

# 2021 University/College IC Design Contest

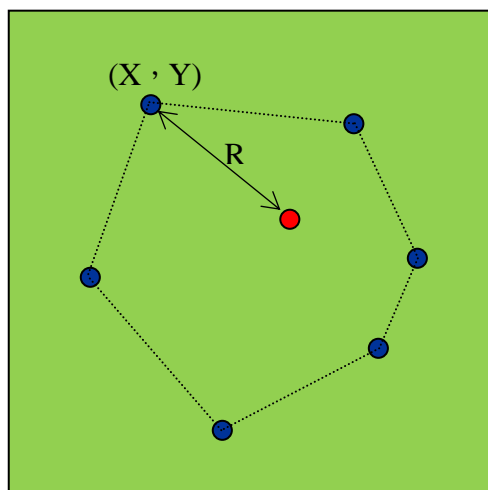
## 研究所類標準元件數位電路設計

### Geofence

#### 1. 問題描述

請完成一地理圍籬(geofence)系統，本系統使用 6 顆接收器在平面上建構出虛擬圍籬，每顆接收器可測量出自己 and 待測物體之間的距離，地理圍籬系統依此資訊計算出待測物體是在圍籬內或圍籬外。

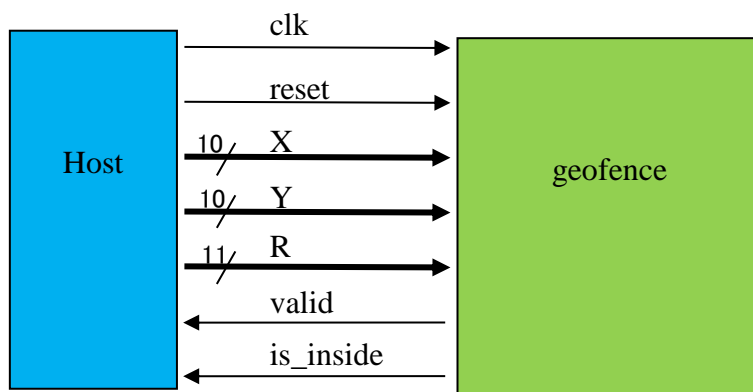
本次 IC 設計競賽比賽時間為上午 08:30 到下午 20:30。當 IC 設計競賽結束後，會根據第三節中的評分標準進行評分。為了評分作業的方便，各參賽隊伍應參考附錄五中所列的要求，附上評分所需要的檔案。



圖一、Geofence

#### 2. 設計規格

##### 2.1 系統方塊圖



圖二、系統方塊圖

## 2.2 輸入/輸出介面

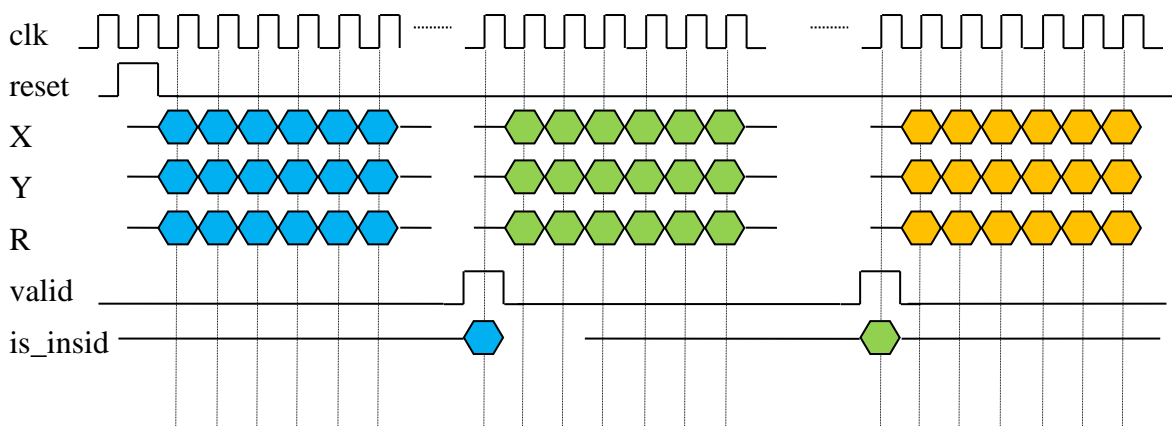
表 1 -輸入/輸出訊號

| Signal Name | I/O | Width | Simple Description                              |
|-------------|-----|-------|---|
| clk         | I   | 1     | 本系統為同步於時脈正緣之同步設計。                               |
| reset       | I   | 1     | 高位準非同步(active high asynchronous)之系統重置信號。        |
| X           | I   | 10    | 接收器之 x 座標                                       |
| Y           | I   | 10    | 接收器之 y 座標                                       |
| R           | I   | 11    | 接收器和待測物體之距離                                     |
| is_inside   | O   | 1     | 當待測物體在圍籬內，回應 is_inside 為 high，反之為 low           |
| valid       | O   | 1     | 有效的輸出訊號。當 valid 為 High，表示目前輸出的 is_valid 為有效的輸出。 |

## 2.3 系統描述

### 2.3.1 資料輸入與結果輸出

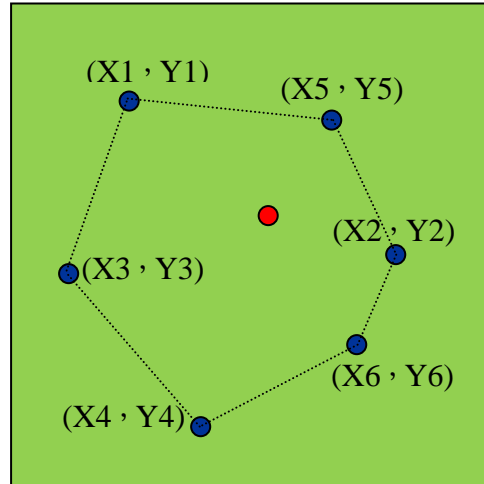
- 此圍籬系統共使用 6 顆接收器，每顆接收器儲存自己的座標(X, Y)，以及自己和待測物體之間的距離 R，因此每一待測物體會有 6 組相關資料。
- 系統 reset 後 6 個 cycle 依續從 X、Y、R 三個 port 輸入 6 顆接收器資料至圍籬系統。
- Host 輸入完 6 組資料後即開始等待圍籬系統回應，當圍籬系統計算完成，須將 valid 訊號拉為 High，並在同一 cycle 從 is\_inside 輸出計算結果，接著在下一 cycle 將 valid 拉回 low。
- valid 變成 low 後，Host 會從下一 cycle 開始輸入下一待測物體的內容，依續輸入下 6 筆接收器資料，然後再度進入等待回應狀態。
- 前後兩筆待測物體資料互不相關，不論是接收器座標(X, Y)或是距離 R，應以全新場景看待。
- 為避免 Host 誤判輸出資料，系統 reset 時，圍籬系統應將 valid 設為 low，並且在每次輸出結果後，將 valid 再復歸為 low。



圖三、資料輸入與結果輸出

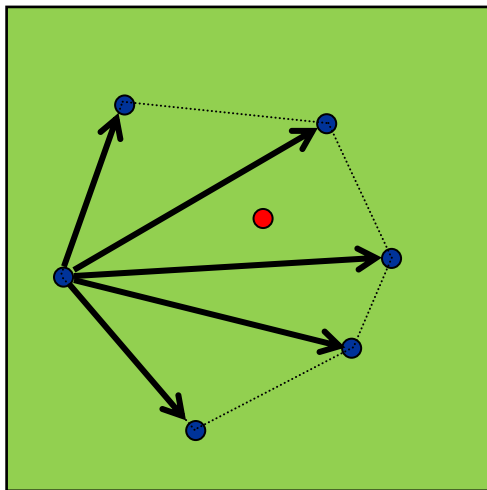
### 2.3.2 建立圍籬

此圍籬系統有 6 顆接收器，但接收器資料輸入的順序並沒有照著圍籬順序，為了達到系統功能，必須找到正確圍籬邊界，也就是說要找到圍籬上正確的接收器順序。

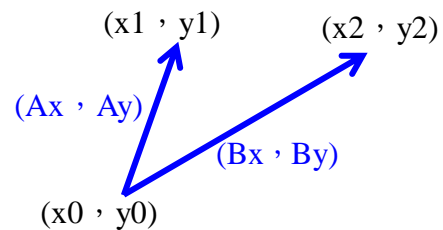


圖四、接收器輸入順序未依圍籬順序

要排序接收器順序，可將其中一接收器作為原點，和其它 5 接收器形成 5 向量(圖五)；利用計算向量外積判斷兩向量方向關係，進行排序讓前後向量固定維持順時針或逆時針關係，然後可得圍籬順序。



圖五、以向量排序圍籬



圖六、向量外積計算

向量外積計算(請見圖六)：

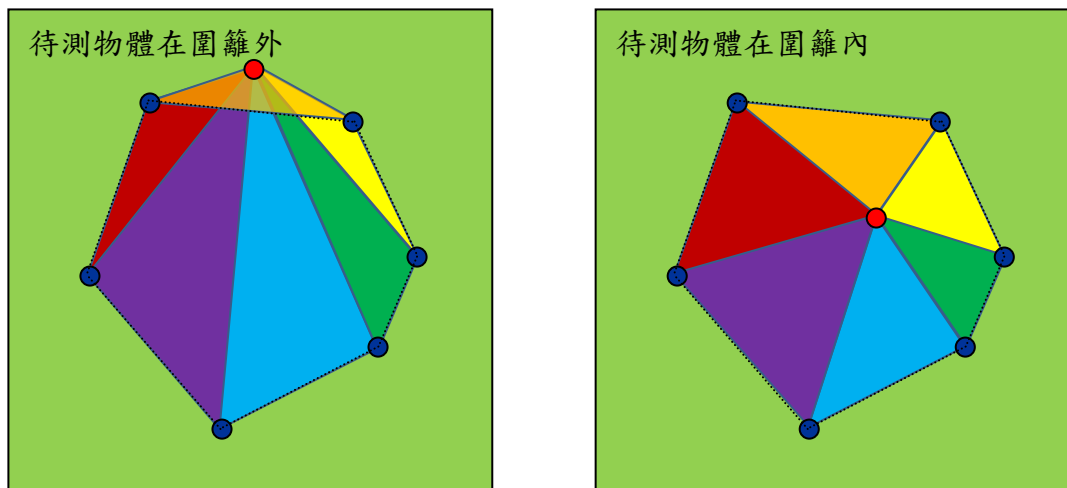
若有兩向量，向量  $A = (A_x, A_y) = (x_1 - x_0, y_1 - y_0)$ ，向量  $B = (B_x, B_y) = (x_2 - x_0, y_2 - y_0)$ ，

$A$  和  $B$  外積 =  $A_x * B_y - B_x * A_y$ ，

若外積結果  $< 0$ ，表示  $B$  在  $A$  順時針方向( $A$  到  $B$  順時針夾角  $< 180^\circ$ )，反之為逆時針方向。

### 2.3.3 判斷待測物體是否在圍籬內

要判斷待測物體是否在圍籬內，可用計算面積方法判斷。計算待測物體和任一圍籬邊界所形成的三角形面積，把 6 個三角形的面積加總起來；若總和大於圍籬 6 邊形面積，表示待測物體在圍籬外，反之則是在圍籬內。



圖七、待測物體和圍籬邊界形成面積

相關公式：

1. 已知三角形三邊邊長為  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ，取  $s = \frac{1}{2}(a + b + c)$

$$\begin{aligned} \text{則三角形面積} &= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \\ &= \sqrt{s(s-a)} * \sqrt{(s-b)(s-c)} \end{aligned}$$

分拆兩平方根計算的原因是直接做 40 bits 平方根電路面積太大，分兩個 20bits 平方根電路可減少面積，但會犧牲精確度。

若三頂點接近共線，因為運算上截斷誤差(truncation error)的關係，有可能會出現平方根內的值是負數的狀況，此時需增加判斷處理。

2. 已知一多邊形，其頂點依逆時針排列座標為  $(x_0, y_0)$ 、 $(x_1, y_1) \dots (x_{n-1}, y_{n-1})$ ，

$$\begin{aligned} \text{則此多邊形面積} &= \frac{1}{2} \left( \begin{vmatrix} x_0 & x_1 \\ y_0 & y_1 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ y_2 & y_3 \end{vmatrix} + \dots + \begin{vmatrix} x_{n-1} & x_0 \\ y_{n-1} & y_0 \end{vmatrix} \right) \\ &= \frac{1}{2} ((x_0 y_1 - x_1 y_0) + (x_1 y_2 - x_2 y_1) + \dots + (x_{n-1} y_0 - x_0 y_{n-1})) \end{aligned}$$

以  $n=6$  為例，6 邊形面積=

$$\frac{1}{2} ((x_0 y_1 - x_1 y_0) + (x_1 y_2 - x_2 y_1) + (x_2 y_3 - x_3 y_2) + (x_3 y_4 - x_4 y_3) + (x_4 y_5 - x_5 y_4) + (x_5 y_0 - x_0 y_5))$$

若頂點順序為順時針，則上式為負值。

**特別注意:**

1. 本題 test pattern 的接收器座標只會形成凸六邊形的圍籬，不須考慮凹六邊形或是三接收器共線的狀況。
2. 考慮到運算誤差，test pattern 的待測物體距離圍籬邊界距離都超過 5 單位距離以上，減少因運算誤差造成的問題。
3. 題目內所提供建立圍籬和判斷待測物體在圍籬內外的方法，非唯一方法，只要能完成功能，不限定一定要使用題目的方法。
4. 待測物體和接收器的距離  $R$ ，因取整數原因， $R$  本身有小於 1 單位距離的誤差，如果您要使用其它作法，請考量到這個狀況。
5. 設計必須確實完成題目功能，**嚴禁針對題目 test pattern 特定內容做設計**，比如設計中判斷 pattern 為某固定數值，或是判斷第  $n$  個 pattern 直接設定輸出結果等。如經發現一律不予錄取。
6. 若您使用到合成軟體提供的 DesignWare，請將 DesignWare 的 simulation model 一併繳交，方便評審人員模擬驗證。
7. 本題目主要以面積做評分，請盡可能減少暫存器數量，以及共用運算單元，來達到最小面積的目標。

### 3.評分標準

評分方式會依設計完成程度，分成 A、B、C、D 四種等級，排名順序為 A>B>C>D。本題設定 clock 週期時間為 50ns，參賽者不可調整 clock 週期時間。

✧ **等級 A：** 等級 A 條件：

- a、 在 clock 週期為 50ns 環境下，Gate-Level 與 RTL 模擬完全正確。
- b、 完成 Synthesis，且合成 cell area 小於 110000um<sup>2</sup>。

**等級 A 之評分方法：**

依繳交時間由早到晚排序。

✧ **等級 B：** 等級 B 條件：

- a、 在 clock 週期為 50ns 環境下，Gate-Level 與 RTL 模擬完全正確。
- b、 完成 Synthesis，但合成 cell area 大於 110000um<sup>2</sup>

**等級 B 之評分方法：**

依合成面積由小到大排序。

Design compile report area 範例：

```
dc_shell> report_area
Combinational area:          41975.005127
Buf/Inv area:                2082.709759
Noncombinational area:      8700.872564
Macro/Black Box area:       0.000000
Net Interconnect area:      384301.939301

Total cell area:             50675.877691
Total area:                  434977.816992
```

✧ **等級 C：** 等級 C 條件：

- a、 在 clock 週期為 50ns 的條件下，無法正確模擬，  
但調整 clock 週期超過 50ns 時，Gate-Level 與 RTL 模擬正確。

**等級 C 之評分方法：**

依合成面積由小到大排序。

✧ **等級 D：** 等級 D 條件：

- b、 RTL 模擬有部分錯誤。

**等級 D 之評分方法：**

依正確的物件數量排序。

```
-- Simulation finish, Pass = 34 , Fail = 16 --
```

## 附錄

附錄一為設計檔案說明；附錄二為測試樣本圖形；附錄三為評分用檔案，亦即參賽者必須繳交的檔案資料；附錄四則為設計檔案壓縮整理步驟說明；

### 附錄一 設計檔案說明

1. 下表為主辦單位所提供各參賽者的設計檔

表 2、設計檔案說明

| 檔名                                      | 說明  |
|---|---|
| geofence.v                              | 參賽者所使用的設計檔，已包含系統輸出入埠宣告。   |
| tb.sv                                   | Test Bench 檔案。  |
| grad.data                               | Test Pattern 資料   |
| .synopsys_dc.setup<br>synopsys_dc.setup | 使用 Design Compiler 做合成之初始化設定檔。參賽者請依 Library 實際擺放位置，自行修改 Search Path 的設定。注意：合成時請使用 worst case library。 |
| geofence.sdc                            | Design Compiler 作合成之 Constraint 檔案。   |
| report.000                              | report 檔格式，見附錄三。  |
| dc_syn.tcl                              | dc 合成參考指令   |
| ncvlog.f                                | ncverilog 模擬參考參數檔案。   |
| vcs.cmd                                 | vcs 模擬參考指令  |
| pic*.png                                | 模擬樣本的圖形   |

2. 請使用 **geofence.v** 行設計。其模組名稱、輸出/入埠宣告如下所示：

```
module geofence (clk, reset, X, Y, R, valid, is_inside);  
    input        clk;  
    input        reset;  
    input [9:0]   X;  
    input [9:0]   Y;  
    input [10:0]  R;  
    output       valid;  
    output       is_inside;  
endmodule
```

3. 本題所提供的 Test Bench 檔案，有多增加幾行特別用途的敘述如下：

```
`define End_CYCLE 1000000  
`define SDFFILE    "./geofence_syn.sdf"  
`ifdef SDF  
    initial $sdf_annotate(`SDFFILE, u_geofence);  
`endif
```

註：

1. Testbench(tb.sv)以 system verilog 格式撰寫，使用 ncverilog 模擬時請加入 **-sv** 參數；使用 vcs 模擬時請加入 **-sverilog** 參數。
2. End\_CYCLE 預設 100 萬個 Cycles，其目的可以防止參賽者因電路有錯，模擬陷入無窮回圈之境，**參賽者可視需要請自行加大此 Cycle 數**。
3. SDF 檔案，請自行修改 SDF 實際檔名及路徑後再模擬。
4. 在 Test Bench 中，主辦單位提供 `ifdef SDF 的描述，其目的是讓本 Test Bench 可以作為 RTL 模擬與合成後模擬皆可使用。注意：當參賽者在合成後模擬，請務必多加一個參數**”+define+SDF”**，方可順利模擬。

例如：

當合成後，使用 NC-Verilog 模擬，在 UNIX terminal 下執行下面指令

```
➤ ncverilog -sv tb.sv geofence_syn.v \  
    +ncmaxdelays +define+SDF +access+r -v tsmc13_neg.v
```

當合成後，使用 VCS 模擬，在 UNIX terminal 下執行下面指令

```
➤ vcs -R -full64 -sverilog tb.sv geofence_syn.v \  
    +maxdelays +define+SDF +access+r +vcs+fsdbon -v tsmc13_neg.v
```

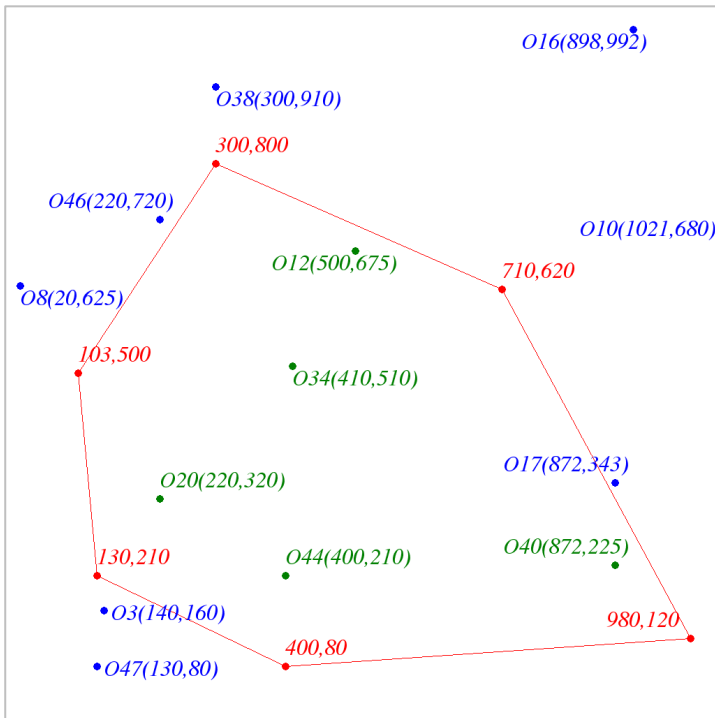
5. **請盡可能直接在 linux 環境將設計檔解開**，避免在 window 環境解壓縮後才 ftp 傳至 linux 環境，以免因 ftp 在兩系統間置換換行符號不正確造成 testbench 無法模擬的問題。



## 附錄二 測試樣本

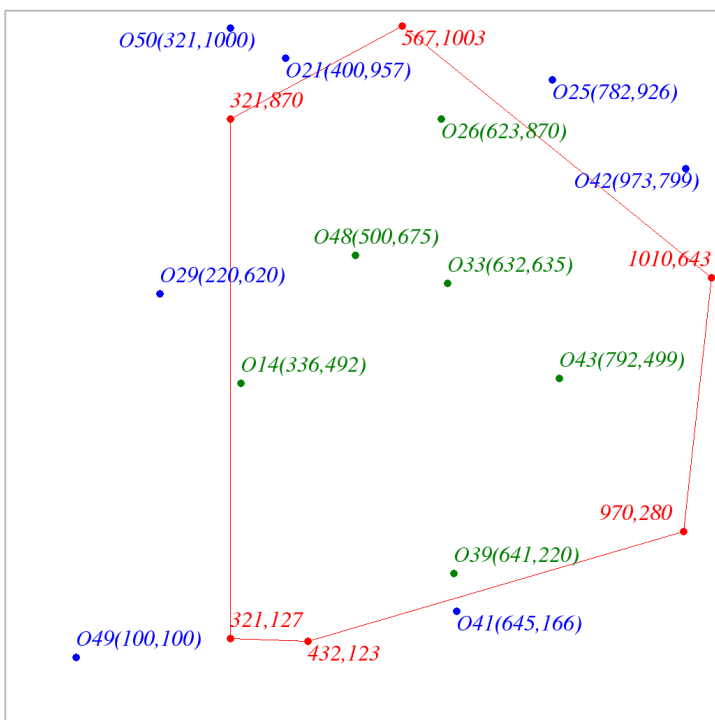
依模擬順序，待測物體編號由 1 編到 50 號，

物件 3 8 10 12 16 17 20 34 38 40 44 46 47，請參考測試樣本圖一



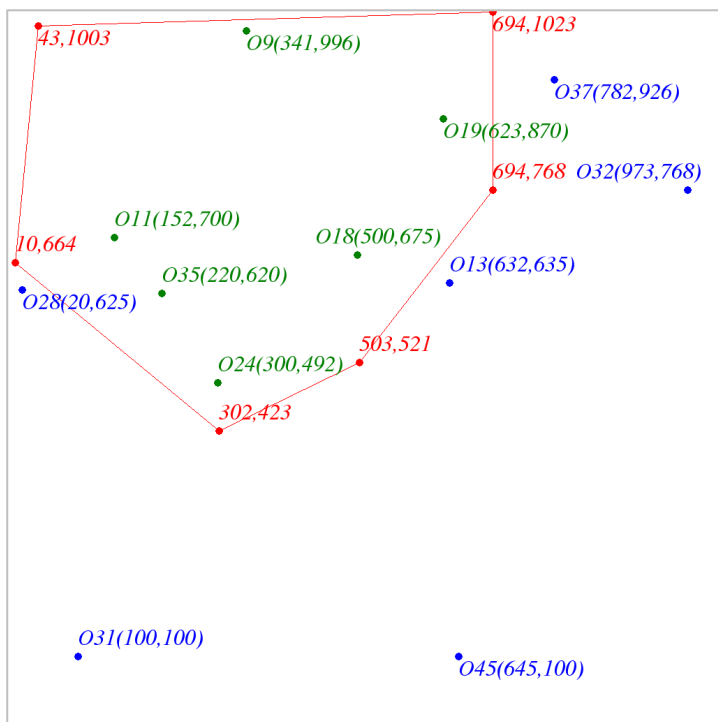
測試樣本圖一

物件 14 21 25 26 29 33 39 41 42 43 48 49 50，請參考測試樣本圖二



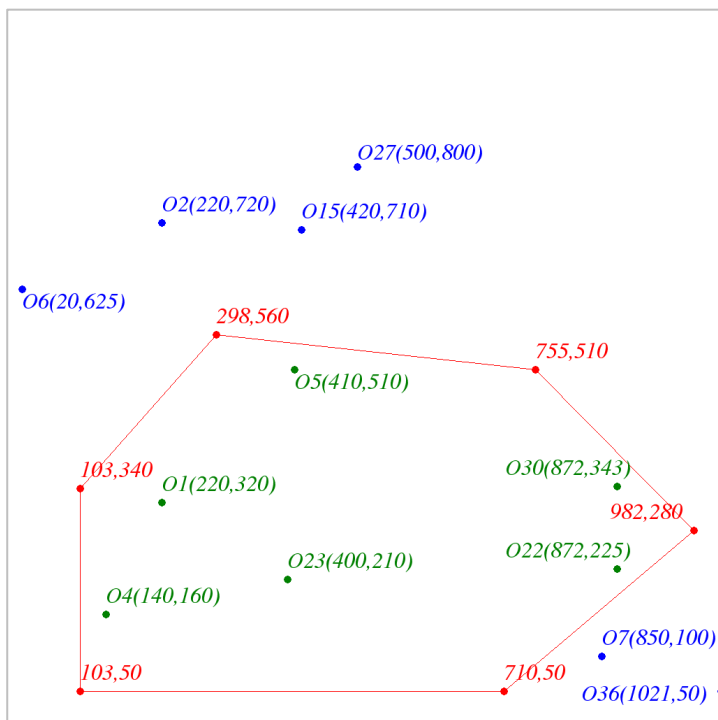
測試樣本圖二

物件 9 11 13 18 19 24 28 31 32 35 37 45，請參考測試樣本圖三



測試樣本圖三

物件 1 2 4 5 6 7 15 22 23 27 30 36，請參考測試樣本圖四



測試樣本圖四

### 附錄三 評分用檔案

評分所須檔案可以下幾個部份：

- (1) RTL design，即各參賽隊伍對該次競賽設計的 RTL code，若設計採模組化而有多個設計檔，請務必將合成所要用的各 module 檔放進來，以免評審進行評分時，無法進行模擬；
- (2) Gate-Level design，即由合成軟體所產生的 gate-level netlist，以及對應的 SDF 檔；
- (3) report file，參賽隊伍必須依照自己的設計內容，撰寫 report.000 檔，以方便主辦單位進行評分，report.000 的格式如下圖所示。(report 檔以後三碼序號表示版本，若繳交檔案更新版本，則新版的 report 檔的檔名為 report.001，依此類推)
- (4) 若您使用到合成軟體提供的 DesignWare，請將 DesignWare 的 simulation model 一併繳交，方便評審人員模擬驗證。

表 3、繳交檔案

| <b>RTL category</b>        |              |  |
|----------------------------|--------------|--|
| <i>Design Stage</i>        | <i>File</i>  | <i>Description</i>                       |
| N/A                        | N/A          | Design Report Form                       |
| RTL Simulation             | *.v or *.vhd | Verilog (or VHDL) synthesizable RTL code |
| <b>Gate-Level category</b> |              |  |
| <i>Design Stage</i>        | <i>File</i>  | <i>Description</i>                       |
| Pre-layout                 | *_syn.v      | Verilog gate-level netlist               |
| Gate-level Simulation      | *_syn.sdf    | Pre-layout gate-level sdf                |

report 檔

|                               |                                    |
|-------------------------------|------------------------------------|
| FTP account:                  | B21xxx, FTP 帳號                     |
| Level:                        | A/B/C/D 設計完成等級                     |
| Object pass number :          | 50, 模擬完後，計算正確的物件數量                 |
| Synthesis area :              | 120000，合成 report 的 cell area       |
| --- RTL category---           |                                    |
| HDL simulator :               | ncverilog/vcs, 使用之 HDL 模擬器名稱       |
| RTL filename :                | geofence.v, RTL 檔案名稱以及使用到的子模組檔案... |
| --- Pre-layout gate-level --- |                                    |
| gate_level filename:          | geofence_syn.v, gate-level 檔案名稱    |
| gate-level sdf filename:      | geofence_syn.sdf, sdf 檔案名稱         |

## 附錄四 檔案壓縮整理步驟

當所有的文件準備齊全如表 4 所列，均需要提交至 TSRI。請按照以下的步驟指令，提交相關設計檔案，將所有檔案複製至同一個資料夾下壓縮，步驟如下：

1. 建立一個 result\_xxx 資料夾。其中“xxx”表示繳交版本。例如“000”表示為第一次上傳；“001”表示為第二度上傳；002 表示為第三度上傳，以此類推...。  
    > **mkdir result\_000**
2. 將附錄四要求的檔案複製到 result\_xxx 這個目錄。例如：  
    > **cp geofence.v result\_000**  
    > **cp geofence\_syn.v result\_000**  
    > **cp report.000 result\_000**  
    .....
3. 執行 tar 指令將 result\_xxx 資料夾包裝起來，tar 的指令範例如下：  
    > **tar cvf result\_000.tar result\_000**  
    執行完後應該會得到 result\_000.tar 的檔案
4. 使用 ftp 將 result\_xxx.tar 上傳至 TSRI 提供的 ftp server，評審將以最後上傳的設計檔編號進行評分作業。

上傳之 FTP 需切換為二進制模式(binary mode)，且傳輸埠均設為 21(port:21)。

ftp 的帳號和密碼在賽前已用 email 寄給各參賽者。若有任何問題，請聯絡 TSRI

FTP site1 (新竹半導體中心)：iccftp.tsri.org.tw (140.126.24.18)

FTP site2 (南區半導體中心)：iccftp2.tsri.org.tw(140.110.117.9)

EDA Cloud內請見開啟terminal時訊息

5. 若需要繳交更新版本，請重覆以上步驟，並記得修改 tar 檔的版本編號，因為您無法修改或刪除或覆蓋之前上傳的資料。