

TOPCO 崇越論文大賞

論文題目：

**變動長度多目標基因演算法
之 RFID 讀取器最佳佈置**

報名編號： P0031

摘要

隨著 RFID 的科技進步，許多的企業導入 RFID 系統，要正常發揮 RFID 系統就必須做好 RFID 網路規劃，RFID 網路規劃是 RFID 系統中的核心環節，有不少文獻在討論 RFID 網路規劃問題，本研究參照以前學者所提的目標式與限制式，建構出多目標數學模式，為取得最佳網路規劃，在許多相關論文中，使用者需先給定讀取器數量來透過演算法求解，而本研究導入變動長度之多目標基因演算法，對整個模式求解，此演算法會自動搜尋最佳讀取器的數量與位置，並設計田口實驗設計取得演算法之最佳參數，本研究也設計兩個使用情境來驗證演算法的結果，透過使用情境的結果，可以證明本研究所提出的方法可以有效的解決使用者在無線射頻網路規劃上的問題，也可以提供多組網路佈置解供使用者參考。

關鍵字：RFID、多目標基因演算法、變動式基因演算法、RFID 網路規劃問題

壹、緒論

一、研究背景與動機

RFID 是一種非接觸性資訊儲存和接收科技，讀取器可藉由發出的無線訊號來寫入或讀取標籤的資訊。RFID 技術被視為 21 世紀十大前瞻科技並被廣泛應用在各領域。在許多 RFID 應用中，RFID 系統建置時會產生出 RFID 網路規劃問題(RFID network planning, RNP)，早期解決 RNP 問題時都是靠工程師的經驗或是傳統佈置方式如圖 1.1，但 RNP 是一 NP-hard 問題(Carbunar et al., 2005)，所以許多人都改用啟發式演算法求解，RFID 系統建置成功與否取決於 RFID 網路規畫的優劣，因此本研究想要利用演算法來規劃出比傳統方法更好的網路佈置。

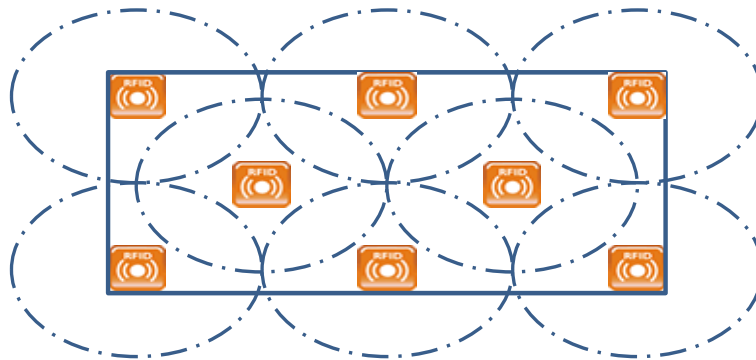


圖 1 傳統平行交錯佈置法

在 RNP 問題最佳化中常考慮的目標式有：覆蓋率、訊號負載平衡、經濟效益和讀取器干擾等。覆蓋率表示 RFID 系統的服務水準(Quality of service, QoS)，指讀取器的偵測範圍即為服務範圍，訊號負載平衡表示 RFID 系統的服務品質，指讀取器的工作負荷量，此目標式希望每個讀取器的工作負荷量趨近相同以保持系統的服務品質，經濟效益表示 RFID 系統的建置成本與帶來的效果，讀取器干擾表示讀取器在佈置環境下可能會受到環境的影響或是其他讀取器的干擾。

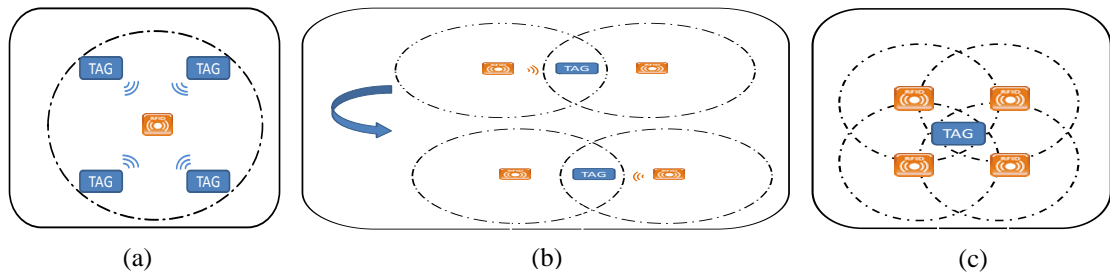


圖 2 訊號衝突示意圖(a)標籤與標籤訊號衝突(b)讀取器與標籤訊號衝突(c)讀取器與讀取器訊號衝突

RFID 科技看似很方便但實質上容易受到干擾，影響 RFID 讀取器的穩定性和資訊傳輸的可靠性。常見的影響因素有標籤貼附物品的材質、標籤和讀取器的角度、讀取器與標籤的相對移動速度和距離、天線、RFID 系統空間中是否有水或金屬存在和訊號衝突與干擾。RFID 訊號衝突可分類為標籤與標籤之間、標籤與讀取器和讀取器與讀取器間(Li *et al.*, 2014)，標籤與標籤訊號衝突發生在有多個標籤在同一時間重送資料給同一個讀取器造成讀取器無法辨認資訊如圖 2.(a)所示。標籤與讀取器衝突發生在當一標籤接受到讀取器訊號後要回傳資料時被另一讀取器干擾使原要回傳資料被另一讀取器覆蓋造成原讀取器無法接收資料如圖 2.(b)所示。讀取器與讀取器訊號衝突發生在標籤在同一時間下收到多個讀取器訊號造成標籤無法執行對應工作使所有讀取器皆無法收到資料如圖 2.(c)。上述衝突皆有方法可解決，常用方法有分頻多重存取(FDMA)、分碼多重存取(CDMA)和分時多重存取(TDMA)，這些方法皆能有效解決訊號衝突問題，但皆會使 RFID 系統建置成本上升。

二、 研究目的

為了協助使用者佈置 RFID 網路，本研究考慮讀取器訊號覆蓋率、讀取器訊號重疊率和讀取器個數下，藉由 NSGAII 演算法來求解 RFID 網路佈置最佳化問題，提供多組可行解給使用者參考和比較。

本研究目的敘述如下：

(1) 藉由 NSGAI 演算法求出讀取器最佳佈置位置

利用 NSGAI 演算法求解，來取代傳統佈置，傳統佈置法雖然可以達到 100% 覆蓋率，但不考慮佈置的重疊率，佈置完後用常用的訊號衝突解決方法處理在重疊區域內的訊號衝突，這又增加了 RFID 網路的佈置成本，所以本研究想要在初始佈置時就考慮覆蓋率、重疊率和讀取器個數，用 NSGAI 演算法求出最佳讀取器佈置座標。

(2) 最小訊號衝突率發生

本研究想藉由減少讀取器偵測範圍重疊區域以降低訊號衝突發生率，訊號衝突發生往往在於讀取器偵測範圍重疊區域內，所以有效避免方式是在 RFID 網路規劃時減少讀取器偵測範圍重疊區域，以提升 RFID 系統的可靠性。

(3) 在障礙物空間下最佳佈置

傳統佈置方法在有障礙物空間下表現不佳，障礙物不僅限制了讀取器佈置位置也會影響訊號，訊號在經過障礙物時可能被遮蔽或是減弱，由於肉眼看不見無線訊號，使用者在佈置時不靠電腦輔助模擬會造成死角，所以本研究希望設計演算法能解決有障礙物存在下讀取器最佳佈置。

貳、文獻探討

一、無線通道模型

各類訊號從發射端送出之後，在到達接收端之前所經過的所有路徑，統稱為通道。通道對傳送訊號所產生的影響，是各類通訊系統接收機設計的一個關鍵考量(Rappaport, 2002)。如果傳送的是無線電訊號，電磁波傳播所經過的路徑，特別稱為無線通道。無線通道可能是很簡單的直線傳播(Line of Sight, LOS)，也可能會被許多不同的因素所干擾，例如訊號經過建築物、山丘、或者樹葉反射所產生的多重路徑效應(Multipath Effect)，多重路徑效應會造成訊號放大或衰減。整個無線通道對可分為以下三大類型：(1)傳播路徑損耗模型(Propagation Path Loss Model) (2)大尺度傳播模型(Large Scale Propagation Model) (3)小尺度傳播模型(Small Scale Propagation Model)。這三種現象在真實的通道中是同時存在的，但是在電腦模擬或是理論分析之中，很少被同時使用，主要是同時使用時的複雜度太高。本研究將導入傳播路徑損耗模型來計算讀取器的訊號偵測半徑。

訊號強度從讀取器到標籤的衰弱程度除了實際測量外，有很多文獻與學者提出可靠的數學模型來估算，本篇將採用兩個常用的模型：自由空間傳播模型(Free Space propagation Model)和對數距離路徑損耗模型(Log-Distance Path Loss Model)。

(1) 自由空間傳播模型

此模型是用來估計當讀取器與標籤之間不存在任何障礙物，即目視所及(Line of Sight)所測試得到訊號強度，此時為讀取器與標籤之最短距離。在此通道模型下，接收端所收到的訊號強度與距離成平方反比。在自由空間傳播模型中，最常用的是福利斯自由空間模型(Friis Free Space Model)，再給定的讀取器和標籤的距離內，此模式可計算標籤的所接收到的平均功率。由福利斯自由空間方程式(Friis Free Space Equation)，我們可以計算當讀取器與標籤的距離為 d 時，標籤的平均功率 $P_t(d)$ 為：

$$P_t(d) = \frac{P_r G_r G_t \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (2.1)$$

其中， P_r 為讀取器的傳輸功率， G_r 為讀取器的的天線增益， G_t 為標籤的天線增益， λ 為電磁波波長。由公式(2.1)中我們可以發現當 $d = 0$ 時，接收功率無法計算，所以提出修改公式：

$$P_t(d) = \frac{P_r G_r G_t \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} = \frac{P_r G_r G_t \lambda^2}{(4\pi)^2 d_0^2} \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 = P_t(d_0) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 \quad (2.2)$$

d_0 為陷入距離(Close-in Distance)，陷入距離表示為一非常接近讀取器之距離，我們可將標籤在 d_0 時所接收到的功率當作參考值，對於任一距離 $d > d_0$ 時，可以改成(2.2)式。

(2) 對數距離路徑損耗模型

許多學者研究發現不論是理論推導或實際測量均發現，標籤端的訊號平均接收功率會隨著距離的增加呈現指數的衰減，這現象在室內或戶外皆通用，因標籤端的訊號平均接收功率成指數衰減。通常，訊號在通道中的平均耗損功率會與距離的 n 次方成正比，所以對任意接收距離，標籤端接收功率的平均損耗可表示成一距離的函數：

$$\overline{PL}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (2.3)$$

將其單位轉換成分貝值(dB)

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \times \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2.4)$$

n 為路徑的散逸指數，這指數表路徑的散逸速率會隨著環境的不同而改變，根據 Rappaport and Seidel(1992)研究整理成表 1 為不同環境下所使用之 n 值。

表 1 各種環境中的 n 值

環境	路徑散逸指數 n
通暢空間	2
都會地區的無線電	2.7 至 3.5
有遮蔽效應的都會地區無線電	3 至 5
在建築內的視線所及之區域	1.6 至 1.8
在建築物內有遮蔽之區域	4 至 6
在工廠內有遮蔽之區域	2 至 3

二、多目標基因演算法

Deb et al.(2002)提出 NSGA-II(Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II)演算法，期改善非支配解比較機制(Non-dominated comparison operator)以提升演算法執行效率，並加入擁擠比較機制(Crowded Comparison Operator)，計算相同等級中解的排擠距離(Crowding distance)來決定新的母體 P_{t+1} ，使所得到的柏拉圖最佳解能均勻的分佈於 Pareto front 上。Chan et al. (2007)提出 NSGA-II 演算法中加入基因跳躍來求解工場網路佈置問題，改良式 NSGA-II 演算法比傳統 NSGA-II 演算法更容易達到柏拉圖前緣線。Ting et al. (2009)提出一可變動染色體長度之 NSGA-II 演算法來解決網路佈置問題。

參、研究方法

一、問題定義與研究假設

在過去 RFID 網路的設計主要是依靠工程師經驗，對於覆蓋率、重疊率和讀取器個數，並無一系統化方式進行考量。因此本研究將收集、整理與分析 RFID 網路佈置規畫中需要注意的重要資訊，並考慮障礙物限制下，針對使用者需求，建置一套智慧 RFID 網路佈置方法論，作為工程師之參考依據，以期許幫助 RFID 系統發揮出該有功能。

由於無線電波肉眼觀察不到且受影響的不確定因素很多，固假定以下限制式，以降低問題求解難度。

本研究假設如下：

- (1) 讀取器的讀取率為 100%
- (2) 讀取率不會隨者距離改變
- (3) 讀取器發出訊號能量固定
- (4) 訊號遇到障礙物時，根據障礙物的屬性做調整
- (5) 不考慮訊號的折射、繞射與反射

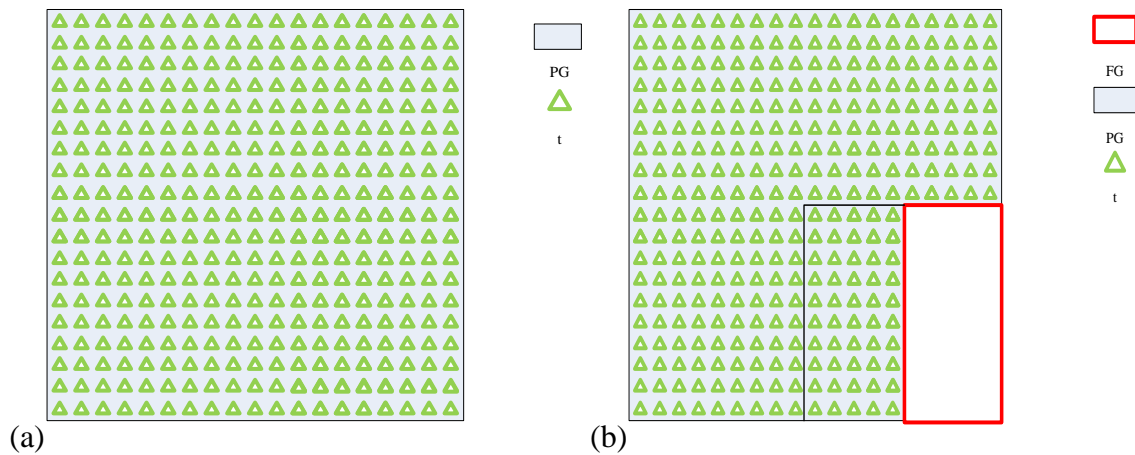


圖 3 模擬情境佈置圖(a)無障礙空間(b)障礙物干擾空間

- (1) 情境假設一：佈置空間中無障礙物

此為最基本的狀況，佈置空間中沒有任何障礙物限制讀取器佈置位置或是干擾訊號傳遞，如圖 3.(a)所示。

- (2) 情境假設二：佈置空間中有障礙物

在此使用情境下，佈置空間中的障礙物會限制讀取器的擺放位置也會干擾讀取器的訊號傳遞，如圖 3.(b)，障礙物的干擾程度會依材質而有所不同，有些會完全遮蔽，有些可以穿透但訊號會減弱。

二、數學模型建構

數學模式所使用的數學符號如表 2 所示。

表 2 數學符號說明

符號	定義說明
編號	
i	標籤編號， $i \in (1, 2 \dots, n)$
j	讀取器編號， $j \in (1, 2 \dots, m)$
g	障礙物種類編號， $g \in (1, 2 \dots, G)$
參數	
$\overline{PL}(d_{ij})$	標籤 t_i 接收到讀取器 r_j 的平均接收訊號功率
n	標籤數量
m	讀取器數量
PG	佈置點集合， $PG = \{pg_c = (x_c, y_c)\}$
FG	禁止佈置點集合， $FG = \{fg_c = (x_c, y_c)\}$
R	讀取器集合
r_j	第 j 個讀取器
T	測試點集合
t_i	第 i 個測試點
s	標籤接收到的平均訊號強度門檻值
x_i	$\begin{cases} 1, & \text{標籤 } t_i \text{ 至少收到一個訊號, } AS_i \geq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
o_i	$\begin{cases} 1, & \text{標籤 } t_i \text{ 接收到一個以上訊號, } AS_i > 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
AS_i	表 t_i 測試點可收到的讀取器訊號 r_j 集合， $AS_i = \{r_j r_j \in R, \text{ and } \overline{PL}(d_{ij}) \leq s\}$
d_{ij}	表 t_i 到 r_j 的歐幾里德直線距離
I_{ij}	表 t_i 到 r_j 間的總訊號衰退率
b_{gij}	表 t_i 到 r_j 間的障礙物衰退系數，其 g 表障礙物種類
f_1	訊號覆蓋率
f_2	訊號重疊率
f_3	佈置讀取器數量

本研究所提出的兩個不同的多目標數學模型，針對不同的使用情況設計，其數學模式如下所示。

情境一：無障礙物空間下模型

- 目標式：

$$Max f_1 = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad (3.1)$$

(3.1)式為目標式訊號最大覆蓋率，指所佈置讀取器訊號覆蓋標籤總數量。

$$Min f_2 = \sum_{i=1}^n o_i / n \quad (3.2)$$

(3.2)式為目標式最小訊號重疊率，標籤在訊號重疊範圍的總數量。

$$Min f_3 = m \quad (3.3)$$

(3.3)式為佈置的讀取器數量。

- 限制式：

$$r_j \in PG \quad \forall j \quad (3.4)$$

這三項目標式都要符合(3.4)限制式，指讀取器佈置位置只能在 PG 範圍內。為了要計算 x_i 和 o_i ，我們將文獻所討論的(2.4)式，轉成學著們常用的(3.5)式：

$$\overline{PL}(d_{ij}) = 10n \times \log_{10} d_{ij} + 20 \log_{10} f - 27.55 \quad (3.5)$$

f 表讀取器的訊號發出頻率，經由(3.5)是可以計算出標籤所收到的訊號強度，當強度小於門檻值 S 時，就表示此標籤在讀取器的收發範圍下。

情境二：障礙物空間下讀取半徑受影響模型

在此情境下目標式皆相同，只增加一限制式：

$$r_j \notin FG \quad \forall j \quad (3.6)$$

(3.6)式表讀取器不能佈置在 FG 範圍內，在情境二本研究假設障礙物會干擾讀

取器的接收半徑，所以本研究將(3.5)式中加入障礙物的衰減系數，如下：

$$\overline{PL}(d_{ij}) = 10n \times \log_{10} d_{ij} + 20 \log_{10} f - 27.55 + \sum_{g=1}^G b_{gij} \quad (3.7)$$

b_{gij} 表標籤 t_i 與讀取器 r_j 間的障礙物衰減系數， g 為障礙物種類，表3為常用的障礙物信號衰減系數(Seidel and Rappaport, 1992)。

表3 不同障礙物的信號衰減系數

2.4GHz 穿越的障礙物種類	dB
磚牆中的玻璃窗	2
金屬外框的玻璃牆	6
辦公室隔板	6
磚牆中的金屬門	12.4
金屬門旁的磚牆	3

三、多目標基因演算法求解步驟

Sept 1. 染色體編碼

根據讀取器的佈置座標形成一組基因，皆採用實數編碼，如圖4所示。

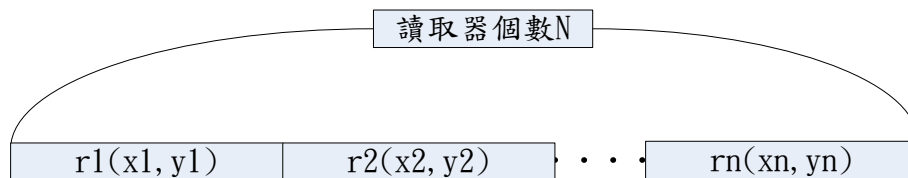


圖4 編碼示意圖

Step2. 產生初始母體

隨機產生母體，依此方式產生 N 個個體，形成初始母體。

Step3. 計算目標函數值

運用公式(3.1)(3.2)(3.3)計算每個個體之多目標函數值。

Step4. 母體等級排序

非支配解排序主要目的為將初始母體 P_0 依各條染色體的目標函數值化分成若干組不同等級的非支配解集合。計算出各染色體被其他染色體支配的數量，若染色體的被支配數為 0，表示該染色體不受其他解支配，則將它們定義為等級 1，並將其移出母體中。再從剩下的母體中計算染色體被其他染色體支配的數量，若染色體的被支配數為 0，則將他們定義為等級 2。如此篩選母體並依順序增加等級值，直到整個母體排序完畢。

Step5. 計算排擠距離

根據前一步驟所排序出的等級，將相同等級的母體取出並計算排擠距離 (Crowding Distance)，並利用排擠距離的大小作為複製的機率。排擠距離的概念是母體與其周圍母體之間的密集程度，當排擠距離越小，則表示母體落在比較壅擠的範圍，若排擠距離越大，則表示母體落在比較鬆散的範圍。排擠距離的用意是希望得到分佈均勻的柏拉圖前緣線，其排擠距離的大小可當作複製機率的大小，排擠距離的公式如下：

$$CD_i = \sum_{m=1}^M \frac{f_m(x_{i+1}) - f_m(x_{i-1})}{f_m^{max}(x) - f_m^{min}(x)} \quad i = 2, \dots, l-1 \quad (3.8)$$

CD_i 為第 i 個母體的排擠距離， M 是目標式的數目， m 是其中一個目標函數值， i 是母體數， l 是此等級內的最後一個母體， $f_m(x_{i+1})$ 與 $f_m(x_{i-1})$ 為母體 i 在第 m 個目標下的前一個母體目標函數值與後一個母體目標函數值。在每一個等級中，分佈於兩端點的母體將其排擠距離設為無窮大。

Step6. 複製

進行完等級排序與排擠距離計算完後，將進入複製步驟，如何決定哪些母體進入複製，本研究採用輪盤法 (Roulette Wheel Selection)，依據上一步驟算出的排擠距離分數加上給定的等級的分數，例如等級 1 給 7 分，等級 2 給 4 分，等級 3 給 1 分。放入輪盤中，其分數越大的個體被選中的機率越高。

Step7. 交配

將進行複製後所挑選出來的母體，進行基因碼交換，讓新的子代母體能夠保有母代母體的部分特性，NSGA-II 交配的概念是讓新的子代保有上一代母體的部分基因碼，本研究採用單點交配，其步驟是隨機挑選兩複製母體，並將其基因碼上隨機產生一切點做交配點，將其切點後之基因碼做交換。由於有機會選到兩個

長度不同的母體作交配，本研究在產生交配點時會避免產生無法交配之切點。

Step8. 突變

突變的目的是為了產生母代中未曾出現的基因碼特徵，以防止陷入區域最佳解，本研究採用單點突變，先隨機挑選一複製母體，產生一隨機突變點，將其基因碼隨機變動，但必須符合在限制式內。

Step9. 菁英保留策略

此策略是用來更新非支配解，相較於一般多目標演算法，此步驟能將初代母體與突變過後的母體結合在一起。由初始母體 P_t 和經過基因演算步驟後母體 Q_t ，成為一 $2n$ 母體數，再將此混合母體進行等級排序與排擠距離計算，按照排序等級由低到高排列，如遇到相同等級則依照排擠距離由大到小排列，保留前 50%母體進入下一世代。而在過程中，為了防止陷入區域最佳解，相同等級中相同的母體將會被剔除。

Step10. 終止條件判定與獲得最佳解

判斷是否到達設定之終止條件，採用的終止條件為執行式代數，當演化次數達到設定之世代數即停止，母體中等級為 1 的非支配解集合即為最終解，如未達成終止條件則繼續步驟 4-9 直到符合終止條件。

肆、實證案例與結果分析

一、模擬情境描述

本研究假設兩個模擬佈置使用環境，情境一為無障礙物空間，情境二為障礙物會干擾讀取訊號強度空間，其情境敘述如下。

情境一：

圖 4 為情境一佈置圖 M ，此佈置圖為一長 $80m \times$ 寬 $80m$ 無障礙模擬空間， PG 表佈置集合， $PG = \{pg_c = (x_c, y_c)\}$ ，我們每隔 4 公尺佈置一個標籤 t_i ， T 為標籤集合， $T = \{t_i = (x_i, y_i), 1 \leq i \leq n\}$ ， (x_i, y_i) 為標籤 t_i 位置， $(x_i, y_i) \in PG$ ， n 為標籤總數量總共為 361 個標籤。

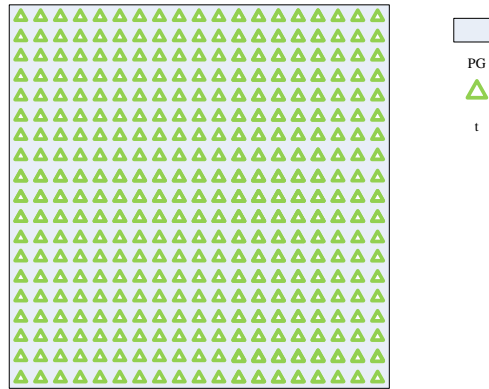


圖 4 情境一無障礙模擬佈置圖

本研究採用一全天向天線，採用 IEEE802.11b 標準，頻率為 2.4GHz，波長 λ 為 0.125 公尺，其最低信號接收門檻值 s 為 66dB。

情境二：

圖 5 為障礙物會干擾讀取器訊號並有一讀取器禁止擺放區域 FG ，此空間為長 $80m \times$ 寬 $80m$ 但其中有一長 $22m \times$ 寬 $42m$ 的禁止區域和一水泥牆圍成的長 $20m \times$ 寬 $42m$ 隔間，當訊號穿過水泥牆後會增加 $3dB$ ，每隔 $4m$ 佈置一個標籤，標籤共 311 個。

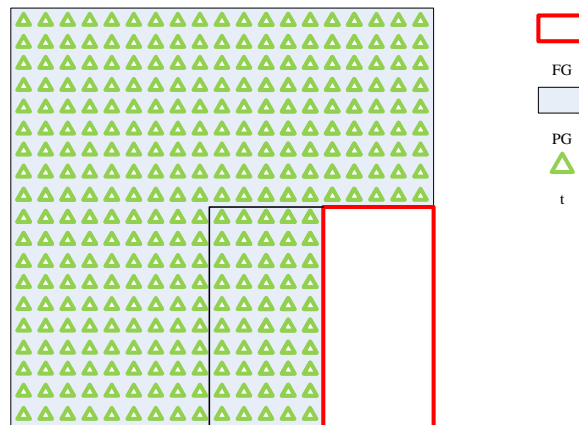


圖 5 情境二障礙物模擬佈置圖

二、演算法績效評量

由於多目標問題不同於單目標問題，無法以最後搜尋到的結果來判定演算法的效能。本研究將採用下列績效評量指標，來比較執行結果績效：

1. 柏拉圖解數(The Number of Pareto Solutions, *NPS*)：Schaffer(1985)指出許多研究皆採用此準則來比較多目標演算法績效。*NPS* 是由要比較的每一種演算法所求出的非支配解，整合在一起並進行等級排序而得到的。如果 *NPS* 值越高表示此演算法求得的績效越好。
2. 錯誤率(Error ration, *ER*)：錯誤率代表柏拉圖前緣線的收斂程度(Veldhuizen and Lamount, 1999)，其公式為(4.1)式：

$$ER = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (4.1)$$

公式當中， n 為演算法所得之非支配解數量； e_i 為二元變數，如果非支配解 i 是柏拉圖解，則 $e_i = 0$ ，反之則 $e_i = 1$ ，依照公式定義，*ER* 值越接近 0，表示非支配解收斂在柏拉圖前緣線上的解越多，若越接近 1，則表示非支配解收斂在柏拉圖前緣線上的解越少，*ER* 值越高精確性越低。

三、參數設定與分析

在執行演算法求解前，必須決定演算法內的最佳參數組合，其參數包含了母體數(Population, *P*)、世代數(Generation, *G*)、交配率(Crossover Rate, *C*)、突變率(Mutation Rate, *M*)，而如何將上述的參數設定，任演算法的執行效率達到最佳效率，則需要進行實驗設計來求得最佳參數組合，本研究將採用田口實驗設計來求得一組最佳參數組合，並使用 Intel Core i3-3320 CPU 3.30GHz、4GB RAM 主機，作業系統為 Microsoft Windows 7 環境下執行。

在母體數的參數設定上，Ting et al.(2009)在執行變動長度基因演算法時母體數設定為 100，Li (2003)將 NSGA-II 的母體數設為 200。在交配率的參數設定上，Ting et al.(2009)將交配率設為 0.98，Rojas et al. (2002)用統計分析，將基因演算法的交配率設為 0.4、0.5、0.6、0.7、0.8。在突變率的參數設定上，Ting et al.(2009)將突變率設為 0.05，Rojas et al. (2002)則將基因演算法突變率設為 0.05、0.1、0.15、0.2。

本研究綜合上述的文獻，將各參數設定為 3 個水準，如表 4，利用 Minitab16。中的田口實驗中的 9 組參數組合，如表 5，對這 9 組參數組合執行演算法各 10 次，並帶入 *NPS* 與 *ER* 績效指標。我們將其兩種績效指標信噪比主效應圖合併，並用 Excel 作圖呈現，圖 6 可看出我們的最佳參數組合為世代數 500 代、母體數 400 個、交配率 0.7、突變率 0.2。

表 4 田口實驗設計參數水準表

	水準一	水準二	水準三
G 世代數	100	500	1000
P 母體數	100	200	400
C 交配率	0.6	0.7	0.8
M 突變率	0.1	0.15	0.2

表 5 田口實驗設計參數組合

田口實驗設計	參數水準			
實驗編號	G	P	C	M
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

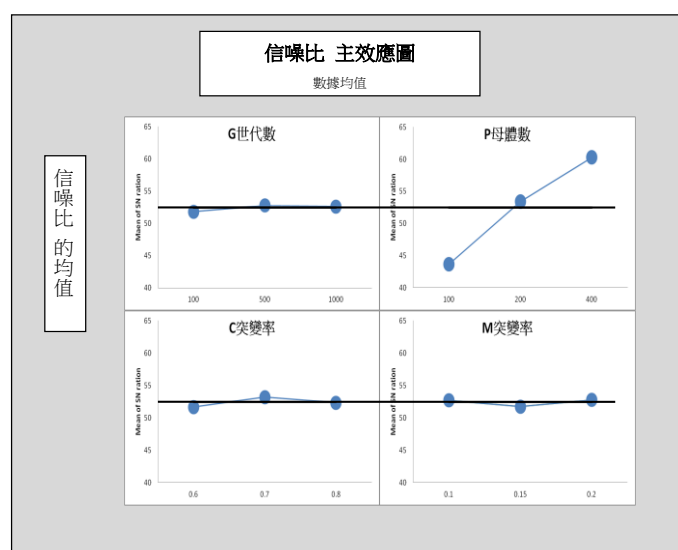


圖 6 合併績效主效應折線圖

四、結果分析

經由上一步驟得出之最佳參數組合，套入本研究的兩個情境假設，首先在假設情境一下，求出的柏拉圖解分佈如圖 7.(a)所示，圖 7.(b)至圖 7.(d)為兩兩目標下之散佈圖，由於版面篇幅只列出前 10 組等級一解，如表 6，用讀取器的個數將等級一的解分類並求其平均訊號覆蓋率與平均訊號重疊率並製成表 7，本研究取表 6 第三組解繪製其讀取器佈置圖，如圖 8 所示。

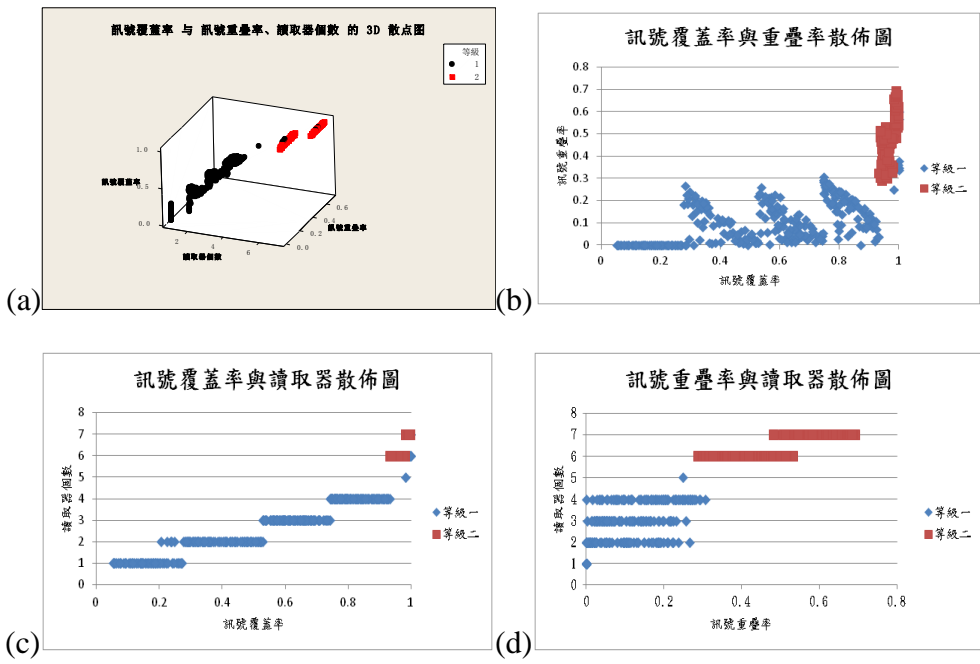


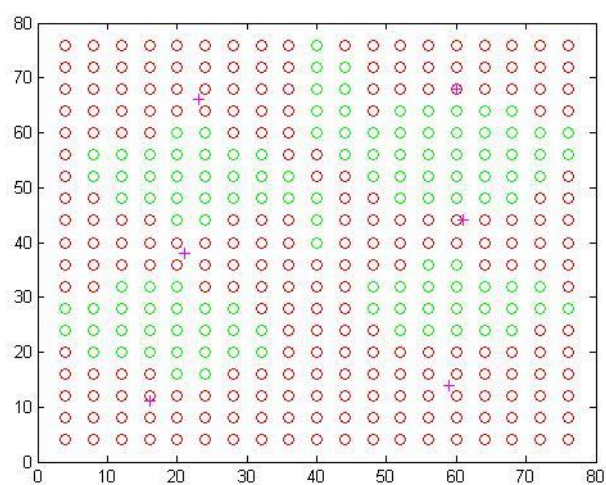
圖 情境一散佈圖(a)三目標散佈圖(b)訊號覆蓋率與訊號重疊率(c)訊號覆蓋率與讀取器個數(d)訊號重疊率與讀取器個數

表 6 情境一三目標之最佳解

最佳解	覆蓋率	重疊率	個數	最佳解	覆蓋率	重疊率	個數
1	100	37.67	6	6	5.26	0	1
2	100	34.63	6	7	5.81	0	1
3	100	33.52	6	8	100	56.51	7
4	98.34	24.93	5	9	5.54	0	1
5	99.72	36.01	6	10	74.79	30.75	4

表 7 情境一各讀取器數量平均訊號覆蓋率與訊號重疊率表

個數	平均訊號覆蓋率	平均訊號重疊率
7	100	58.17
6	99.93	35.46
5	98.34	24.93
4	82.22	16.95
3	62.68	10.08
2	38.78	8.03
1	15.79	0



讀取器編號	1	2	3	4	5	6
座標(x,y)	(60,68)	(61,44)	(16,11)	(59,14)	(21,38)	(23,66)

圖 8 情境一解三讀取器位置圖

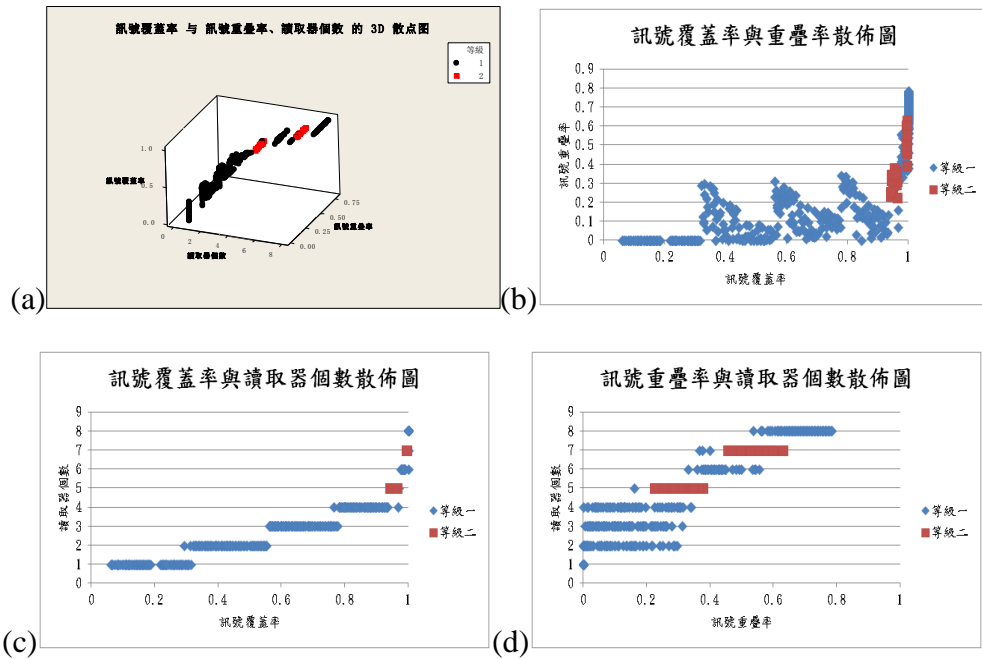


圖 9 情境二散佈圖(a)三目標散佈圖(b)訊號覆蓋率與訊號重疊率(c)訊號覆蓋率與讀取器個數(d)訊號重疊率與讀取器個數

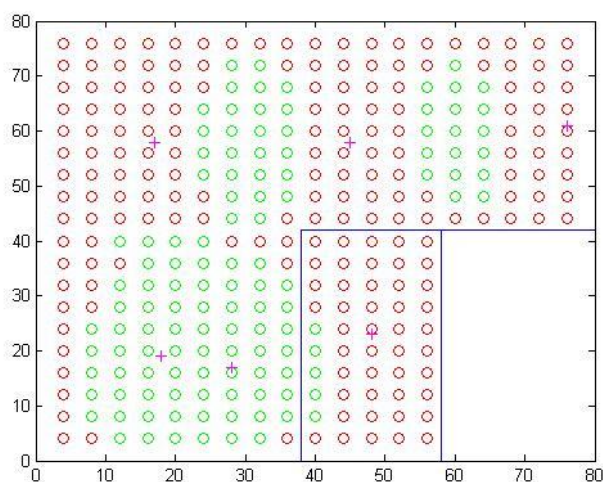
在使用情境二下，其柏拉圖解分佈圖如圖 9.(a)，圖 9.(b)至圖 9.(d)為兩兩目標散佈圖，表 8 為其前 10 組等級一解，表 9 為各讀取器數量下的平均覆蓋率與重疊率，本研究取表 8 第一組繪製其佈置圖，圖 10 為其佈置圖。

表 8 情境二三目標最佳解

最佳解	覆蓋率	重疊率	個數	最佳解	覆蓋率	重疊率	個數
1	1	37.94	6	6	1	75.88	8
2	96.78	7.07	4	7	6.43	0	1
3	1	78.46	8	8	78.13	34.08	4
4	6.1	0	1	9	33.12	29.58	2
5	6.75	0	1	10	66.23	4.18	3

表 9 情境二各讀取器數量平均訊號覆蓋率與訊號重疊率表

個數	平均覆蓋率	平均重疊率
8	100	67.54
7	99.87	42.25
6	98.44	43.56
5	96.86	29.90
4	85.51	16.04
3	65.38	12.84
2	42.85	8.63
1	18.67	0



讀取器編號	1	2	3	4	5	6
座標(x,y)	(17,58)	(45,58)	(18,19)	(28,17)	(76,61)	(48,23)

圖 10 情境二解一讀取器佈置圖

伍、實證案例與結果分析

隨著無線射頻技術越來越成熟，應用的層面也越來越廣，無線射頻網路的規劃也顯得越來越重要，本研究建立一個多目標最佳化決策模式之讀取器最佳佈置規劃方法論，透過無線通道模型，預測讀取器的偵測範圍，依據最大訊號覆蓋率、最小訊號重疊率與最少讀取器個數，協助決策者佈置無線射頻網路，達到無線射頻系統的最大效應，本研究的成果如下：

1. 本研究所建構的無線射頻讀取器建置數學模型，藉由尋求最大訊號覆蓋率、最小訊號重疊率與最少讀取器個數，提供決策者做選擇，並在兩個模擬使用情境下皆得到不錯的效果。
2. 本研究所採用的變動長度多目標基因演算法，可以打破以往要先設定讀取器數量的限制，透過演算自行搜尋最佳讀取器個數。

最後，本研究提出幾點建議提供未來研究之參考：

1. 可以延伸引用更多通訊通道模型，以探討更複雜的使用環境。
2. 考慮不同讀取範圍的讀取器佈置，本研究指考慮相同讀取器的佈置，可由情境模擬看出，由於讀取範圍皆固定，往往為了達到百分之百訊號覆蓋率使得訊號重疊率也居高不下，假設可考慮不同讀取範圍讀取器佈置，這個問題就可以解決，但相對的成本也有可能會上升。
3. 考慮更多的目標式，本研究指考慮三個目標式，但還有很多目標可以考量，例如讀取器的訊號負載平衡或是讀取器的網路路徑連結。
4. 在演算法方面，可採用其他啟發式多目標演算法，如 NOPSO，進行演算法績效評估，以找出最適合求解此問題之演算法，或是對變動長度基因演算法進行改良，可存交配或是基因碼長度回饋方面著手。

參考文獻

1. Carbunar, B., Ramanathan, M.K., Koyuturk, M., Hoffmann, C.M. and Grama, A.Y., 2005. Redundant reader elimination in RFID systems, *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, 176-184.
2. Chan, T. M., Man, K. F., Tang, K. S. and Kwong, S., 2007. A Jumping-Genes Paradigm for Optimizing Factory WLAN Network, *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, 3(1), 33-43.
3. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T., 2002. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2). 182-197.

4. Li, Z., He, C., Li, J. and Huang, X., 2014. RFID reader anti-collision algorithm using adaptive hierarchical artificial immune system, *Expert Systems with Applications*, 41(5), 2126-2133.
5. Rappaport, T. S., 2002. *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall.
6. Rojas, I., Gonzalez, J., Pomares, H., Merelo, J. J., Castillo P. A. and Romero, G., 2002. Statistical analysis of the main parameters involved in the design of a genetic algorithm, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C*, 32(1), 31-37.
7. Schaffer, J. D., 1985. Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms, *Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms*, Pittsburgh, U.S.A.
8. Seidel, S. Y. and Rappaport, T. S., 1992. 914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communication in Multifloored Buildings, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 40(2), 207-217.
9. Srinivas, N. and Deb, K., 1994. Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms, *Evolutionary Computation*, 2(3), 221-248.
10. Ting, C. K., Lee, C. N., Chang, H. C., and Wu, J. S., 2009. Wireless Heterogeneous Transmitter Placement Using Multiobjective Variable-Length Genetic Algorithm, *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics*, 39(4), 945-958.
11. Veldhuizen, D. V. and Lamount, G., 1999. Multi-objective evolutionary algorithm test suites, *Proceedings of the 1999 ACM symposium on Applied computing*, New York.