本系統均能正確導引其到指示位置停車，但當連續車輛進入停車場，間隔大約只有 1 秒時，則系統有一半以上的機率無法正確導引其到指示位置停車，這是因為間隔時間太短，造成後面的控制指示訊號蓋掉其前面的控制指示訊號，亦就是說，前一部車的控制指示命令尚未執行，就收到後面另一部車的控制指示命令，而造成控制訊號遺失，而針對這個問題的解決方法，只能採取常態指引方式，亦就是如現行停車場的指引方式，將停車位指引看板固定顯示告知目前左、右、前方有幾個空停車位，然後經由我們的影像式停車空位偵測系統，來自動偵測與更新停車場的停車空位狀態與數量。

### 4.4 系統建置成本分析

停車位導引系統的組成，除軟體控制程式（包括停車空位偵測、停車位導引控制及車輛識別）外，主要是硬體的裝置元件。這些硬體裝置元件，會因停車空位偵測技術的差異而有所不同，不過主要的組件還是由停車導引資訊看板及停車空位偵測元件所組成，而其中最大的差異是採用不同的停車空位偵測技術，就必須對應使用到不同的停車空位偵測元



件，因此這些停車位導引系統最大的建置成本差異，就出現在停車空位偵測元件，而這些停車空位偵測元件所需佈建的數量多寡與元件單價高低，就形成系統建置成本差異的關鍵節點，所以本節就針對前述章節相關技術方法，探討分析這些停車空位偵測元件的建置成本。

表 4 系統連動訊號整合測試結果

動作間隔 (模擬車輛進入流量，每隔幾秒一部車進入)	系統連動正確率
10 ~ 4 sec	100%
3sec	99.5%
2sec	92%
1sec	50%

在前述技術探討章節中，我們綜整出三種停車空位偵測方法，分別是 RFID 停車空位偵測方法、超音波停車空位偵測方法，與本研究所提之電腦視覺影像分析停車空位偵測方法，而這三種偵測方法所佈建的停車空位偵測元件，分別是 RFID 讀取器、超音波車位偵測器與攝影機。因此，以下我們就針對這些偵測元件，分別進行單價分析、建置總量分析與建置總成本分析。

首先，我們先進行停車空位偵測元件平均單價分析，如下表 5 所示，其中 RFID 讀取器的平均單價最高，大約在 3 ~ 5 萬元左右，低照度彩色高解析紅外線攝影機的平均售價約 5 千 ~ 1.5 萬元左右，而超音波車位偵測器的平均價格最低，大約只有 1 ~ 5 千元左右，因此，若就停車空位偵測元件單價分析而言，超音波車位偵測器具有低價的優勢。

其次，我們再就偵測元件建置總量進行分析，如下表 6 所示，RFID 停車空位偵測方法，在最佳狀況下，可每 2 ~ 4 個車位佈建一具 RFID 讀取器，而本研究採用電腦視覺影像分析方式，同樣在最佳狀況下，可每隔 4 ~ 5 個停車位架設一部攝影機，但是若是採用超音波停車空位偵測方法，則必須在每個停車位佈建 1 具超音波車位偵測器，所以在同樣車位數下，若考量最少偵測元件建置數量，則攝影機、RFID 讀取器與超音波車位偵測器的建置數量比為 1:1.25:5，亦就是說，每裝設一部攝影機，大約就必須裝設 5 具超音波車位偵測器，因此，若就停車空位偵測元件架設數量比率分析而言，架設攝影機具有量少的優勢。

最後若以建置總成本分析，我們假設考慮架設最少偵測元件的條件下，以佈建 180 個停車位的假設條件計算，經綜整表 5 與表 6 的資料可分析得出表 7 的結果，RFID 讀取器、低照度高解析紅外線攝影機與超音波車位偵測器等偵測元件建置總成本，分別約為 135 ~ 225 萬元、18 ~ 54 萬元及 8 ~ 90 萬元。其中以 RFID 停車空位偵測方法必須佈建 RFID 讀取器的建置成本最高，其建置成本約為其它兩種方法的 2.5 ~ 7 倍之間，至於目前大部分



系統所採用的超音波停車空位偵測方法，與本研究所採用電腦視覺影像分析方式，雖然兩者的偵測元件單價差距亦甚大，但當考慮架設最少偵測元件的條件下時，兩者的建置成本卻相當接近，近乎一比一的比率，不過，依照一般慣例，裝設超音波車位偵測器的停車場還是要架設攝影機來做保全與監視，所以，採用超音波停車空位偵測方法的系統，還是要額外架設一些攝影機，因此，本研究所建構基於無線射頻與電腦視覺技術的停車位導引系統，理論上將是未來市場上最為低成本的停車位導引系統建置方式。

表 5 停車空位偵測元件平均單價分析

停車空位偵測方法	所採用之停車空位偵測元件	偵測元件平均單價
RFID	RFID 讀取器	3 ~ 5 萬元
影像分析	低照度高解析紅外線攝影機	5 千 ~ 1.5 萬元
超音波	超音波車位偵測器	1 ~ 5 千元

表 6 停車空位偵測元件建置總量分析

停車 空位 偵測元件	以佈建 180 個停車位計算所需偵測元件數					建 置 數量比
	每個車位 佈建	每隔 2 個車位 佈建	每隔 3 個車位 佈建	每隔 4 個車位 佈建	每隔 5 個車位 佈建	
RFID 讀取器	180	90	60	45	X	1.25
低照度高解析 紅外線攝影機	180	90	60	45	36	1
超音波車位偵 測器	180	X	X	X	X	5

表 7 停車空位偵測元件建置總成本分析

停車空位 偵測元件	以佈建 180 個停車位計算 所需最少偵測元件數量	偵測元件 平均單價	偵測元件建置 總成本
RFID 讀取器	45	3 ~ 5 萬元	135 ~ 225 萬元
低照度高解析 紅外線攝影機	36	0.5 ~ 1.5 萬元	18 ~ 54 萬元
超音波車位偵測器	180	0.1 ~ 0.5 萬元	18 ~ 90 萬元

## 五、結論與建議

在都會區大型公共停車場中要尋找一個空的停車位，對駕駛來講是一大問題，尤其現在百貨購物商場、醫院、辦公大樓林立，這些公共停車場動輒數百到數千個停車位，開車到這些場所，需要花費非常多的時間在停車場中穿梭以尋求停車位，因此，如何在這類大型公共停車場中導引駕駛找到便捷的停車位，變成非常實際而且環保節能的議題。

本研究因此提出創新的做法來重新檢視與建構停車位導引系統，在本文中首先提出一套創新且基於無線射頻和電腦視覺技術的停車空位導引系統，本研究結合無線導引感測網路與攝影監視系統，建構出一套容易安裝使用的停車位導引系統，並且開發出結合 ZigBee 與 LED 的動態導引資訊看板，以 ZigBee 作為控制訊號傳輸網路，在停車場中佈建出一個無縫隙的無線導引感測網路，經實證顯示，ZigBee 的通訊傳輸距離在有阻隔的情況下，皆無法傳輸超越 30 公尺，不過在無阻隔的情況下，室內的傳輸距離可達 30 公尺以上，因此在室內停車場佈建 ZigBee 停車位導引資訊看板或中繼感測節點時，還是儘量以視距無阻隔的方式來佈建，除可提高資料正確率，也可降低訊號遺失率，並可進一步減少 ZigBee 感測節點的佈建數量，以節省建置成本。

其次，本研究提出一個以影像識別為基礎的非學習式停車空位偵測方法，這個方法非常簡單，不需大量的計算與儲存空間，只要執行停車位範圍標定與偵測、攝影圖像轉灰階、角點偵測及停車空位判定等四大步驟，就能完成停車空位偵測，經由實驗驗證這套電腦視覺的停車空位偵測方法，只要攝影機佈建得宜，每部攝影機不要偵測過於廣大的停車位範圍，在實際停車場環境中運作皆獲得不錯的效果，因此，本研究建議未來的停車場管理系統，應朝向結合無線射頻與電腦視覺技術，以建構出具停車場監視、保全、進出識別管理及停車位導引的整合式多功能停車場管理系統。

## 參考文獻

1. Wang, X. G. and Hanson, A. R., "Parking Lot Analysis and Visualization from Aerial Images", Proceedings of Fourth IEEE Workshop Applications of Computer Vision, IEEE Computer Society Press, 1998, pp. 36-41.
2. 黃敬群、富博超，「以電腦視覺技術建構之停車場管理服務」，**電腦與通訊**，第 116 期，民國 95 年，頁 109-116。
3. Masaki, I., "Machine-Vision Systems for Intelligent Transportation Systems", Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Transportation System, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 13, No.6, 1998, pp. 24-31.
4. Lee, C. H., Wen, M. G., Han, C. C., and Kou, D. C., "An Automatic Monitoring Approach for Unsupervised Parking Lots in Outdoors", 2005 39th IEEE International Carnahan Conference on

- Security Technology(ICCST), Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2005, pp. 271-274.
5. True, N., Projects in Vision & Learning, University of California, "Vacant Parking Space Detection in Static Images", <http://www.cs.ucsd.edu/classes/wi07/cse190-a/reports/ntrue.pdf>, 2008.
  6. Wu, Q. and Zhang, Y., Machine Learning, Carnegie Mellon University, "Parking Lots Space Detection", [http://www.cs.cmu.edu/~epxing/Class/10701-06f/project-reports/wu\\_zhang.pdf](http://www.cs.cmu.edu/~epxing/Class/10701-06f/project-reports/wu_zhang.pdf), 2008.
  7. Agarwal, S. and Roth, D., "Learning a Sparse Representation for Object Detection", Proceedings of the Seventh European Conference on Computer Vision, Vol. 4, The Image Group at the University of Copenhagen, 2002, pp. 113-130.
  8. Innovative Technologies, "Technical informations", [http://www.innovative-technologies.eu/docs/pour\\_site/Site\\_Web\\_Documentations/Innovative\\_Park\\_Lite\\_ENG/Dossier\\_Technique\\_Innovative\\_Park\\_lite\\_eng\\_1.01\\_V1\\_21-09-2008.pdf](http://www.innovative-technologies.eu/docs/pour_site/Site_Web_Documentations/Innovative_Park_Lite_ENG/Dossier_Technique_Innovative_Park_lite_eng_1.01_V1_21-09-2008.pdf), 2008.
  9. Streetline, Inc., "Streetline\_Technology", [http://www.streetlineworks.com/site/pdf-factsheets/Streetline\\_Technology.pdf](http://www.streetlineworks.com/site/pdf-factsheets/Streetline_Technology.pdf), 2008.
  10. SmarterParking, "RFID Parking Management Solution", <http://www.smarterparking.net/products.html>, 2008.
  11. Invengo Information Technology Co., "Parking Lot management", [http://www.invengotechnology.com/english/index3\\_z.asp](http://www.invengotechnology.com/english/index3_z.asp), 2008.
  12. DIYTrade, "Long Range RFID Car Parking Access Controller", [http://www.diytrade.com/china/4/products/1276724/Taiwan\\_Manufacturers\\_Long\\_Range\\_RFID\\_Car\\_Parking\\_Access\\_Controller.html#normal\\_img](http://www.diytrade.com/china/4/products/1276724/Taiwan_Manufacturers_Long_Range_RFID_Car_Parking_Access_Controller.html#normal_img), 2008.
  13. I-Park Systems, Inc., "Parking Space Guidance System", [http://www.i-parksystems.com/datasheet/Parking\\_Space\\_Guidance\\_Systems.pdf](http://www.i-parksystems.com/datasheet/Parking_Space_Guidance_Systems.pdf), 2008.
  14. Infronics Systems Limited, "Advanced Parking Management System", <http://www.infronics.com/products.shtm>, 2008.
  15. Harris, C. and Satephens, M. J., "A Combined Corner and Edge Detector", Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, University of Manchester, 1988, pp. 147-152.
  16. 林詠勝, 「架構於 ZigBee 協定的生物環境無線感測網路監控系統」, 臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文, 民國 96 年。
  17. 國立虎尾科技大學電機工程系, 「ZigBee 應用於目標追蹤自走車之設計與實現(精簡)」, <http://www.ee.nfu.edu.tw/new/uploads/97pg/4922/02.pdf>, 民國 97 年。