

以演化式多目標最佳化規劃無人機充電站設置問題

郭家佑, 陳建宏*
中華大學資訊工程學系, 新竹, 台灣

摘要

隨著無人機產業的快速發展, 在大氣觀測應用領域中也逐漸開始應用無人機進行觀測。在傳統高空觀測作業中, 由於儀器的設置限制造成觀測時間間隔與垂直解析能力不足, 因此在大氣垂直觀測多使用探空氣球。但是此方式不僅成本高、機動性低, 對於即時觀測特定污染源所導致的空氣污染的觀測結果也不準確。而透過無人機觀測, 不僅可以即時回傳訊息, 其機動性高成本也低。儘管如此, 由於無人機續航時間較短且無人機續航的要求條件也較高, 在這種情況下, 為無人機部署自主充電站以進行長期任務便成為一個重要的課題。

本研究考量執行長期監控任務之無人機, 針對無人機無線充電站之設置進行規劃。此多目標充電站設置問題考量兩項目標: 最大化無人機執行任務時所能監控區域之總重要度, 和最小化所有充電站之總成本。

為了驗證本研究提出的方法可以有效解決多目標無人機充電站設置問題, 本研究針對真實台灣空氣汙染大型監測站點模型和在100*100區域的小型人工監測站點模型, 分別進行了演化式策略、多目標演化式演算法和貪婪法三種方法進行實驗比較。實驗結果顯示, 其中演化式策略和多目標演化式演算法在小型和大型站點模型的支配解覆蓋率皆勝過貪婪法。於小型站點模型中, 演化式策略和多目標演化式演算法支配解覆蓋率難分上下。但在大型站點模型中, 演化式策略支配解覆蓋率略勝於多目標遺傳演算法。

在未來的研究方向上, 由於本研究僅針對充電站的設置位置問題進行初步的探討, 未來可將禁航區、充電站的充電量限制和無人機所需要的充電時間列入考量範圍。

關鍵字: 無人機、充電站設置問題、演化式策略、多目標最佳化。

符號說明及目標函式

目標一: 監控任務重要度最大化

$$\text{Maximize } F_1 = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n w_i \times X_j$$

目標二: 無人機充電站成本最小化

$$\text{Minimize } F_2 = \sum_{j=1}^p C_j \times Z_j$$

i : 監控區域 i , $i \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$ 。

j : 充電站 j 。

n : 監控區域總數量。

p : 充電站建立之總數量。

L_i : 監控區域的索引編號, $L_i = i$ 。

S_j : 充電站所建立之區域的索引編號, $S_j \in \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_p\}$ 。

w_i : 監控區域 i 的重要度

C_j : 每座充電站 j 的成本。(該地區人口增加、經濟發展對土地的需求日益增大時, 土地價格就不斷上漲, 服務成本也增加。所以參考該點之人口數當作充電站成本, 以萬為單位取整數, 例如: 280, 500, 350)

Z_j : 若充電站 S_j 設置在監控區域 L_i 上則為 1, 反之為 0。

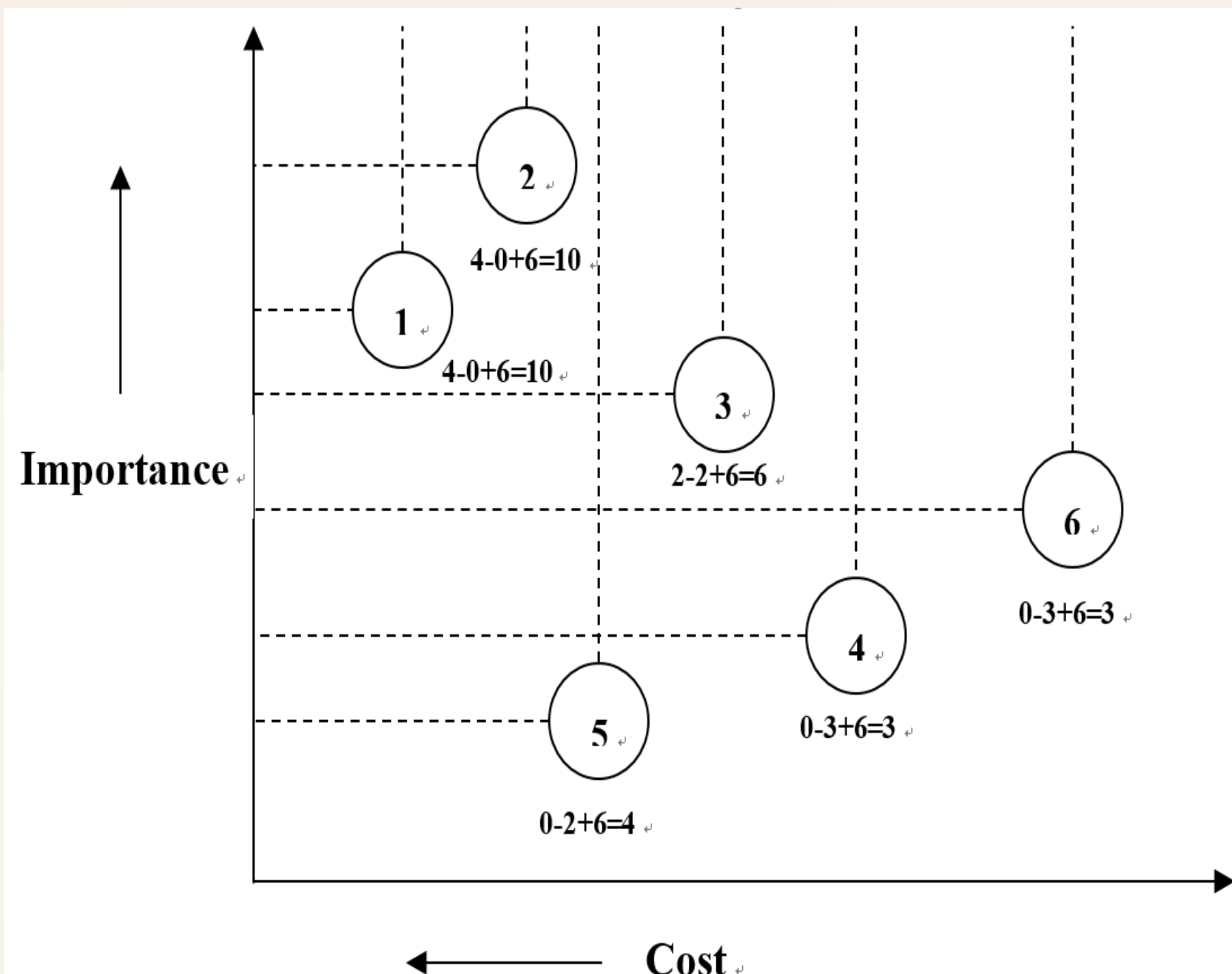
R : 無人機最大飛行半徑。

X_j : 若監控區域 L_i 在所設置充電站 $\{S_j\}$ 的最大飛行半 R 之內, 則為 1, 反之為 0。

適應度計算

在適應值的計算中, 為了滿足監控任務重要度最大化及無人機充電站成本最小化, 所以本研究採用基於 Pareto 理論的評估函式為 GPSIFF (Generalized Pareto-base Scale-Independent Fitness Function), 其數學方程式如下:

$$F(x) = p - q + c$$



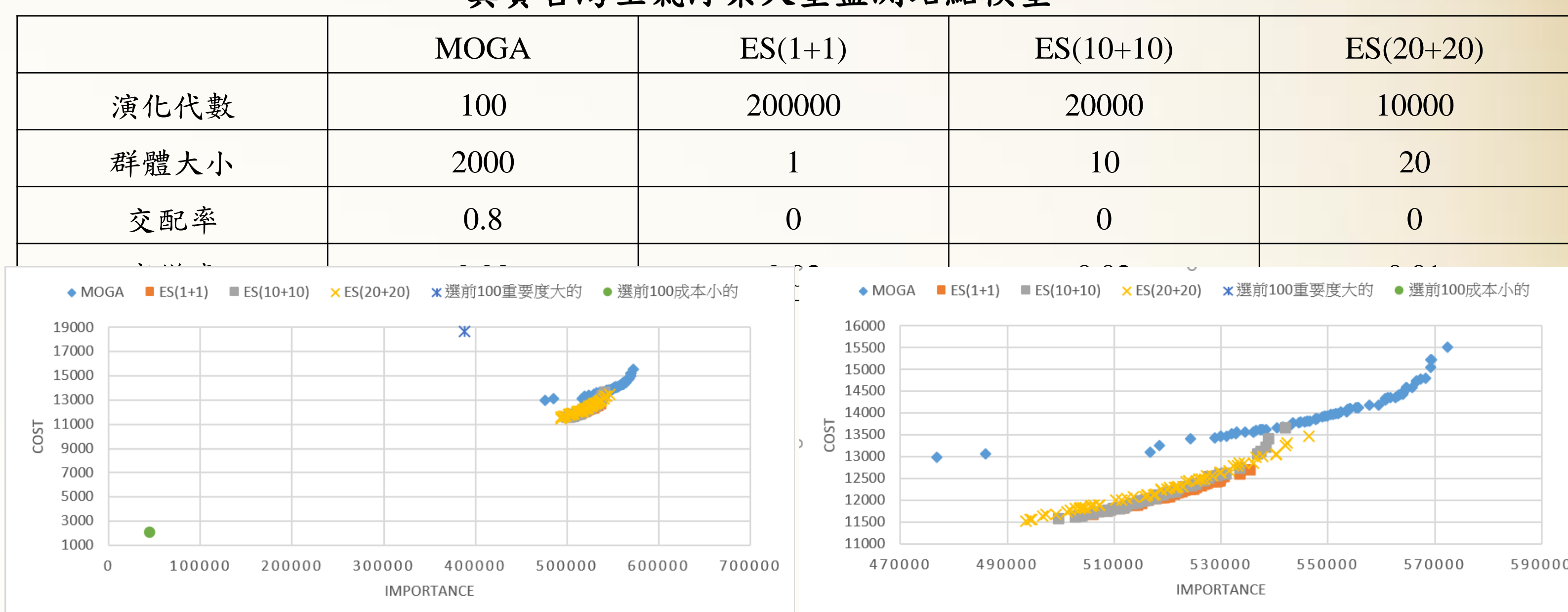
實驗方法比較

為了比較不同演算法所有目標的求解品質, 本研究採用前人所提出之支配解覆蓋率(Set Coverage)來比較不同演算法之效能。將兩種方法所求出的非支配解, 分別定義如下, A為方法一所得的非支配解, B為方法二所得的非支配解, 分子為B被A支配的數量, 分母為B的數量:

$$C(A, B) = \frac{|a \in A, b \in B, a \geq b|}{|B|}$$

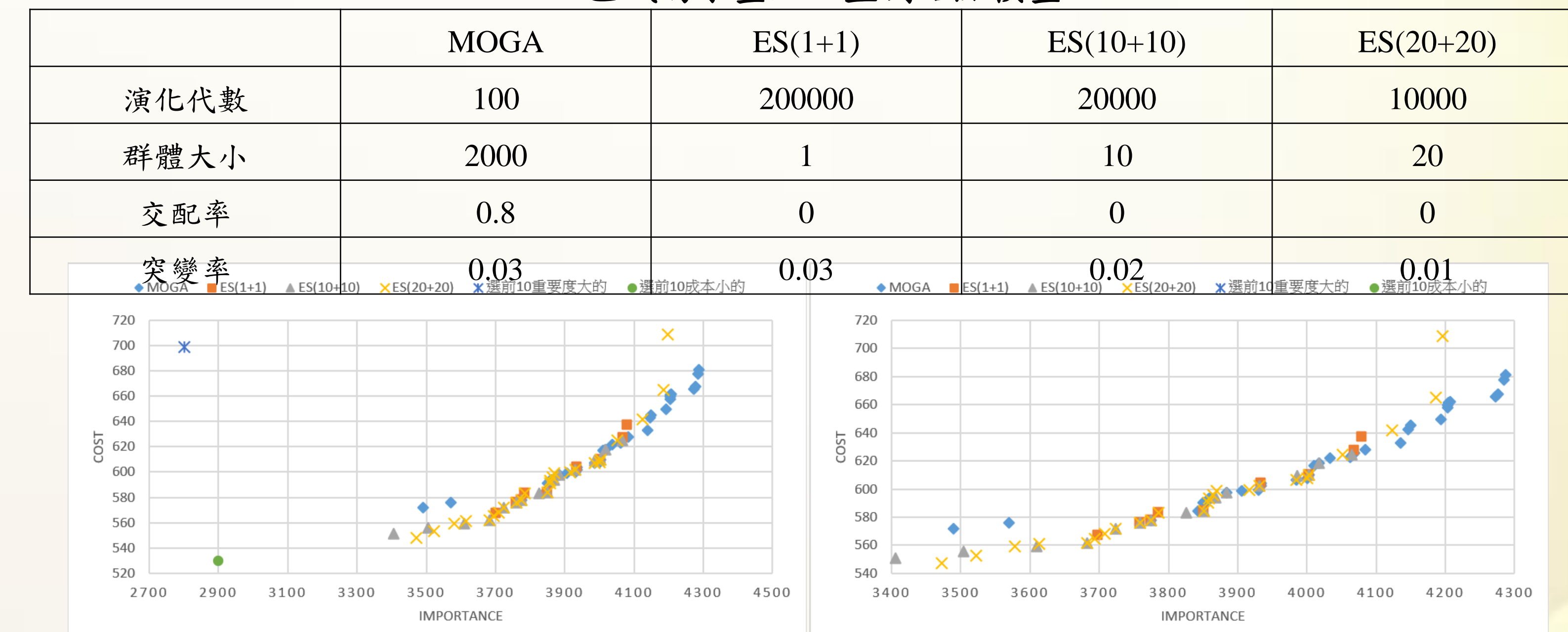
實驗及結果

真實台灣空氣汙染大型監測站點模型



支配解覆蓋率	C(A,B)	C(B,A)
A為MOGA B為ES(1+1)	0/47	13/73
A為MOGA B為ES(10+10)	0/60	21/73
A為ES(1+1) B為ES(10+10)	32/60	3/47
A為ES(10+10) B為ES(20+20)	47/61	5/60
A為ES(1+1) B為ES(20+20)	49/61	0/60

100*100區域的小型人工監測站點模型



支配率	C(A,B)	C(B,A)
A為MOGA B為ES(1+1)	5/9	6/35
A為MOGA B為ES(10+10)	7/16	9/35
A為ES(1+1) B為ES(10+10)	12/25	9/35
A為ES(10+10) B為ES(20+20)	4/16	5/9
A為ES(1+1) B為ES(20+20)	12/25	10/16
A為ES(1+1) B為ES(20+20)	5/25	5/9

參考文獻

[1] "無線充電的方式", https://www.rohm.com.tw/electronics-basics/wireless-charging/wireless-charging_what2

[2] C. H. Choi, H. J. Jang, S. G. Lim, H. C. Lim, S. H. Cho and I. Gaponov, "Automatic wireless drone charging station creating essential environment for continuous drone operation," 2016 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), Ansan, Oct. 2016, pp. 132-136.

[3] Ming-Shen Jian, Wei-Cheng Hong, Sheng-Che Tsai, Yu-Wei Chen, Tsung-Yen Chen, "Environment and Location Aware Drone Services Corresponding to Green Energy Charging Station," 2019 International Conference on Intelligent Computing and its Emerging Applications (ICEA), Tainan, Aug. 2019, pp. 101-105

[4] A. Weber and C. J. Friedrich, "Alfred Weber's theory of the location of industries," 1929.

[5] Matthew J. Eagon and William F. Northrop, "Formal methods approach to the charging facility location problem for battery electric vehicles," 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Las Vegas, Oct. 2020, pp. 1370-1377.

[6] Hailong Huang, Andrey V. Savkin, "A Method of Optimized Deployment of Charging Stations for Drone Delivery," IEEE Transactions on Transportation Electrification, June 2020, pp. 510-518

[7] Zi-fa Liu, Wei Zhang, Xing Ji, Ke Li, "Optimal Planning of charging station for electric vehicle based on particle swarm optimization," IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Tianjin, May 2012, pp. 1-5

[8] Liu Guang, Zeng Chengbi, "Location planning of charging station for electric vehicle based on urban traffic flow," 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Xi'an, Aug. 2016, pp. 1-5

[9] J. H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial systems, University of Michigan Press, 1975.

[10] "PM2.5 開放資料入口網站", <https://pm25.lass-net.org/>

[11] "臺灣行政區人口列表", <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%BA%E7%81%A3%E8%A1%8C%E6%94%BF%E5%8D%80%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E5%88%97%E8%A1%A8>