

模擬退火演算法在公共工程發包最佳化應用之研究

Application of the Simulated Annealing Algorithm to the Problems of Minimizing the Case of Public Construction Project

鄭進興¹ 蔡松谷²

摘要

營造業乃是所有經濟行為之基礎，營造業的發展亦與社會的進步有著高度的關聯性，小型營造廠受限於可動用資源，必須在公開招標的殺價競爭下尋求有效之存活獲利策略以達成永續經營的目的。模擬退火演算法已被證明為普遍有效之解決組合最佳化問題的工具，已被成功地應用在晶片排版製作上，藉由晶片排版的全區拓樸演化，當模擬降溫時可以求得最佳排列晶片版型。除此之外，目前已知之應用課題尚包括 IC 設計、影像處理、分散式網路、編解碼及對局理論等等，幾乎想像得到的課題皆可有效的應用。本研究提出一套以模擬退火演算法應用在丙級綜合營造廠承攬公共工程案之發包最佳化策略方法，以協助經營者能在公司外部條件及內部資源等相關限制之下，執行最佳化的發包模式，藉以獲取最大的利潤。

關鍵詞：模擬退火演算法、組合最佳化、小型營造廠、公共工程發包

Abstract

Construction industry is the basis of all the economic behavior. The development of construction industry is also highly correlated with the progress of the society. Small construction firms are restricted by the feasible resources. Therefore looking for an efficient strategy of survival under the competition of bidding and bargaining is crucial to accomplish the goal of sustainable management. The simulated annealing algorithm has been proven to be one of the most powerful tools to the combinatorial optimization problems. It has been successfully applied in the fields such as IC designing, image processing, distributed networking, encryption and game theories. It can be effectively applied in almost all the imaginable optimal control problems. In the current research we apply the SA algorithm together with a global landscape search scheme to the problems of minimizing the cost of the public construction projects. Under the constraints on the external environments and internal resources the SA algorithm is able to suggest the best contract out model to maximize the profit margin.

Keywords : Simulated annealing algorithm, combinatorial optimization, small construction firms, public construction project contract out

¹國立高雄第一科技大學資管系副教授

²國立高雄第一科技大學資管系研究生

1. 前言

營造業乃是所有產業之龍頭，營造業的發展亦與社會的進步有著高度的關聯性，小型營造廠因公司資源有限，無法像大型營造廠有較多的專業人才及資訊系統可供運用於公共工程標案之分析，且目前政府公共工程多採公開招標的模式，在同業殺價的競爭之下，如何有效運用公司現有資源，進行標案的選擇，及得標後之工程發包、工序安排，以獲取最大之獲利，是一個極為重要之課題。小型公共工程之施工期一般較短，故一套簡單且快速之工具協助過濾及選擇發包模式，是有其必要性的。近年來，由於經濟成長趨緩，甚至有負成長的情況出現，民間工程減少的同時，政府公共工程的預算亦偏低，同業流血殺價競爭時有所聞，在此低毛利的時代，如何能繼續維持公司生存，並更進一步地創造公司最大獲利，實為經營者嚴峻的課題。

1.1. 研究背景與動機

營造業為國家整體經濟建設的重要環節，並擔負國家建築基礎的重大任務，營造業的欣榮與否，與國民生計及國家經濟發展息息相關，且連動相關產業之發展，往往直接引領周邊產業的興衰，其不僅擔負國家基礎建設的使命，亦與經濟發展及人民生活息息相關。

營造業的發展與社會的進步有著高度的關聯性，民國 40、50 年代，台灣尚處於農業社會時期，營造建設需求不高，營造廠的家數有限。直至 60 年代後，政府積極推行多項包括十大建設、十二大建設...等重大公共工程基礎建設，直接加速了經濟的蓬勃發展，同時民間的廠房及住宅的需求亦不斷推升，在直接獲利的吸引下，營造廠如雨後春筍般地出現，直到民國 90 年代達到最高峰。其後則因經濟成長趨緩，營造廠的毛利每況愈下，演變到最後削價競爭，營造廠家數開始有減少趨勢。

表 1 丙等營造廠家數統計表

年底別 End of Year	丙等 Third Grade	
	家數 Houses	資本總額 Total Capital
九十年 2001	7,936	3,247,392
九十一年 2002	9,100	3,708,968
九十二年 2003	8,996	3,655,446
九十三年 2004	5,948	2,405,264
九十四年 2005	6,053	2,525,060
九十五年 2006	6,124	2,652,684
九十六年 2007	6,194	2,757,487
九十七年 2008	6,108	2,856,717
九十八年 2009	6,100	2,963,859
九十九年 2010	6,176	3,104,636
一〇〇年 2011	6,244	3,222,900
一〇一年 2012	6,340	3,376,962

資料來源：內政部營建署



1.2 研究方法與目的

模擬退火演算法是近年來發展出來的組合最佳化問題求解利器，是由 Kirkpatrick 等人於1982年首度提出(Kirkpatrick et al, 1983)。本研究之基礎在於將「公共工程發包」以「組合最佳化」之形式建構出數學模型，並以模擬退火演算法(Simulated Annealing, SA)為工具執行發包最佳化。對於丙級營造業者來說，成本控制率是經營模式的關鍵成功因素，可透過工地主任的專業能力以及管理能力來降低工程的成本支出(林宗輝，2006)。

本研究之目的則在於協助小型營造廠管理決策人員在短時間內，依據標案性質、金額大小、工程項目及工序安排等因素，選擇最適合之發包管理模式，以節約施工成本，將所有成本最小化，在各競爭廠家材料成本差異不大情況下，藉由發包模式最佳化的組合達到成本最小化，並兼顧現有執行工程成本考量下，達到公司獲利最大化之目標。

2. 文獻探討及相關研究

2.1 相關文獻

本研究主旨在求得公司發包最低成本以獲取最大利益，在有限的資源下，決策承攬標案的最佳選擇，並於各標案的等標期間內完成備標作業，以及於各得標案件的施工期限內，找出最佳化發包模式。在文獻參考及回顧方面分為三大部份：1.有關工程競標及競標決策等相關文獻。2.競爭策略、成本控制等相關文獻。3.最佳化等相關文獻。

2.1.1 工程競標及競標決策

因工程競標的外部及內部變數相當多，考量的要點或切入面向或多或少有其差異，在此列舉從不同觀點切入或不同方法發展的文獻。

Friedman(1956)提出機率式競標模型，他認為廠商投標時所預設的利潤加成率(Markup)的成數，與廠商在競標中得標機率之大小成一反比關係。即廠商投標時所設定的利潤成數愈高則得標機率愈低。因此廠商需在利潤與得標機率間作取捨，而做出最佳的決策，即以廠商在競標中可得到最大期望值為決策之原則。

Ahmad(1990)認為投標的首要考慮要項就是是否要投標，而決策的考量是基於專案的整體價值、公司目前的市場定位、目標限制、資源限制以及市場狀況。因此將影響標價的因素歸納為專案、市場、公司及資源等四個範疇。

劉昌南(2004)利用歷史標案資料，對歷史文獻中Friedman(1956)提出的機率式競標模型、Gates(1967)著重的營建工程競標模型及Carr(1982)的多變數統計技術等重要競標模型作驗證及比較，藉此建立一個同時考慮得標機率與成本攤平的競標機率模型，以適用於激烈的競標環境，幫助營造業者利用模型理性計算為投標作決策，以免因為猜測與僥倖心理，導致決策錯誤。

曾坤發(2005)根據營建工程特性與決策考慮因素，引用Ahmad和Minkarah(1987)提出競爭性招標情勢下，以效用函數建構廠商的投標決策模式。該模式將利潤分成損失



方面、經常性開支方面、獲利方面等三項不同的情況。另考慮三個不確定情況：意外事故支出、估算成本差異及得標機率。決策者對於各項不確定風險的偏愛，以效用函數主觀的態度充分反映在投標決策上。

2.1.2 競爭策略及成本控制

陳景隆(2007)認為最近幾年國內營建市場快速萎縮，廠商間因為競爭而追求品質提升或降低價格，競爭力也因而增強，但也因參與競爭廠商多，業主對產品的知識及買方的權利提高，要求簽約前之建議服務及相關的品質保證，使總成本提高。小型營造公司應該著重在管理上提升獲利能力，良好的管理機制，才可以使勞動成本降低，良好的施工品質可以減少驗收爭議，有助於降低總成本。

根據統計，工程公司倒閉大部份是因為現金週轉不靈，可見財務管理及成本控制對工程公司而言是非常重要的。工程公司購置機具、材料及工資發放等，均需要先行支出，然而收入常為遞延收入，如何妥善控制成本，做好財務管理，進而發展對公司有助益的競爭策略，是非常重要的課題。

林純民(2005)指出營造廠在備標程序中有三大階段性問題：一、工程資訊的蒐集；二、估算作業及競爭對手的資訊；三、標價訂定及投標。而在備標階段若無縝密的考量，將會影響其執行成果。該研究針對於大中小型營建廠商在公共工程中從得知相關資訊，在備標準備，到投標過程中做出歸納，並針對營建廠商如何訂出合適的標價，充分了解影響因子有何差異性。

2.1.3 最佳化相關研究

以往文獻，有關最佳化理論資源供需部份，如資源排程、人員排班指派等問題，均具有決策週期較短、循環性較高、及尋求供需關係平衡的特性，即以滿足各項內外限制條件下，平衡供給與需求，透過數學最佳化方法求得最佳解。過往探討營造廠之論文，均著重於工程流程中各階段單獨問題，如投標階段備標、競標作業探討，施工階段資源指派及成本控制等，少有將發包策略及施工中資源運用加以結合探討。

本研究在本質上屬於最佳化的問題研究，係利用規劃的方式建構最佳化模式求解。其目的在事先規劃得知在眾多的公開招標案件中(限制性招標及異質性工程招標因屬性不同，不在本研究範圍內)，選擇標案來投標對公司獲利最有助益，並在備標、施工及結案階段，因應不同階段的需求進行最佳的發包模式，使公司的獲利達最大化之目標。

1. 模擬退火演算法

從大自然觀察到的現象，科學家發展出模擬退火法與遺傳演算法。但是由於人類能力的限制，這兩類方法也持續的被研究者加以研究及應用。現今科學家們仍然繼續努力在各種最佳化演算法的探討，希望能在人類有限的的能力與時間內，盡量地解決各種最佳化問題(李世炳、鄒忠毅，2002)。

模擬退火演算法的命名是因為其模擬物質退火結晶成固體的過程中，結晶固體被



加熱，然後使其非常緩慢的冷卻，直到它形成最完整、完美晶體的晶格結構(例如：最小的晶格能量狀態)，因此是沒有晶體缺陷；如果冷卻時程足夠緩慢，最終的構造會產生具有這樣的最佳結構固體。模擬退火演算法為離散最佳化問題，在熱力學行為和搜索整體最小值之間建立連接(Jayaraman R. & R. A. Rutenbar, 1987)。

模擬退火演算法對一個離散最佳化問題作的每次迭代運算；目標函數都會產生兩種方案值（當前方案和新選擇方案）進行比較，對於逐次有改善的方案總是會被接受的，若接受的一小部分無改善（劣）的方案，並且期望能跳離局部最佳化；朝向搜索整體最佳化方案。接受無改進方案的可能性，關鍵在於溫度參數，若溫度參數在每次迭代演算中為典型無增的，無改進方案就可能被接受。

在每一個迭代過程，隨機擾動原先的狀態，產生一個新的測試狀態，如果所產生的能量較原先為低，則接受此新的狀態；相反的，則其被接受為新的狀態的機率為波茲曼機率值。

模擬退火演算法是一個一般性的啟發式搜索模式，其用於解決離散、較小程度之連續最佳化問題。模擬退火演算法的關鍵特徵是提供了一種方法，藉著爬山移動跳脫局部最佳化，希望能找到一個整體最佳化。當溫度參數降到零、爬山運動發生頻率較低，並將該方案分配與非齊次的 Markov Chain 模擬演算法收斂的行為，可能地集中在全區最佳的方案集合中。

2. 其它演算法

(1) 接受(Threshold Accepting)

對於隨機過程函數求取近似解之迫切需求；1990 年 Dueck and Scheuer 和 Moscato and Fontanari 分別提出門檻接受演算法，而此處之接受函數被定義為在迭代的門檻值，此門檻值通常為確定、無增的階梯函數。Dueck and Scheuer 的研究計算結果意味著，就推銷員旅行問題上，相對整個傳統的模擬退火演算法其解的品質、運算時間都有巨大的改善。Moscato and Fontanari 的報告更保守的說明結果—模擬退火演算法的機率接受函數在逼近的最佳解的搜索中並沒有發揮主要的角色，所以 Althofer and Koschnick 在 1991 年專門為門檻接受演算法開發了一個收斂理論。依據 Althofer and Koschnick 提出的想法，對一個有限門檻序列僅可以存在有限個門檻值，但是每一次迭代中溫度的實值特性，模擬退火演算法卻有無限多的轉移矩陣。因此針對一個給定的問題，每一個模擬退火演算法之轉移矩陣可被表示成為有限多個門檻接受的轉移矩陣。

(2) 噪音擾動法(Noising Method)

Charon and Hudry 於 1993 年首先提出一個簡單下降演算法稱為噪音擾動法。該演算法首先針對問題的目標函數值，藉由添加隨機噪音去擾動方案空間。在演算法的執行期間允許再次出現的原始問題結構，噪音逐漸減小到零。依據 Charon and Hudry 提供的計算結果並不能證明該演算法將漸近收斂到整體最佳解集合。

在 2001 年，Charon and Hudry 另外提出噪音擾動方法涵蓋模擬退火和門檻值接受



演算法。此外 Storer 等人利用本地搜索演算法，藉由整合快速、特定啟發式搜尋問題，就排序問題提出了一種最佳化策略。它的主要貢獻是基於一個啟發式的問題對(H,P)搜索鄰域的定義，其中 H 是一個快速、已知、針對問題特定的啟發式搜尋策略，且 P 代表問題的數據。

藉著擾動啟發、問題、或兩者兼而有之，將有助於搜尋方案鄰域。這鄰域將形成局部搜索的基礎。希望此擾動將好的方案群集在一起，使其更容易進行局部搜索。

(3) 禁忌搜索(Tabu Search)

禁忌搜索是各種離散最佳化迭代局部搜索策略的一個總體框架，禁忌搜索算法使用控制演算法的執行，藉由禁止移動的動態列表之記憶概念。這使得禁忌搜索演算法是在一個給定的問題方案空間中，去強化或分散其搜索性能，並致力於避免被局部最佳化。在一般禁忌搜索演算法的文獻中，沒有收斂存在之證明，Faigle and Kern 在 1992 年提出了一個特別禁忌搜索算法與稱為概率禁忌搜索，為一種啟發式之模擬退火演算法；概率禁忌搜索是試圖將模擬退火漸近最佳化、禁忌搜索記憶功能兩者充分融合發揮。在概率禁忌搜索方面，每個候選方案生成和接受的概率視為溫度參數和在先前的迭代獲得的信息的函數集合。

(4) 基因演算法(Genetic Algorithm)

基因演算法是一種模擬生物系統演化行為。藉由使用基因啟發隨機方案轉移運算子集合去變換候選方案的每一個種群成為後代種群，他們所產生方案種群的序列對底層最佳化問題。三種最流行的轉移運算子為複製，交叉和突變。

Davis 及 Rudolph 曾分別嘗試使用齊次有限 Markov Chain 技術去證明基因演算法的收斂，但都無法與該範圍內所發展的模擬退火理論相比較。

Mühlenbein 於 1997 年基於種群基因，提出了一種基因演算法理論分析。他認為流行概念為模擬自然界現象都最優於其他模型。進化演算法靈感來自於大自然，但不一定要複製大自然現象。轉移運算子行為和設計新的基因運算子，其與事件的本質沒有必然的關係，但在實際上卻表現良好的特性。模擬退火常被批評有時候收斂速度很慢，但在 1998 年 Delport 用進化演算法結合模擬退火演算法，以提高方案的速度和品質之性能，基於對熱平衡的選擇強度方面作快速識別，他改進冷卻時程增進模擬退火和進化選擇這種混合系統，這種技術可導致演算法更快的收斂。

Sullivan and Jacobson 於 2000 年參考廣義爬山演算法，利用模擬退火演算法鏈接基因演算法。運用廣義爬山演算法框架公式化，將爬山演算法與基因演算法聯繫起來作成模擬退火演算法的橋樑。雖然基因演算法已被證明是能有效解決棘手的離散最佳化問題、歸類為另一種類型的爬山演算法，基因演算法與廣義爬山演算法的鏈接，意味著與其他廣義的爬山演算法（如模擬退火和門檻值接受）提供可建立良好定義關係的方法。他們還提出兩種基因演算法的公式，向基因演算法和其他本地搜索策略(如模擬退火)之間的橋樑邁出了第一步。他改進這種混合系統的模擬退火和進化選擇通過改進冷卻進度表的基礎上選擇強度方面中的熱平衡的快速識別。這種技術的結果的算法



更快的收斂。

3. 系統規劃與設計

3.1 研究方法

- (1)針對目前業界決策管理階層對標案的選擇及發包執行現況進行探討及了解，探討標案選擇及下包廠商選擇運用之問題所在，並就該問題尋求可行方案。
- (2)蒐集相關文獻資料，探討有關獲利、資源運用、最佳化等相關文獻，探討最佳化排程與標案承攬選擇與資源運用的關聯性。
- (3)定義數學模式之限制條件與變數，針對工程案件的特性加以釐清，並將工程案件特性及資源條件轉換成限制條件或限制條件所使用之參數。例如將標案工作量、工期等限制條件，予以量化，連同目標式，建構最佳化數學模式，由建構之數學模式，再與實務操作情形作比對分析排除不合理之現象，使模式建構合理化。
- (4)模式參數之擬訂，將各案件之基本資料如、得標合約金額、工種、工項、工資、效率、以及工期等時間條件，設定基本參數資料，作為調整建構模式可運算之合理參數資料。本研究對於不可預期之變動因素忽略不計。

3.2 研究流程

- (1)首先發現問題、進而探討問題、釐清問題，針對問題界定研究之目的、範圍及方法。
- (2)搜尋國內外與標案承攬選擇及資源指派運用相關之期刊、報告、論文等文獻，並分類整理與比較，與本研究相關部份予以參考及引用，完成後則決定模式求解的方法，在本研究中則以整數規劃為研究重點，以決定整體獲利最大化。
- (3)依本研究之目的及一般實務面作法，先定義各項參數意義及設定參數範圍，再逐項量化各相關參數資料，並設定目標函數之意義及各項限制條件之限制目的，並與實務運作情形相互比對。
- (4)在模式建構方面以模擬退火法為基礎配合軟體，列出目標函數及限制式，建置參數資料，利用軟體求解。
- (5)模式建構完成後即可選擇實際案例輸入做測試，重複測試以尋找有無錯誤因子，並進一步檢核參數及數學模式，以使測試結果直至合理為止，再進入下一階的敏感度分析。
- (6)當模式測試正確無誤，其求解結果亦合理，且敏感度分析亦明確指出何種參數對目標函數的影響較大，此模式即可運用於實務上，提供營造廠決策之參考。

3.3 數學模式

近年來由於整體經濟不景氣，加速營造廠各公司間惡性競爭，使得承包商無法獲得合理工程利潤，導致工程品質低落，間接影響業主權利。因此問題若單純僅以發包金額作為唯一目標，並配合部分限制條件應用上是不夠的，原因在於模式雖對公司作若干適當承攬限制，但仍會出現承包商得標的工程內容與承包商實際經營項目出現差



異的現象發生，這意味承包商可能會將工程再次轉包，如此層層轉包的結果將導致工程品質低落，亦使業主蒙受損失增加工程風險，為此本研究數學模式的目標式除了考量發包的金額外，亦顧及工程發包風險。其中，目標式(3-1)以控制工程發包金額為主要考量，追求降低營建工程合理發包總成本 (Z)，所以當承包商之投標價格越低時，其投標價就越具工程競爭力。

本研究的參數符號定義如下：

Z：表示合理發包工程金額(單位：佰萬元)。

i：表示第i家承包商。

j：表示第j項分包工程。

n：表示有n家承包商參與工程競標。

m：表示有m項分包工程需發包的件數。

Cij：表示承包商i對分包工程j的投標價(單位：佰萬元)。

Dj：表示分包工程j的工程契約底價(單位：佰萬元)。

決策變數之定義如下：

Xij：決策變數 $\begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ ；若Xij = 1，表示i承包商承攬j項分包工程；反之，則Xij = 0。

歸納問題假設條件及問題目標需求，可得下列問題數學模型：

目標函數(發包總成本, Z)：單元：萬元

Cij：承包商i對工項j的報價, i：1.....n家包商
j：1.....m項工項

Dj：工項j的契約底價

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot X_{ij} + O_{ij} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$C_{ij} \cdot X_{ij} \leq D_j \dots\dots\dots (3-2)$$

此處的Cij假設材料直接成本各承商均相同，故Cij僅為工資+管理費，為分項工期之函數。

Oij亦為分項工期之函數(對主要徑之工期影響)。

以下是我們應用模擬退火演算法求取上述目標函數之最佳化的虛擬碼。

```

Procedure Simulated Annealing;
{ General form of an SA optimization }
S:= So ; { 初始值 }
Initialize heuristic parameters; repeat
    
```




```

NewS: =perturb(S);
If accept (NewS, S) then S: =NewS;
until “time to adapt parameters ”;
Adapt Parameters ;
until “terminating criterion”;
end;

```

其中的函數選擇原則如下:

(1)接受函數 acceptance function 如下型式

If $(h(\text{NewS}) < h(S))$ or $(\text{random} < e^{-(h(S)-h(\text{NewS}))/T})$

Then accept: = true

Else accept: = false;

此處 T 為 heuristic parameter 啟發參數或溫度, random 為亂數 range 在 [0,1] 之間

(2)termination criterion 是指跳出迴圈的限制。

模式說明：

目標式(3-1)：

對於工程發包金額部分，主要由各承包商對各工程的投標價所構成，若某承包商對於部分工程不具投標資格或無意競標則將該投標價設定為極大值，如此可避開此分包工程被該承包商得到。

限制式(3-2)表示底標價的範圍限制：

為使工程發包價格控制於合理的範圍，以發包單位的工程底價為基礎，將底價分別乘以上、下限係數以訂出合理發包金額範圍，如此可避免削價競爭或拉抬標價的情事發生；本研究將分包工程底價，依決策者所訂定之規範實施，本研究設定下限係數為0.7，上限係數為1.3。

為使工程達到專業分包，因此每一分包工程僅能由一家得標，如此可使工程單純化；所謂多評準決策就是能夠同時解決多個相互間具有衝突性目標問題的決策技術(林純民，2005)。

本研究發包決策模式為多目標零壹整數規劃問題。值得注意的是，單目標規劃所求之解為最佳解，多目標規劃問題則沒有最佳解，但多目標求解所得到之結果，對應於決策空間為一效率解 (efficient solution) 或對應於目標空間之非超越解 (non-dominated solution)、非劣解 (non-inferior solution)。

效率解與非劣解具有互相對映之特性。在多目標規劃中，決策空間之狀態可以直接對應到目標空間，以表達各目標函數值之變化。

一般多目標數學規劃問題可依決策者偏好訊息進入求解過程之時機，分為以下四類(Hwang, 1979)：

- (1)決策者(decision maker)不提供偏好資訊，例如Global Criterion Method。
- (2)決策者於求解進行前提供偏好資訊，例如Utility Function; Weighting Method。
- (3)決策者於求解完畢後提供偏好資訊，並選擇其偏好解，例如Parametric Method。
- (4)求解過程中，決策者資訊與求解過程互動，例如Surrogate Worth Trade-off



Method。

然而，根據這四類求解方向，亦分別包含多種求解方法。本研究採用權重法 (Weighting Method) 進行多目標問題之求解，至於其他方法可作為後續研究。在本模式所用的權重法中，可根據發包工程的決策者之經驗與偏好，設定不同之權重，再依據該項權重向量，將原多目標式加權合併成為單一目標式後再進行求解，可藉由不同的權數變動，求得非劣解集合以供決策者選擇。

3.4 系統功能架構

傳統單點搜尋之模擬退火演算法可搜尋到全域最佳解，但實際上可能會因為初始參數集合不佳或是其同溫度之擾動次數太少，以致陷入局部最佳解而無法找到全域最佳解。因此，為了改善無法找到全域最佳解的缺點，我們提出多點搜尋的方式來解決初始參數集合不佳或擾動次數太少導致無法找到最佳解之問題，以增加搜尋方向來提高參數的品質，使得同時能減少搜尋系統全域最佳解的隨機性並且能確切的找到搜尋空間之全域最佳解。以下圖 1 是本研究所提出的系統流程架構。

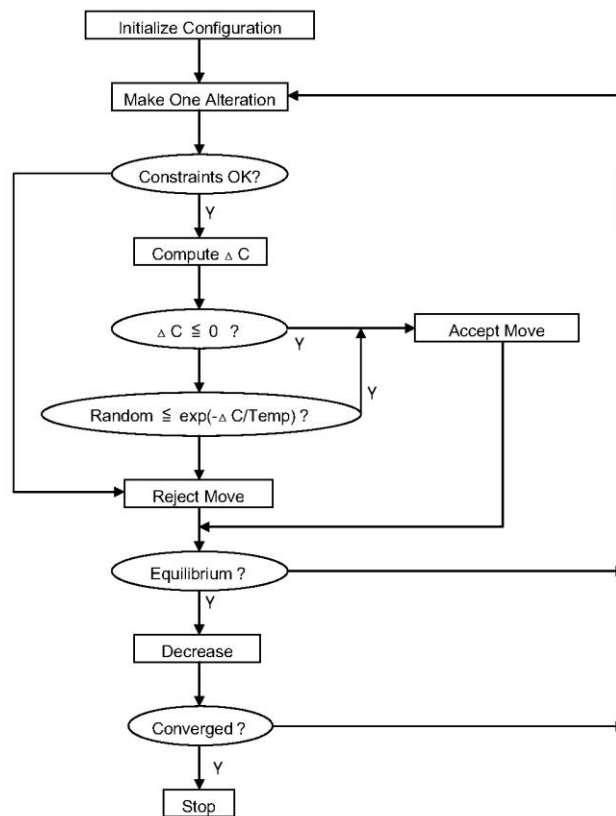


圖 1 系統架構圖

4. 結論與未來研究方向

4.1 研究成果



為能將本研究所建構之數值分析模型，用於求解實際工程發包成本最佳化問題，應用本研究之數值模型進行運算模擬分析，並與實際分包情形加以比較和討論，以確定本研究按實際工項分包問題所發展建構的數值分析模型，具有相當之適用性與處理能力。

本研究之數學模式係以最佳化之方式求解，模式導入動態決策的觀念，其架構之優點為簡單明瞭，可符合小型營造廠標案金額小、等標期及工期短，以及員工少之特色，模式之修改亦相當方便。當外部或內部條件改變時，本模式可立即依原有之模式架構及改變後之條件修改或增減其參數，即可以求出工程發包最佳選擇，提供決策者參考。台灣的發包制直接限制了營造業的型態及競爭方式，絕大多數單位的工程招標，最低價位是得標的絕對條件，競標又為營造業取得工程的主要方式，於是廠商的利潤受限於同業的競爭，很少會存有長期的利潤，利潤的來源多半來自管理費用的樽節。

營造廠為求能在競爭激烈的環境中生存與獲利，「價格」便成為營造業在選擇分包商時，第二重視的關鍵因素。近年來由於營造業不景氣造成公司間惡性競爭，使得承包商無法獲得合理工程利潤，導致工程品質低落進而間接影響業主權利。因此問題若單純僅以發包金額作為唯一目標，並配合部分限制條件應用上是不夠的，原因在於模式雖對公司作若干適當承攬限制，但仍會出現承包商得標的工程內容與承包商實際經營項目出現差異的現象發生，這意味承包商可能會將工程再次轉包，如此層層轉包的結果將導致工程品質低落，亦使業主蒙受損失並增加工程風險，為此本研究數學模式的目標式除了考量發包的金額外，亦顧及工程發包風險。其中，目標式(3-1)以控制工程發包金額為主要考量，追求降低營建工程合理發包總成本（Z），所以當承包商之投標價格越低時，其投標價就越具有工程競爭力。

4.2 結論

自從模擬退火演算法發表以來，已有不少「改進」的新方法出籠。美國橡嶺國家實驗室的波哈謝斯基（I.Bohachevsky）等人 1986 年即提出「一般化的模擬退火方法」（generalized simulated annealing, GSA）。並衍生了波茲曼機器（Boltzmann machine）的方法等。模擬退火法中的溫度是隨著退火的時候有所改變，因此如何對溫度作有效的調整就變成整個模擬退火法最重要的一環。使系統組態在能量曲面上做無規行走（Random walk），並且透過波茲曼概率分布函數對能量的選擇，使系統組態逐漸變化到能量最小值處。

本研究主要突破在於保留了原先模擬退火演算法良好的局部搜尋能力，更藉著導引函數（Entropy Limitation Function）的幫助，加強了這個方法的全區搜尋能力。亦即在進行局部搜尋之前先進行全區能量曲面拓撲的搜尋以避開局部最低值。

基於退火演算法的冪級數收斂速度，通常應用在多個短項數的問題可以較單個長項數的應用有較佳執行效率（R. Azencott, 1992）。本研究經由輸入四組獨立的工程成本數據，從圖 2 中可以看出當工項數增加時，所需計算次數隨之以冪函數增加，這 4 組完全退火之發包成本數據，分別有工項數為 16, 26, 48, 及 93；收斂速度 = 10^{-5} 。從圖 2 工項數對收斂速度的影響，可見明顯的平原效應。圖 3 則可以看出平均計算成本



與迭代演算數的關係。

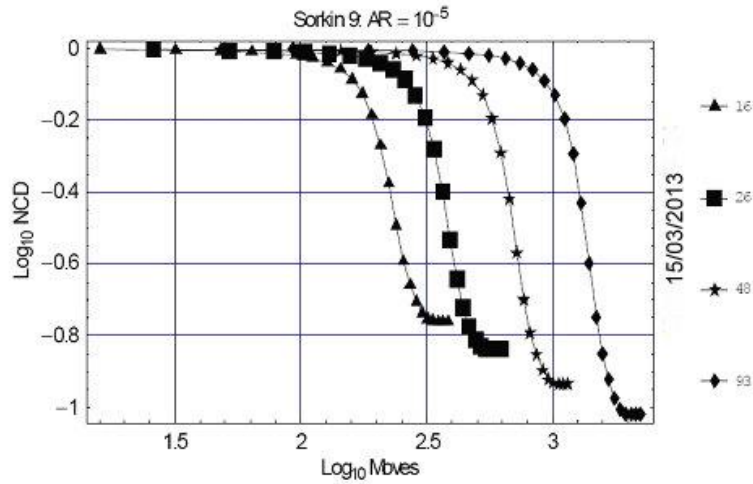


圖2 工項數對收斂速度的影響

其次是終止疊代的條件(收斂區間)：設定溫度的臨界值，當溫度小於此值時，則停止搜尋。因此，其值愈小時，其解的品質相對的會變高。

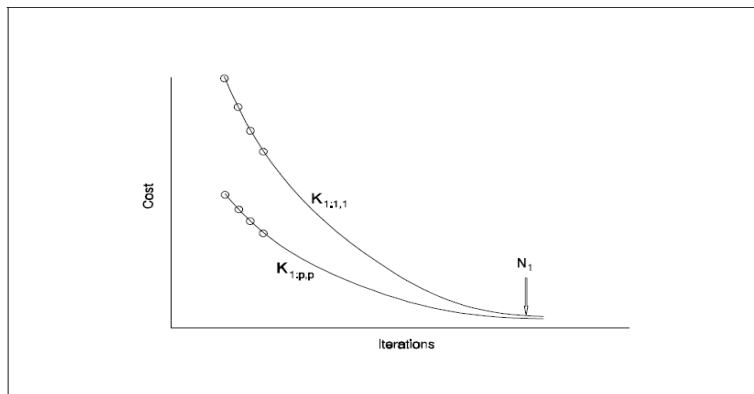


圖 3 Average Cost 對工項數(Run Length)之影響

由前述計算結果可以得出結論如下：模擬退火演算法藉由爬山運動可以避免陷入局部最小值。其次，演算法的速率受起始溫度、工項數及降溫速率影響極深。

且經過本研究可發現，不同的發包組合可得到不同的最佳化解。工期與工程成本的關係，因加入了管理成本的考量，形成一個組合最佳化 NP-complete 問題。藉由模擬退火演算法可提供工程單位未來在發包時的依據。

建議未來可建構一個成本最佳化發包模式，模式中考慮廠商的施工效能影響因素，配合如工程品質評鑑制度、廠商能量評估等方法作持續性評鑑記錄，充分掌握廠商體質指標以建立廠商的品質資訊，予以數據化並具體納入模式中推導(張吳清俊，2004)。並可將營建工程中工項對主要徑的影響納入考量，以提高最佳化之效果，並可提供業主單位於發包前之營建工程風險評估與工程成本估算之參考。



參考文獻

1. 李世炳、鄒忠毅(2002),「簡介導引模擬退火法及其應用」,物理雙月刊廿四卷二期, 307-319 頁。
2. 林純民(2005),「營造廠備標作業之探討」,國立高雄第一科技大學營建工程系碩士論文。
3. 林宗輝(2006),「營造業經營模式關鍵成功因素之研究--以台灣綜合營造業為例」,國立成功大學高階管理碩士在職專班碩士論文。
4. 陳景隆(2007),「小型營造業經營策略之研究」,朝陽科技大學營建工程系碩士論文。
5. 曾坤發(2005),「以效用函數探討營建工程之競標策略」,國立高雄第一科技大學營建工程系碩士論文。
6. 張吳清俊(2004),「工程決標應用最佳化理論模式之研究」,國立中央大學土木研究所碩士論文。
7. 劉昌南(2004),「以成本攤平為導向之機率競標模型」,國立高雄第一科技大學營建工程系碩士論文。
8. Ahmad, I. (1990),“ Decision-Support System for Modeling Bid/No-Bid Decision Problem,” *Journal of Construction Engineering and Management*, 116(4), pp.595-608.
9. Azencott R. (1992), “Simulated Annealing: Parallelization Techniques,” New York: John Wiley & Sons, Inc..
10. Friedman, L. (1956),“ A Competitive-Bidding Strategy,” *Operation Research*, 4(1), pp.104-112.
11. Jayaraman R. & R. A. Rutenbar (1987),“ Floor Planning by Annealing on a Hypercube Multiprocessor,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer-Aided Design*, pp. 346-349, Santa Clara, CA.
12. Kirkpatrick S., C. D. Gelatt & M. P. Vecchi (1983),“ Optimization by simulated annealing,” *Science*, 220(4598), pp.671-680.

