

# 屏東縣第 63 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學科(一) (機電與資訊)

組 別：國中組

作品名稱：圖書館迷航記 圖書館地圖定位系統的建置

關 鍵 詞：藍牙室內定位、圖書管理系統、Google Map

編號：B6003

# 摘要

隨著圖書館的藏書越來越多，想在下課十分鐘內快速找到想借閱的書，也變成了一種挑戰。本研究以圖書館室內定位作為探索的主題，包含了書籍的定位和藍牙定位兩部分。本研究目的是為學校圖書館原有的圖書管理系統提供所缺少的地圖定位功能。藉由繪製室內地圖、增加新排架號和更新書籍資料，並在自助借還書的主機中建置了一套網頁版的地圖定位系統，透過外加一個螢幕，提供書籍定位查詢。結合地圖的平面位置和書架的垂直位置，有類似立體定位的效果。

本研究也測試了藍牙信標(iBeacon)在學校室內外場所的定位性能，發現測距結果受表面材質影響很大，也在圖書館中利用六顆藍牙信號發射器建立測試環境，讓地圖定位系統也可以支援書本以外物品的定位功能。

## 壹、前言

### 一、研究動機

我們學校裡圖書館裡的藏書非常的多，據說有 1 萬 7 千多本，有一天我們可愛的同班同學，為了找一本時間管理的書，他花了一整天的光陰還是沒找到，不忍看到他為了找書而迷失在圖書館中，所以我們興起了幫圖書館書籍地位的想法，讓圖書館也能有個室內版的 google 地圖可以幫書定位，讓全校老師和同學在下課十分鐘內可以快速找到書。此外，我們也進一步想探索，書本以外物品要如何在室內定位的可行性。

### 二、目的

- (一) 圖書查詢地圖定位系統的建置
- (二) 藍牙室內定位性能的探討

### 三、文獻回顧

- (一) 接收訊號強度指示(RSSI)換算距離的公式

利用 iBeacon 藍牙信標測量距離時，由 RSSI 換算成距離的公式如下所述：

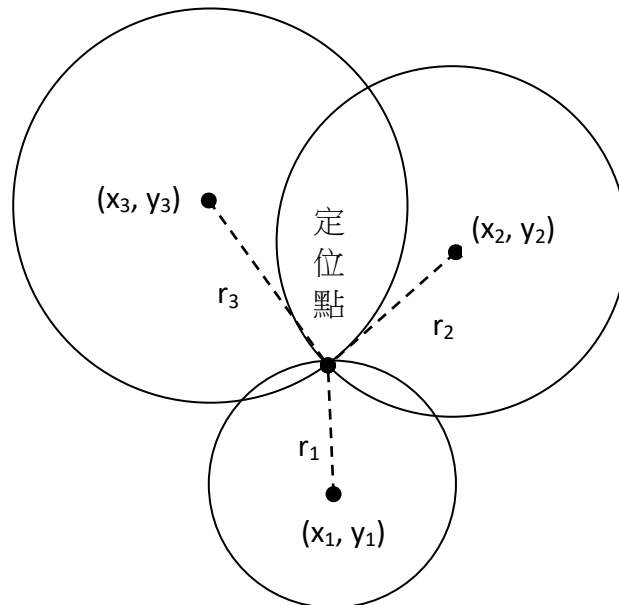
$$\text{距離}d = 10^{((\text{abs}(RSSI)-A)/(10 \times n))}$$

A 為距離 1 公尺時的訊號強度，n 為環境衰減因子。A 值必須進行實際測量，而 n 值

會受環境影響，因此也有必要進行測量。

## (二) 三角定位法(依邊長)

在二維空間中，利用接收至少三個已知座標的訊號來源，分別測量出三個距離，相當於三個圓的半徑，此三個圓的共同交點則為所求的定位點，原理如下圖。



## 貳、研究設備及器材

桌上型電腦(雙螢幕) *1	物聯網開發板 廠牌型號：Mediatek linkIt 7697 * 7 規格：藍牙 4.2 / Wi-Fi	行動電源*7
筆記型電腦*1	智慧型手機(iPhone 6s) *1	皮尺(50 公尺)*1

## 參、研究過程

### 一、系統架構

我們提出的圖書地圖定位系統，包含使用者端和伺服器端兩個部分。使用者在瀏覽器網頁中輸入想查詢的資料，透過網路傳送伺服器端。伺服器端再比對書籍資料和地圖區域資料檔，在地圖中顯示書籍的位置。藍牙定位器的資訊也可透過網路傳送回伺服器端，可提供圖書館書本以外有定位需求的物品。

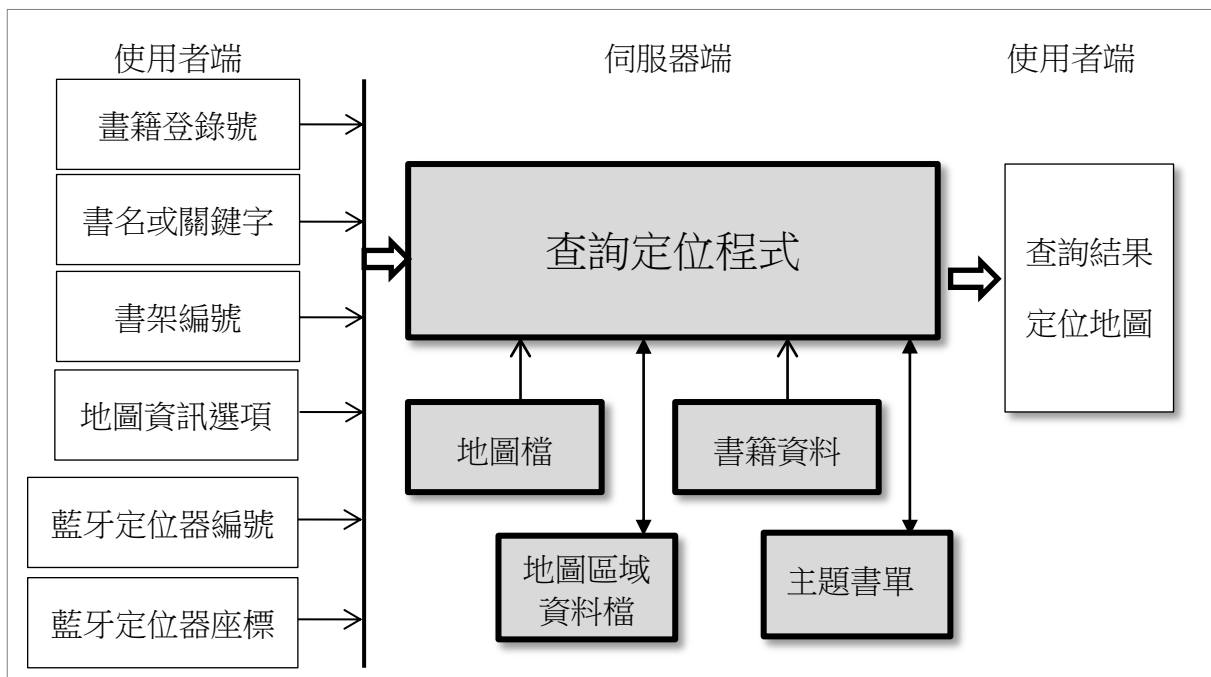


圖 1 系統架構圖

### 二、圖書查詢地圖定位系統的建置

為建置圖書查詢定位系統，在場地方面：我們先進行圖書館尺寸的測量及地圖繪製，在書籍方面：為書架擬定新的編號、書籍盤點和更新資料檔；在系統方面：進行使用者介面設計、架設網站和程式的撰寫，最後進行測試和修正。主要程序依序如下：

#### (一) 圖書館室內地圖的繪製

1. 使用皮尺測量室內各項書架及設施的位置及尺寸。
2. 使用 word 軟體繪圖功能依 1:100 的比例進行地圖繪製。
3. 使用 gimp 圖形處理軟體進行圖形的修改與調整，1 個像素的實際距離為 2cm。

#### (二) 書架重新編號和書籍盤點

1. 由常用書籍開始約十多個書架，逐格重新編號。排架號格式為三碼，分別代表排、座和層編號。例如 A11 代表第 A 排第 1 座第 1 層，依由左而右，由上往下方向編碼。前兩碼也相當於地圖上的水平位置，第三碼則相當於垂直位置。
2. 接著將書架上書籍依排架號進行清點建檔。

### (三) 館藏書籍資料更新

1. 由全國圖書管理系統下載學校館藏資料和書目資料(Excel 檔)。
2. 使用 python 程式語言及 openpyxl 模組撰寫更新程式，將盤點的書籍排架號資料寫入館藏資料檔的排架號欄位。

### (四) 使用者介面的設計

使用者介面的版面設計，主要使用 HTML 的<div>標籤，將畫面分為左右兩大區塊。左側為選單區塊(含查詢結果)，右側為定位區塊(含地圖及書架編號)，如圖 2 和圖 3。

1. 左側選單區塊：主要有表單欄位、主題書單連結、圖層選項及查詢結果四部分。
  - (1) 表單欄位：可輸入書籍的登錄號、書名或關鍵字、書架編號進行查詢
  - (2) 主題書單：由特定主題書籍的登錄號檔案所組成，可進行線上書展。
  - (3) 圖層選項：可依使用者需求查看地圖相關資訊及位置。
  - (4) 查詢結果：呈現(1)表單欄位、(2)主題書單和(3)定位器的查詢結果。進一步點選查詢結果清單，則可以顯示該本書或定位器在地圖中的相關位置。
2. 右側定位區塊：
  - (1) (上)室內地圖。顯示書本或其他區域的的實際水平位置和資訊。
  - (2) (下)書架編號：顯示書本所在書架的垂直位置。



圖 2 使用者介面設計

### 3. 網頁的主要 HTML 標籤的規畫

對應到上圖 2 的介面設計，選擇適合的 HTML 標籤進行實作。顯示地圖的定位點主要由<canvas>負責處理。

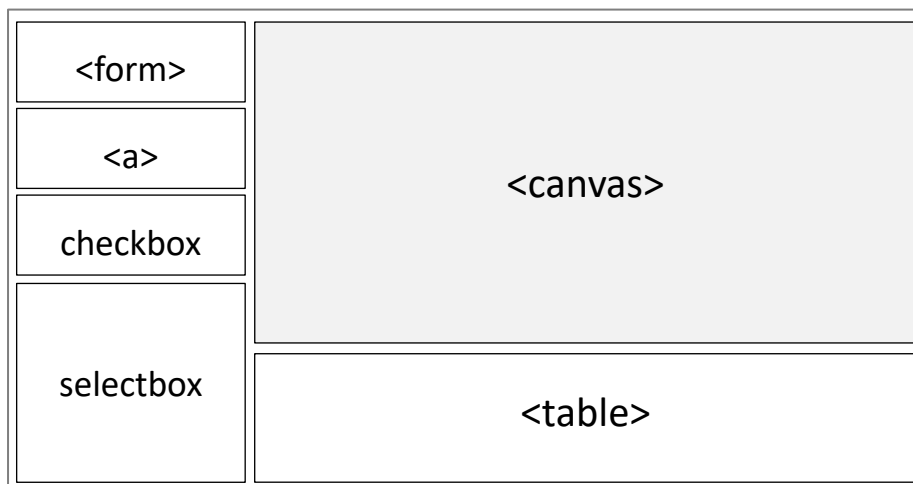


圖 3 使用者介面網頁標籤規畫

### (五) 網站的建置

地圖系統的內容呈現採用 HTML 語法，以串接樣式表(css)進行區塊格式設定，以 javascript 程式提供互動功能。另外使用 python 撰寫 CGI(共同閘道介面)程式檔，接收和回應使用者的查詢請求。

#### 1. 網頁伺服器：採用 Python3 的 http.server 模組，並啟動 CGI 功能

啟動語法 **python -m http.server --bind IP 位址 80 --cgi**

## 2. 網站目錄規畫：

index.html	首頁(歡迎畫面)
start.bat	啟動伺服器的批次檔
cgi-bin\ images\ style\ scripts\ data\ tools\ 	查詢主程式 地圖相關圖檔 串接樣式表檔案 javascript 檔案 館藏書籍檔、地圖區域資訊 製作地圖資訊的工具程式

### (六) 地圖區域資訊格式及地圖工具程式的撰寫

地圖區域資訊可運用在呈現書籍的定位，以及其他設施的位置。

1. 資料格式的定義：採用純文字的 JSON(JavaScript Object Notation)格式，以方便 python 和 javascript 程式的存取，主要為區域相關資訊，如下圖 4。

```
{
  "width": 地圖寬度,
  "height": 地圖高度,
  "zone": [      //地圖區域
    {
      "id": 區域唯一識別值,
      "type": 區域類別 ,
      "name": 區域名稱,
      "left": 左上角 x 座標,
      "top": 左上角 y 座標,
      "right": 右下角 x 座標,
      "bottom": 右下角 y 座標,
      "attrs": {其他屬性}
    }
  ]
}
```

圖 4 地圖區域資料格式

## 2. 地圖工具程式的撰寫

工具程式主要用於取得地圖上特定區域的座標並儲存成 JSON 格式檔案。採用 Python 程式語言，以及 turtle 模組和 json 模組進行撰寫，主要敘述如下：

- (1) 使用 turtle 模組的滑鼠事件函式。1 按下 onclick()、2 拖曳 ondrag()、3 釋放 onrelease()，以取得區域起點座標、繪製框線和取得區域終點座標。

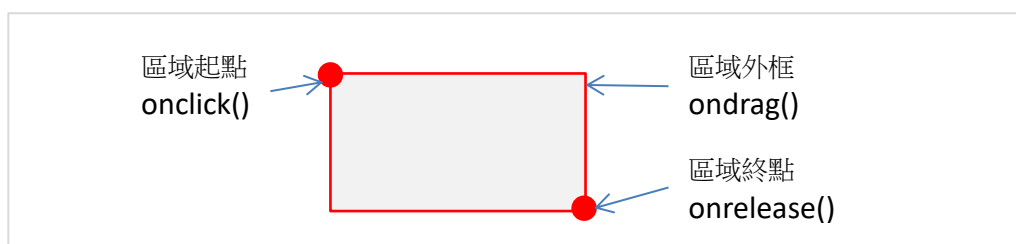


圖 5 地圖工具的主要三個動作

- (2) 接著使用 turtle 模組的 `textinput()` 函式，輸入區域的 `id`、`type`、`name` 資訊。
- (3) 最後使用 json 模組的 `dumps()` 函式將資料轉換成 json 格式，再利用 `save()` 函式進行儲存。

#### (七) 查詢定位程式的撰寫與測試

程式主要流程為取得查詢的表單欄位資料後，載入館藏圖書資料檔，在資料檔中尋找符合條件的資料記錄，再透過程式以網頁型式呈現在瀏覽器畫面中。敘述如下：

1. 使用 HTML 語法撰寫表單。在表單欄位中輸入[登錄號]、[書名或關鍵字]或[排架號]，再按下按鈕，並使用 GET 方法傳送資料。
2. 使用 python 語言撰寫查詢主程式。查詢定位程式會接收來自表單的資料，再使用 `openpyxl` 模組載入館藏資料檔，並比對是否有符合的資料；若有找到，則將全部符合條件資料的排架號、登錄號和書名加入 `selectbox` 的選項中。
3. 查詢定位程式可透過 GET 方法，接收來自藍牙定位器的位置座標資料，存入地圖區域資料檔中。
4. 使用者點選 `selectbox` 的選項，在地圖上顯示位置圖示。
5. 圖層選單(`checkbox`)呼叫`<canvas>`的方法，在地圖上顯示/隱藏區域的資訊。
6. 主題書單採用`<a>`標籤，讀取相關主題的登錄號檔案，顯示在查詢結果清單中。

```
主題書單資料格式：{ "書單 1": [ "登錄號 1", "登錄號 2", ... ],
                    "書單 2": [ "登錄號 1", "登錄號 2", ... ],
                    ... }
```

圖 6 主題書單資料格式

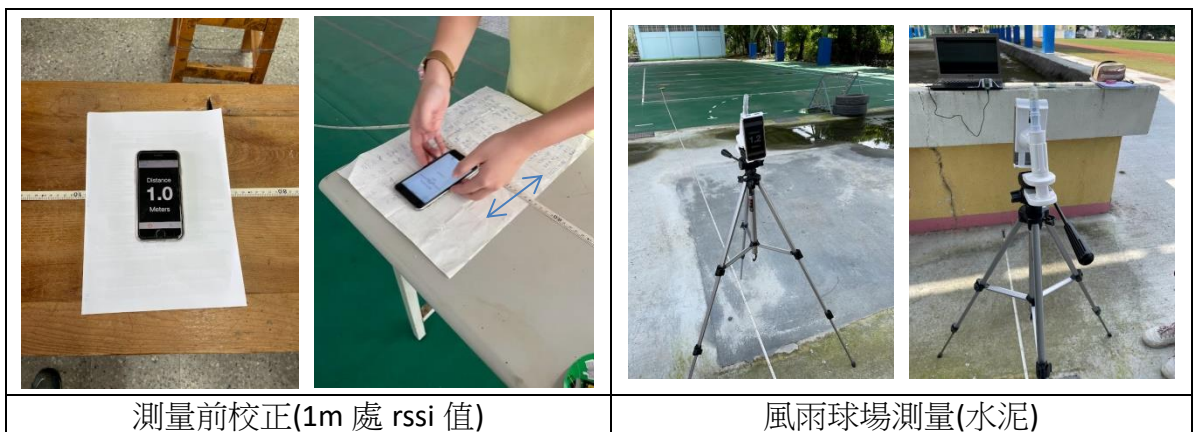



### 三、藍牙室內定位性能的探討

為了探索在圖書館室內提供書籍以外物品或使用者定位的可行性，本研究進一步在校園不同室內外環境中測試開發版藍牙定位的性能，相關測試說明如下：

#### (一) 室內外不同場地和表面材質的測量比較

1. 使用 LinkIt7697 開發板當藍牙訊號發射器，放置在書桌上(高約 80 公分)，以 10 秒間隔產生藍牙信標的訊號。在智慧型手機安裝 Air locate 應用程式，當訊號接收器(定位器)。
2. 智慧型手機使用前需在距離發射器 1 公尺處圓周上，在切線方向水平來回緩慢移動約 30 秒，以測得 1 公尺處的訊號強度指示(RSSI)的平均值。將此數值透過 Arduino IDE 寫程式並載入藍牙訊號發射器中執行。
3. 室外環境選擇：(1)風雨球場(室外水泥)、(2)操場(室外草皮)、(3)排球場(室外水泥)室內環境：(4)活動中心羽球場(室內 PU)。在上述四個環境中，用皮尺一直線上取間隔 1 公尺的 10 個定位點。
4. 依序移動到不同定位點，每次等待約 30 秒，使用手機接收藍牙信標訊號，以測量出距離。
5. 將測量結果使用 Excel 進行分析和繪製圖表。



			
操場上測量(草皮)		排球場上測量(水泥)	
			
活動中心羽球場(PU)測量		圖書館(磁磚)直線測量	

## (二) 環境衰減因子的測量

由第一階段測量中發現環境會明顯影響藍牙測距的結果，而公式中環境衰減因子(n)預設為 2.0，有探討的必要。因此針對圖書館室內環境，做進一步的測量。測量方式採用直線位置和隨機位置兩種方式進行，說明如下：

### 1. 直線位置的測量

使用皮尺在圖書館地面設置一條數線，以藍牙訊號發射器為原點，往南北兩側每隔 2 公尺位置，使用手機測量 RSSI 值。

### 2. 隨機位置的測量

以藍牙訊號發射器為原點，選取隨機位置使用手機測量一次 RSSI 值，再以皮尺測量到原點的距離。

3. 利用下列公式(python 程式碼)算出不同位置的環境衰減因子(n)數值，再進一步求出平均值，並做為後續換算距離的參考。

$$n = (\text{abs}(\text{rssi}) + A) / (10 * \text{math.log}(d))$$

### (三) 藍牙室內定位的環境建置與測試

#### 1. 測試環境

六顆藍牙訊號發射器和 1 顆定位器所組成，發射器配有行動電源，放置位置以書架上方為主，依三角形配置，每個區域希望至少可以收到三顆藍牙的訊號，定位器則連接在筆記型電腦。

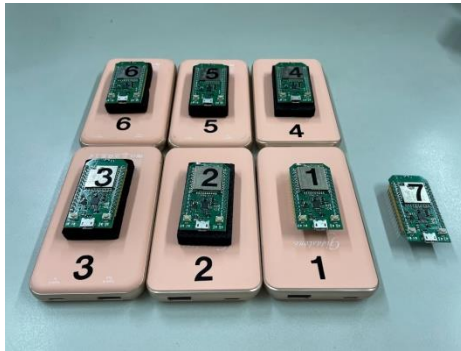


圖 7 藍牙發射器與定位器



圖 8 藍牙發射器完成組裝

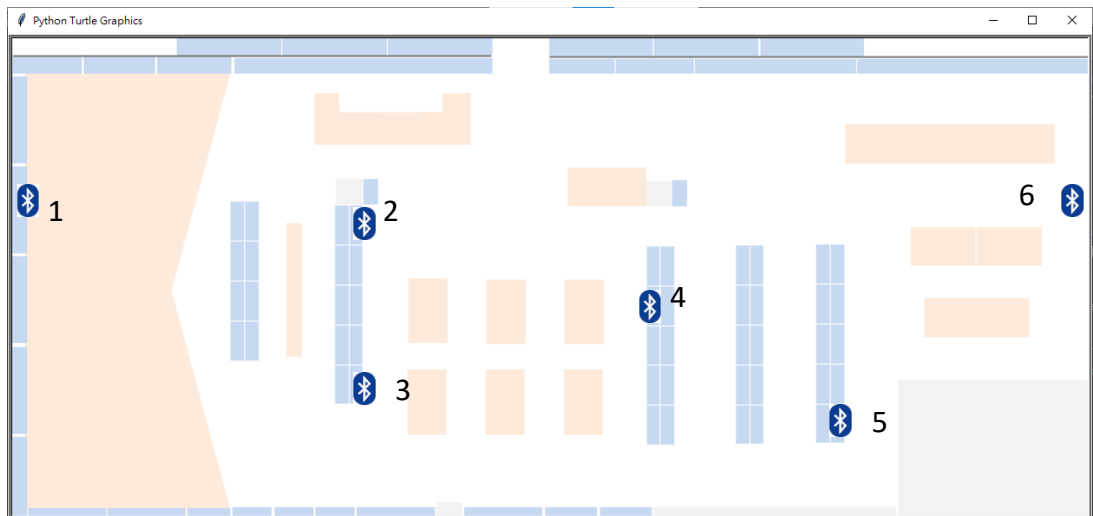


圖 9 藍牙發射器位置圖



圖 10 藍牙發射器放置在圖書館週遭

## 2. 藍牙訊號發射器

參考開發板範例程式及函式，使用 **Arduino IDE** 進行程式的撰寫。將 **iBeacon** 訊號中 **major** 和 **minor** 欄位，設定為訊號發射器本身位置的 **x** 和 **y** 座標。

## 3. 藍牙定位器

參考開發板範例程式及提供的函式，使用 **Arduino IDE** 進行程式的撰寫。採用三角定位法(依距離)，接收至少 **3** 個藍牙訊號，分別計算出距離，再依畢氏定理及數學原理求出定位點。主要流程敘述如下：

- (1) 裝置初始化。
- (2) 掃描週邊裝置約 **10** 秒以取得週邊裝置數目和相關資訊。其中若為 **iBeacon** 訊號(信標)，則進一步取得其中 **uuid**、**major**、**minor**、**txPower** 欄位資料以及 **rsi** 值。利用上述資料計算出距離後停止掃描。
- (3) 取得至少三個藍牙訊號(信標)後，分別計算出與發射器間的距離 **r1**、**r2**、**r3**。

- (4) 取前二個訊號最強,距離最短的數據,透過圓的相關數學公式求得 2 個解(點座標),  $c(x_4, y_4)$ 和  $d(x_5, y_5)$ 。
- (5) 我們取第三個訊號來源(其距離為  $r_3$ )分別計算出與前一步驟兩個解(點座標)之間的距離,取距離最接近  $r_3$  的點,即為定位器的位置。
- (6) 藍牙定位器設定一個獨有的 UID(識別值),將取得的座標 $(x,y)$ ,透過 Wi-Fi 或 usb 纜線方式,將資料週期性傳送到伺服器上供使用者查詢或由瀏覽器連接讀取。

#### 4. 測試

- (1) 在圖書館中隨機選定 18 個定位點,使用地圖工具取得並記錄實際座標,再使用定位器進行定位測試。每個定位點測量三次。
- (2) 透過手機讀取定位器的測量結果。
- (3) 取距離最近三組數據計算定位器座標,並與實際定位點座標進行比較。

# 肆、研究結果

## 一、圖書查詢定位地圖系統

### 1. 圖書館室內地圖的繪製

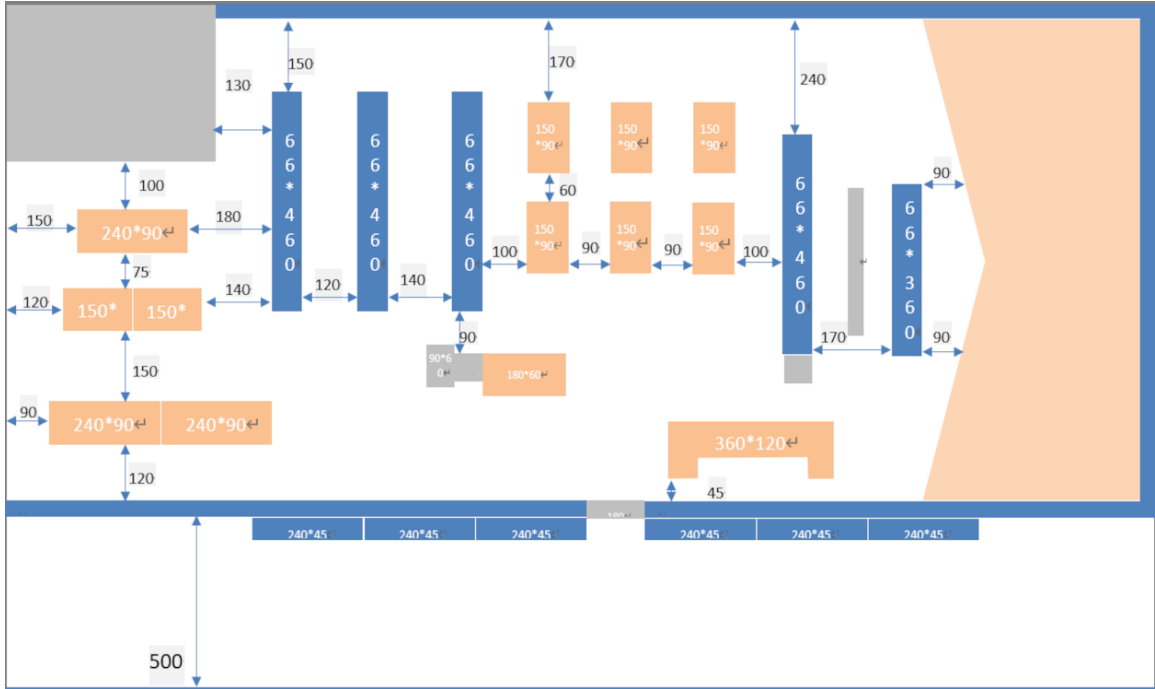


圖 11 使用 word 依 1:100 比例繪製的原始地圖

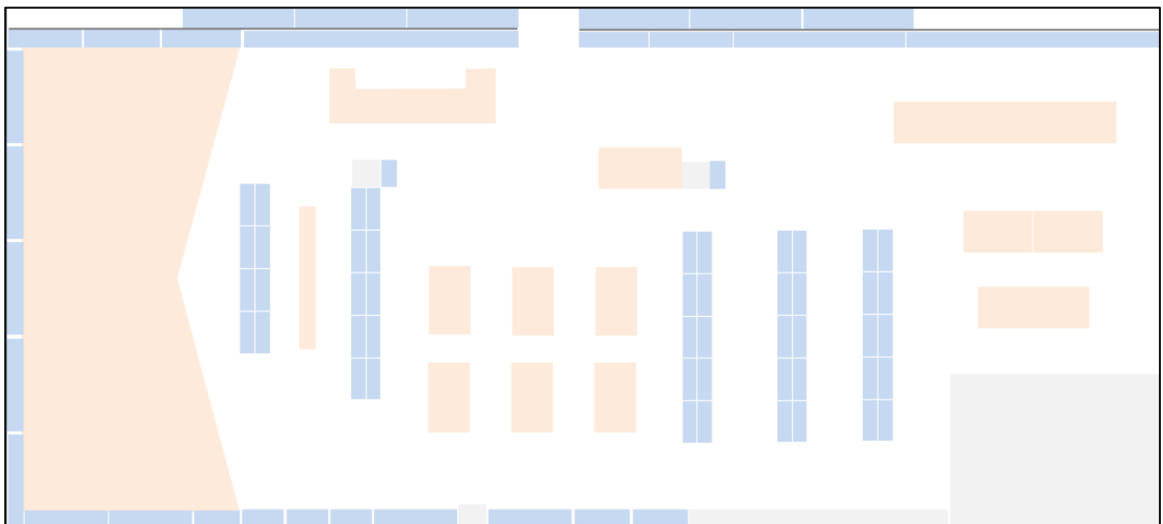


圖 12 配合圖書館電腦位置調整(旋轉 180 度)後地圖

## 2. 書架增加新編號與書籍盤點



圖 13 增加排架號標籤(例：A13)



圖 14 同學們協助清點書籍

## 3. 館藏書籍資料更新

使用 python 語言和 openpyxl 模組，處理館藏資料檔(Excel 檔)，語法較簡單，但執行速度較慢，約半小時才完成全部的更新。更新後的資料檔如下圖。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
B01	B03	B53	B54	B55	B56	B57	B58	B52	B59	B60	B61	B62	B63
館藏登錄號	書名(不得修改)	館藏狀態	流通別	資料別	特藏號	冊次號	複本號	排架號	館藏地	來源別	捐贈者	附件	新增日期
00020106	29張當票：典當不到的	館內架上	新書	一般圖書				C44	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020107	貓戰士4部曲	館內架上	新書	一般圖書		v.1		A21	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020108	貓戰士4部曲	館內架上	新書	一般圖書		v.2		H14	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020109	貓戰士4部曲	館內架上	新書	一般圖書		v.3		A32	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020110	貓戰士4部曲	館內架上	新書	一般圖書		v.4		A32	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020111	貓戰士4部曲	館內架上	新書	一般圖書		v.5		A45	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020112	貓戰士4部曲	館內架上	新書	一般圖書		v.6		A23	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020113	衛斯理之天涯	館內架上	新書	一般圖書				G34	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020114	衛斯理傳奇之邂逅	館內架上	新書	一般圖書				G34	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020115	妖火	館內架上	新書	一般圖書			c.2	G14	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020116	衛斯理之藍血人	館內架上	新書	一般圖書				B13	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020117	衛斯理之蜂雲	館內架上	新書	一般圖書				G14	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020118	衛斯理傳奇之奇門	館內架上	新書	一般圖書				G34	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020119	衛斯理傳奇之地圖	館內架上	新書	一般圖書				G34	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020120	衛斯理之盜墓	館內架上	新書	一般圖書				G24	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020121	衛斯理傳奇之透明光	館內架上	新書	一般圖書				G34	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020122	衛斯理之支離人	館內架上	新書	一般圖書				A34	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020123	衛斯理傳奇之原子空間	館內架上	新書	一般圖書				G34	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020124	衛斯理之仙境	館內架上	新書	一般圖書				G23	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27
00020125	衛斯理之老貓	館內架上	新書	一般圖書				G14	本館藏書	贈送	教育部		105-05-27

圖 15 更新後書籍資料檔(Excel)排架號欄位

#### 4. 使用者介面的設計



圖 16 執行瀏覽器的使用者介面

#### 5. 網站的建置

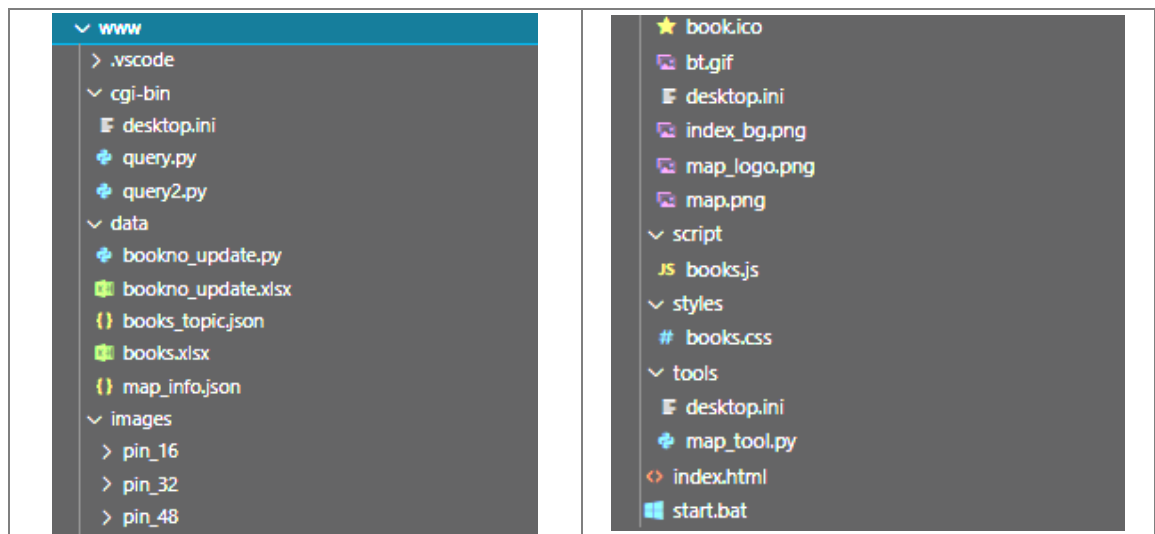


圖 17 網站根目錄(www)底下的資料夾及檔案

- (1) 使用 **vscode** 可以方便進行網站的檔案管理和部分程式的撰寫和測試。
- (2) **python** 採用 **anaconda** 發行版本，並使用 **spyder IDE** 進行開發測試。
- (3) 為方便啟動伺服器，將網頁伺服器的啟動指令寫入 **start.bat** 批次檔中。



## 6. 地圖區域描述資訊

- (1) 地圖工具程式可以快速建立區域的資訊，並輸出 json 檔案，供定位程式使用。
- (2) 採用 JSON 格式，因為語法較簡單，容易透過程式編修。

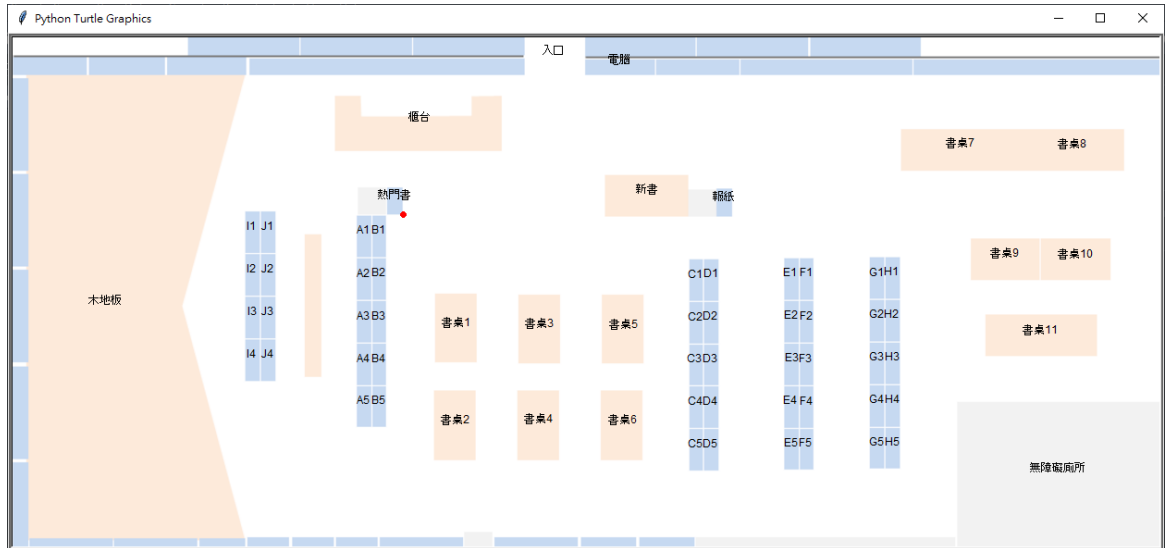


圖 18 地圖工具程式執行結果畫面

```
17 map_info = {
18     "width": 1250,
19     "height": 560,
20     "zone": [
21         {
22             "id": "A1",
23             "type": "shelf",
24             "name": "A1",
25             "left": 375,
26             "top": 194,
27             "right": 389,
28             "bottom": 239,
29             "attrs": {}
30         },
31         {
32             "id": "A2",
33             "type": "shelf",
34             "name": "A2",
35             "left": 375,
36             "top": 242,
37             "right": 389,
38             "bottom": 285,
39             "attrs": {}
40         },
41         {
42             "id": "A3",
43             "type": "shelf",
44             "name": "A3",
45             "left": 374,
46             "top": 288,
47             "right": 390,
48             "bottom": 331,
49             "attrs": {}
50         },
422         "id": "desk1",
423         "type": "",
424         "name": "書桌1",
425         "left": 459,
426         "top": 280,
427         "right": 504,
428         "bottom": 353,
429         "attrs": {}
430     },
431     {
432         "id": "desk2",
433         "type": "desk",
434         "name": "書桌2",
435         "left": 458,
436         "top": 384,
437         "right": 503,
438         "bottom": 460,
439         "attrs": {}
440     },
441     {
442         "id": "desk3",
443         "type": "desk",
444         "name": "書桌3",
445         "left": 550,
446         "top": 280,
447         "right": 594,
448         "bottom": 355,
449         "attrs": {}
450     },
451     {
452         "id": "desk4",
453         "type": "desk",
454         "name": "書桌4",
455         "left": 548,
456         "top": 384,
457         "right": 594,
458         "bottom": 460,
459         "attrs": {}
460     },
769         "left": 938,
770         "top": 417,
771         "right": 952,
772         "bottom": 433,
773         "attrs": {}
774     },
775     {
776         "id": "bt6",
777         "type": "bt",
778         "name": "藍芽6",
779         "left": 1030,
780         "top": 194,
781         "right": 1050,
782         "bottom": 210,
783         "attrs": {}
784     },
785     {
786         "id": "locator1",
787         "type": "locator",
788         "name": "定位器",
789         "left": 660,
790         "top": 30,
791         "right": 734,
792         "bottom": 46,
793         "attrs": {}
794     }
795 ]
796 }
```

圖 19 地圖描述資料(含定位器)

## 7. 查詢定位程式的測試

### (1) 依登錄號查詢、書名或排架號查詢結果

查詢結果採用選單和垂直捲軸，可以容納不同數量的查詢結果。



圖 20 使用表單輸入書名後的查詢結果畫面

### (2) 使用圖層選單

透過勾選方式可以讀取 JSON 格式的地圖資料檔，並在地圖上顯示，類似圖層的概念，方便使用者快速了解圖書館的平面位置。也可以追蹤藍牙定位器的目前位置。



圖 21 顯示不同區域的名稱(圖層功能)

### (3) 點選查詢結果選單

結合水平位置和垂直位置，可以顯示書籍的立體空間位置。而透過清單點選方式，可以避免一次性呈現太多資訊在地圖上。系統提供不同顏色和尺寸的定位圖釘檔，可運用在不同情況。



圖 22 書本定位結果。1.點選，2.顯示水平位置，3.顯示層架垂直位置

### (4) 系統實際上線操作的畫面與程式畫面

我們的系統和原有圖書管理系統均使用瀏覽器操作，也都在同一部電腦主機上，透過第二螢幕，方便使用者同時使用兩個系統的功能。



圖 23 同學使用條碼機操作地圖定位系統

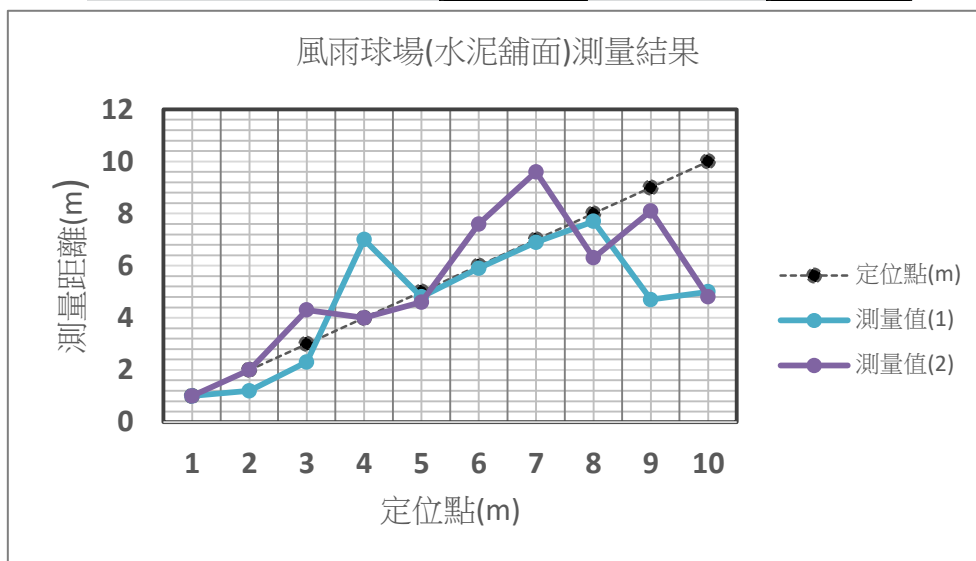
```
www > cgi-bin > query.py > ...
1  #!C:\Users\user\anaconda3
2  import cgi, cgiib
3  import openpyxl
4  import json
5  #由表中取出資料
6  form = cgi.FieldStorage()
7  book_no = form.getvalue('book_no')
8  book_name = form.getvalue('book_name')
9  action = form.getvalue('action')
10 topic = form.getvalue('topic')
11 shelf_no = form.getvalue('shelf_no')
12 uid = form.getvalue('uid')
13 x = form.getvalue('x')
14 y = form.getvalue('y')
```

圖 24 查詢主程式(部分程式碼)

## 二、藍牙室內定位測試環境

### 1. 室內外不同場地和表面材質的測量結果比較

定位點(m)	測量值(1)	誤差(1)	測量值(2)	誤差(2)
1	1.0	0.0	1.0	0.0
2	1.2	-0.8	2.0	0.0
3	2.3	-0.7	4.3	1.3
4	7.0	3.0	4.0	0.0
5	4.8	-0.2	4.6	-0.4
6	5.9	-0.1	7.6	1.6
7	6.9	-0.1	9.6	2.6
8	7.7	-0.3	6.3	-1.7
9	4.7	-4.3	8.1	-0.9
10	5.0	-5.0	4.8	-5.2
	平均誤差	-0.9	平均誤差	-0.3

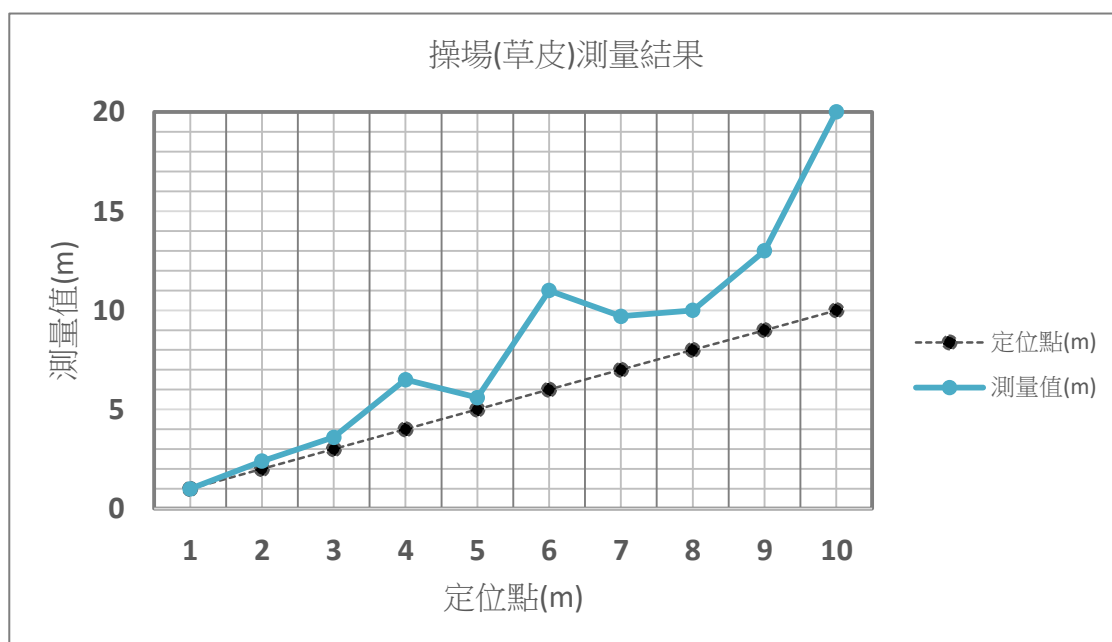


圖表 1 第 1 組風雨球場(室外水泥鋪面)

結果分析：

- (1) 第一組測量結果(風雨球場)，為本研究初次進行室外測量，可能因實驗變因的控制不一致，造成測量結果較無規律性。距離越遠通常誤差會增加。

定位點(m)	測量值(m)	誤差
1	1	0
2	2.4	0.4
3	3.6	0.6
4	6.5	2.5
5	5.6	0.6
6	11	5
7	9.7	2.7
8	10	2
9	13	4
10	20	10
平均誤差		2.78

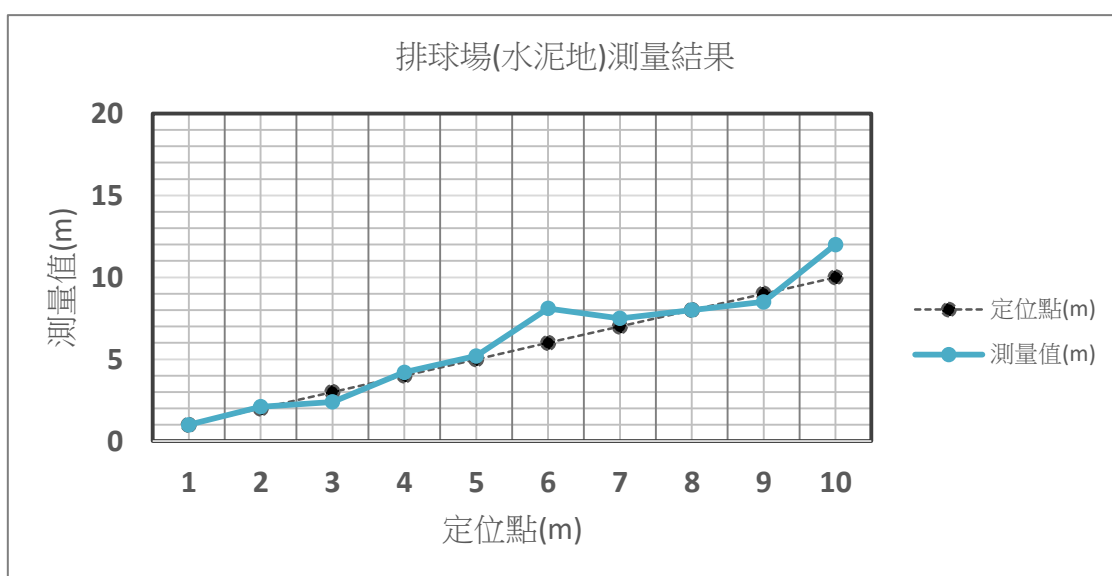


圖表 2 第 2 組操場(室外草地)

結果分析：

- (1) 草皮表面的平均誤差最大。
- (2) 隨著距離的增加會逐漸偏離定位點且明顯增加。
- (3) 柔軟的表面會造成訊號明顯減弱，訊號的反射路徑有部分來自地面。

定位點(m)	測量值(m)	誤差
1	1	0
2	2.1	0.1
3	2.4	-0.6
4	4.2	0.2
5	5.2	0.2
6	8.1	2.1
7	7.5	0.5
8	8	0
9	8.5	-0.5
10	12	2
平均誤差		0.4

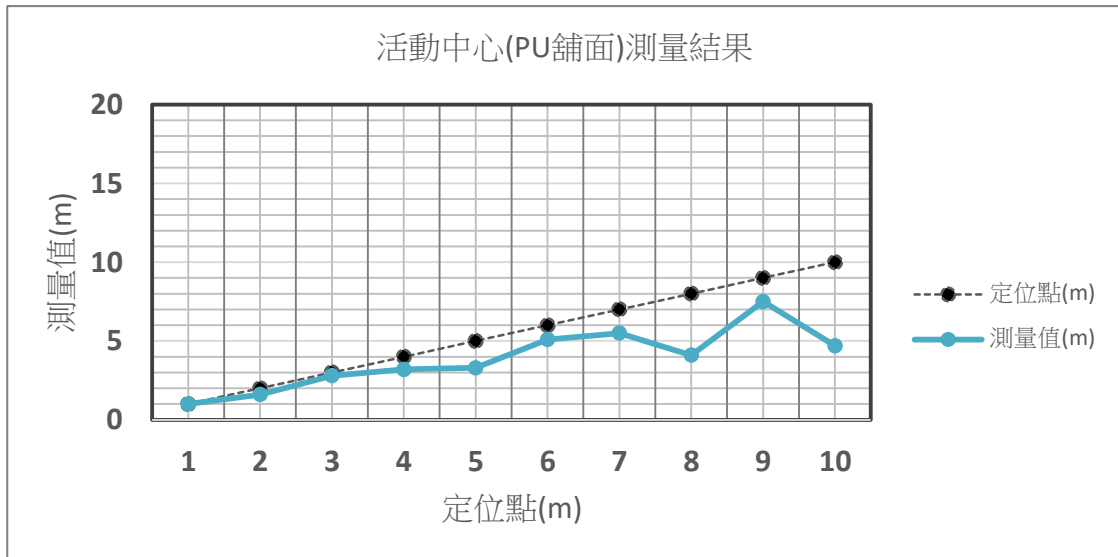


圖表 3 第 3 組排球場(室外水泥鋪面)

結果分析：

- (1) 水泥表面的平均誤差最小。
- (2) 在 10m 內，隨著距離的增加，仍接近定位點。
- (3) 戶外水泥表面較能準確使用藍牙測量距離。

定位點(m)	測量值(m)	誤差
1	1	0
2	1.6	-0.4
3	2.8	-0.2
4	3.2	-0.8
5	3.3	-1.7
6	5.1	-0.9
7	5.5	-1.5
8	4.1	-3.9
9	7.5	-1.5
10	4.7	-5.3
	平均誤差	-1.62



圖表 4 第 4 組活動中心羽球場(室內 PU 鋪面)

結果分析：

- (1) PU 表面的平均誤差介於草地和水泥表面之間。
- (2) 隨著距離的增加會逐漸偏離定位點且明顯減少。
- (3) 因此，我們推論訊號的反射路徑除了來自地面，也會透過其他牆面或屋頂的反射，訊號強度高於空曠室外場地，使測量距離低於定位點。

整體結果分析：

- (1) 第一組測量結果(風雨球場)，為本研究初次進行室外測量，可能因實驗變因的控制不一致，造成測量結果較無規律性。但整體的平均誤差仍在 1 公尺內。
- (2) 第二組(草皮操場)、第三組(水泥排球場)、第四組(PU 羽球場)測量結果有明顯的規律性。整理如下：

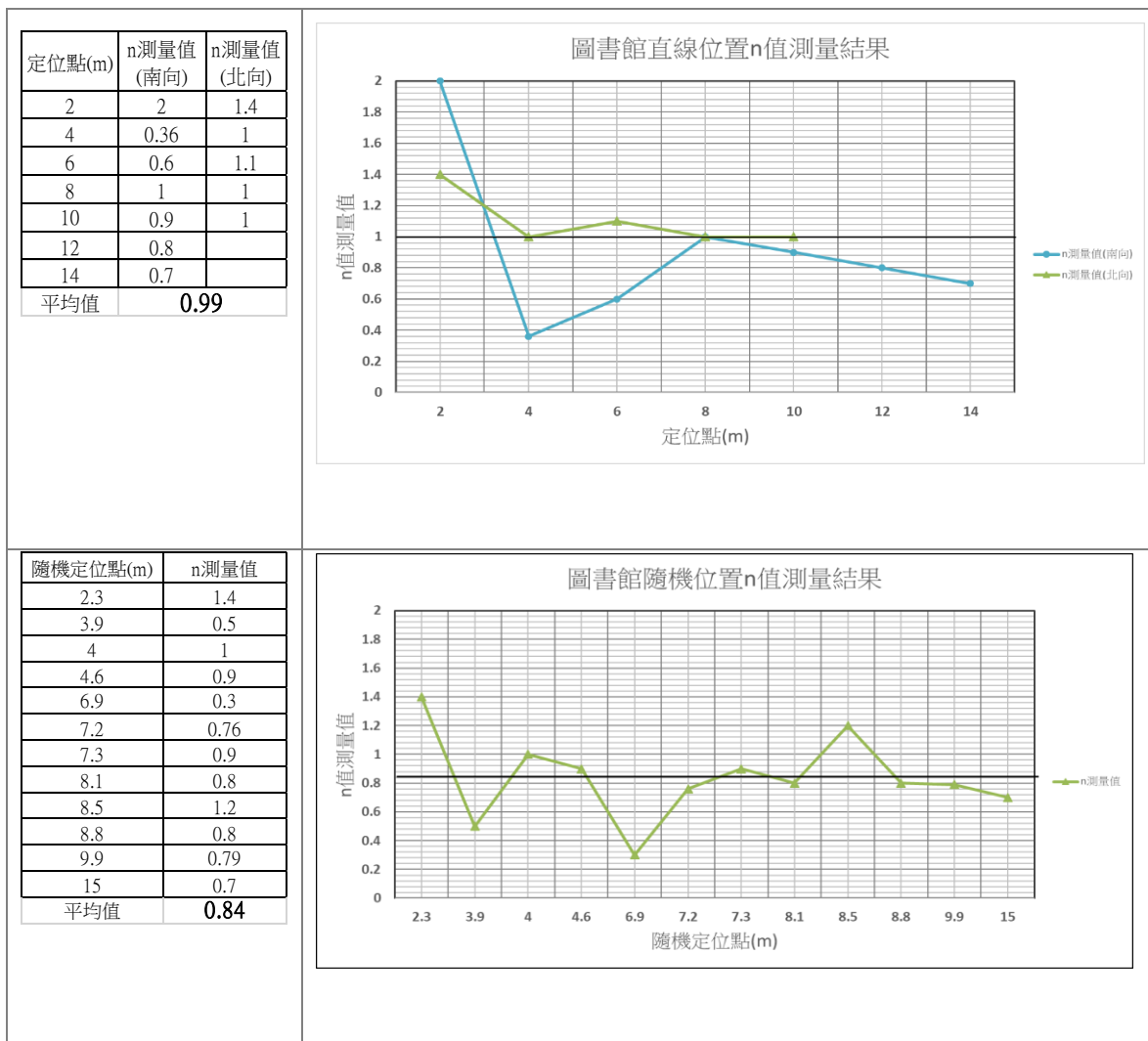
表 1 不同室內外空曠場地的比較

室內外	表面材質	平均誤差值(m)	隨距離的變化趨勢
室外	草皮	2.78 高	隨著距離逐漸偏離定位點且明顯增加
室外	水泥	0.4 低	測量結果均接近定位點
室內	PU	1.62 中	隨著距離逐漸偏離定位點且明顯減少

- (3) 以表面性質進行比較，平均誤差值：草皮(最差)>PU>水泥(最優)。由結果得知：表面材質(鬆軟程度)會影響 RSSI 的變動幅度，越堅硬，變動幅度越小。
- (4) 以測量結果的趨勢進行比較，室內場地的測量結果隨著距離逐漸偏離定位點且明顯減少，代表室內場地訊號的強度似乎有增加的現象，可能是透過其他表面反射所造成。
- (5) 根據自然課本中關於波的傳播性質的描述，波接觸軟性表面會造成波的能量損耗較大，而硬性的表面損耗則較小。我們實驗的結果符合科學的理論，也就是說，表面性質差異明顯影響藍牙訊號的傳播和測量結果。
- (6) 因此，針對不同環境可能必須進行適度的距離修正。



## 2. 藍牙定位公式的環境衰減因子的測量結果



圖表 5 圖書館藍牙訊號 n 值測量結果

結果分析：

- (1) 圖書館室內 n 值的測量結果表現不一致，代表圖書館環境的訊號變動情況比室外和室內的空曠環境大，比較沒有規律性。
- (2) 圖書館室內 n 值的平均值約為 0.92。

### 3. 藍牙室內定位的環境建置與測試

#### (1) 讀取定位器資訊

<p>▲ 172.20.10.2</p> <p>0,-85,953,446,-70,5.62 1,-92,1231,142,-70,12.59 2,-99,398,217,-70,28.18 3,-93,398,401,-70,14.13 4,-80,741,310,-70,3.16 6,-98,11,165,-70,25.12</p> <p>定位點 5-1</p>	<p>▲ 172.20.10.2</p> <p>0,-96,398,217,-70,19.95 1,-83,953,446,-70,4.47 2,-97,11,165,-70,22.39 3,-82,741,310,-70,3.98 4,-89,398,401,-70,8.91 5,-97,1231,142,-70,22.39</p> <p>定位點 5-2</p>	<p>▲ 172.20.10.2</p> <p>0,-83,953,446,-70,4.47 1,-95,398,217,-70,17.78 2,-75,741,310,-70,1.78 3,-96,1231,142,-70,19.95 5,-96,11,165,-70,19.95 6,-88,398,401,-70,7.94</p> <p>定位點 5-3</p>
<p>▲ 172.20.10.2</p> <p>0,-96,1231,142,-70,19.95 1,-89,398,401,-70,8.91 2,-80,741,310,-70,3.16 3,-94,398,217,-70,15.85 4,-70,953,446,-70,1.00</p> <p>定位點 6-1</p>	<p>▲ 172.20.10.2</p> <p>0,-94,398,217,-70,15.85 1,-79,741,310,-70,2.82 2,-70,953,446,-70,1.00 3,-85,1231,142,-70,5.62 5,-99,398,401,-70,28.18</p> <p>定位點 6-2</p>	<p>▲ 172.20.10.2</p> <p>0,-70,953,446,-70,1.00 1,-89,398,401,-70,8.91 2,-79,741,310,-70,2.82 3,-89,1231,142,-70,8.91 4,-94,398,217,-70,15.85</p> <p>定位點 6-3</p>

圖 25 使用手機讀取定位器部分截圖畫面  
(資料格式：訊號編號, RSSI, x 座標, y 座標, TxPower, 測量距離)

#### (2) 測試結果

表 2 圖書館藍牙室內定位測量結果(第 1~5 定位點)

發射器\定位點	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3	5-1	5-2	5-3
BT1(11, 165)	8.91	6.31	-	-	-	-	7.08	6.31	-	3.16	3.16	3.16	-	-	-
BT2(398,217)	-	-	-	2.24	-	-	-	-	4.47	-	-	-	-	-	-
BT3(398, 401)	4.47	2.82	-	-	1.41	1.41	6.31	1.41	1.41	3.16	3.55	3.16	-	8.91	7.94
BT4(953, 446)	-	-	5.62	-	3.16	-	-	15.9	-	5.62	6.31	6.31	5.62	4.47	4.47
BT5(741, 310)	2.82	5.01	7.08	1.58	1.41	6.31	6.31	-	7.08	-	-	-	3.16	3.98	1.78
BT6(1231, 142)	-	-	7.94	5.01	-	8.91	-	-	-	-	-	-	12.6	-	-
定位點 x 座標	466	466	466	568	568	568	325	325	325	377	377	377	760	760	760
定位點 y 座標	101	101	101	292	292	292	342	342	342	10	10	10	307	307	307
測量值 x 座標	599	490	1071	616	616	454	501	579	461	288	277	288	857	742	817
測量值 y 座標	303	294	185	122	512	443	103	595	430	144	149	144	144	509	265
個別誤差(pixel)	241.9	194.5	610.8	176.6	225.2	189.2	296.8	358.5	162.0	160.9	171.2	160.9	189.7	202.8	70.8
個別誤差(m)	4.8	3.9	12.2	3.5	4.5	3.8	5.9	7.2	3.2	3.2	3.4	3.2	3.8	4.1	1.4
平均誤差	4.4			3.9			5.4			3.3			3.1		

表 3 圖書館藍牙室內定位測量結果(第 6~10 定位點)

發射器\定位點	6-1	6-2	6-3	7-1	7-2	7-3	8-1	8-2	8-3	9-1	9-2	9-3	10-1	10-2	10-3
BT1(11, 165)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BT2(398,217)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BT3(398, 401)	8.91	-	8.91	-	-	-	-	-	-	7.94	-	-	5.62	11.2	-
BT4(953, 446)	1	1	1	3.98	2	3.98	3.98	5.62	4.47	1.78	2	1.78	5.62	-	3.98
BT5(741, 310)	3.16	2.82	2.82	12.6	14.13	14.1	6.31	8.91	8.91	-	5.62	8.9	5.62	3.98	6.31
BT6(1231, 142)	-	5.62	8.91	12.6	14.13	14.1	3.98	2.82	2.24	0.79	0.79	0.79	0.45	1.41	0.45
定位點 x 座標	860	860	860	1091	1091	1091	956	956	956	1161	1161	1161	1216	1216	1216
定位點 y 座標	347	347	347	532	532	532	354	354	354	118	118	118	37	37	37
測量值 x 座標	851	916	836	1737	2113	2023	1062	1180	1204	956	961	1238	1115	947	1012
測量值 y 座標	453	327	458	276	163	200	264	274	332	156	156	415	373	12	152
個別誤差(pixel)	106.4	59.5	113.6	694.9	1086.6	989.4	139.1	237.9	249.0	208.5	203.6	306.8	350.9	270.2	234.2
個別誤差(m)	2.1	1.2	2.3	13.9	21.7	19.8	2.8	4.8	5.0	4.2	4.1	6.1	7.0	5.4	4.7
平均誤差	1.9			18.5			4.2			4.8			5.7		

表 4 圖書館藍牙室內定位測量結果(第 11~15 定位點)

發射器\定位點	11-1	11-2	11-3	12-1	12-2	12-3	13-1	13-2	13-3	14-1	14-2	14-3	15-1	15-2	15-3
BT1(11, 165)	-	-	-	-	-	-	3.16	2.82	2.82	-	-	-	-	-	-
BT2(398,217)	-	-	7.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BT3(398, 401)	1.58	2	2.24	0.63	0.63	0.89	15.9	7.08	6.31	3.98	5.01	7.94	2	2.51	3.16
BT4(953, 446)	-	6.31	-	12.6	14.1	11.2	-	-	-	4.47	-	4.47	3.55	3.98	3.55
BT5(741, 310)	2.24	3.55	-	3.55	3.16	15.9	15.9	17.8	22.4	0.89	1.58	1.58	7.08	7.94	7.94
BT6(1231, 142)	2.82	6.31	6.31	-	-	-	-	-	-	-	3.98	-	-	-	7.94
定位點 x 座標	661	661	661	412	412	412	174	174	174	679	679	679	587	587	587
定位點 y 座標	37	37	37	177	177	177	108	108	108	175	175	175	16	16	16
測量值 x 座標	522	512	656	494	500	394	-151	59	117	649	885	809	640	639	654
測量值 y 座標	214	259	-66	240	229	445	-419	297	257	453	35	271	659	644	643
個別誤差(pixel)	225.	267.	103.	103.	102.	268.	619.	221.	159.	279.	249.	161.	645.	630.	630.6
	1	4	1	4	2	6	2	2	5	6	1	6	2	1	
個別誤差(m)	4.5	5.3	2.1	2.1	2.0	5.4	12.4	4.4	3.2	5.6	5.0	3.2	12.9	12.6	12.6
平均誤差	4.0			3.2			6.7			4.6			12.7		

表 5 圖書館藍牙室內定位測量結果(第 16~18 定位點)

發射器/定位點	16-1	16-2	16-3	17-1	17-2	17-3	18-1	18-2	18-3
BT1(11, 165)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BT2(398,217)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BT3(398, 401)	4.47	2.82	2.51	-	-	-	17.78	-	-
BT4(953, 446)	6.31	7.08	2.24	6.31	3.98	3.98	2.24	2	2.24
BT5(741, 310)	3.55	3.16	2.82	7.94	3.98	5.01	7.94	7.08	7.94
BT6(1231, 142)	-	-	-	4.47	7.94	8.91	-	1.58	1.12
定位點 x 座標	504	504	504	883	883	883	1152	1152	1152
定位點 y 座標	546	546	546	550	550	550	240	240	240
測量值 x 座標	618	460	697	1006	927	791	1154	961	1235
測量值 y 座標	438	527	169	129	243	555	425	164	406
個別誤差 (pixel)	157.0	47.9	423.5	438.6	310.1	92.1	185.0	205.6	185.6
個別誤差(m)	3.1	1.0	8.5	8.8	6.2	1.8	3.7	4.1	3.7
平均誤差	2.0			5.6			3.8		

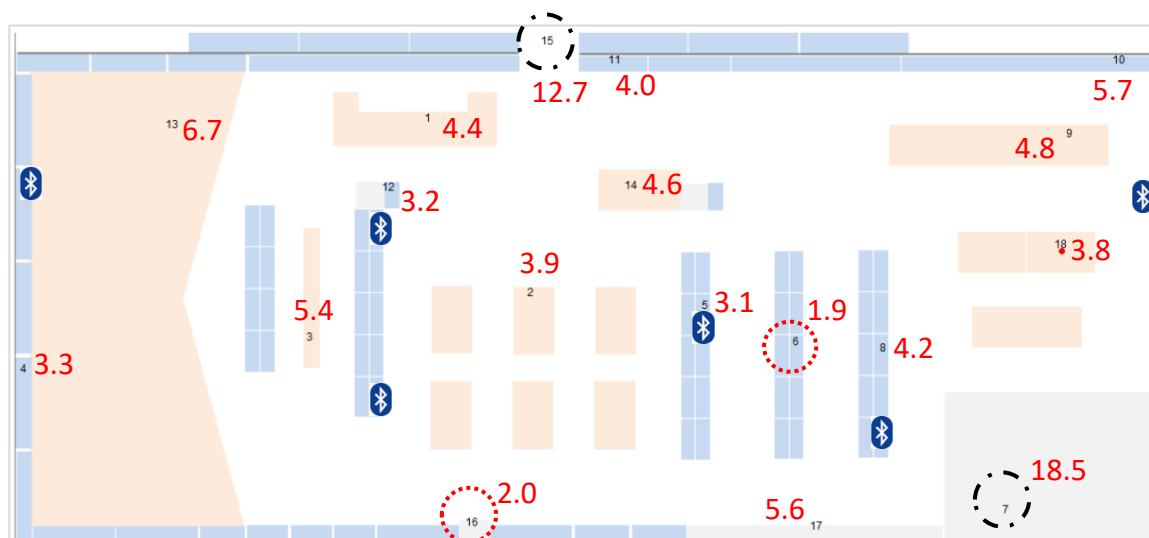


圖 26 圖書館藍牙室內定位測量結果匯整

結果分析：

(1) 由結果發現在我們圖書館的空間中(約 20 公尺\*10 公尺)的定位準確度的好壞與遮蔽情形有關。

- 定位較佳的第 6 點和第 16 點放置高度與發射器高度相當且障礙物較少。
- 定位較差的第 7 點則位於無障礙廁所內，第 15 點是放在門口的地面上。

(2) 因此在後續的研究上，藍牙發射器放置位置盡量選在較高且無遮蔽的地方。

## 伍、討論

### 一、關於圖書查詢地圖定位系統的執行速度。

系統每次查詢的反應時間約為 6~8 秒左右。經查詢網路發現 `openpyxl` 模組確實在執行速度上較慢，而且我們的 Excel 檔案存有大量的資料。後續的改進方法，可以測試唯讀的列查詢方法或是改為採用 `sqlite3` 資料庫模組。

不過，直接採用 Excel 也有明顯的優點，因為 Excel 檔可直接讀取、修改或新增，也可直接從全國圖書管理系統匯出或匯入，可以保持資料的一致性。

### 二、關於藍牙室外定位的結果。

在文獻中經常發現藍牙定位精準度不佳。我們實測後發現，在空曠環境上一直線上測距的結果在短距離時誤差並不大，整體而言有明顯規律，出乎我們的意料之外。但是也引發我們想探討由 RSSI 訊號強度換算成距離的公式。但受限於找到的資料有限，只能針對公式中  $n$  值(環境衰減因子)進行探討。

### 三、關於藍牙室內定位的結果。

根據我們的測量結果發現，準確率遠低於室外空曠環境的測距結果，而且我們目前還沒有發現規律性。我們認為除了障礙物的影響之外，定位器掃描的持續時間或許是個問題，後續將設定不同的掃描時間再求取平均值，觀察是否可以有效降低誤差。

## 陸、結論

我們建置的地圖定位系統，可以為原來的圖書館管理系統提供所缺少的查詢地圖定位的功能，主要功能和優點如下所述：

- 一、具備書籍查詢地圖定位功能，操作簡便。可使用登錄號、書名或關鍵字或排架號進行查詢，並在地圖上顯示該本書所在水平位置及層架上的垂直位置，具有類似立體定位的效果，也支援使用條碼機進行輸入。
- 二、提供主題書單功能。在地圖上顯示主題書展全部書籍位置，使用者可快速取得推薦書籍。管理者可以不需要將書本另外集中。
- 三、提供圖書館區域資訊導覽功能，方便初次使用者快速了解圖書館的位置和設施。

四、系統架構簡單，容易建置和使用。如果學校的排架號資料完整下，只需取得館藏資料檔，繪製地圖及使用地圖工具設定地圖資料等三個步驟，即可進行書籍的定位。

五、提供行動查詢。因採用網頁格式，因此使用者可以使用行動裝置連結查詢。

六、提供藍牙或其他物品的定位功能。將取得的座標透過上傳到系統，即可被查詢和定位。

在藍牙室內定位性能的探討上，我們利用 RSSI 在不同環境中進行測量，也觀察到一些現象，如下所述：

一、地面種類會明顯測量結果。平均誤差：草地 > PU > 水泥。

二、在 10 公尺內的空曠環境的不同地面上，平均誤差的變化趨勢有規律性。在室外草地上，隨著距離逐漸偏離定位點，在室外水泥上仍接近定位點。在室內 PU 表面上，隨著距離逐漸偏離定位點，觀察到多個反射路徑所造成的影響。

三、在圖書館定位環境中，訊號發射器的位置應考量是否有障礙物存在。

很開心地，在我們的系統中同學終於可以查詢到三本關於時間管理的書，在地圖上的顯示出實際位置，也在書架上被找到了，或許短期內同學們找書應該不會再迷路了吧！未來，我們希望能持續加強改進我們的圖書館地圖定位系統，讓執行速度更快，功能更加完整實用，讓系統可以持續運作下去或是整合到原有的圖書館理系統中。

## 柒、參考資料

1. Al Sweigart(2016)。譯者：H&C。第十二章處理 Excel 檔，載於 Python 自動化的樂趣 | 搞定重複瑣&單調無聊的工作(294-326 頁)。台北市：碁峰資訊。
2. canvas 教學文件。取自 [https://developer.mozilla.org/zh-TW/docs/Web/API/Canvas\\_API/Tutorial](https://developer.mozilla.org/zh-TW/docs/Web/API/Canvas_API/Tutorial)。
3. HTML Introduction。取自 <https://www.w3schools.com/>。
4. iBeacon 詳細指南。取自 <https://www.mokoblue.com/zh-tw/a-detailed-guide-to-ibeacon/>
5. LinkIt 7697-ArduinoIDE 開發指南。取自 <https://cavedu.gitbook.io/linkit-7697/LinkIt-7697-ArduinoIDE>
6. 藍牙 RSSI 計算距離公式。取自 <https://www.twblogs.net/a/5e539401bd9eee2117c41777>