

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 91-2211-E-009-036-

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：王維志副教授 國立交通大學土木工程學系

計畫參與人員：林俊昌 國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

本研究旨在提出一套適用於高科技廠房工程專案團隊組織最佳化之評估模式，本文主要係延續第一年之研究成果，探討業主之組織結構及其建廠需求、人力、專業與經驗等不同條件下，對工程專案團隊組織架構選擇之影響，並更進一步推導工程專案團隊組織架構執行之成本及進度等目標函數關係，並以基因演算法(Genetic Algorithm)進行多目標決策(Multiple objective decision making, MODM)，提出適用於不同業主組織結構之最佳(Optimization)工程專案團隊組織架構。

經初步研究結果發現，在工程品質標準不變之條件下，業主需求不確定性、組織界面嚴重性、分標數量及可能發生變更設計之頻率等是整體專案團隊組織影響工程成本及進度的主要因素，其中又以業主需求不確定性影響最大，分標數量及組織界面問題次之。此外，本研究亦首次將品質目標納入多目標決策，推導出多目標(成本最低、工期最短、品質最優)間之關係，此結果將有助於本研究後續進行基因演算中數代演化過程中求得最適解之重要參考依據。

關鍵詞：高科技廠房、團隊組織、最佳化、多目標決策、基因演算法

Abstract

The objective of this research is to develop an optimization model that is capable of predicting project organization performance. Following the research results of the first year, this paper further investigates the effects of selecting project team organizations and defines the relationships between team organizations and project objectives. Genetic algorithm is used to model multiple objective decision makings. Consequently, an optimization team organization for owners under different constraints is proposed.

Under the same quality requirements, this year's research finds that the uncertainty of owner's requirements, interface issues, number of subcontracting and frequency of change order are the major factors affecting project cost and schedule. Among these factors, the uncertainty of owner's requirement is most significant, followed by the factors of interface issues and number of subcontracting. In addition to the above research results, this paper is the first attempt to include the quality as one of objectives in this type of multiple

objective decision making (that is, lowest cost, shortest duration and highest quality). This years' research will play a major basis for our further study on the evolution process of genetic algorithm to obtain the optimization solution.

Keywords: High-tech construction project, team organization, optimization, multiple objective decision making, genetic algorithm.

二、緣由與目的

工程專案團隊組織之形成，主要是使其能對專案中的關鍵問題快速反應，並運作合作管理機制達到工程管理之目標[12]。就高科技廠房而言，整體專案團隊組織主要包括業主團隊(Owner team work)、顧問團隊(Consultant team work)、設計團隊(Design team work)及施工團隊(Construction team work)等四種，如圖1所示。其中施工團隊組織架構中，因為專業廠商多，使得組織架構中各廠商間常施工界面問題而產生嚴重衝突，進而影響專案執行之效率[2,15]。

隨著科技快速發展，高科技廠房工程規模逐漸大型化，工程專業種類多而繁雜，且在品質標準日趨嚴格[1]，以及為節省成本及因應工期急迫之壓力下，這使得廠房工程的界面更加複雜、界面整合工作倍加困難[12,14]。近兩年來，高科技廠房之業主在考量是否能有效降低建廠之管理成本時，已開始思考是否放棄以往傳統專業分包(Traditional subcontractors)方式，改採整合後之工程統包(Design-Build)或施工總包(General contractor)等團隊組織運作模式，因為整合後之團隊組織，除了大量減少分包數量外，亦可透過合約之約束及權責劃分，將界面整合與協調之工作交由廠商自行負責，進而降低業主在人力及管理成本上之支出[13]。但如此龐雜的專業工程，業主如何在品質、工期及成本之要求下，考量本身企業文化、建廠條件及工程特性，組織各專業分包廠商，選擇最適之團隊組織架構，乃是高科技廠房工程之業主目前面臨新建廠房之重要課題，亦是建廠工程成敗之重要關鍵。

本研究主要建構在第一年研究成果之高科技廠房工程專案團隊組織架構評估模式(如圖2所示)下延續之研究，主要在探討業主團隊之組織結構及其建廠需求、人力、專業與經驗等不同條件下，對整體工程專案團隊組織架構選擇之影響，並根據此影響關係，更進一步推導工程專案團隊組織執行架構達到成本最低、工期最短等目

標之目標函數。此外，本研究亦將高科技廠房工程著重在品質標準之特性首次納入基因演算法 (Genetic algorithm) 評估最適化 (Optimization) 之考量，雖然在分析上難度高，但卻能反映高科技廠房工程在品質要求嚴格方面之特性。本研究以基因演算法進行成本最低、工期最短、品質最

優等多目標決策 (Multiple objective decision marking, MODM) 分析，進而提出適用於不同業主建廠條件之最適工程專案團隊組織評估模式，以作為新建高科技廠房業主在建廠初期選擇 (或組織) 最適之專案團隊組織架構。

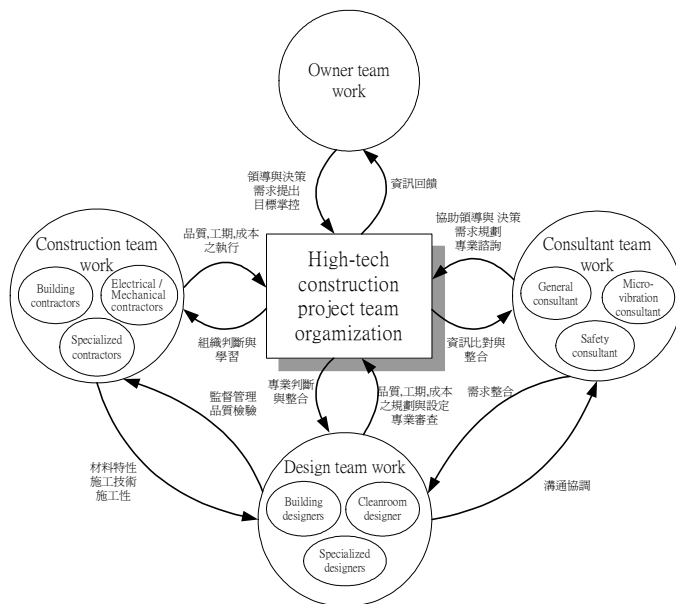


圖 1 工程專案組織團隊與各工作團隊關係示意圖

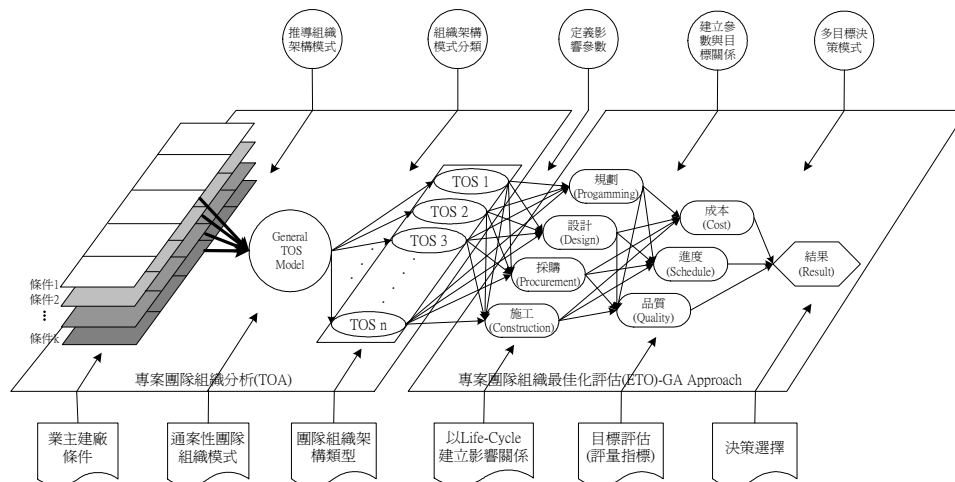


圖 2 高科技廠房工程最適之專案團隊組織評估模式 (PEM)

三、結果與討論

本文為三年計畫之第二年研究成果，內容主要包括業主工作團隊組織特性分析及其對整體組織模式選擇之影響、影響整體工程專案團隊組織目標之因素探討、目標函數之推導、GA 運用於專案團隊組織之評估及第三年繼續研究之方向與預期成果等，初步成果概述如下：

(一) 業主團隊組織之影響

1. 業主團隊組織模式

高科技廠房營建工程之專案團隊大部分為臨時性之專案組織，而業主團隊為此專案組織之領導核心，亦為組織形成的主要關鍵。一般而言，業主會因工程專案推行的案量、任務的特性及企

業文化等來決定其團隊組織的型態，非長期規劃建廠之私人公司，大部分是臨時性之組織，具長期規劃建廠之企業 (例如台積電、聯電等)，其部門為專責之常設性組織。無論是常設性或臨時性組織，業主工作團隊為使整體團隊組織策略及目標之一致性，其大部分為科層式 (或官僚式) 組織，運作模式亦常具有明確權威層級、清楚分工、職位權責規則化及處理工作境況程序化等特性。

影響業主建廠團隊之因素概可分為廠房條件、人員條件、企業文化及策略管理等 (如圖 3 所示)，而建廠計畫需求、人力調配、衝突管理、角色定位、組織結構、團隊管理及成功的策略等均與組織化系統有其密切的相關性，其中計畫需

求、團隊管理及成功的策略對於達成組織目標的影響最大[11]。業主建廠團隊運作模式是決定整體專案團隊組織選擇的重要因素，業主團隊的領導主管的偏好程度更是影響整體專案團隊組織執行架構是否成功的重要關鍵。

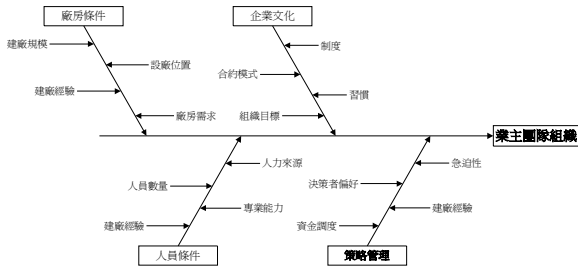


圖 3 業主團隊組織元素

2. 整體專案團隊組織選擇之考量

就業主團隊而言，高科技廠房工程之設計與施工品質除了需符合原設定之產品製造需求外，建廠進度及成本是目前所關心的主要課題。因此，若假設在工程品質標準不變之情形下，如何使建廠成本最低、時間最低（或進度影響最小），是業主在建廠初期如何選擇工程專案團隊組織模式之主要考量因素。而一般已具建廠經驗之業主或建築師，對於工程品質標準之需求及工程直接費用均較為瞭解，控制上亦較為容易，但對於建廠執行中之管理成本及工程進度之影響卻會因專案團隊組織模式的不同而影響甚巨，故本研究首先在工程品質條件不變之假設下，即以管理成本最低及建廠工期最短為決策之主要目標。

影響業主管理成本及建廠進度之因素非常多，例如廠商之經驗與配合度、工人管理、材料設備管理及施工技術等，本研究依據第一年問卷調查結果，謹歸納出業主需求不確定性、分包數量、組織界面衝突程度及變更設計頻率等四個主要影響因子進行分析，並僅考慮其直接關係，而忽略間接影響之條件下，建立高科技廠房團隊組織模式選擇決策分析之影響圖（如圖 4 所示）。

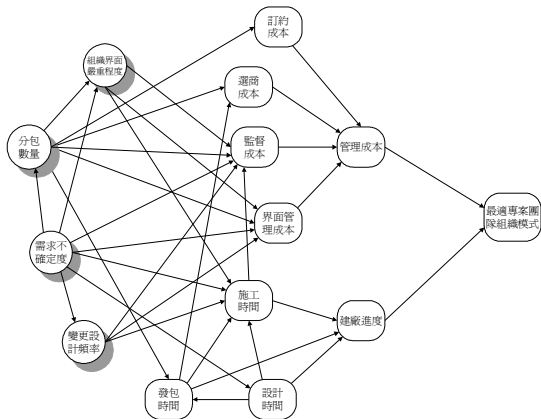


圖 4 建廠管理成本與進度之影響關係圖

(二)目標函數之推導

近幾年來，將基因遺傳演算法運用在營建工程多目標決策之研究陸續被發展出來，但大部分均僅探討成本與工期兩個目標上之問題[7,8,9]，而考量三個目標以上之多評準問題，則較少被討論，特別是有關工程品質方面之課題，更是付之闕如。本研究依據圖 2 之評估模式，首次將較難量化之工程品質納入專案團隊組織模式之多評目標決策分析中，並以工程專案中與業主具有合約關係之專業廠商為基因（genes），作為基因遺傳演算法之模擬與尋求近似最佳解之依據，此方法雖然複雜性高，但卻更能反映高科技廠房工程注重工程品質之特點。

本研究各目標（成本最低、工期最短、品質最優）函數之推導中，均假設每一施工作業材料設備之直接成本不受團隊組織模式的不同而有所變化，僅探討業主在管理成本方面之影響（即假設材料設備等之直接成本固定下，探討不同專案團隊組織運作對管理成本、進度及品質之影響），同時以工程專案每一施工作業之專業廠商為變數，進而推導本研究基因遺傳演算法之目標函數如下：

1. 管理成本 vs. 工期

本研究以交易成本（Trade-off Cost）之概念作為演算專案團隊組織運作影響管理成本之基礎。就業主而言，採用傳統分包方式，若欲縮短工期，所需之管理成本愈高，因為縮短工期，無論在設計與施工重疊作業之安排上或施工期所需資源（人力、機具、材料等）之調配困難，同一空間與時間施工作業之專業工程多，較容易造成組織界面之衝突，故會增加管理成本進行整合。有關管理成本與工期之目標函數，本研究主要參考 Li (1999) [7,8]、Isidore (2002) [5]、Leu (1999) [6,15] 及 Que (2002) [9] 等人之研究成果，假設管理成本與工期之函數關係為非線性之一元二次方程式（如圖 5 所示），同時亦假設所增加之管理成本 (MC_T) 不得大於直接成本 (DC) 的一成（即 $MC_T \leq 0.1 DC$ ），則相關公式推導如下：

$$MC_T(i) = aT(i)^2 + bT(i) + c \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m T(i) = T_t \quad (2)$$

其中：

$$T_c(i) \leq T(i) \leq T_n(i) \quad (3)$$

$$\left. \frac{d(MC_T(i))}{d(T(i))} \right|_{T=T_c} = 0 \quad (4)$$

$a, b, c = \text{constant}$ ，且 $a > 0$

$T_c(i)$ = 第 i 項作業之最短工期

$T_n(i)$ = 第 i 項作業之正常工期

$MC_{Tc}(i)$ = 第 i 項作業最短工期下之管理成本

$MC_{Tn}(i)$ = 第 i 項作業正常工期下之管理成本

$$a = \frac{MC_{T_c}(i) - MC_{T_n}(i)}{(T_n(i) - T_c(i))^2} \quad (5)$$

$$b = -\frac{2T_n(MC_{T_c}(i) - MC_{T_n}(i))}{(T_n(i) - T_c(i))^2} \quad (6)$$

$$c = MC_{T_c}(i) - \frac{(MC_{T_c}(i) - MC_{T_n}(i))(T_c(i)^2 - 2T_n(i)T_c(i))}{(T_n(i) - T_c(i))^2} \quad (7)$$

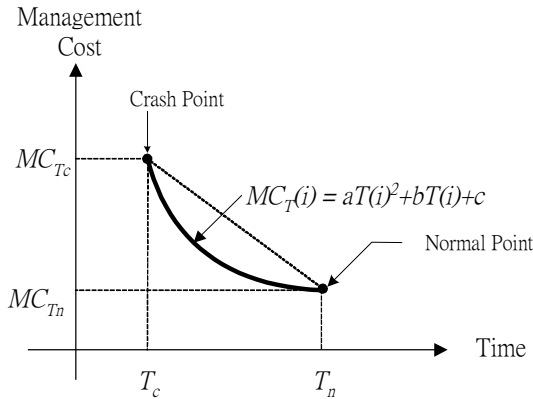


圖 5 管理成本與工期之函數關係圖

2. 工程品質 vs. 工期

一般工程品質需求在規劃設計階段就經由建築師及各工程專業設計工程師設計確定，但就施工品質而言，工期愈短，可能產生之工程品質愈差，因為施工廠商常年感受業主之工期壓力，在趕工情形下，常造成施工品質不如預期，例如高科技廠房之廠務設備區，因須安裝大型設備，設計挑高達 7~8 公尺之樓高，施工廠商為縮短工期，常未依施工規範分層澆置混凝土，此結果因混凝土材料分離而造成底部結構體表面蜂巢的現象。有關工程品質與工期之函數關係假設如公式(8) (如圖 6 所示)。

$$Q_T(i) = dT(i)^2 + e \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m T(i) = T_t \quad (9)$$

其中：

$$T_c(i) \leq T(i) \leq T_n(i) \quad (10)$$

$d, e = \text{constant}$

$T_c(i)$ = 第 i 項作業之最短工期

$T_n(i)$ = 第 i 項作業之正常工期

$Q_{T_c}(i)$ = 第 i 項作業最短工期下之最劣工程品質

$Q_{T_n}(i)$ = 第 i 項作業正常工期下之最優工程品質

$$d = \frac{Q_{T_n}(i) - Q_{T_c}(i)}{T_n(i)^2 - T_c(i)^2} \quad (11)$$

$$e = \frac{Q_{T_c}(i)T_n(i)^2 - Q_{T_n}(i)T_c(i)^2}{T_n(i)^2 - T_c(i)^2} \quad (12)$$

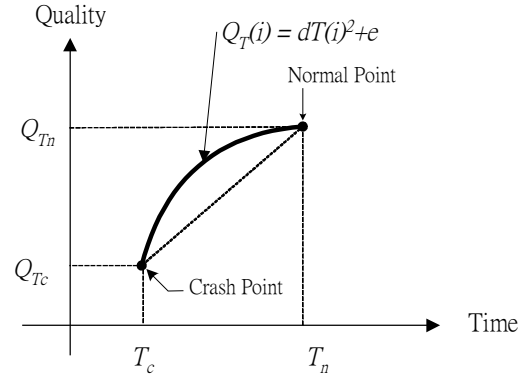


圖 6 工程品質與工期之函數關係圖

3. 管理成本 vs. 工程品質

欲達較高之工程品質，所投入之管理成本可能愈高，而其管理成本增加之趨勢，會依管理者之品質管理的成效而定，故本研究將管理成本與工程品質之函數關係概分為簡單函數關係及理想函數關係兩種，茲分別討論如下：

(1) 簡單函數關係

當初期工程品質提升時，所增加之管理成本增加量較緩，但當品質提升到一定程度以後，管理成本會陡峭增加 (如圖 7 所示)，其函數關係與前述幾項目標函相似 (如公式(13))，並假設所增加之管理成本 (MC_Q) 不得大於直接成本 (DC) 的一成 (即 $MC_Q \leq 0.1 DC$)。

$$MC_Q(i) = uQ(i)^2 + v \quad (13)$$

其中：

$$Q_d(i) \leq Q(i) \leq Q_h(i) \quad (14)$$

$u, v = \text{constant}$

$Q_d(i)$ = 第 i 項作業之最劣工程品質

$Q_h(i)$ = 第 i 項作業之最優工程品質

$MC_{Q_d}(i)$ = 第 i 項作業最劣工程品質下之管理成本

$MC_{Q_h}(i)$ = 第 i 項作業最優工程品質下之管理成本

$$u = \frac{MC_{Q_h}(i) - MC_{Q_d}(i)}{Q_h(i)^2 - Q_d(i)^2} \quad (15)$$

$$v = \frac{MC_{Q_d}(i)Q_h(i)^2 - MC_{Q_h}(i)Q_d(i)^2}{Q_h(i)^2 - Q_d(i)^2} \quad (16)$$

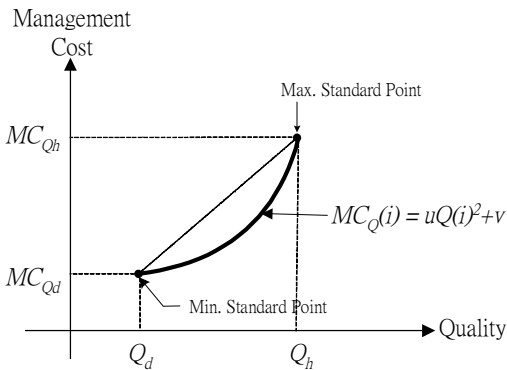


圖7 簡單化之管理成本與工程品質函數關係圖

(2)理想函數關係

當初期工程品質提升時，所增加之管理成本增加量較緩，而工程品質至優與劣之平衡點以後，管理成本亦能經由良好的品質管理方式，做到良好管制而以較小的增量增加（如圖8所示），此結果與簡單化函數關係之最大管理成本差異為 $(MC_{Qh}' - MC_{Qh})$ ，其函數關係假設為一元三次之連續方程式（如公式(17)），且所增加之管理成本 (MC_Q) 不得大於直接成本 (DC) 的一成（即 $MC_Q \leq 0.1 DC$ ）。

$$MC_Q(i) = fQ(i)^3 + gQ(i)^2 + hQ(i) + k \quad (17)$$

其中：

$$Q_d(i) \leq Q_p(i) \leq Q_h(i) \quad (18)$$

$$\left. \frac{d^2(MC_Q(i))}{d^2(Q(i))} \right|_{Q=Q_p} = 0 \quad (19)$$

$f, g, h, k = constant$

$Q_d(i)$ = 第i項作業之最劣工程品質

$Q_h(i)$ = 第i項作業之最優工程品質

$Q_p(i)$ = 第i項作業之劣與優平衡時的工程品質

$MC_{Qd}(i)$ = 第i項作業最劣工程品質下之管理成本

$MC_{Qh}(i)$ = 第i項作業最優工程品質下之管理成本

$MC_{Qp}(i)$ = 第i項作業工程品質優劣平衡時之管理成本

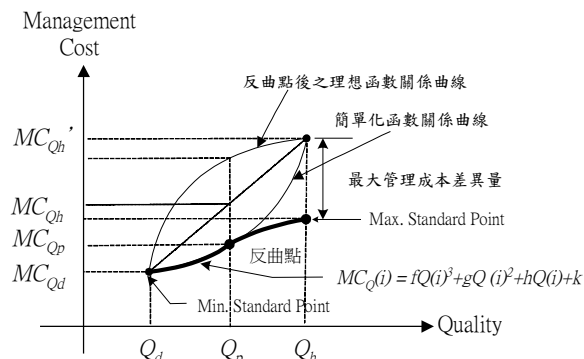


圖8 理想之管理成本與工程品質函數關係圖

4. 多目標函數關係

前述管理成本最低及工期最短之目標函數均存在其值域 (domain) 中，但工程品質最優之條件，因無法在該值域中量化表示，本研究為能進行此三種目標函數能在相同的空間域中求得其最佳解，故工程品質目標函數以模糊數量化，並嘗試將此三種目標函數之空間域以正規化方式轉換成 0~1 間之數值，作為決定多目標決策之依據。

(三)GA 運用於專案團隊組織之評估

基因演算法 (GA) 是一種仿效自然選擇 (“物競天擇，適者生存”) 與生物演化機制之搜尋法則，自 1975 年 Holland[4] 首先提出基因演算法搜尋技術的基本架構後，基因演算法之應用開始受到重視，至今已廣泛應用到科學、商業、工程及管理等各領域[15]。GA 之基本單元主要包括基因 (gene)、染色體 (chromosome) 及族群 (population) 三種，其中染色體是搜尋最佳解之主要函數；基因則是求解之變數；族群則取決於所有染色體的組合。GA 是一種連續性之平行搜尋架構，其搜尋的過程，主要係藉由隨機選取，並經由基因複製 (reproduction)、配對交換 (crossover) 及突變 (mutation) 等運算元 (operators) 產生子代 (offsprings)，再由預定之目標值或相似值評估其染色體個體之適應程度 (fitness) 進行複製，進而產生新的族群。再以此新產生之族群為新的出發點，對整個搜尋空間 (domain) 逐次搜尋，經過數代後而求得一個或多個適合此演化環境之解 (近似解) [3,6,15]。

本研究運用 GA 演算法過程中，首先針對每一個施作項目 (包括設計作業及施工作業)，受到需求不確定性、分包數量、組織界面衝突程度及變更設計頻率等四個主要因素的影響時，在管理成本、工期及品質等多目標綜合考量下，計算出正規化後之影響值 (值域介於 0~1 之間)。然後再根據此影響值，計算專案全部作業項目之整體影響程度，以作為整體專案組織評估選擇之依據 (如圖 9 所示)。至於每一作業項目在需求不確定性、分包數量、組織界面衝突程度及變更設計頻率等四個因素對於工程目標影響值之計算，本研究將依據第一年有關分包數量及組織界面的定義，以及對需求不確定性及變更設計頻率之探討，提出一套數值評估方法 (模糊理論 (Fuzzy theory) 計算或仍以 GA 演算法)，此研究內容亦為本研究第三年研究計畫重點之一。

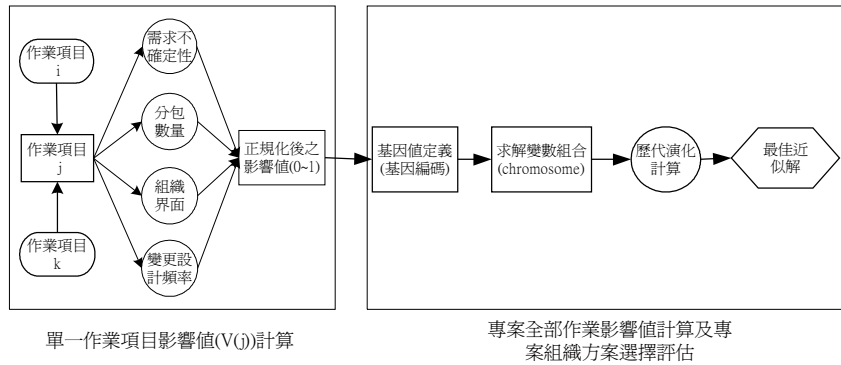


圖 9 GA 演算法之專案團隊組織方案選擇評估

1. 專案團隊組織方案選擇評估 GA 中 gene、chromosome 及 population 之定義

本研究定義之基因 (gene) 為專案中每一作業項目名稱，不同作業項目整合由同一個與業主有直接合約關係之施工廠商來施作，則稱為一組染色體 (chromosome)，例如營造廠商、一般機電廠商等。數個染色體組合成一個族群 (population)，一個族群為所有可能組合之近似解。

2. 編碼

本研究為一般之數值求解問題，以 GA 演算法來建構此問題的求解模式時，本研究參考前人之研究成果[7,8,9]，將 chromosome 字串之字元定義為同一合約廠商之作業項目，在需求不確定性、分包數量、組織界面衝突程度及變更設計頻率等因素影響下，對管理成本、工期及品質等目標之正規化影響值 (0~1) (如圖 10 所示)。雖每一個染色體族群數量均不相同，但卻能表示每一種專案團隊之組織模式，惟其計算時間亦不盡相同，染色體族群數量愈多 (愈趨向於傳統專業分包方式)，所需時間愈久。

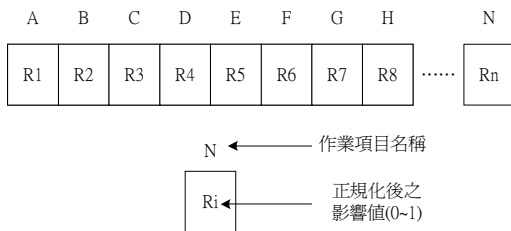


圖 10 chromosome 字串之編碼

3. 運算元

GA 演算法中主要有三個運算元 (Operators)：複製 (Reproduction)、交配 (Crossover) 及突變 (Mutation)：

- (1) 複製：其目的在能夠找到好的個體作為衍生子代之重要判斷依據，主要係透過多目標函數及每一世代適應程度 (Fitness value) 之適應函數來進行評估。本研究根據前節所推導之多目標函數中之管理成本 (MC) 為主要控制之依據，其適應程度之評估函數如下所示：

$$F(i) = \min. \{ [0.1(DC)], [MC_{max} - \Sigma MC(i)]_{T,Q} \} \quad (20)$$

其中：

$F(i)$ = 每一複製過程之適應值。

$(MC)_{max}$ = 前節考量工期及品質之管理成本函數計算出最大之管理成本。

$\Sigma MC(i)$ = 前節考量工期及品質，所計算出每一與業主有直接合約關係之廠商，前節考量工期及品質之管理成本。

- (2) 交配：係複製中改變子代組成之運算元之一，其目的在於將母代所具有的特性加以合併，形成新的子代。基因交配方式分為單點交配及多點交配兩種[8]，本研究將利用單點交換運算來進行交配運算。
- (3) 突變：係複製中改變子代組成之運算元之一，其主要是任意改變染色體的子代結構之一個或多個組成要素 (基因)，產生具有不同特性之子代，一般會以機率方式來決定突變的發生，且發生突變的基因位置亦是隨機的 [8,16]。本研究亦將採隨機方式，以試誤法尋找一適當的突變機率，使求解效果最佳。

除前述三種運算元在 GA 演算法求解過程中重要之運算元參數定義外，對於初始族群解之假設、總世代 (Offspring) 數、族群大小、交換與突變機率值等均是決定 GA 演算法求得最佳近似解之優劣。

(四) 第三年繼續研究之方向及預期成果

本研究第三年繼續研究之發展，將著重於基因遺傳演算法求解程式之撰寫，特別是運算元之演算條件、參數設定及其結果分析比對等。此外，對於將業主建廠條件 (廠房條件、人力需求、企業文化、策略管理) 及單一作業項目中多目標 (管理成本最低、工期最短、品質最優) 之影響因子 (需求不確定性、分包數量、組織界面衝突程度及變設計頻率等) 納入基因演算法目標函數及適應值之考量，亦將是未來一年的研究重點。

總之，本研究第二年之研究成果將作為第三年研究之重要參考依據，在電腦程式撰寫上，亦將面臨重要之挑戰。此外，對於基因遺傳演算法所求得之最佳近解，本研究亦將藉由實際案例 (國家奈米元件實驗室新建工程及力晶半導體二廠)

之比對分析，進而驗證或修正本研究最後之成果。本研究最後之研究成果，除了將基因遺傳演算法運用於實際案例外，亦可瞭解每一種類型之專案團隊組織架構，因業主需求不確定性、分包數量、組織界面衝突程度及變設計頻率等因素，造成專案工程管理成本及工期之影響。

四、研究成果自評

在營建工程多目標之決策分析上，大部分僅探討可量化之成本及進度上之問題，對於品質的影響則較少被納入多目標之考量中。本研究延續第一年之研究成果，探討業主團隊之特性及其對整體專案團隊組織運作模式之影響，並從多目標決策理論，探討營建工程中成本最低、工期最短、品質最優三個主要目標之相關性，進而推導出相互之間之多目標函數關係。此外，本研究亦根據基因演算法之運算邏輯，定義運用於本研究之相關參數及條件，在研究成果上已初步達到初設之目標，惟在目標函值之量化、程式撰寫、歷代演算搜尋最佳近似解之判斷分析及實例驗證等，仍有待第三年的研究來完成。

五、參考文獻

- [1] Allan D. C., and Saloni M., "Issues For Construction of 300-mm Fab," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 126, No. 6, pp. 451-457 (2000).
- [2] Cheng, M. Y., Su, C. W., and You, H. Y., "Optimal Project Organizational Structure for Construction Management," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 129, No. 1, pp. 70-79 (2003).
- [3] Hegazy, T., "Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 125, No. 3, pp. 167-175 (1999).
- [4] Holland, J. H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems" Ann Arbor, The University of Michigan Press (1975).
- [5] Isidore, L. J., and Back, W. E., "Multiple Simulation Analysis for Probabilistic Cost and Schedule Integration," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 128, No. 3, pp. 211-219 (2002).
- [6] Leu, S. S., and Yang, C. H., "GA-Based Multicriteria Optimal Model for Construction Scheduling," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 125, No. 6, pp. 420-427 (1999).
- [7] Li, H., and Love, P., "Using Improved Genetic Algorithms to Facilitate Time-Cost Optimization," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 123, No. 3, pp. 233-237 (1997).
- [8] Li, H., Cao, J. N., and Love, P. E. D., "Using Machine Learning and GA to Solve Time-Cost Trade-Off Problems," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 125, No. 5, pp. 347-353 (1999).
- [9] Que, B. C., "Incorporating Practicability into Genetic Algorithm-Based Time-Cost Optimization," *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 128, No. 2, pp. 139-143 (2002).
- [10] Shoura, M. M. and Singh, A., "System Interrelations of Organizational Variables," *Journal of Management in Engineering*, ASCE, Vol. 13, No. 1, pp. 67-79 (1997).
- [11] 廖紀勳，「營建工程合作管理(Partnering)之研究」，國立台灣大學，碩士論文，台北(1997)。
- [12] 王維志、林俊昌、張書萍，「高科技廠房營建工程特性之探討」，營建管理季刊，第四十八期，第10-19頁(2001)。
- [13] 鄭奕孟、曾仁杰，「台灣高科技電子廠房施工問題之探討」，土木水利，第二十七卷，第四期，第102-112頁(2001)。
- [14] 鄭明淵、蘇振維、游弘煜，「營建工程最適施工團隊組織架構之研究」，中國土木水利工程學刊，第十四卷，第一期，第103-112頁(2002)。
- [15] 呂守陞、楊崇揮，「遺傳演算法在資源限制下工期成本交易最適化排程模式運用之研究」，中國土木水利工程學刊，第十一卷，第三期，第559-566頁(1999)。
- [16] 羅盛豪，「運用基因演算法則建構半導體測試區現場排程模式」，國立交通大學工業工程研究所碩士論文(1996)。