

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

工程進度規劃自動建議與評核系統

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2211 - E - 009 - 089 -

執行期間：2000 年 08 月 01 日至 2001 年 07 月 31 日

計畫主持人：國立交通大學土木工程學系 曾仁杰

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學土木工程學系

中 華 民 國 90 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

工程進度規劃自動建議與評核系統

ScheduleCoach An Automated Schedule Advisory System

計畫編號：NSC 89-2211-E-009-089

執行期限：89年08月01日至90年07月31日

主持人：國立交通大學土木工程學系 [曾仁杰](#)

共同主持人：

計畫參與人員：

一、中文摘要

施工前良好的進度規劃有助於營建工程專案得以順利進行，隨著工程日益複雜龐大，進度網圖往往包含數百甚至上千個作業項目，然而受限於規劃者的經驗、能力及容許時間，網圖中往往存有筆誤、疏忽、矛盾或不合法規的錯誤。未避免影響日後工程進度而導致公司損失，這些錯誤必須於施工前改正，然而龐大的作業數量很難以人力去檢查核對。本研究藉由文獻探討、專家訪談和工地實地觀察蒐集高層建築進度排程相關之原則和評核知識，依評核原因、目的、立場觀點與型態分類歸納，嘗試提出一結構化可用以表達評核原則之一般模式，並合併採用法則式推理與案例式推理建立一輔助進度網圖評核之電腦系統，名為 ScheduleCoach。ScheduleCoach 可找出進度網圖中不符合評核法則知識庫之潛在錯誤，並且針對錯誤以案例式推理的方式尋求過去類似案例之參考值進而提出修正建議。

關鍵詞：排程、專家系統、案例式推理、法則式推理

Abstract

Planning and scheduling is one of the key factors to the success of a construction project. Because of the increasing complexity and size of construction projects nowadays, pre-construction schedules tend to comprise a large number of activities and much related information. The schedules often contain unintentional errors and conflicts, and those due to the lack of experience. These mistakes need to be corrected, and often they can be corrected easily by an experience scheduler. However, due to the number of activities involved, sometimes these mistakes are hard to be found.

With the increasing power and decreasing cost, personal computers have become a common tool used by construction experts to facilitate their daily decisions such as scheduling, cost estimation, and cash flow analysis. This research applies artificial intelligence techniques (i.e., case-based reasoning and rule-based reasoning) and develops a computer system

called ScheduleCoach, which can analyze a computerized schedule and provide corrective advises. The current knowledge base of the system focuses on high-rise building construction.

Keywords: schedule, expert system, case-based reasoning, rule-based reasoning

二、緣由與目的

施工進度規劃之良窳直接影響營建工程專案的進行，隨著工程日益複雜龐大，進度網圖往往包含數百甚至上千個作業項目，然而受限於規劃者的經驗、能力及容許時間，網圖中往往存有筆誤、疏忽、矛盾或不合法規的錯誤。為避免影響日後工程進度而導致公司損失，這些錯誤必須於施工前改正，但龐大的作業數量難以人力進行檢查核對。

本研究藉由文獻探討、專家訪談和工地實地觀察蒐集高層建築進度排程相關之原則和評核知識，依評核原因、目的、立場觀點與型態分類歸納，嘗試提出一結構化可用以表達評核原則之一般模式，並合併採用法則式推理與案例式推理建立一輔助進度網圖評核之電腦系統，名為 ScheduleCoach。ScheduleCoach 可找出進度網圖中不符合評核法則知識庫之潛在錯誤，並且針對錯誤以案例式推理的方式尋求過去類似案例之參考值進而提出修正建議。

三、文獻回顧

進度排程系統之相關研究大致可分為自動排程系統及評核系統。

自動排程系統係利用使用者所輸入的工程資訊自動產生進度網圖資訊，通常包括作業項目和作業關係。在此領域過去十年間有許多研究成果，例如 GHOST [1]、Construction Planex [2]、ConsPlans [3]、CASCH [4]、BUILDER [5,6]、TCIS [7]、CasePlan [8] 等等，其中 Construction Planex、CASCH 和 CasePlan 考慮資源並藉以計算各作業之工期，CASCH 和 TCIS 則強調物件導向之設計。除 CasePlan 外各系統皆採法則式推理亦無機械學習能力。Construction Planex 和 BUILDER 之知識庫以高層建築為主，TCIS 以橋樑工程為主，CasePlan

以中型火力發電廠之鍋爐建造工程為主。

進度評核系統目前僅有 De La Garza 發展的 CRITEX 系統[9]。CRITEX 以多種知識擷取方式(如專家訪談、文獻彙整、實作觀察等)歸納出針對中高層建築工程之排程製作(schedule generation)與進度執行間之分析(in-progress analysis)兩部份作評核。在排程製作部份,作業工期、要徑數目、浮時與成本等之合理性為評核重點;在進度執行間之分析部份,作業完成進度、成本支出和資源使用為評核重點。CRITEX 系統中擁有許多的排程評核知識,但這些知識僅以一般閱讀文句的方式紀錄,例如「要徑數目不應太多」等定性敘述方式,意義模糊而不具體。若進度網圖不符合評核法則的時候,CRITEX 未能提供如何去修正的建議。此外,CRITEX 並不能與目前使用普遍的 Microsoft Project、P3、OPP 等進度排程軟體配合運作,實不能發揮其自動評核之功能。加上過往發展的自動排程系統所排出的工程進度網圖,大多過於粗糙零散,仍須待進度工程師再行修改調整方能實際使用。面對龐大複雜的營建工程專案,更使得進度網圖的規劃需要豐富的經驗與工程師的理解與判斷才能完成,並無法完全自動化產生。因此,本研究欲利用電腦的精準計算與核對能力來評核工程師已製成的網圖,協助從中除錯。

本研究分析所取得之評核知識,發現針對如何查核網圖中是否有錯誤之評核知識在不同專家中較有共識,且易以規則的方式表達,法則式推理正是提供評核推理的良好工具之一。然而,針對網圖錯誤之修正建議則發現專家較難提出通用的修正公式。針對此部份之推理機制本研究決定以案例式推理方式獲得,理由為:案例式推理的概念為是以修改過去舊記憶中存有的解來解決新問題,故對於一個新的情況,案例式推理會將過去記憶與之比對,去尋找過去最相似的情況以對新狀況提出解答[11,12]。因此,相對於法則式推理,案例式推理與人類思考模式甚為接近,所以被廣泛應用於須要依賴經驗與技巧解決問題的領域,而網圖錯誤之修正建議正是此領域的問題。

四、進度排程評核知識

本研究所指之進度排程評核,係指對進度網圖中各作業項目的工期、成本、前後關係等各部分,評判與核對其是否合理或尚有可改善之處,而評核知識則是藉以進行評核的法則。本研究透過文獻回顧、專家訪談與實際觀察等三種知識擷取方式,蒐集與高層建築相關之進度規劃或評核知識,所得知識並依其原因與目的、立場觀點以及評核型態等三種分類型式進行歸納與分析。

本研究所探討文獻主要涵蓋國內外與工程進度規劃及評核之相關書籍[13],[14]及學術與專業論文(如[10])。正式訪談專家以國內中、大型營造廠商(包括大陸工程、達欣工程、根基營造)和工程顧問公司(包括中華顧問公司)為主,包括三位工地主任、四位工程師。除此之外,研究小組亦至公務人力發展中心和富邦敦南大樓工地現場

進行為時三個月,約每週一次的實地觀察,期間並訪談兩位工地主任、兩位監工,蒐集合約進度網圖、月進度報表、工作日記等與進度規劃與評核之相關資料。所蒐集之評核知識經歸納大致可分成:(1)排程基本必要的原則與邏輯(如不可出現負浮時)或大部份專家皆認同於排程時所須遵守之原則(如樓層的建造順序)。(2)部份專家認為可改善排程品質(如網圖可讀性、縮短工期)之原則,此部份通常與個人施工經驗有關,亦可能隨公司性質或個人經驗而不同。

評核知識之表達包含所要評核之對象(指專案和其排程資訊)與評核原則之描述。本研究以物件表達專案和其排程資訊,以法則表達評核原則。

本研究定義之主要排程物件有 Project (Proj)、Activity (Act)、Link 和 Resource (Res)。Proj 用以描述專案之基本資訊,其主要屬性包括工程名稱、開工日期、網圖等。Act 存放於 Proj 之網圖屬性中,用以描述排程網圖中之作業項目,其主要屬性包括作業名稱、預定工期、使用資源等。Link 用以描述兩個 Act 之邏輯關係,其主要屬性包括前置作業、後置作業、作業關係等。Res 常存放於 Act 之使用資源屬性中,用以描述該作業所使用之資源,其主要屬性包括資源名稱、使用數量、單位費用等。物件屬性的表達於所屬物件之後,並且中間以點"."隔開,例如混凝土澆置.預定工期。每一物件皆有定義屬性(attributes),可供使用者描述該物件,屬性值的型態共有數值(Value)、字串與關鍵字(String and Keyword)、邏輯值(Logic)、日期(Date)與物件(Object)等五種。

評核原則可以單一或多個法則來表達,每一評核法則(以下稱為法則)可檢視進度排程中各作業項目、作業關係與使用資源是否合乎原則及建議適當修正方法。為能提高法則在排程應用之效率與廣泛度,本研究所建立之法則不同於傳統單純的 If-Then 法則,而為一結構化法則。每一法則包含法則適用條件(Rule Application Conditions)、物件適用條件(Object Application Conditions)、評核敘述(Critique and Verification Statement)、評核原因解釋(Critique Reasons)及修正建議敘述(Advisory Suggestions)五個元素,分述如下:

1. 法則適用條件:係描述該法則在何種工程狀況下可以適用,如「盡量避免在颱風季節吊裝鋼骨」。
2. 物件適用條件:若專案滿足某一法則之適用條件,該法則之物件適用條件描述該法則可適用於專案中之何種 Act、Link 或 Res,如「某工程中,其最早開始時間在 2000 年 2 月 25 日與 2001 年 3 月 1 日之間的作業項目」。
3. 評核敘述:描述要對適用之物件應如何核對與評判。意即透過物件之適用條件先篩選出符合限制條件的物件,再檢驗其是否符合該評核法則,如要評核「該工程要徑作業之成本總和與工程造价之比值,在案例庫中所有案例其同樣比值的平均值加減標準差的範圍內」。
4. 評核原因解釋:說明為何須要遵守該法則,

如工程專案不符合評核法則「高雄市的工程，其地下層工期每層不得超過 3 個月。」 [15]

- 修正建議敘述：說明不符合評核敘述之物件該如何進行修正。例如，若該法則欲評核「該工程每一個作業名稱有『模版』二字之作業，其分工結構單元為『地上層結構工程』或『地下層結構工程』」

在此舉出一評核法則，以供參考，在說明中，正體字部分表示所指的即是字面上之文字（例如 Proj 表示描述時應寫 Proj），斜體字部分表示所指的為其涵義（例如 *Attrib* 指某一屬性，可寫入該物件之任一屬性）。例：若要表示一排程知識「地上層 5 樓以下（含雜項工程）的工期應小於 12 個月」[劉福勳 1998]成為一評核法則，則可建構為：

法則適用條件

Proj.所在縣市 = 高雄市

物件適用條件

Proj.Act.作業名稱 = 1F* or 2F* or 3F* or 4F* or 5F*

評核敘述

$TotalDur(\{Proj.Act.預定工期 \mid \{ObjAppCond\}) < 365$

評核原因解釋

「高雄市的法規限定『地上層 5 樓以下（含雜項工程）的工期不得超過 12 個月』。」

五、評核系統之建構

本研究以所建立的評核法則一般化表達方式為基本架構，開發一自動評核系統 ScheduleCoach，共包括兩大機制：(1)以法則式推理運作的評核機制(2)以案例式推理運作的修正建議機制，以及兩大資料庫：(1)評核法則庫(2)工程案例庫。ScheduleCoach 之架構如圖 1 所示，其中粗箭線表示評核流程的進行。若一新工程專案欲進行自動評核，必須將其工程專案的屬性與網圖資料輸入系統。如果經由評核機制發現了不符合評核法則的作業項目，則將啟動修正建議機制自案例庫中尋找適當建議值，最後將評核結果與修正建議值輸出成為評核結果報告。除了工程專案的評核流程以外，使用者也可對評核法則庫與工程案例庫進行增刪編修，以及對案例式推理的相關參數作編輯調整。

評核的機制以法則式推理檢查工程專案網圖是否合理恰當，其運作流程如圖 2 所示，以下分五大步驟說明之。

- 依法則適用條件篩選適用法則。首先透過工程屬性與每條評核法則的法則適用條件的逐一比對，篩選出適用的法則。例如，某評核法則的適用條件為：Proj.所在縣市 = 高雄市依據該敘述，此法則適用於所在縣市為「高雄市」的工程。
- 依物件適用條件篩選可評核之作業項目。若經步驟一確認該法則適用於本工程專案，便依據所篩選適用法則之作業項目的適用條件敘述，篩選出該評核法則可適用之作

業項目。例如，某評核法則的物件適用條件為：Proj.Act.作業名稱 = 1F* or 2F* or 3F* or 4F* or 5F*，依據該敘述，該法則適用於作業名稱前面冠有 1F~5F 的作業（即屬於 1 樓至 5 樓的作業項目）。

- 依評核敘述進行評核。依據所篩選適用之法則檢查適用評核之作業項目是否符合該法則的評核敘述。例如，某評核法則的評核敘述為： $TotalDur(\{Proj.Act.預定工期 \mid \{ObjAppCond\}) < 365$ 。例如依步驟二之例為物件適用條件 $\{ObjAppCond\}$ 而言，若這些作業的頭尾總工期小於 365 天（12 個月）則符合評核敘述，否則認定為不符合評核敘述。
- 提出評核原因解釋與啟動修正建議機制。如果該工程不符合評核法則，系統則提出原因說明。例如，對於步驟二、三之例所提出之原因解釋為：「高雄市的法規限定『地上層 5 樓以下（含雜項工程）的工期不得超過 12 個月』。」，此外，針對這項不合法則的錯誤則啟動修正建議機制，依據過去相似的工程案例提出這些作業較適當的頭尾總工期，以供規劃工程師參考。
- 紀錄該條法則之評核結果。該條法則完成評核之後，會記錄下評核結果、原因解釋與修正建議等相關資訊，當所有適用法則評核結束後便彙整成一評核結果報告表，工程師可依據系統給予各條不合法則所給予的建議去修改自己的進度綱圖。

ScheduleCoach 針對不符合評核法則的錯誤工程進度資料將啟動修正建議機制，依據過去的工程案例提出修正建議值。

在挑選過去相似案例的過程中，相似度的比對是重點之一。在 ScheduleCoach 的相似度比對項目包括屬性間、排程物件間及案例間三層。ScheduleCoach 的相似度比對模式包含屬性相似度與排程物件與案例相似度兩種，分別說明如下：

- 屬性相似度：本研究將排程資訊物件化，排程物件各自具有多項屬性。屬性的值可以有很多型態（如字串、數值），不同型態的屬性值其適當的相似度比較方式亦不同，ScheduleCoach 提供邏輯、字串、數值與組合等四種不同型態屬性值的相似度比對方式。
- 排程物件與案例相似度：排程物件間（包括 Ac）、Link、Res）與工程案例間（包括 Proj 與 Case）的相似度，是以其具有的屬性計算出屬性相似度後，再個別乘以權重加總而得，如式(1)所示。

$$S_{t,s} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \times S_{t,s,i}}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots(1)$$

$S_{t,s}$ ：目標案例(t)與來源案例(s)的案例相似度。

n : 案例屬性的個數。

$S_{t,s,i}$: 目標案例(t)與來源案例(s)間, 第 i 個案例屬性之相似度。

W_i : 第 i 個案例屬性之權重值。

計算獲得案例相似度之後, 修正建議機制便可依相似程度自工程案例庫中擷取出適當的舊有工程案例。修正建議機制的運作流程共分成五大步驟: 搜尋最相似之工程案例、檢查法則適用性、搜尋最相似之物件、檢驗物件之修正屬性值、提出屬性修正建議, 如圖 3 所示。

修正建議是否適當主要取決於屬性比對的過程與工程案例庫。隨著修正屬性的不同, 各項屬性值的相似度的參考價值會有所變化, 所以其權重值應有所調整。例如, 若須修正之物件屬性為作業項目之「預定成本」, 則比對工程案例之相似度時所引用之案例屬性「施工廠商」、「承包方式」、「工程造價」必須給予相對較大的權重值, 而比對作業項目之相似度時所引用之案例屬性「作業名稱」也必須給予相對較大的權重值, 因為這些屬性對作業項目的預定成本有比較大的影響。

本研究透過徵詢專家的意見與探討進度規劃文獻的敘述, 內建一組屬性權重值, 但使用者仍可依自己的需要作自由的調整。此外, 亦可利用問卷調查與層級分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)等分析方式, 依據專家意見作適度調整以獲得更適當的屬性權重值。

而工程案例的好壞, 也會影響修正建議的參考價值。雖然輸入工程案例庫中的工程專案都是已經實際執行的, 但未必全都是值得作為模範的進度規劃參考案例。因此, 在不斷擴充工程案例庫的同時, 也必須評量輸入之工程案例的優劣, 以確保工程案例庫的正確性與可靠性。

六、應用程式的開發

本研究所開發之 ScheduleCoach 系統, 於 Microsoft Windows 98 的作業平台下運作, 而其架構共分為程式語言與使用介面、進度網圖檔案管理、案例庫資料管理三大部分。而其操作功能如圖 4 (系統主功能選單), 共有建立評核法則、案例式推理控制參數、工程案例庫以及新工程專案評核等四大功能組。

七、研究成果自評與後續研究方向

過去有許多致力於對於進度規劃輔助系統開發的相關研究, 無一不是希望能使工程專案的各個作業項目能作最佳規劃, 以期工程執行更順利。本研究亦利用今日資訊技術的進步發展進度規劃自動評核系統, 以評估審核的角度來協助進度規劃工程師調整與改善進度排程網圖, 如此可使工程師避免許多不應有的排程錯誤, 而這樣的系統也具有進度規劃教育訓練的功用。目前 ScheduleCoach 系統係針對高層建築的進度規劃而建立, 未來可針對其他類型的工程繼續發展類似系統, 例如公路工程或

捷運工程等。

此外, 專家知識的擷取在過去多半先以普通閱讀語句記錄後, 再透過知識工程師轉換成為專家系統程式之法則輸入電腦。有別於此, 本研究針對所蒐集獲得的排程專家知識, 建立排程評核法則之一般化敘述模式, 以具完整結構性之物件導向形式去紀錄專家知識。對於系統使用者而言, 亦可輕易地自行建立符合個人要求與需求的排程評核法則。由本研究的結果可知, 建立工程知識的一般化敘述模式, 實有助於資訊的清晰表達與完整紀錄。

本研究在系統模式與程式軟體的建構過程中, 曾遭遇進度網圖案例彙整上的困難。目前在工程專案進度網圖的案例蒐集上, 有某個程度的困難度。因為各工程相關組織 (包括政府建管單位與民間工程營造公司) 所製作的進度網圖粗細程度不同, 而且作業項目的用詞也未統一。使得要建立一個能對評核結果提供優良修正建議的工程案例資料庫, 頗為困難, 在此方面有待各方進一步的研究與改進。

八、參考文獻

1. Navinchandra, D., "Case-Based Reasoning in CYCLOPS, a Design Problem Solver," Proc. of the DARPA Case-Based Reasoning Workshop, ed. J.L. Kolodner, Morgan Kaufmann, Calif, pp.286-301 (1988).
2. Zozaya-Gorostiza, C., Hendrickson, C., and Rehak, D. R., Knowledge-Based Process Planning for Construction and Manufacturing, Academic Press, Boston, MA (1989).
3. Kano, N., "A Knowledge-Based System for Construction Planning and Scheduling: A Prototype System Based on the Down-from-the-Top Methodology," Proc. of The 7th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Bristol, England (1990).
4. Echeverry, D., "Factors for Generating Initial Construction Schedules," Ph.D. thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1991.
5. Cherneff, J. M., "Automatic Generation of Construction Schedules from Architectural Drawings," MS thesis, Dept. of Civil Engineering, MIT, 1988.
6. Cherneff, J.M., Logcher, R., and Sriram, D., "Integrating CAD with Construction-Schedule Generation," Journal of the Construction Division, ASCE, 5 (1), pp.64-84, 1991.
7. Yau, N.J., "Issues in Developing an Automated Construction Planning System in TAIWAN AREA," The 3rd International Conference on Automation Technology, Taipei, Taiwan, July 6-9, 1994.
8. Dzung, R.J., and Tommelein I.D., "Boiler Erection Scheduling Using Product Models and Case-Based Reasoning", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 123, pp.338-347, 1997.
9. De La Garza, J.M. and Ibbs, C.W., "Knowledge

- Elicitation Strategies and Experiments Applied to Construction,” *Journal of Computing in Civil Engineering*,4(2), ASCE (1990).
10. De La Garza, J.M., et al., “A Knowledge Engineering Approach to the Analysis and Evaluation of Schedules for Mid-Rise Construction,” *Construction Engineering Research Laboratory Technical Report, P-90/70, IL* (1990).
 11. Kolodner, J.L., *Case-Based Learning*, Kluwer Academic Pub, Boston, pp.1 (1993).
 12. Kolodner, J.L. and Leake, D.B. , “A Tutorial Introduction to Case-Based Reasoning,” *Case-Based Reasoning, Experiences, Lessons, & Future Directions*, American Association for Artificial Intellegence, pp.55-61 (1996).
 13. 莊嘉文, 「超高層建築施工及實例」, 詹氏書局 (1992)。
 14. Callahan, M.T. and Quackenbush, D.G. and Rowings, J.E., “*Construction Project Scheduling*,” McGraw-Hill Inc. (1992).
 15. 劉福勳, 「實用工程進度規劃與控制」, 漢天下工程管理顧問公司, 附 1-18 頁 (1998)。

圖 2 評核機制之流程圖

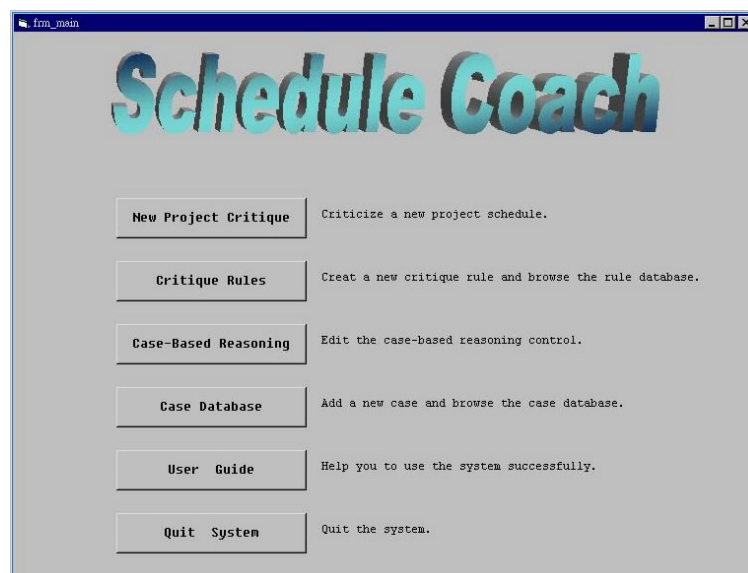


圖 4 系統主選單功能