

結合模糊推論與二次式指派法 於設施規劃之研究

王風帆

摘要

理察妙瑟於1973年提倡的系統化佈置程序以鄰近程度作為衡量部門關聯性的一項依據。基本上鄰近程度基於流程、人事、服務等原則分成六級。然而在各部門鄰近程度之分析上，大多是由相關部門主管，根據個人經驗或主觀判斷認定等級，缺乏科學化依據。本研究透過較科學方式，運用模糊推論找出各部門鄰近程度之量化資訊，運用此資訊，我們結合二次式指派問題發展一套系統化佈置方法。本研究比較(1)僅含移動距離成本(2)僅含模糊相鄰性及(3)加權結合(1)及(2)，以適當加權方式結合成單一目標式，對各不同目標函數運用套裝軟體求解近似最佳佈置解，並與各問題之下限解比較，以評估解之優劣，結果顯示有不錯績效。

關鍵詞：系統化部置程序、鄰近程度、模糊理論、二次式指派問題。

A study of incorporating fuzzy inference and quadratic assignment problem in facility planning

Fong-Fan Wang

Abstract

Systematic Layout Planning which is developed by Recharad Muther (1973) uses closeness rating as a measure to gauge the relationship between departments. Basically the closeness ratings are categorized as six levels based upon the principles of material flow, personnel and service etc. The supervisors of the departments are usually the ones who are in charge of the assessment of the ratings. However, the rating process is often done based on the supervisors' previous experiences or subjective judgment. This process is not scientific. Therefore this study uses a more scientific approach to find out the closeness information between departments by using the fuzzy inference technique. After the information is obtained, it is incorporated in a quadratic assignment problem for providing a systematic layout planning scheme. Through a numerical study, we investigate the solution qualities compared with the lower-bound values considering three objective function scenarios. Results show the performance is satisfactory.

Keywords: Systematic Layout Planning, closed rating, fuzzy, quadratic assignment problem.

壹、前言

任何的生產活動，最先要面對到的就是設施規劃的問題，而在傳統的設施規劃方法中，Muther[1]提倡的系統化布置程序(Systematic Layout Planning, SLP)最被廣泛應用。SLP 方法強調作業之間的關聯性，提出以鄰近程度(closeness ratings)作為衡量部門關聯性的一項依據。基本上 closeness ratings 基於流程、人事、服務等原則可分為：A(絕對重要)、E(非常重要)、I(重要)、O(一般重要)、U(不重要)、X(不可接近)等六級。然而在各部門 closeness ratings 之分析上，大多是由相關部門主管，根據個人經驗或主觀判斷所認定，這種認定有二個問題：1.從關係認定到決定分級缺乏明確轉換機制，例如兩部門間關係在兩不同主管認定都不是那麼重要，且假設得到相同量尺得分，卻可能因為不同主管經驗或主觀判斷得到截然不同相鄰性等級。2.將 closeness ratings 武斷的分為六級，造成同屬某一級之不同部門的關係無從比較。另外 SLP 的布置方法根據部門 closeness ratings 重要程度以決定各部門進入順序與相鄰程度[5]，好的布置常須仰賴規劃者的經驗，且當部門數量增加，時間成本及布置難度亦增加。如何提出另一種方法論以解決上述分級及細部布置問題為本研究之動機。因此本研究的主要目

的是運用模糊推論技術，提供部門 closeness ratings 較明確轉換機制，它不因個人經驗或主觀判斷影響轉換結果的一致性。並以所獲得之資訊結合設施佈置最常使用的評估準則：最短距離成本及最大化相鄰性，以二次式指派問題針對不同規劃需求分別建模、求解，並與各問題下限解比較以評估解優劣。本研究貢獻為較傳統 SLP 方法提供較客觀及系統化之佈置方式。研究限制為著重在方法論而非實際應用。底下除必要，我們使用實作式敘述避免相關理論較難理解之困擾。

貳、相關文獻探討

一、系統化佈置程序

Muther[1]所提出的系統化佈置程序首先輸入五項作業資料，包含有：產品(Product)、數量(Quantity)、途程安排(Routing)、輔助勞務(Supporting Service)、與時間(Time)；透過資料瞭解各作業之內容與關係後，接著便進行物料流程分析與作業關聯分析，藉以發展活動相關圖(Activity Relationship Chart, ARC)來表達各作業空間之相對位置；最後加入空間上的需求，再依據各項實務限制與修正條件，便可以發展出可行的佈置方案，以供後續步驟評估與執行。

二、模糊(Fuzzy)理論

模糊理論是由美國加州柏克萊大學札德(Zadeh)教授，於1965年所提出的一種量化處理人類語言所含意義之理論，用來表現某些無法明確定義的模糊性概念[2、6]。現有文獻運用模糊理論認為在設施規劃部門關聯性認定中，亦具有不精確、不確定性、多重意義的模糊現象，因此適合藉由模糊集理論來加以描述進行分析，以獲得較適當且合理的結果，如[4]結合分析層級法(AHP)與模糊理論於設施規劃相鄰性研究。

三、二次式指派問題

設施規劃的二次式指派問題(Quadratic Assignment Problem, QAP)假設所有已知候選位置固定且相互間的距離及物料流動資訊已知的情形之下，將N個部門指派到N個候選位置上。QAP問題屬於整數非線性最佳化問題，大多數的QAP模式在求解最小的物料搬運成本，解法一般使用所謂的啟發式方法，分為建構式及改善式，前者一次只選擇一個部門直至所有部門都選定為止，相反的，改善式則在剛開始時所有部門已就定位，再運用部門交換方式尋求佈置績效的改善[5]。本研究著重在QAP問題建模，並運用商業套裝軟體Lingo求解。

參、案例研究

一、部門關聯性模糊推論

本研究以課桌椅製作為例，說明一套新的設施佈置發展過程，假設課桌椅製造大致劃分為七項：(A)鑽孔(B)烤漆(C)焊接(D)壓模(E)印字(F)組裝(G)品管。本研究的問題即是如何將此七個作業流程所需機具設施作合理化佈置，使物料移動距離最短且/或顧及各作業流程間相關性需求。

我們根據Raoot[3]所提出的方法，將作業彼此關聯之因素，統整為生產關聯(Production-link)、服務關聯(Service-link)、組織關聯(Organization-link)和環境關聯(Environment-link)四項，令其為語意變數，這些語意變數就可用來獲得部門間基本關係的資訊，如表1所示。為了解作業間關聯性需求，假設某位熟悉桌椅製程之專家針對四項語意變數予以評分(假設universe of discourse為0到10)，如表2所示。接著我們使用以下演算法以得到作業相鄰性模糊值：

- 1.定義各語意變數隸屬函數。
- 2.從專家處獲取推論法則，對每一法則進行模糊推論(使用Mamdani推論)。
- 3.將各推論結果，作模糊聯集得最後總合。
- 4.使用重心法去模糊化，得最後各作業間相鄰性模糊值。詳細步驟如下：

[步驟一]

使用商業套裝軟體MATLAB模糊推論模組FIS輸入語意變數：Pro-link(生產關聯)，Ser-link(服務關聯)，Org-link(組織關聯)，Env-link(環境關聯)及輸出變數Distance(距離) [3]，如圖1所示。各語意變數隸屬函數圖形，假設為三角分配及梯形分配如圖2至5所示，圖6為作業間相鄰性模糊值之隸屬函數，語意變數Distance，值愈小代表愈需要靠近。

[步驟二]

假設推論法則共24則，如圖7所示。

[步驟三]

使用mamdani推論，如圖8所示。

[步驟四]

此處我們使用重心法作最後去模糊化。經由模糊推論所得去模糊化後，模糊數為應變數對任意二語意變數(自變數)輸出反應曲面，圖形如圖 9 至圖 12 所示，可目視自變數在不同數值範圍產生不同相鄰程度之變化。

表 1 部門間基本關係的語意變數及值

語意變數	變數值
生產關聯 Production-link	(1) 非常低 (Very low) (2) 低 (Low) (3) 中等 (Medium) (4) 高 (High) (5) 非常高 (Very high)
服務關聯 Service-link	(1) 可忽略 (Negligible) (2) 須考慮 (Considerable) (3) 必要的 (Essential)
組織關聯 Organizational-link	(1) 獨立的 (Independent) (2) 間接的 (Indirect) (3) 直接的 (Direct)
環境關聯 Environmental-link	(1) 非常危險 (Very hazardous) (2) 危險 (Hazardous) (3) 不安全 (Unsafe) (4) 安全 (safe)
距離 Distance	(1) 非常靠近 (Very close) (2) 靠近 (Close) (3) 接近 (Near by) (4) 遠離 (Far) (5) 盡量遠離 (Very far)

表 2 作業間之關聯專家評分結果

	生產關聯	服務關聯	組織關聯	環境關聯
A-B	9	4	6	2
A-C	7	3	6	1
A-D	2	1	1	2
A-E	2	1	2	2
A-F	5	4	4	1
A-G	4	3	3	3
B-C	7	4	5	2
B-D	1	1	2	4
B-E	1	2	2	3
B-F	2	1	2	4
B-G	3	2	2	4
C-D	2	2	1	3
C-E	1	2	2	1
C-F	3	2	2	1
C-G	4	3	3	3
D-E	7	7	5	2
D-F	4	2	1	4
D-G	3	3	2	3
E-F	5	2	3	2
E-G	4	3	2	3
F-G	8	3	6	1

(A)鑽孔(B)烤漆(C)焊接(D)壓模(E)印字(F)組裝(G)品管

二、數值案例

我們以表 3 中之第一數值說明推論過程。部門 A 與部門 B 的模糊評估 Production link(生產關聯): 9, Service link(服務關聯)4, Organization link(組織關聯): 6,

Environment link(環境關聯): 2。經運算後,得 Distance(距離): 1.67。對照圖 6,可知隸屬於 close 與 near by 之間。應用以上推論過程,我們對所有 21 個部門關係一一求解,結果如表 3 所示。

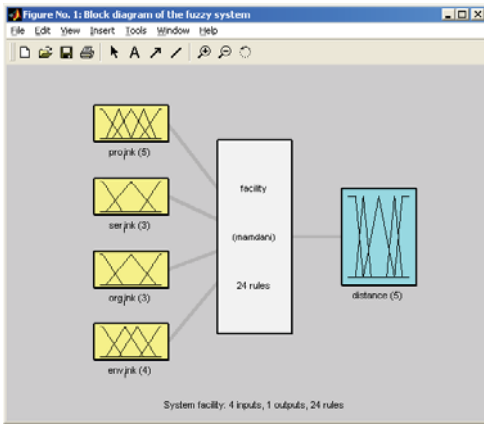


圖 1 課桌椅模糊推論系統架構圖

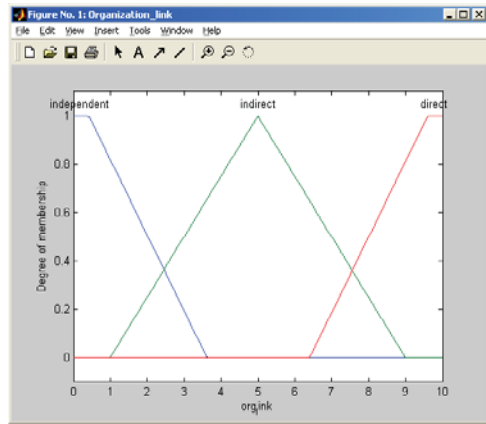


圖 4 組織關聯之隸屬函數圖形

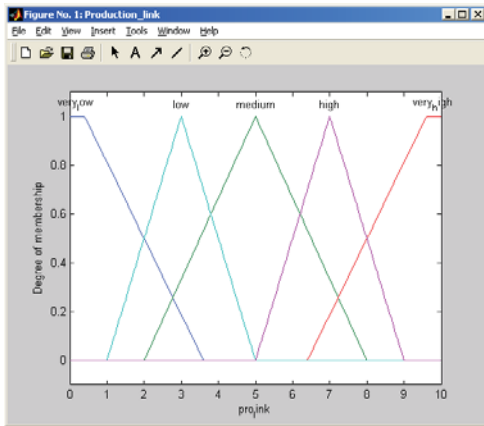


圖 2 生產關聯之隸屬函數圖形

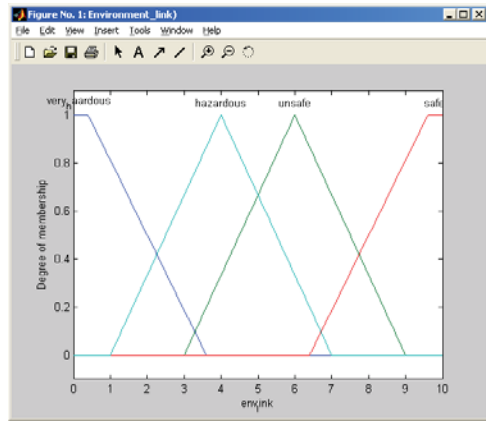


圖 5 環境關聯之隸屬函數圖形

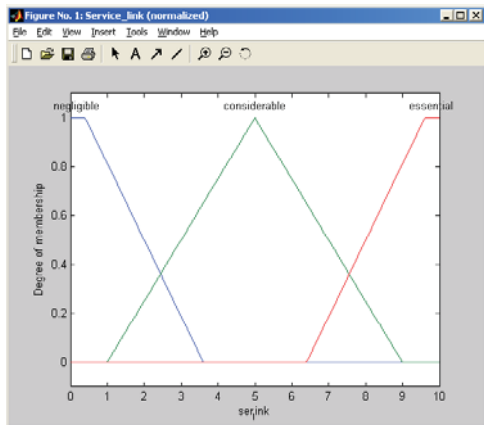


圖 3 服務關聯之隸屬函數圖形

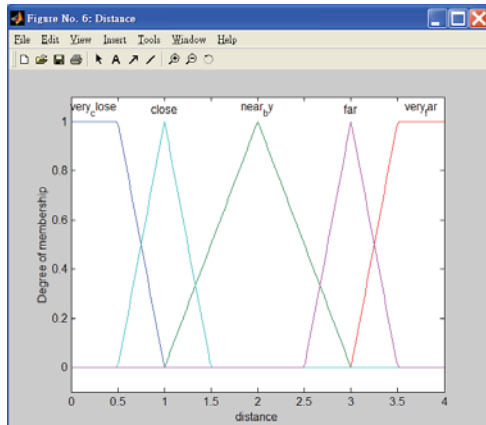


圖 6 距離之隸屬函數圖形

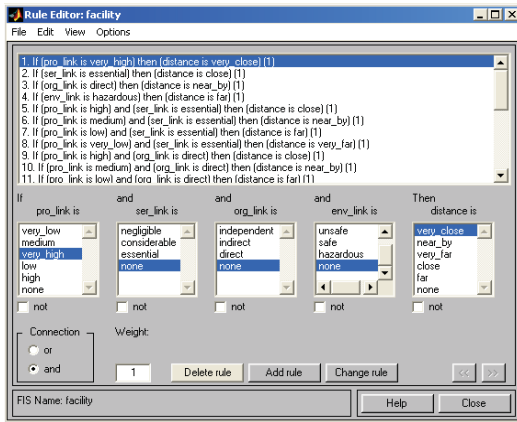


圖 7 專家推論法則

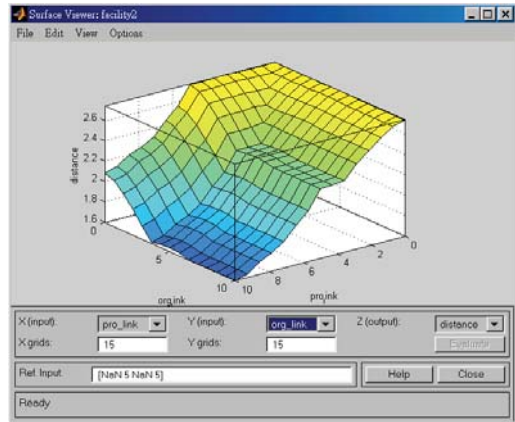


圖 10 生產關聯-組織關聯的影響

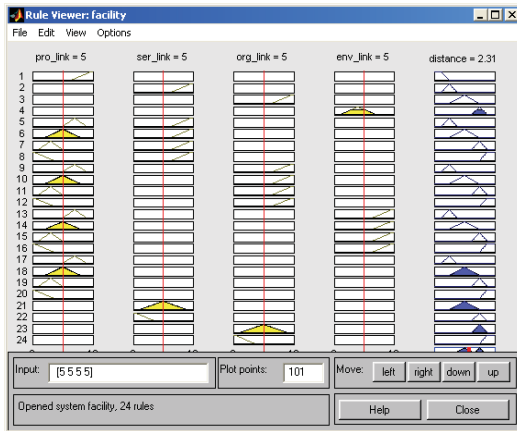


圖 8 mamdani 推論

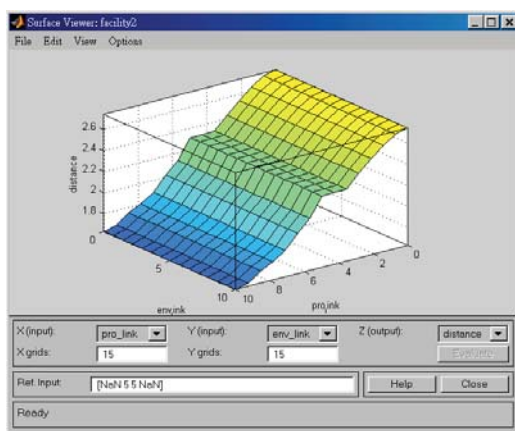


圖 11 生產關聯-環境關聯的影響

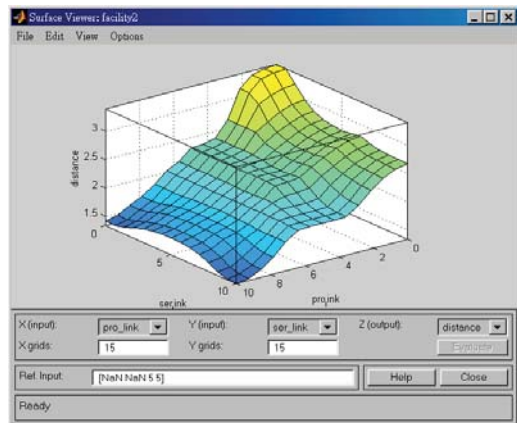


圖 9 生產關聯-服務關聯的影響

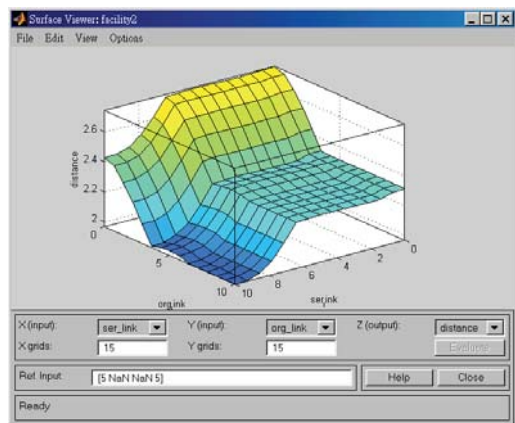


圖 12 服務關聯-組織關聯的影響

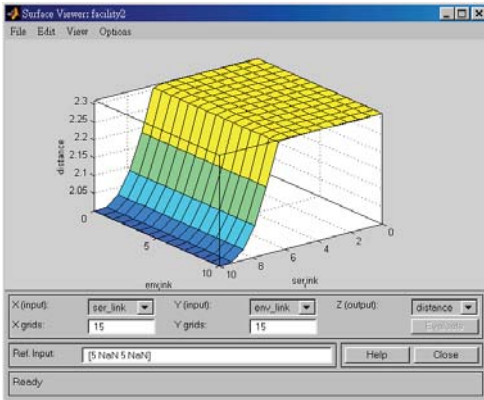


圖 13 服務關聯-環境關聯的影響

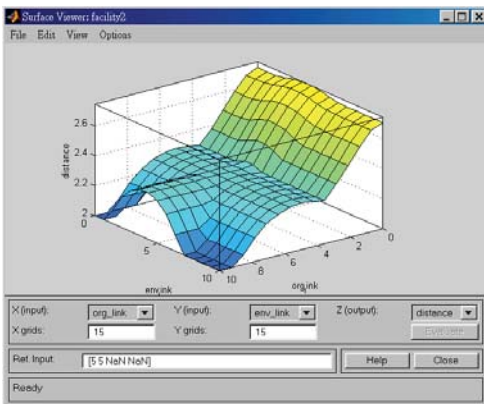


圖 14 組織關聯-環境關聯的影響

表 3 部門關係模糊數表

部門	關係模糊數	部門	關係模糊數
A-B	1.67	C-D	2.97
A-C	1.87	C-E	2.96
A-D	3.36	C-F	2.77
A-E	3.28	C-G	2.42
A-F	2.30	D-E	1.89
A-G	2.42	D-F	2.73
B-C	1.90	D-G	2.67
B-D	3.35	E-F	2.36
B-E	2.97	E-G	2.60
B-F	3.27	F-G	1.74
B-G	2.77		

肆、結合二次式之佈置

延續上一節對作業流程的代號定義，假設所有候選位置為單位面積大小，如下所示：

1	2	3
4	5	6
7		

則候選位置間距離矩陣如表 4 所示。

表 4 候選位置距離矩陣表

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	2	1	2	3	2
2	1	0	1	2	1	2	3
3	2	1	0	3	2	1	4
4	1	2	3	0	1	2	1
5	2	1	2	1	0	1	2
6	3	2	1	2	1	0	3
7	2	3	4	1	2	3	0

假設作業流程部門間，負荷矩陣如表5所示。

表 5 作業流程負荷矩陣表

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	100	100	0	0	150	0
B	100	0	200	0	0	100	0
C	100	200	0	100	0	200	0
D	0	0	100	0	150	100	0
E	0	0	0	150	0	0	150
F	150	100	200	100	0	0	550
G	0	0	0	0	150	550	0

例如A-B作業間，單位時間有100的物料流量。以QAP結合第三節模糊推論所得解，我們比較 (1) 僅含移動距離成本 (Flow-Distance, **FD**)，(2)僅含模糊相鄰性 (Total Closeness Ratings, **TCR**)，(3)加權結合 (1) 及 (2) (Combined Relationship and Distance, **CRD**)為目標函數，運用Lingo求解佈置方案的近似最佳解，並以所求各問題之解下限(lower bound)作為解品質之判斷依據**(1)FD**

$$Min z = 0.5 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{ik} d_{jl} X_{ij} X_{kl}$$

S.T.

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \text{ for } j = 1, 2, \dots, n. \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \text{ for } i = 1, 2, \dots, n.$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}.$$

上式 f_{ik} 表示作業 i 及作業 k 之間的流通量， d_{jl} 表示部門 j 及部門 l 之間的距離， X_{ij} 表示作業 i 配置在 j 部門， X_{kl} 表示作業 k 配置在 l 部門，因流通量係對稱故目標式乘以0.5。經由LINGO求解(詳附錄)，區域最佳解：2350。最佳配置如下：

D	C	B
G	F	A
E		

注意本題若將距離由低至高排列，將流量由高至低排列，可得解下限(lower bound)：2300，而且可能無可行配置符合該lower bound，由區域最佳解：2350可驗證QAP解小型問題優異性。我們使用Pentium III CPU 2.0 GHz 求解所需時間：17分41秒。

將上節所得關係模糊數修正上述流量成作業間關係模糊數及修正候選位置間距離，相鄰 1，不相鄰 0，如表6，僅含相鄰性目標式數學式如下

(2)TCR

$$Max z = 0.5 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n r_{ik} d_{jl} X_{ij} X_{kl}$$

S.T.

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \text{ for } j = 1, 2, \dots, n. \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \text{ for } i = 1, 2, \dots, n.$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}.$$

上式 r_{ik} 表示作業 i 及作業 k 之間的關係模糊數， d_{jl} 表示部門 j 及部門 l 之間的修正距離， X_{ij} 表示作業 i 配置在 j 部門， X_{kl} 表示作業 k 配置在 l 部門，因關係係對稱故目標式乘以0.5。

表 6 修正候選位置距離矩陣表

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	0	1	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0	0
3	0	1	0	0	0	1	0
4	1	0	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	0
6	0	0	1	0	1	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0

經由LINGO求解，區域最佳解：23.5。最佳配置如下：

G	B	E
D	F	C
A		

求解所需時間：3秒。注意本題若採表4之實際距離，並以最小化目標式重新求解，可得區域最佳解：99.45，將距離由低至高排列，將關係模糊數由高至低排列，可得解下限(lower bound)：94.35，但是可能無可行配置符合該lower bound，由區域最佳解：99.45可驗證以TCR為目標式，QAP解小型問題亦有不錯績效。

同時含移動距離成本及相鄰性數學式如下

(3)CRD

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & w1 \times 0.5 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{ik} d_{jl} X_{ij} X_{kl} + \\ & w2 \times 0.5 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n r_{ik} d_{jl} X_{ij} X_{kl} \end{aligned} \tag{3}$$

S.T.

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \text{ for } j = 1, 2, \dots, n.$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \text{ for } i = 1, 2, \dots, n.$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}.$$

注意上式中 d_{jl} 係來自表 4，假設權數(w_j)皆設為 1，將相鄰性模糊值乘以距離，以便將(2)式中最大化問題轉成最小化，讀者亦可視需要設計各目標式適當加權方式，其餘參數及變數說明同前。經由 LINGO 求解，區域最佳解：2458.23。最佳配置如下：

D	C	B
G	F	A
E		

佈置同 FD，其中距離成本同(1)：2350，修正相鄰性模糊值(乘上距離)：108.23，劣於(2)之修正相鄰性模糊值(乘上距離)：99.45 (註：我們並未提供最小化 TCR 時之最佳佈置)。這是因為當我們同時考慮含移動距離成本及相鄰性時所求得的是妥協最適解，理論上，這個解一定大於分別求解時的答案，然而對於此整數非線性問題，Lingo 僅能提供區域最佳解，因此本題所求得妥協最適解可能大於

也可能小於分別求解時的答案。當然若要求得全域最佳解，吾人可用窮舉法，然而對於本題若用窮舉法手算，須評估並比較 $7! = 5040$ 不同佈置(或 QAP 之 7^4)，且隨著部門數增加將增加求解時間。本題所需時間：17 分 35 秒。我們將佈置效率評估定義如下：

$$\begin{aligned} E = & \frac{\text{近似最佳佈置 TCR(模式2)}}{\text{實際佈置 TCR(模式3)}} = \frac{99.45}{108.23} \\ = & 91.89\% \end{aligned}$$

從以上高效率結果證明 CRD 模式在相鄰性方面表現不錯。

伍、結論與未來研究方向

經過本研究所提出的方法論，並以課桌椅的製程案例來說明所提方法論之應用，發現我們所提出的方法論可以獲得不錯的績效，現有文獻[4]運用模糊推論於部門相鄰性之科學化推導，然而缺乏所獲得資訊之進一步運用，本研究則延伸[4]結合模糊推論技術以及數學規劃的方法，配合各種商業套裝軟體的便利性，使得類似研究更完整並更增實作的可行性。

本研究假設部門有 7 個，用 Lingo 解 FD、TCR、CRD 從數秒至數十分不等，我們亦發現解 6 個部門僅需數秒至數十秒，視問題不同而異，可知解題效率隨問題複雜度提升而降低，由於本問題的整數非線性及組合最佳化特性，未來可試著結

合巨集啓發式演算法(Meta-heuristics)，如基因演算法 (Genetic Algorithm)、模擬退火法(Simulated Annealing)等，以提升解題效率，並與設施規劃電腦軟體常用之改善式佈置演算法如兩兩交換法等作比較，以確認 Meta-heuristics 在最佳化的實用性。表 2 可參考[4]使用量化數據，以獲得更客觀系統輸入，在語意變數定義及規則獲取方面，則可由實際個案業者自行針對業者本身需求尋求最適切語意變數定義及推論法則獲取方式。決策部門在作實際規劃時亦可依據對不同目標式偏好程度給予不同權重，以獲得近似最適佈置。

陸、附錄

Lingo 程式碼(FD)：

MODEL:

! Quadratic machine assignment

Problem(QAP);

! Solution time (3s);

! 4|1|2;

! 6|3|5;

SETS:

MACHINES / M1, M2, M3, M4, M5,
M6, M7/;

FACILITIES / F1, F2, F3, F4, F5, F6,
F7/;

ARCS1(FACILITIES,
FACILITIES) : DISTANCE;

ARCS2(MACHINES,
MACHINES) : FLOW;

ARCS3(MACHINES,
FACILITIES) : ASSIGN;

ENDSETS

DATA:

DISTANCE =0, 1, 2, 1, 2, 3, 2,

1, 0, 1, 2, 1, 2, 3,

2, 1, 0, 3, 2, 1, 4,

1, 2, 3, 0, 1, 2, 1,

2, 1, 2, 1, 0, 1, 2,

3, 2, 1, 2, 1, 0, 3,

2, 3, 4, 1, 2, 3, 0;

FLOW =0, 100, 100, 0, 0, 150, 0,

100, 0, 200, 0, 0, 100, 0,

100, 200, 0, 100, 0, 200, 0,

0, 0, 100, 0, 150, 100, 0,

0, 0, 0, 150, 0, 0, 150,

150, 100, 200, 100, 0, 0, 550,

0, 0, 0, 0, 150, 550, 0;

ENDDATA

! The objective;

MIN = @SUM(ARCS3(I,J):

@SUM(ARCS3(K,L):0.5*FLOW(I,K)*DI
STANCE(J,L)*ASSIGN(I,J)*ASSIGN(K,
L)));

! The FACILITIES assign constraints;

@FOR(FACILITIES(J):

@SUM(MACHINES(I):

ASSIGN(I, J)) = 1

);

! The machines assign constraints;

@FOR(MACHINES(I):

@SUM(FACILITIES(J):

```

ASSIGN( I, J) = 1
);
! Make OPEN binary(0/1);
  @FOR( ARCS3: @BIN( ASSIGN));
END

Lingo程式碼(TCR)
MODEL:
  ! Machine assignment Problem using
  Total closeness ratio(TCR);
  ! Solution time (1s);
  ! 6|3|5;
  ! 4|1|2;
  SETS:
    MACHINES / M1, M2, M3, M4, M5,
    M6, M7/;
    FACILITIES / F1, F2, F3, F4, F5, F6,
    F7/;
    ARCS1( FACILITIES,
    FACILITIES) : DISTANCE;
    ARCS2( MACHINES,
    MACHINES) : RATIO;
    ARCS3( MACHINES, FACILITIES) :
    ASSIGN;
  ENDSETS
  DATA:
  DISTANCE = 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0,
    1, 0, 1, 0, 1, 0, 0,
    0, 1, 0, 0, 0, 1, 0,
    1, 0, 0, 0, 1, 0, 1,
    0, 1, 0, 1, 0, 1, 0,
    0, 0, 1, 0, 1, 0, 0,
    0, 0, 0, 1, 0, 0, 0;

```

```

RATIO=0, 1.67, 1.87, 3.36, 3.28, 2.3, 2.42,
1.67, 0, 1.9, 3.35, 2.97, 3.27, 2.77,
1.87, 1.9,0, 2.97, 2.96, 2.77, 2.42,
3.36, 3.35, 2.97, 0, 1.89, 2.73, 2.67,
3.28, 2.97, 2.96, 1.89, 0, 2.36, 2.6,
2.3, 3.27, 2.77, 2.73, 2.36,0, 1.74,
2.42, 2.77, 2.42, 2.67, 2.6, 1.74, 0;

ENDDATA

! The objective;
  MAX = @SUM( ARCS3(I,J):
  @SUM( ARCS3(K,L):0.5*RATIO(I,K)*D
  ISTANCE(J,L)*ASSIGN(I,J)*ASSIGN(K,
  L)));
  ! The FACILITIES assign constraints;
  @FOR( FACILITIES( J):
  @SUM( MACHINES( I):
  ASSIGN( I, J) = 1
  );
  ! The machines assign constraints;
  @FOR( MACHINES( I):
  @SUM( FACILITIES( J):
  ASSIGN( I, J) = 1
  );
  ! Make OPEN binary(0/1);
  @FOR( ARCS3: @BIN( ASSIGN));
END

Lingo 程式碼(CRD)
MODEL:

```

```

! Hybrid machine assignment Problem
using QAP and TCR;
SETS:
    MACHINES / M1, M2, M3, M4, M5,
    M6, M7/;
    FACILITIES / F1, F2, F3, F4, F5, F6,
    F7/;
    ARCS1( FACILITIES,
    FACILITIES) : DISTANCE;
    ARCS2( MACHINES,
    MACHINES) : FLOW, RATIO;
    ARCS3( MACHINES, FACILITIES) :
    ASSIGN;
ENDSETS
DATA:
! The distance matrix;
DISTANCE = 0, 1, 2, 1, 2, 3, 2,
            1, 0, 1, 2, 1, 2, 3,
            2, 1, 0, 3, 2, 1, 4,
            1, 2, 3, 0, 1, 2, 1,
            2, 1, 2, 1, 0, 1, 2,
            3, 2, 1, 2, 1, 0, 3,
            2, 3, 4, 1, 2, 3, 0;

FLOW = 0, 100, 100, 0, 0, 150, 0,
        100, 0, 200, 0, 0, 100, 0,
        100, 200, 0, 100, 0, 200, 0,
        0, 0, 100, 0, 150, 100, 0,
        0, 0, 0, 150, 0, 0, 150,
        150, 100, 200, 100, 0, 0, 550,
        0, 0, 0, 0, 150, 550, 0;

RATIO = 0, 1.67, 1.87, 3.36, 3.28, 2.3,
        2.42,
        1.67, 0, 1.9, 3.35, 2.97, 3.27, 2.77,
        1.87, 1.9,0, 2.97, 2.96, 2.77, 2.42,
        3.36, 3.35, 2.97, 0, 1.89, 2.73, 2.67,
        3.28, 2.97, 2.96, 1.89, 0, 2.36, 2.6,
        2.3, 3.27, 2.77, 2.73, 2.36,0, 1.74,
        2.42, 2.77, 2.42, 2.67, 2.6, 1.74, 0;
W1 = 1; W2=1;
ENDDATA
! The objective;
    MIN = @SUM( ARCS3(I,J):
    @SUM( ARCS3(K,L):Wc*(0.5*FLOW(I,
    K)*DISTANCE(J,L)*ASSIGN(I,J)*ASSIG
    N(K,L))+
    W1*(0.5*RATIO(I,K)*DISTANCE(J,L)*A
    SSIGN(I,J)*ASSIGN(K,L)));
! The FACILITIES assign constraints;
    @FOR( FACILITIES( J):
    @SUM( MACHINES( I):
    ASSIGN( I, J)) = 1
    );
! The machines assign constraints;
    @FOR( MACHINES( I):
    @SUM( FACILITIES( J):
    ASSIGN( I, J)) = 1
    );
! Make OPEN binary(0/1);
    @FOR( ARCS3: @BIN( ASSIGN));
END

```

參考文獻

- [1] Muther, R, "Systematic Layout Planning," *Industrial Education Institute*, Boston, 1961.
- [2] Zadeh, L. A., "Fuzzy Set," *Information and Control*, 8(2), 338-353, 1965.
- [3] Raoot, A.D. and A. Rakshit, "A FUZZY Approach to Facilities Layout Planning," *International Journal of Production Research*, 29, 835-857, 1991.
- [4] Fikri Dweiri Fuzzy development of crisp activity relationship charts for facilities layout, *Computers & Industrial Engineering*, 36, 1-16, 1999.
- [5] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Tanchoco, J. M. A., "Facilities Planning, 3rd Edition," *John Wiley & Sons*, New York, 2003.
- [6]張孝德、蘇木春，「機器學習：類神經網路、模糊系統以及基因演算法則」，全華出版社，台北，民89