

## 分散式專案動態排程之代理人補償式策略協商模式

陳以明

元智大學工業工程與管理學系

王世昌

龍華科技大學企管系

### 摘要

本文提出以代理人為基礎的補償式策略協商模式，以解決分散式專案工作於執行階段，因資源不足所產生工作延誤的動態排程問題。模式主要由工作代理人、效用函數、協商策略演算法及協商協定所組成。其中，自我利益(self-interested)的工作代理人，代表專案成員所負責執行的工作任務，能以專案成員個別的利益及偏好考量；在分散式架構、惰時策略及補償機制的運作環境下，任何執行中的工作因資源不足所產生時程延誤的問題，該工作代理人能即在效用函數及協商策略的運作下，透過協商協定的互動機制，與其他時程可能受影響的工作代理人協商補償金的償付，以補償其採取配合時程變更行動所造成的損失。在分散式專案工作於執行階段，因資源不足產生工作延誤的動態排程問題，以即時、動態的補償式策略協商模式運作下，達到符合各專案成員利益的平衡點。最後，本文以一案例探討在補償式策略協商模式中，代理人如何協同合作，進行動態排程的補償金協商過程。

**關鍵詞：**代理人，動態排程，協商模式，協商策略，協商協定



# **An agent-based compensatory strategic-negotiation model for distributed project dynamic scheduling**

Y. M. Chen

Department of Industrial Engineering and Management, Yuan-Ze University

Shih-Chang Wang

Department of Business Administration, Lung-Hwa University of Science and Technology

## **Abstract**

In this paper, we propose a generalized agent-based compensatory strategic-negotiation model that uses compensatory negotiation to solve distributed project dynamic scheduling for the sake of resource discrepancy of activity at project executing phase. The framework of the model comprises activity agent, utility function, negotiation strategy algorithm and negotiation protocol. In this model, there are many self-interested activity agents on behalf of activities of distributed subcontractors in multi-contract projects. Under the distributed architecture, each of them can coordinate and cooperate with one another that act under his subcontractor's own benefits and preferences with slack time strategy and compensation mechanism. Through the utility function and negotiation strategy of activity agent, if any delay of an activity schedule is occurred by resource discrepancy at activity executing stage, the activity agents associated with this activity can negotiate automatically for dynamic scheduling with others whose schedules are affected by the delay and make an agreement of satisfied payment to compensate their loss. By the process of negotiation protocol in this model, agents can interact without a hitch in negotiation. Finally, a scenario of distributed project dynamic scheduling is discussed to perform our agent-based compensatory strategic-negotiation model.

**Keywords:** agent, dynamic scheduling, negotiation model, negotiation strategy, negotiation protocol



## 壹、緒論

在許多應用領域中，我們時常可以發現排程問題(scheduling problem)的存在。排程主要的工作，是在各種目標及限制下，安排各項作業及資源的時間，使作業得以順利進行(Sauer 1999)。基本上排程包括：安排並產生新的作業時程的預測式排程(predictive scheduling)以及因事件發生造成原時程適當改變的反應式排程(reactive scheduling)(Smith 1992)。其中的反應式排程亦稱為即時排程(real time scheduling)、重排程(re-scheduling)、動態排程(dynamic scheduling)(Aigner et al. 2000)。對於專案的時程管理來說，各項工作如何在不確定性事件發生而影響工作時程時，適時且有效率的進行反應式排程的問題，已受到愈來愈多的研究學者及實務專家們的關注(Abumaizar et al. 1997; Chun et al. 2003; Dorn et al. 1995; Kerr et al. 1995; Yan 2000)。

對於專案的工作(activities)是由許多分散且獨立的專業分包商(subcontractor)所承包(subcontract)，各分包商之間可能並無任何關係；專案時程(schedule)即為各分包商所承包工作的作業時間及邏輯順序的組合，此種分散式的專案類型，我們稱為多重合約式專案(multi-contract project) (Tserng et al. 2003)。在現今快速變遷環境下的多重合約式專案來說，由於專案成員具有獨立性、專業性、分散性等特質，使得成員間容易發生界面(interface)問題，造成專案控管不易；又由於規劃階段所排定的專案工作時程目標，往往在執行過程中，受到許多不確定性因素的影響，造成工作時程延誤的現象。O'Brien等(1995)認為，分包商在工作執行階段，資源實際可用量與當初規劃需求量的差異，是造成分包商工作時程改變的一個主要原因；也就是說分包商在工作執行階段，往往因為突發狀況而無法取得足夠資源，而造成工作時程的延誤；若無法有效的解決，時程延誤問題將往後擴散，影響到所有後續工作時程及分包商資源調度，甚至可能影響專案準時完工的目標，造成更大的損失。

而具備自主性、主動性、反應性及溝通協調能力的多重代理人系統(multi-agent system: MAS)，在許多研究中顯示，已能有效的解決許多專案管理相關的問題(Chun et al. 2003; Jung et al. 1995; Kim 2001; Tserng et al. 2003; Ulusoy et al. 1996; Yan et al. 2000; Yen 2002)。因此我們認為，在分散式多重合約式專案架構下，對於分包商因資源不足所產生的時程延誤問題，若能藉由多重代理人技術的輔助，在各個獨立分包商之間建立起良好的協同合作機制，並在適當的時程範圍內進行即時且有效的動態排程，將有助於控制並縮小問題影響層面，對於順利達成專案時程目標、提高專案執行成效，將有莫大的幫助。

代理人(agent)是人工智慧技術中快速發展的研究領域，且已被廣泛的應用在工商業界中。對於何謂代理人的見解，各學者略有不同且並無一個正式學理上的定義。Russell及Norvig(2003)認為能夠以感測器(sensors)察覺(perceive)環境變化，並以作用器(actuator)對環境做出回應的任何東西均可稱之為代理人。Wooldridge及Jennings(1995)認為一般具有下列特性的軟、硬體電腦系統，均可稱之為代理人。

隨著應用領域及環境愈趨複雜，單一代理人往往無法有效的解決各個層面的問題，於是有了多重代理人系統(multi-agent system; MAS)觀念的產生(Durfee et al. 1989; Ferber 1999; Jennings et al. 2001)，藉由許多代理人各自所賦予不同的任務及目標，各司其職以有效解決各種分散式的複雜問題。多重代理人的概念與人類社會的概念相當接近，Zambonelli 等(2000)學者指出，多重代理人系統像人類社會一樣，它其實就是一個代理人社會，代理人彼此間有組織性或互動關係，彼此有溝通及各自的目標，能對事件作出合理的反應。Jennings 等(1998)認為多重代理人系統具備如下特性：一、每個代理人擁有解決問題的部份資訊或能力。二、無整體系統控制能力。三、資料是非集中式(decentralized)。四、採用非同步(asynchronous)的運算機制。Nwana 等(1996)將多重代理人協同合作(coordination)分為四大類：一、組織構建式(organizational structuring)，二、合約式(contracting)，三、多重代理人規劃式(multi-agent planning)，四、協商式(negotiation)。Huhns 等(1999)指出，多重代理人在互動時，由於所處的環境可能是分散的，各個代理人的目標也可能不盡相同，彼此的行為往往可能產生衝突。為使代理人系統能有一致(coherent)的表現，代理人透過溝通(communication)進行協同合作，以協調彼此的活動與行為，協同合作方式可分為合作式(cooperation)及競爭式(competition)二種；在代理人各自具有利害關係(self-interested)的競爭式的協同合作模式中，又以協商的運作機制為主。

協商理論是由早期經濟學理論中的賽局理論所發展出來的一門分支科學，深深影響人們合作與衝突解決的經濟活動與行為。Raiffa(1982)的著作'The art and science of negotiation'仍是這領域的代表作，其分別討論兩方協商者(two parties)對於一個議題(issue)、兩方協商者對於多個議題、多方協商者(many parties)對於多個議題情況下，協商所適用的策略；而影響協商的主要因素包括：議題的關聯性、協商次數、協商人數、聯盟(coalition)等。他並指出協商過程需注意下列四個階段的互動：一、協商準備(preparing for negotiations)。二、開始行動(opening gambits)。三、協商與讓步(negotiation dance)。四、結束協商(end play)；且即使是個簡單的協商，所達成的協議也常常是次佳(suboptimal)的結果。Oliver(1996)研究指出，協商為參與者同時於多維度(multi-dimension)空間搜尋的過程，然後對空間中的某一點達成共識。空間中的維度相當於協商的議題，每個議題可視為二個以上經過排序後(indexed)的解決方案(alternatives)的集合。而多重代理人的協商亦是一種代理人群體合作及衝突解決活動的重要方法，代理人各自具有不同目標及利害關係，為了達成自己的目標，他們會溝通彼此的立場及條件，如果發生目標衝突時，則採取讓步策略或其他方法，以便達成共同可接受的協議(agreement)。Kraus(2001)認為代理人針對協商議題採取何種協商策略、如何進行提案溝通、進而達成協議的策略協商模式(strategic-negotiation model)，主要包含下列三部份：一、協定(protocol)：代理人在協商時，如何提出提案、回應提案、接受或拒絕提案、乃至協商結束等整個協商的進行方式。二、代理人效用函數(utility functions)：效用函數是代理人在協商時，對於許多不同協議的評估準則。三、策略

(strategies)：協商策略明確說明代理人在協商時，對於不同的處境(situations)，如何採取適當的協商行動因應。

近年來，由於資訊技術及網際網路(Internet)的快速發展，促使許多學者相繼投入了多重代理人自動協商(automated negotiation)於專案控管的研究領域中。Chun 及 Wong (2003) 提出了一個以代理人為基礎的自動協商架構及演算法，命名為 N\*演算法，此架構包含了使用者偏好模式(user preference model)、評估函數(evaluation function)、協商協定(protocol)等相關協商運作的作業模組，以解決專案執行中動態排程的問題。Kim 等學者 (2003) 針對分散式專案執行過程中，提出了一個分散式代理人自動協商的架構，稱為 multi-linked negotiation process。透過各個分包商所屬代理人自動協商的協同運作下，以效用移轉的方式，解決各個分包商因資源不足所發生的時程衝突問題。Tserng and Lin (2003) 針對資訊分享及時程管理等專案控管上的議題，提出了一個以代理人為基礎的自動控管系統模式，命名為 e-AMPS (Electronic Acquisition Model for Project Scheduling)。模式中，每個專案成員系統上均配置一訊息代理人當作溝通窗口，能自動與其他專案成員進行的訊息代理人進行資訊的分享及時程衝突的解決。Yen (2002) 針對以代理人為基礎的分散式專案排程運作的通訊(communication)問題，提出了一個代理人模式及通訊基礎架構(communication infrastructure)，並定義了相關代理人通訊運作的語法(syntax)及語義(semantic)，結合代理人通訊語言，使代理人能透過自動協商機制，協同合作解決專案時程衝突的問題。Yan 等學者提出一套多重代理人系統運作架構，並於其上實現資訊交換及協商的協同合作方式，以解決分散式專案時程衝突與資源重配置方面的問題。其他許多具備自主性、主動性、反應性及溝通協調能力的代理人技術的應用，在研究中均顯示，能有效的解決許多專案控管上的問題 (Jungen et al. 1995; Sen et al. 1998; Ulusoy et al. 1996)。

本研究目的在利用多重代理人所具備的自主性、分散性、溝通協調能力，結合自動協商機制及策略，提出以代理人為基礎之分散式專案動態排程之策略協商模式，以有效的解決分散式多重合約式專案中，分包商因資源不足所產生工期延誤的動態排程問題。本論文架構如圖所示，首先，我們先確立分散式專案動態排程中，代理人協同合作機制以及時程變更行動決策考量，其次介紹整個補償式策略協商模式的運作架構及流程，之後則進入補償式策略協商模式的核心，探討代理人的效用函數、協商策略及協商協定，最後以一個案例探討代理人如何在補償式策略協商模式下，進行動態排程的協商過程。



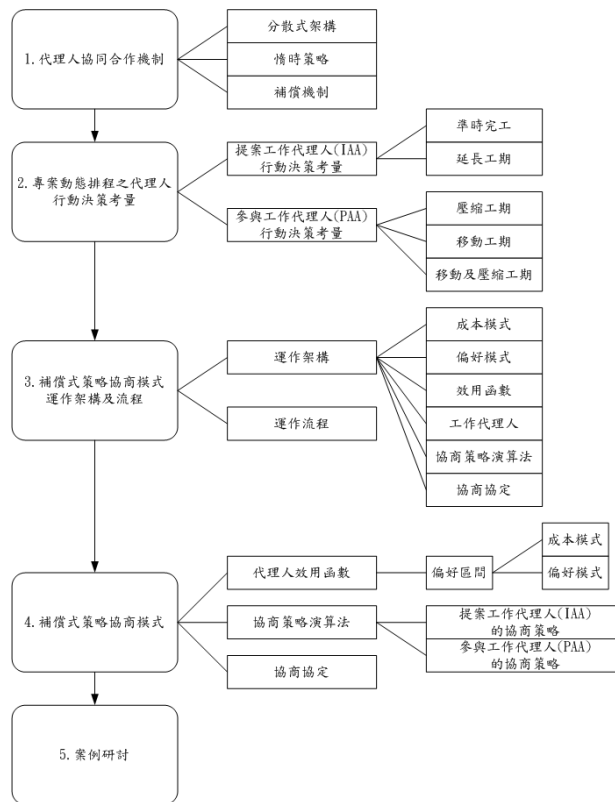


圖 1：本論文研究架構

## 貳、代理人協同合作機制

在本研究以代理人為基礎的分散式專案控管系統中，整個系統是由許多獨立運作的專案成員子系統(participant subsystems)所組成，安裝佈署於每個分散且獨立的承包商的主機(host)系統上；系統主要運作的代理人分為四類：(1).工作代理人(Activity Agent)：負責掌控該專案成員所承包執行專案作業的狀況，包括該專案作業進度及時程的控管、作業所需資源管理及與作業執行相關的輸出、入控管等工作。每項專案作業由一個作業代理人負責，以順利完成該作業為目標。當作業執行中發生問題時，該作業所屬的作業代理人能與其他內、外部相關代理人進行溝通、協調以解決問題；(2).資源代理人(Resource Agent)：負責與專案執行相關資源的控管作業，如機器、設備、原物料、人力等資源的耗用、調度、再利用等作業。由於不同的資源有其不同的屬性與特徵，各類不同的資源分別由各類資源代理人負責控管。若資源的使用發生問題導致作業無法順利進行時，資源代理人能即時與其他資源代理人進行資源調度的溝通或協商；亦或通知其他相關代理人採取適當的因應措施；以及通知使用者界面代理人對專案管理人發出警訊或通知服務代理人記錄並追蹤此異常事件等；(3).使用者界面代理

人(UI Agent)：負責系統與專案管理員之間溝通的各項輸出、入活動。舉凡系統組態設定、資料輸出入、警訊顯示等，均由使用者界面代理人負責。例如：透過服務代理人同步化更新專案資訊後，使用者界面代理人即可顯示目前所有專案作業的時程變化資訊，使專案管理員得以即時掌控整體專案的最新進度及變化狀況。一個專案成員子系統中僅配置一個使用者界面代理人，負責掌控與專案管理員溝通相關的所有輸出、入的界面活動；(4).服務代理人(Service Agent)：統合整個專案成員子系統內部運作的所有系統工作，並能與其他服務代理人進行資訊的交流與分享。包括各項專案活動的記錄、後端服務資訊的控管維護以及與其他專案成員的資料分享及同步化更新作業等工作。其目的是監控及維護專案成員子系統及所有代理人的活動，使其能正常運作並保持與其他專案成員子系統資料的一致性與完整性。一個專案成員子系統中僅配置一個服務代理人負責管理相關的系統作業。藉由網路系統或網際網路的連接，不同專案成員子系統內的代理人可透過一致的通訊協定及語言，相互溝通並協同合作解決彼此的問題，以達成專案目標。其中，每個工作代理人代表其所屬分包商所負責執行的一項工作任務，並具備與其他代理人進行溝通、協調的智慧與能力；使其面對其他代理人進行協商、解決問題時，能表現出符合專案成員利益的思考判斷，做出正確的決策；工作代理人為本論文中主要的代理人。

為建立代理人協同合作的環境，本研究提出了三個運作機制，使工作代理人能在彼此互利的基礎上，透過協商機制，有效的解決因資源不足所產生工期延誤的專案動態排程問題：

## 一、分散式架構(distributed architecture)

本研究所探討的專案類型為分散式多重合約式專案，整個專案架構由許多系列性且具邏輯關係的工作所組成，且層層分包給不同分散且獨立的分包商所執行並控管。各工作間具有固定前後關係的時程安排，在前面所有工作需完工的條件下，後續工作才得以開工進行。專案架構及其工作時程範例如圖、圖所示。

## 二、惰時策略(slack time strategy)

工作因資源不足所產生工期延誤的動態排程問題的解決程序，鎖定在發生問題的工作代理人及其後續下一階段工作代理人之間，透過惰時(slack time)彈性時間的調整方式解決；也就是說，前一工作代理人因資源不足造成工期延誤時，其後續下一階段時程受影響的工作代理人，會在自己工作惰時的彈性時間下，採取適當的時程變更行動因應，且其完工時間不能超過該階段要徑工作(critical activity)的完工時間，否則會將問題再往後擴散，造成更多不確定性因素的發生。如此，將有助於控制問題並縮小不確定性因素影響的範圍與層面，以加快問題解決的速度及效率。



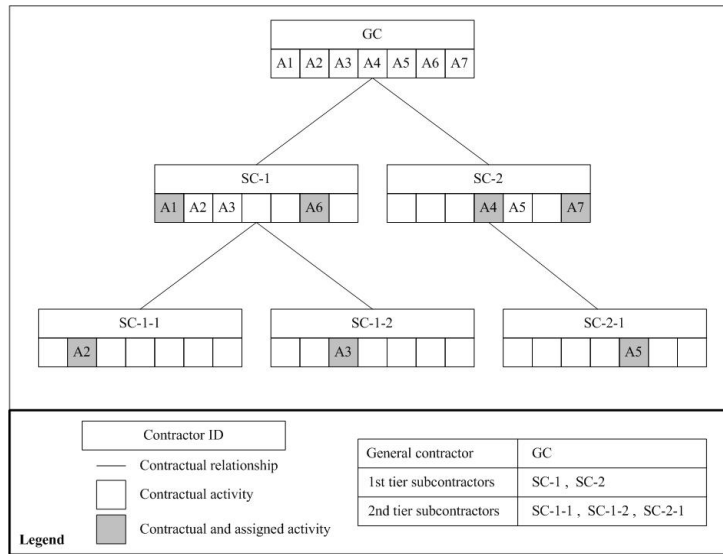


圖 2：分散式多重合約式專案架構範例

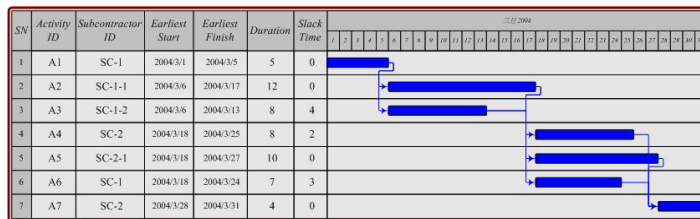


圖 3：專案範例之甘特圖

### 三、補償方式(compensatory function)

本研究中的工作代理人為自我利益(self-interested)的代理人，在彼此協同合作解決問題時，是以滿足自身利益最大化的考量為原則，而非抱著 牲奉獻的態度彼此合作。因此，若工作代理人發生資源不足而需延長工期，會造成許多後續工作代理人的工作時程受到影響，而需採取時程變更行動配合時，則該工作代理人必須對所有後續工作代理人提出其滿意的補償金補償其行動損失；此補償金額的大小則需透過工作代理人之間的協商運作而達成共識。只要有一個後續工作代理人無法得到滿意的補償，它即會拒絕採取時程變更的配合行動，則該工作代理人即無法採取延長工期的方式解決其資源不足的問題，而需另行考慮其他解決方案。

為簡化表達本研究中不同工作代理人所扮演的角色，我們定義：(1).當某專案作業於執行期間，該工作代理人在感知有突發狀況發生，無法在既定的工期內完工時，評估出可能的延時時，發出請求並啟動補償式協商機制，欲進行時程調整補償協商的工



作代理人，稱為提案工作代理人(Initiating Activity Agent)，簡稱為 IAA。此類代理人在本協商模式中只有一個(相對於專案時程來說，代理人決策制定及協商處理時間極短，假設不會有二個以上的事件產生。以下有系統運作面更具體之說明)；(2).時程安排在 IAA 作業的後續下一階段即將執行的作業(IAA 可透過專案成員子系統中的服務代理人(Service Agent)得知整個專案作業時程訊息)，其開工時間會受 IAA 可能的延時決策影響，被動接受補償式協商、協同合作進行時程調整的工作代理人，稱為參與工作代理人(Participating Activity Agent)，簡稱為 PAA。此類代理人在模式中可能不只一個。協商模式中除了 IAA 與 PAA 外，均不涉及到其他代理人。在後續討論中，我們均以 IAA 及 PAA 分別稱之。例如：在圖的範例中，假設在此專案作業 A1 的執行期間，該工作代理人在感知突發狀況發生，無法在既定的時間內完工、而可能造成時程延誤問題前(假設其評估出延時為 2 天)，A1 工作代理人即會向 A2、A3 工作代理人請求協商(延時 2 天會影響 A2、A3 作業開工時間)，啟動時程調整的補償式協商機制。此 A1 工作代理人在協商模式中即為 IAA、而 A2、A3 工作代理人即為 PAA。之後，不管 A2、A3 在上次協商結果中如何進行時程調整(壓縮工期、移動工期、壓縮及移動工期...依模式的情時策略運作機制，均不會超出該階段要徑作業(i.e.A2)的完工時間)，當專案繼續進行、時間往後推移至 A2、A3 作業的執行階段，若此二工作代理人均感知無法解決的突發狀況發生、可能造成時程延誤而影響後續下一階段 A4、A5、A6 作業開工時間時(若 A3 的情時不足以因應)時，而在某時間點同時向 A4、A5、A6 工作代理人請求補償式協商時(雖然我們認為此狀況機率極小)，在協商協定及代理人回應機制的控制下(如后說明)，只有一位工作代理人(假設是 A2)會全部收到 A4、A5、A6 工作代理人 agree 回應而同意進行協商(此時 A2 為 IAA；而 A4、A5、A6 為 PAA)。直到協商結束後(代理人協商時間相對極短)，另一等待的工作代理人(i.e.A3)在其服務代理人告知時程更新資訊後，會視需要考量是否會影響後續 A4、A5 或 A6 作業時程、而再次向其發出協商請求。

## 參、專案動態排程之代理人行動決策考量

### 一、IAA 行動方案與成本

當專案工作執行中，工作代理人突然感知(percepts)工作資源發生短缺現象，無法順利的在排定的時間內完工時，它會思考需採取何種因應行動方案，並以自身利益最大化的考量原則，檢視各行動方案對自己所造成的價值損失，並選擇採取損失最小的行動方案因應。各行動方案對於 IAA 價值損失程度的衡量，可用此行動對 IAA 所產生的成本，做為行動方案價值損失的依據；且最佳的決策方案即是成本最小的行動方案。為簡化討論，本文假設 IAA 僅能自以下二個選擇方案(alternatives)擇一進行：

### (一) 選擇方案一：準時完工

在現有不足的資源量及既定的工期內，以超時使用資源的趕工方式，使工作在既定的完工時間內加速完成。基本上資源的超時趕工使用，會比資源正常使用付出較多的成本。因此，此行動方案對於 IAA 所產生的成本，我們稱為加速成本(acceleration cost)，以  $C_a$  表示。

### (二) 選擇方案二：延長工期

在現有不足的資源量以及不趕工的情況下，以延後完工時間的方式因應，此行動可能會影響許多後續工作的時程，因此，可能產生的成本有二項：一是延長工期會延長現有資源的正常使用時間而產生額外的工作成本，此成本我們稱之為延遲成本(delay cost)，以  $C_d$  表示；二是延長工期也可能會影響後續工作的時程及資源配置狀況，對於後續 PAA 時程變更所造成的損失，IAA 需給予其滿意的補償金補償。此額外補償金的支出，我們稱之為外部成本(external cost)，以  $C_e$  表示。

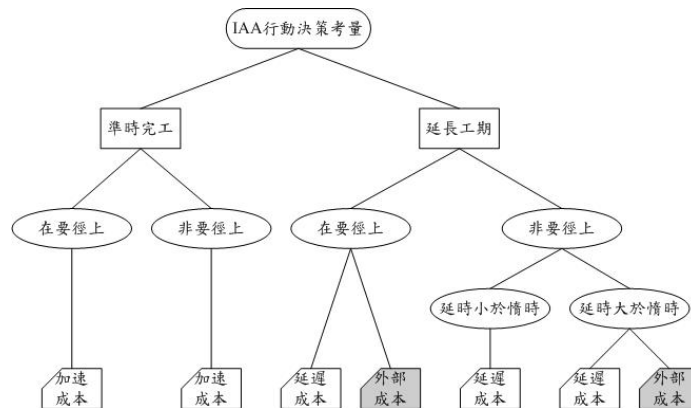


圖 4：IAA 行動決策考量

以上二個選擇方案的成本，會依各個工作及資源配置狀況的不同，而有不同的成本結構及結果產生；且依據該工作在專案網路位置上的不同，也有不同的成本產生。因此，IAA 只要評估準時完工及延長工期二項選擇方案的成本，即可做出行動的決策判斷。IAA 在專案網路上位置的不同，其行動方案與成本的關係如圖所示。對於準時完工方案的成本，不管 IAA 在專案網路上的位置為何，都只有  $C_a$  產生，且 IAA 可經其所屬專案成員子系統中資料庫的成本相關資料預先估算得知；然而，對於延長工期方案的成本來說，除了 IAA 不在要徑上且其工作延時小於惰時的情況下，只發生  $C_d$  且 IAA 亦可預先估算出而立即可做出行動方案決策的判斷，其餘情況都會有  $C_e$  產生；而此  $C_e$  為 IAA 對 PAA 的補償金支出，IAA 無法預先估算得知，須與所有 PAA 進行協商後方能得知。在此情況下，IAA 會立即開啟協商機制，和所有 PAA 展開補償金的溝通，以便進行選擇方案的行動決策，以解決其資源不足的問題。

## 二、PAA 行動方案與成本

對於自我利益的 PAA 來說，若無法獲得滿意的利潤，它即不會採取時程變更的配合行動；因此，在收到 IAA 延長工期的補償金協商通知時，PAA 也會先衡量自己所採取時程變更行動的價值損失，再加上額外偏好利潤的補貼，於協商時對補償金提案做出符合自己利益及偏好的決策。首先，PAA 採取配合 IAA 時程變更的價值損失估算，我們亦可以時程變更所產生的成本做為考量依據。在前面所有工作均需完工、後續工作才能開工的分散式專案運作機制以及惰時策略考量下，PAA 可能面臨下列行動方案及成本的決策考量：

### (一) 選擇方案一：壓縮工期(compressing duration)

若 PAA 在要徑上，其惰時為零。則 IAA 工期的延長，勢必造成 PAA 面臨開工時間延後且需準時完工的狀況，則 PAA 只能以壓縮工期趕工的方式因應。由於壓縮工期行動對於資源的調度會有較大的衝擊，而有較高成本產生，此成本我們定義為壓縮成本(compressing cost)，以  $C_c$  表示。

### (二) 選擇方案二：移動工期(shifting duration)：

若 PAA 不在要徑上，且 IAA 工期的延長時間小於 PAA 惰時的情況下，則 PAA 可採取整個工期往後移動的方式因應。一般來說，移動工期對於資源配置的影響程度較小，所產生的成本會比壓縮成本來的小。因此，理性的 PAA 會選擇以移動工期的行動因應，而不會以壓縮工期的方式回應，造成自己更大的困擾。移動工期行動所發生的成本，我們定義為移動成本(shifting cost)，以  $C_s$  表示。

### (三) 選擇方案三：移動及壓縮工期(shifting and compressing duration)：

若 PAA 不在要徑上，且 IAA 工期的延長時間大於 PAA 惰時的情況時，理性的 PAA 會先以困擾較小的移動工期行動回應，直到惰時為零時，再以壓縮工期行動回應，以儘量減少資源配置的影響程度。所以，此行動方案成本是由移動成本及壓縮成本二項所構成，我們定義為移動壓縮成本，以  $C_{sc}$  表示。

圖顯示在惰時策略的考量下，PAA 在專案網路不同的位置，所採取時程變更行動及其成本的關係。我們定義 PAA 針對 IAA 延長工期行動方案所採取的時程變更因應行動的行動成本為  $C_{act}$ ，則。若 IAA 只補償  $C_{act}$  的補償金給 PAA 時，自我利益的 PAA 若沒有獲得  $C_{act} \in \{C_a, C_s, C_{ac}\}$  滿意的利潤時，它是不會願意採取時程變更的配合行動的。因此，我們認為，PAA 會心甘情願配合 IAA 延長工期方案而採取某項時程變更行動的主要動機，是要能獲得大於其實際行動損失的補償為滿足；也就是說，自我利益的工作代理人要能協同合作解決問題，每個 PAA 有所應獲得補償金的偏好範圍；而 IAA 所提出的補償金若能在 PAA 補償金的偏好範圍內，則該 PAA 才會滿足且願意採取時程變更行動配合；且補償金愈大愈滿足。同樣的，對於補償金的支付，IAA 也有其期望支出的偏好範圍，且希望此範圍內補償金的支出愈小愈好。對於補償金的大小，則需透過 IAA 及所有 PAA 協商取得協議，此為本研究所提出的補償式策略協商模式運作機制的核心所在。

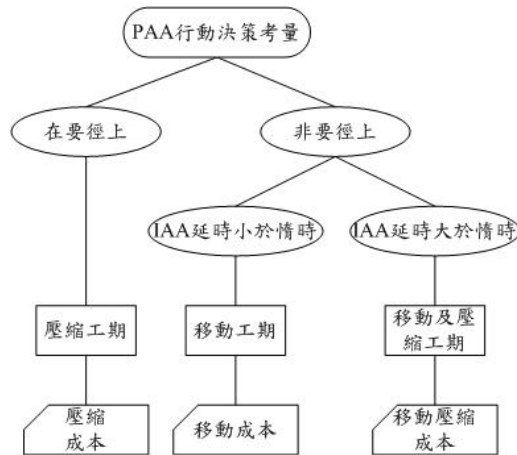


圖 5：PAA 行動決策考量

因此，只要有任何工作代理人於工作執行中發生資源短缺問題，除了其非為要徑工作且工作延時小於情時時，在工作代理人自動估算出準時完工方案的  $C_a$  較延長工期方案的  $C_d$  高時，為了確認  $C_e$  以決定所應採取的因應行動方案時，它會立即啟動協商機制，自動通知工作時程可能受影響的 PAA 進行補償金的協商。各個工作代理人在自己補償金偏好的認知下，彼此協商並評估自己對補償金的滿意程度，以決定是否接受補償金提案而採取配合行動。在此即時且動態的運作機制下，對於因資源短缺造成工期延誤的專案動態排程問題，即能迅速且有效的找到符合專案成員利益的平衡點。

## 肆、補償式策略協商模式運作架構及流程

### 一、運作架構

補償式策略協商模式運作架構如圖所示，主要由下列幾項元件所構成：

#### (一) 成本模式(cost model)：

由工作代理人所在的專案成員子系統中，執行工作相關的成本資料及估算法則所組成，用來計算各項行動方案價值損失及補償金提案的依據。透過成本模式，工作代理人可以很快的估算出自己各項行動方案的成本，以做為行動決策的判斷依據。此成本相關資料是屬於極私密性的資訊，儲存在各工作代理人所屬專案成員子系統的資料庫中，並未對其他專案成員公開分享。

## (二) 偏好模式(preference model)：

由工作代理人的各種行為、思考、限制條件等偏好所組成，以提供工作代理人於協商時，對於支付或接受補償金大小的偏好以及對於時程變更的配合偏好程度，使其更能表現出專案成員對於提案與協商行為的態度表現。偏好模式主要由偏好水準(preference level)及偏好等級(preference degree)所組成，儲存在各工作代理人所屬專案成員子系統的決策庫(decision base)中。除了偏好等級在模式運作中，需公開與其他代理人分享，使其他代理人可得知其時程變更的配合偏好程度外，其他偏好資訊並未對外公開分享。

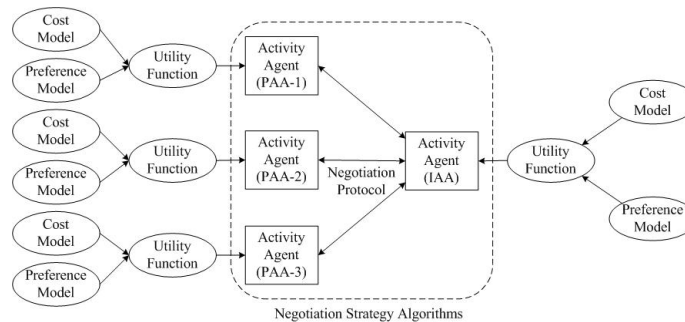


圖 6：補償式策略協商模式運作架構

## (三) 效用函數(utility function)：

由成本模式及偏好模式中的相關資訊所構成，提供工作代理人進行協商時，對於各項提案或反提案效用滿意度的評估。不同代理人擁有不同的效用函數。

## (四) 工作代理人：

為模式運作的主要代理人，代表分包商所承包執行的一項工作任務。每個分包商可能同時承包專案內的許多工作，其專案成員子系統中即有多個工作代理人同時運作，分別負責其所屬的個別工作任務。並能與其他代理人協同合作，以分包商的利益為基礎，以順利完成工作為目標。由於工作代理人在模式中所扮演角色不同，可分為 IAA 與 PAA 二種。

## (五) 協商策略演算法(negotiation strategy algorithms)

協商策略演算法為代理人在進行協商時，面對不同的處境(situation)，所採取不同因應行為的表現。不同工作代理人擁有不同的協商策略，包括讓步策略、期望補償金提案模式、協商決策模式、IAA 總補償金分配模式等策略協商模式。此為補償式策略協商模式中，工作代理人對於提案決策的重要依據，影響整個專案動態排程的結果。

## (六) 協商協定(negotiation protocol)

協商協定為代理人進行協商時，一連串溝通與互動的程序與規則。用來規範代理人之間互動的行為準則，使代理人自動協商機制能依一定的程序順利進行，而不致於發生不可預期的結果。

## 二、運作流程

我們將補償式策略協商模式中，代理人協商互動的過程分成四個階段，並依據 Raiffa(1982)所闡述的協商階段及重要事項，分別進行探討，如圖所示。

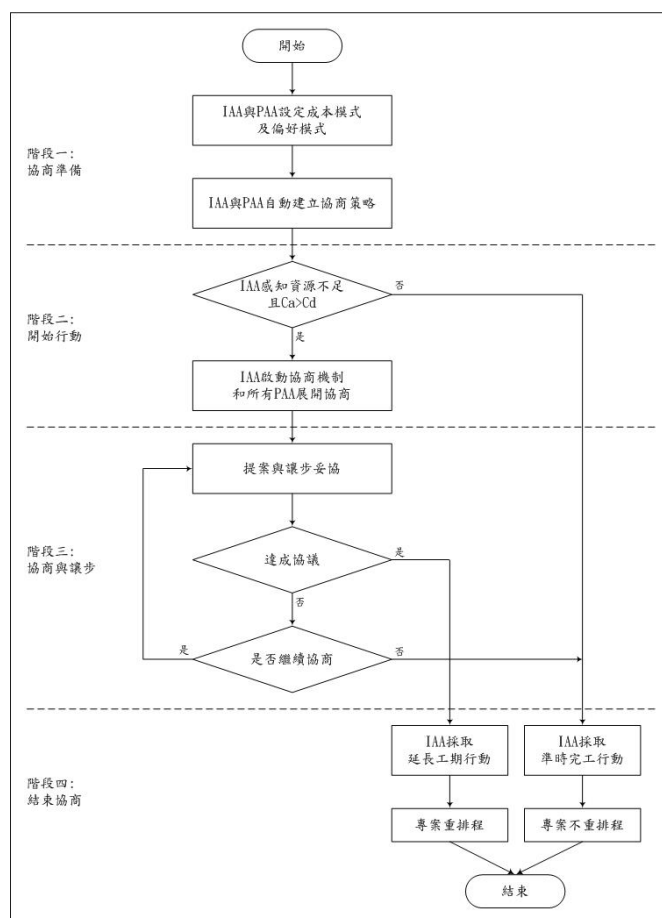


圖 7：代理人協商四個階段

### (一) 協商準備(preparing for negotiatons)階段

此階段為協商者尋找各種可替代的選擇方案及欲達成的目標。當分包商於專案成員子系統中設定好工作的成本模式及偏好模式等資料後，工作代理人即擁有協商時各

項提案的提出、評估、決策的能力，每個自我利益的工作代理人在協商時，皆能依自己的偏好及目標，做出最佳的選擇及決策判斷。

### （二）開始行動(opening gambits)階段

此階段協商的啟動權都是由 IAA 開始。當某工作代理人在感知資源不足且計算出加速成本  $C_a$  大於延遲成本  $C_d$  時，為得知外部成本為何（也就是各個 PAA 對於補償金的要求為何），使其可做出因應行動方案的決策判斷時，它會立即和所有 PAA 展開補償金的協商。

### （三）協商與讓步(negotiation dance)階段

此階段考量協商雙方對於提案的認知有所差距時，如何考慮下次提案的讓步程度及讓步次數，以及如何對提案進行評估，進而達成協議的方法。本研究中各個工作代理人均各自擁有對於提案的提出、評估、讓步及決策等相關的協商策略（請參閱補償式策略協商模式一節），且在協商協定的運作下，工作代理人彼此對提案的溝通即能有良好的互動表現。而協商能否達成協議以及是否繼續協商的決策判斷，則是由 IAA 的協商策略所決定。

### （四）結束協商(end play)階段

本階段考量協商的結果應如何做出承諾(making commitments)，而協商失敗時又該如何撤回承諾等。當 IAA 接受所有 PAA 的補償金提案而達成協議時，表示所有 PAA 同意 IAA 採取延長工期的行動，且願意採取時程變更的配合行動，並接受 IAA 補償金以補償其損失。此結果為 IAA 及所有 PAA 的工作自動進行重排程調整；若 IAA 最後拒絕所有 PAA 的提案形成協商破局時，IAA 則只能採取準時完工的趕工方式解決自己資源不足的問題，專案則依既定的時程進行，不重排程。

補償式策略協商模式中，代理人協商的詳細互動過程如圖所示。當 IAA 感知資源不足且估算出  $C_a > C_d$  時，在面臨必須選擇行動方案決策時，它會立即啟動協商機制，和所有時程可能受影響的 PAA 展開補償金的協商，希望能在期望的偏好補償金支出下，採取延長工期的行動；若協商無法達成協議時，則選擇資源趕工的準時完工方案。IAA 協商的運作流程如圖右。

對於 PAA 來說，當收到 IAA 時程變更的協商通知時，它會先估算自己採取配合行動的價值損失，加上額外偏好的利潤，對於補償金提案進行評估。希望協商的補償金能在自己期望的偏好範圍內，它才願意採取時程變更的配合行動。經過來回協商的結果，若 IAA 願意接受 PAA 的提案而達成協議時，PAA 則立即採取行動配合時程變更；否則，PAA 即依照既定的時程執行工作，不採取任何時程變更行動。PAA 協商的運作流程如圖左所示。



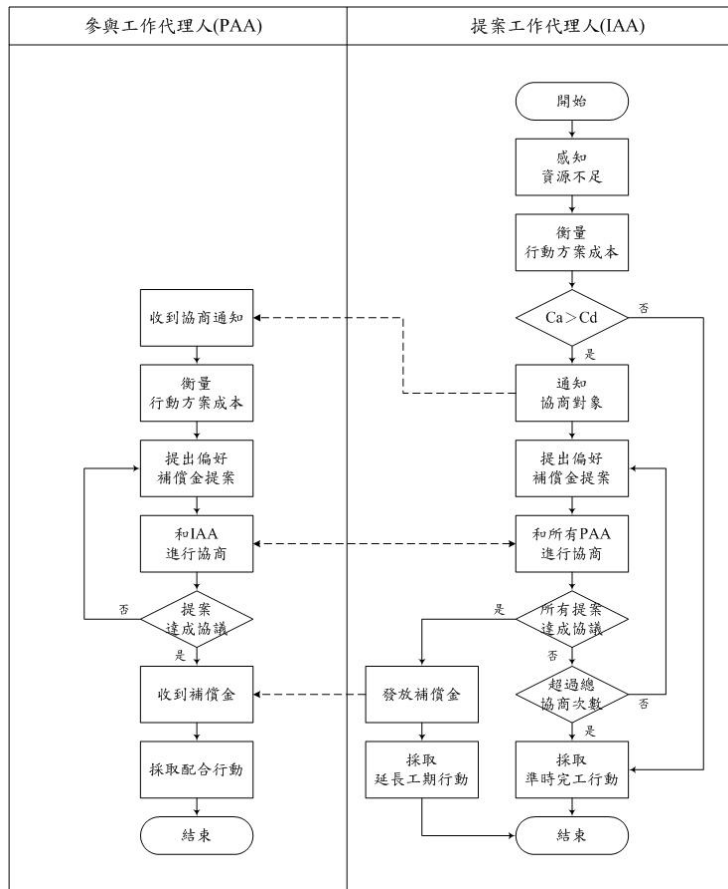


圖 8：代理人協商互動過程

## 伍、補償式策略協商模式

本章主要探討補償式策略協商模式的組成、運作策略等相關核心細節，並說明代理人如何在此模式下，運用各種協商策略，協同合作解決因資源不足所產生工作延誤的動態排程問題。補償式策略協商模式主要由下列三部份所組成：一、代理人效用函數。二、協商策略演算法。三、協商協定。以下分別針對這三部份進行探討。

### 一、代理人效用函數

效用函數是代理人在協商時，用來評估各種不同提案對於自己效用的滿意程度。由於工作代理人在協商時所扮演的角色不同，其效用函數亦有所不同。效用函數主要是由成本模式、偏好模式等相關資料所組成，以下分別針對不同工作代理人角色的效用函數構成，進行探討。



## (一) 成本模式

### 1. IAA 的成本模式

IAA 因資源不足所考量的二種行動方案的成本模式如下：

#### (1) 選擇方案一：準時完工

在既定的工期  $t_0$ ，原本規劃的單位時間總資源成本為  $C_0$ 。因現有資源可用量不足的結果，造成單位時間總資源成本下降為  $C_1$ 。若沿用現有較少的資源超時趕工，以補足短少的工作時間時，由於資源超時使用的單位時間成本較高，造成單位時間總資源成本上升至  $C_2$ 。因此，準時完工方案所產生的加速成本  $C_a$  可表示為： $C_a = (C_2 - C_1) \times t_0$ 。

#### (2) 選擇方案二：延長工期

此選擇方案為在現有不足的資源量及不趕工的情況下，以延後完工時間的方式補足短少的工作時間。由於延長資源的使用時間會有額外的費用產生，造成單位時間總資源成本由原本的  $C_1$  上升為  $C_3$ 。因此，延長工期方案，若工期由原本的  $t_0$  增加至  $t_1$ ，所產生的延遲成本  $C_d$  可表示為： $C_d = C_3 \times (t_1 - t_0)$ 。

### 2. PAA 的成本模式

PAA 採取時程變更行動方案的成本模式估算，主要包含直接成本(direct cost)、間接成本(indirect cost)及移動成本(shifting cost)等相關成本資訊。

直接成本包括執行工作所需的原物料、人工、設備等相關資源使用的支出，是影響工期重要的因素之一。一般來說，工作隨著投入資源種類及數量不同，會有不同的工期。直接成本與工期相關分析方法中，最重要的即所謂的時間成本取捨法(time/cost trade-off approach)(Hegazy 2002)。在模式中，每個工作代理人均設定有工期所對應的直接成本函數，我們定義為： $DC = f(t)$ ，其中  $t$  為工期。

間接成本為工作相關的管銷費用、製造費用、利息支出、租金、罰款等支出，通常視為費用。一般來說，這些費用的支出會隨著工期的增加而上升。在模式中每個工作代理人均設定有其對應的間接成本函數，我們定義為： $IC = a \times t$ ，其中的  $a$  為單位時間間接成本分攤費用， $t$  為工期。

移動成本為模式中較為特殊的成本項目，屬於間接成本的一種，主要用以強調移動工期行動方案對工作代理人的影響。模式中工作代理人均有其工作所對應的移動成本函數，我們定義為： $SC = IC \times r \times \tilde{t} = a \times t \times r \times \tilde{t}$ ，其中  $IC$  為間接成本， $r$  為單位時間移動成本對間接成本的比率， $\tilde{t}$  為移動時間。

PAA 配合 IAA 延長工期所採取的時程變更行動方案之成本模式如下：

#### (1) 選擇方案一：壓縮工期：

若 PAA 在要徑上，其情時為零，則須以壓縮工期的方式因應，所造成的壓

縮成本由上述的直接、間接成本資料可得： $C_c = [f(t_1) + a \times t_1] - [f(t_0) + a \times t_0]$ ， $t_0$  為原本的工期， $t_1$  為時間縮短後的工期， $f$  及  $a$  為 PAA 的直接成本函數及單位時間間接成本分攤費用。

## (2) 選擇方案二：移動工期

若 PAA 不在要徑上，且 IAA 工期延長時間小於 PAA 惰時的情況下，則 PAA 可採取整個工期往後移動的方式因應。移動工期行動所造成的移動成本如前述，為： $C_s = a \times t \times r \times \tilde{t}$ 。

## (3) 選擇方案三：移動及壓縮工期

若 PAA 不在要徑上，且 IAA 工期延長時間大於 PAA 惰時時，則 PAA 會先以移動工期的方式至惰時為 0、再以壓縮工期的方式因應。移動及壓縮工期方案所造成的移動壓縮成本為： $C_{sc} = (a \times t_0 \times r \times \tilde{t}) + [f(t_1) + a \times t_1] - [f(t_0) + a \times t_0]$ ， $t_0$  為 PAA 原本的工期， $\tilde{t}$  為工期移動時間， $t_1$  為壓縮後的工期。

由於每個 PAA 在專案網路不同的位置，其所採行的時程變更行動方案亦不相同。因此，某 PAA 所採取的行動方案成本  $C_{act}$  屬於上述成本模式中的一項，即  $C_{act} \in (C_c, C_s, C_{sc})$ 。

## (二) 偏好模式

由於分包商工作的實際執行狀況及條件不同，例如：資源的可獲性、配合時程變更的態度、工作困難度等，因此，工作代理人對於時程變更所表現的偏好傾向及配合態度也不同。在補償式策略協商模式中，偏好模式代表工作代理人在與其他代理人進行協商時，對於補償金大小的偏好傾向以及對於時程變更的配合程度，以提供工作代理人在協商時，更能表現出分包商對其所執行工作狀況的實際認知，並反應在協商的提案中。

偏好模式主要由偏好水準 (preference level) 及偏好等級 (preference degree) 所組成。偏好模式依工作代理人角色的不同，有不同的設定值，如下說明：

### 3. 偏好水準 (preference level)

由於資源的配合度及工作困難度等壓力下，使得 IAA 在面對延長工期方案決策時，可能願意支付比額外成本高的補償金，以期能說服 PAA 採取配合行動，順利解決其資源不足的問題；同樣的，對於 PAA 來說，要它能接受補償金配合進行時程變更，在以自我利益考量下，它希望能獲得比支出成本還要高的偏好補償金為滿足，才有配合採取時程變更行動的意願。因此，模式中的偏好水準表示工作代理人在協商時，其期望的補償金與行動成本的偏好比率範圍。不同的代理人有不同的偏好水準設定值。



## (1) IAA 的偏好水準

表示 IAA 所願意支付的偏好補償金與額外成本(Ca-Cd)的比率範圍。由於喜好是一種效用滿足程度的表達，我們可用一閉區間的實數範圍來表示 IAA 對於補償金支出的偏好程度。我們定義 IAA 的偏好水準為： $PL_{iaa} = [\alpha_1, \beta_1]$ ， $\alpha_1, \beta_1 \in \mathfrak{R}$ ， $\alpha_1 \geq \beta_1$ 。例如：某 IAA 的偏好水準為[1, 0]，表其願意支付的偏好補償金範圍為(Ca-Cd)×[1, 0]=[ (Ca-Cd), 0]。

## (2) PAA 的偏好水準

對於 PAA 來說，若其堅持偏好利潤為無窮大時，即無協商溝通的必要性及妥協的空間存在，亦無協同合作的動機存在。因此，我們認為，在代理人協同合作解決問題的架構下，理性的 PAA 有其願意配合 IAA 進行時程調整所偏好且願意接受的補償金範圍存在。我們定義，PAA 的偏好水準為其所偏好的補償金與行動成本  $C_{act}$  的比率範圍： $PL_{paa} = [\alpha_2, \beta_2]$ ， $\alpha_2, \beta_2 \in \mathfrak{R}$ ， $\alpha_2 \geq \beta_2$ 。當偏好水準愈大時，表示該 PAA 的工作實際狀況及資源配置的成本可能較高，PAA 有較不願意配合時程變更的傾向，對於補償金的要求相對也較高。例如：某 PAA 的偏好水準為[1.6, 1.1]，表示它只要能獲得  $C_{act} \times [1.6, 1.1] = [1.6 \times C_{act}, 1.1 \times C_{act}]$  範圍內的補償金，它即願意配合 IAA 延長工期行動，進行時程變更。

## 4. 偏好等級(preference degree ; PD)

群體協商最令人詬病的問題之一，即是溝通提案所花費的時間不易掌控，甚至經過漫長的溝通過程之後，還是無法達成協議，形成時間的浪費。因此，為使雙方的提案能更符合對方的喜好，以提高對方的滿意度並減少協商的次數，加速協議的達成，我們加入了偏好等級控制因子。

由於每項工作的實際執行狀況及條件的不同，工作代理人在面臨時程變更時所表現的配合態度及意願也不一樣。我們定義偏好等級 PD 為工作代理人對於時程變更的配合度，以 1 到 10 區間內的一個整數值(不含 10)表示， $PD \in [1, 10)$ ；此控制因子於模式中最重要的功用，可做為代理人面對協商提案衝突時讓步策略的控制(請參閱協商策略演算法一節)。若 PD 值愈大，表示工作代理人的工作執行及資源調度狀況較容易，對於配合時程變更的能力較好，因此，面對協商提案衝突時，其後續提案會採取較大的讓步程度(concession step)。反之，PD 值愈小，其後續提案會採取較小的讓步程度。

## (三) 代理人效用函數

## 1. 偏好區間

工作代理人對於時程變更所採取的任何行動是要付出成本的，此成本可由成本模式中的各項成本資料估算出；再加上偏好模式中的偏好水準資訊，即構

成工作代理人於協商時，對於補償金的偏好區間。工作代理人對於補償金的協商，經過彼此溝通、讓步，不斷的在彼此的偏好區間中移動尋求共識。

### (1) IAA 的偏好區間

IAA 的偏好區間定義為其延長工期行動所願意支付補償金的偏好範圍，即  $PL_{iaa} \times (C_a - C_d) = [\alpha_1(C_a - C_d), \beta_1(C_a - C_d)]$ 。

### (2)、PAA 的偏好區間

PAA 的偏好區間定義為 PAA 配合採取時程變更行動所願意接受的補償金偏好範圍，即  $PL_{paa} \times C_{act} = [\alpha_2 C_{act}, \beta_2 C_{act}]$ 。

## 2. 效用函數

### (1) IAA 的效用函數

IAA 在協商時，它會希望補償金能落在其偏好區間內，且補償金的支出愈少愈好，也就是愈少的補償金支出對其效用的滿意度愈大。因此，我們運用效用理論建立線性效用評估模式程序，設定最佳可能獎金(best possible prize)為 IAA 偏好區間的最小值，最差可能結果(worst possible catastrophe)為偏好區間的最大值，並將它正規化(normalized)的結果，可得出 IAA 的效用函數為：

$$U^{iaa}(X) = 1 - \frac{X - \beta_1(C_a - C_d)}{\alpha_1(C_a - C_d) - \beta_1(C_a - C_d)}, \quad X \text{ 為補償金提案} \quad (1)$$

$U^{iaa}(X)$  為線性遞減的效用函數，當提案  $X$  愈大時，其效用函數值愈小，表提案  $X$  對 IAA 的效用滿意度愈低。當  $X$  小於偏好區間的上限值  $\alpha_1(C_a - C_d)$  時，其效用函數值為正數，表示該提案對於 IAA 的效用是正的，為可以接受的提案。反之，當  $X$  大於  $\alpha_1(C_a - C_d)$  時，其函數值為負數，表示該提案對於 IAA 的效用為負的，IAA 即無法接受此提案。

### (2)、PAA 的效用函數

對 PAA 來說，它會希望補償金能落在其偏好區間內，且愈大愈好，它才會有採取配合行動的意願。同樣的，我們亦利用效用理論建立線性效用評估模式程序，設定最佳可能獎金為 PAA 偏好區間的最大值，最差可能結果為偏好區間的最小值，將它正規化的結果，得出 PAA 的效用函數為：

$$U^{paa}(X) = \frac{X - \beta_2 C_{act}}{\alpha_2 C_{act} - \beta_2 C_{act}}, \quad X \text{ 為補償金提案}; \quad (2)$$

$U^{paa}(X)$  為線性遞增的效用函數，當  $X$  愈大時，效用函數值愈大，表提案  $X$  對 PAA 的效用滿意度愈高。當  $X$  小於偏好區間的最小值  $\beta_2 C_{act}$  時，效用函數值為負數，表該提案對於 PAA 的效用滿意度為負的，PAA 即無

法接受此提案。反之，當  $X$  大於偏好區間的最小值時，其效用函數值為正數，表示該提案對於 PAA 的效用是正的，為可接受的補償金提案。

## 二、協商策略演算法

### (一) IAA 的協商策略

IAA 的協商策略主要是由讓步策略、總協商次數、期望總補償金提案模式、協商決策模式、總補償金分配模式以及個別 PAA 子提案模式等六種策略模式所組成，分別探討如下：

#### 1. 讓步策略

IAA 的讓步策略是由讓步次數及讓步方式所組成。當協商提案有所衝突時，IAA 即以此讓步策略，以適當的方式對後續提案進行讓步，以促成協議的達成。

##### (1)、讓步次數(concession frequency)

我們將 IAA 的提案讓步次數定義為  $[10 - \min_{i \in PAA} \{PD_i\}]$ ，其中  $\min_{i \in PAA} \{PD_i\}$  表示具有偏好等級最小值的 PAA；此值亦為所有 PAA 中提案讓步次數最多者(PAA 提案讓步次數為  $(10 - PD^{paa})$ ，請參閱 PAA 讓步次數一節)。如此設定的目的在使 IAA 得以控制整個協商溝通的進度與協商次數。

##### (2)、讓步方式(concession mode)

IAA 希望補償金能落在其偏好區間  $[\alpha_1^{iaa}(C_a^{iaa} - C_d^{iaa}), \beta_1^{iaa}(C_a^{iaa} - C_d^{iaa})]$  內，且支出愈小愈好。若協商提案未能達成協議時，IAA 的讓步方式我們採用效用中立策略(utility neutral strategy)，以效用等比例遞減原則，將 IAA 的偏好區間大小依讓步次數  $[10 - \min(PD^{paa})]$  均分為同等比例，定義其讓步程度

(concession step) 為  $\left( \frac{1}{10 - \min(PD_i^{paa})} \right) \times [\alpha_1^{iaa}(C_a^{iaa} - C_d^{iaa}) - \beta_1^{iaa}(C_a^{iaa} - C_d^{iaa})]$ 。當每

次協商提案未能達成協議時，IAA 即以此讓步程度逐次提高補償金提案金額，以期能提高對方的滿意度，促成協議的達成。因此，IAA 最多經過  $[10 - \min(PD_i^{paa})]$  次的讓步後，若還未能達成協議，此時 IAA 的提案已達其所願意支付總補償金的上限、也就是其偏好區間的最大值，IAA 已沒有再讓步的空間了，此情況會造成協商破局的結果。

#### 2. 總協商次數(total negotiation times)

通常協商時提案的溝通可能需經過漫長的時間才能有結果，所花費的時間

也較不易掌控。因此，為控制提案溝通次數及時間，我們將總溝通次數設定由啟動協商機制的 IAA 所控制，定義總協商次數為 IAA 的提案讓步次數  $\lceil 10 - \min(PD_i^{paa}) \rceil$ 。其目的在使 IAA 得以掌控整個協商進度與溝通次數，使協商能儘快達成協議。且此定義亦能保證，若提案溝通次數到達總協商次數尚未能達成協議時，則協商必定面臨破局的結果。因為本研究各個代理人的效用函數，皆為具有單調性(monotonicity)的線性模式，若到達總協商次數而未能達成協議時，所有代理人本身的提案皆已讓步到效用為 0 的情況，理性的代理人不可能再讓步而提出效用為負的提案出來。再度協商的結果也必定維持原提案而無法達成協議，因此也沒有再協商的必要性，協商必定破局。

### 3. 期望總補償金提案模式(model of expected total offers)

IAA 在面對許多 PAA 協商時，首先心中會有一個理想的總補償金提案，希望能以此偏好的總補償金，補償所有 PAA 的損失。我們依據 IAA 的偏好區間及讓步策略，定義 IAA 的期望總補償金提案模式為：

$$x_i = \begin{cases} \left( \frac{i}{10 - \min(PD_i^{paa})} \right) \times [\alpha_1^{iaa}(C_a^{iaa} - C_d^{iaa}) - \beta_1^{iaa}(C_a^{iaa} - C_d^{iaa})] + \beta_1^{iaa}(C_a^{iaa} - C_d^{iaa}), & \text{if } i \leq \lceil 10 - \min(PD_i^{paa}) \rceil \\ \alpha_1^{iaa}(C_a^{iaa} - C_d^{iaa}), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$x_i$  為 IAA 在第  $i$  次協商時，心中預期提出給所有 PAA 的偏好總補償金提案。上式中具有不同上標值的各個變數，代表不同工作代理人角色所屬變數。此提案模式對於 IAA 自己的效用滿意度即為  $U^{iaa}(x_i)$ 。

### 4. 協商決策模式(negotiation decision model)

當 IAA 收到所有 PAA 的反提案時，它會將此反提案彙總並與此次心中理想的期望總補償金提案進行評估，以判斷能否接受所有 PAA 的反提案。我們結合 IAA 的期望總補償金提案模式及效用函數，定義 IAA 對所有 PAA 反提案的決策行為模式，以下列決策函數(decision function)表示：

$$DF^{iaa \rightarrow *paa} \left( i, \sum_{paa} X_{i-1}^{paa \rightarrow iaa}, x_i \right) = X_i^{iaa \rightarrow *paa} = \begin{cases} \text{'accept - all'} & , \text{if } U^{iaa} \left( \sum_{paa} X_{i-1}^{paa \rightarrow iaa} \right) \geq U^{iaa}(x_i) & (4a) \\ \text{'reject - all'} & , \text{if } U^{iaa} \left( \sum_{paa} X_{i-1}^{paa \rightarrow iaa} \right) < U^{iaa}(x_i) \text{ and } i \geq (i_{\max} + 1) & (4b) \\ x_i & , \text{otherwise} & (4c) \end{cases}$$

此決策函數表示 IAA 在第  $i$  次協商時( $i > 1$ )，評估上次所有 PAA 反提案的彙總  $\sum_{paa} X_{i-1}^{paa \rightarrow iaa}$  及本次 IAA 理想的期望總補償金提案  $x_i$ ，所做出的決策判斷。上

式中的  $i_{\max} = \lceil 10 - \min(PD_i^{paa}) \rceil$ ，為總協商次數。此決策模式為 IAA 對於協商能否達協議的重要決策判斷，其結果為總提案  $X_i^{iaa \rightarrow * paa}$ ，有三種可能的提案結果：

(1) 結果一： $X_i^{iaa \rightarrow * paa} = \text{'accept-all'}$

上次(i-1)協商時，所有 PAA 反提案彙總  $\sum_{paa} X_{i-1}^{paa \rightarrow iaa}$  對於 IAA 的效用滿意度大於或等於此次 IAA 期望總補償金提案的效用滿意度時，IAA 即接受所有 PAA 的反提案，並提出 accept-all 的訊息，欲告知所有 PAA 提案已達成協議並結束所有協商動作。此總提案結果需經過個別 PAA 子提案模式(後述之)運作後，即為 IAA 對個別 PAA 實際所提出的提案。

(2) 結果二： $X_i^{iaa \rightarrow * paa} = \text{'reject-all'}$

當協商次數超過總協商次數、且所有 PAA 反提案總合的效用滿意度小於本次 IAA 期望提案的效用滿意度時，表示協商最後 IAA 還是無法接受 PAA 的反提案，IAA 即提出 reject-all 的訊息，欲告知所有 PAA 結束所有協商的動作。此總提案結果亦需經過個別 PAA 子提案模式運作後，即為 IAA 對個別 PAA 實際所提出的提案。

(3) 結果三： $X_i^{iaa \rightarrow * paa} = x_i$

若上次所有 PAA 反提案總合的效用滿意度小於本次 IAA 期望提案的效用滿意度、且尚未超過總協商次數時，表示尚有協商的空間，IAA 即將此次心中理想的期望總補償金提案提出。此期望總提案需經過總補償金分配模式(後述之)及個別 PAA 子提案模式的運作後，即成為 IAA 對個別 PAA 實際所提出的提案。

## 5. 總補償金分配模式

IAA 協商時，所面對的 PAA 可能不止有一個，當協商尚未能達成協議時，IAA 如何將上階段的心中理想的期望總補償金提案，依個別 PAA 的需求，分成數個符合個別 PAA 偏好的適當子提案，以期能加快協議的達成，為此階段的重點。IAA 的期望總補償金提案分配成個別 PAA 子提案的分析過程，我們以下列式子描述：

未達成協議的個別 PAA 子提案 = (未達成協議的個別 PAA 分配比例) × (IAA 期望總補償金提案 - 已和部份 PAA 達成協議的補償金總和)。

針對上式，我們分成二部份進行分析：

(1) 首先，對於未達成協議的個別 PAA 分配比例部份，我們採用代理人之間所分享、代表時程變更配合度的偏好等級 PD 控制因子，進行對個別 PAA 子提案分配比例的控制。偏好等級較低者，表其工作狀況較難配合進行時程變更，且對於補償金的偏好水準也有較高的趨勢，因此，我們則採取較高比例的分

配原則分配補償金給它，以期能儘快滿足它而加快協議的達成；反之，偏好等級較高者，則採取較低比例的分配原則。此分配原則可以下列分配比例模式表示：

$$R_i^{paa} = \frac{10 - PD^{paa}}{\sum_{paa} (10 - PD^{paa})}$$

， $paa$  為未達成協議的 PAA；由於每次的協商，可能都會

有部份 PAA 接受提案而達成協議的情況，所以，上式的分母  $\sum_{paa} (10 - PD^{paa})$  會隨著每次協商時未達成協議的 PAA 數量的改變而有所不同，因此，每次協商時個別 PAA 的分配比例也可能有所不同。若 PAA 只有一個時，則  $R_i^{paa} = 1$ 。

(2) 其次，期望總補償金在對個別 PAA 進行分配前，需先扣除上次已和部份 PAA 達成協議的補償金部份，我們以  $\left( X_i^{iaa \rightarrow *paa} - \sum_{paa'} X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa'} \right)$  表示；其中的  $paa'$  為之前協商已達成協議的 PAA(其反提案會等於上次 IAA 對它的子提案：

$X_{i-1}^{paa' \rightarrow iaa} = X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa'}$ ，後述之)。因為該 PAA 已接受之前的提案，因此，沒有必要再提高補償金跟它協商。

由上述(1)、(2)的分析中，我們可得出 IAA 對個別 PAA 的補償金分配模式，定義為：

$$x_i^{paa} = R_i^{paa} \times \left( X_i^{iaa \rightarrow *paa} - \sum_{paa'} X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa'} \right), \text{ for those } paa \notin paa' \text{ which } X_{i-1}^{paa' \rightarrow iaa} = X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa'} \quad (5)$$

$x_i^{paa}$  為 IAA 在第  $i$  次協商時，對尚未達成協議的個別 PAA 所提出的補償金子提案； $R_i^{paa}$  為上述(1)中 PAA 的分配比例模式； $X_i^{iaa \rightarrow *paa}$  表上階段 IAA 對所有 PAA 的期望總補償金提案；而  $\sum_{paa'} X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa'}$  為之前已和部份 PAA 達成協議的補償金總和。

### 6. 個別 PAA 子提案模式

因此，IAA 實際對個別 PAA 子提案提出的決策行為模式，我們以下列的決策函

數表示： $DF^{iaa \rightarrow paa}(i, X_i^{iaa \rightarrow *paa}, X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa}, X_{i-1}^{paa \rightarrow iaa}) = X_i^{iaa \rightarrow paa} =$

$$\begin{cases} \text{'reject'} & , \text{ if } X_i^{iaa \rightarrow *paa} = \text{'reject - all'} & (6a) \\ \text{'accept'} & , \text{ if } X_i^{iaa \rightarrow *paa} = \text{'accept - all'} & (6b) \\ X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa} & , \text{ if } X_{i-1}^{paa \rightarrow iaa} = X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa} & \\ x_i^{paa} & , \text{ otherwise} & (6c) \end{cases}$$

此函數表示 IAA 在第  $i$  次協商時，評估 IAA 在協商決策模式中對所有 PAA 的總提案結果  $X_i^{iaa \rightarrow *paa}$ 、上次協商時 IAA 對該 PAA 的子提案  $X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa}$  以及 PAA 的反提案  $X_{i-1}^{paa \rightarrow iaa}$  後，對個別 PAA 實際提出子提案的行為模式。其結果為 IAA 實際對此 PAA 所



提出的子提案  $X_i^{iaa \rightarrow paa}$ 。此模式有四種可能的提案結果產生：

- (1) 結果一： $X_i^{iaa \rightarrow paa} = 'reject'$

當 IAA 的協商決策模式對所有 PAA 的總提案為 reject-all 時，表示 IAA 認為已經無法達成協議而欲停止協商。此時 IAA 即向所有 PAA 提出 reject 的訊息，表示欲結束與所有 PAA 的協商。

- (2) 結果二： $X_i^{iaa \rightarrow paa} = 'accept'$

若 IAA 的協商決策模式對所有 PAA 的總提案為 accept-all 時，表示 IAA 接受所有 PAA 的反提案，協商已達成協議。此時 IAA 即向 PAA 提出 accept，表示接受其反提案的訊息，並且結束與 PAA 的協商。

- (3) 結果三： $X_i^{iaa \rightarrow paa} = X_{i-1}^{iaa \rightarrow paa}$

上次協商時，該 PAA 的反提案等於 IAA 對它的提案時，表示該 PAA 已接受上次 IAA 對它的提案，所以此次對該 PAA 的子提案亦沿用上次的子提案即可，而不用再對它讓步重新提案。

- (4) 結果四： $X_i^{iaa \rightarrow paa} = x_i^{paa}$

若協商尚未有結果，此時 IAA 即依總補償金分配模式分配補償金給此 PAA 再度進行協商。

## (二) PAA 的協商策略

個別 PAA 的協商策略主要是由讓步策略、期望補償金反提案模式以及協商決策模式等三種策略模式所組成，分別探討如下：

### 1. 讓步策略

PAA 的讓步策略是由讓步次數及讓步方式二種所組成。當協商提案有所衝突時，PAA 即以此讓步策略，以適當的方式對後續提案進行讓步，以促成協議的達成。

#### (1) 讓步次數

我們將 PAA 的讓步次數定義為  $(10 - PD^{paa})$ 。採用此控制 PAA 讓步次數的原因是，當 PAA 的偏好等級愈大，表示其工作愈容易進行時程調整，對於 IAA 時程變更的配合度也較好。因此，面對協商提案衝突時，它願意採取較大的讓步程度，希望能減少協商次數，儘快達成協議。所以，該 PAA 也就會在較少的讓步次數下，很快的讓步到其偏好區間的下限值，此下限值的提案對該 PAA 的效用為 0。



## (2) 讓步方式

由於 PAA 接受補償金的原則是在其偏好區間  $[\alpha_2 C_{act}^{paa}, \beta_2 C_{act}^{paa}]$  內，補償金愈多愈好。因為 PAA 的效用函數為具有單調性的線性模式，其效用滿意度與補償金提案成正比。因此，在協商提案未能達成協議時，PAA 的讓步方式我們亦採用效用中立策略，以效用等比例遞減原則，將 PAA 的偏好區間大小依讓步次數  $(10 - PD^{paa})$  均分為同等比例，定義其讓步程度為  $\left(\frac{1}{10 - PD^{paa}}\right)(\alpha_2 C_{act}^{paa} - \beta_2 C_{act}^{paa})$ 。當每次協商未能達成協議時，PAA 即以此讓步程度逐次降低補償金提案金額，以期能提高對方的滿意度，促成協議的達成。因此，PAA 最多經過  $(10 - PD^{paa})$  次的讓步後，若還未能達成協議，此時 PAA 的提案已達其所能接受補償金的下限、也就是偏好區間的最小值，PAA 已沒有再讓步的空間了，會造成協商破局的結果。

## 2. 期望補償金反提案模式

PAA 每次協商時，心中預期符合偏好的期望補償金反提案，我們依據 PAA 的偏好區間及讓步策略，以下列模式定義之：

$$x_i = \begin{cases} \alpha_2 C_{act}^{paa} - \left(\frac{i}{10 - PD^{paa}}\right)(\alpha_2 C_{act}^{paa} - \beta_2 C_{act}^{paa}), & \text{if } i \leq (10 - PD^{paa}) \\ \beta_2 C_{act}^{paa}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$x_i$  表 PAA 在第  $i$  次協商時，心中理想的期望補償金反提案。上式中各個參數的上標值，表示其為該提案所屬 PAA 的參數值。當 PAA 的協商次數大於讓步次數  $(10 - PD^{paa})$  時，PAA 的反提案始終會維持在偏好區間下限值  $\beta_2 C_{act}^{paa}$ ，因為理性的 PAA 不可能提出低於偏好區間下限、效用為負的反提案。此反提案模式對於 PAA 的效用滿意度即為  $U^{paa}(x_i)$ 。

## 3. 協商決策模式

當個別 PAA 收到 IAA 的補償金提案時，它會將此提案與自己此次心中理想的期望補償金反提案做評估，判斷是否接受 IAA 的提案。因此，結合 PAA 的期望補償金反提案模式及效用函數，我們定義 PAA 對 IAA 提案的協商決策行為模式，以下列決策函數表示：

$$DF^{paa \rightarrow iaa}(i, X_i^{iaa \rightarrow paa}, x_i) = X_i^{paa \rightarrow iaa} =$$

$$\begin{cases} \text{'termination' } & \text{if } X_i^{iaa \rightarrow paa} \in \{\text{'accept'}, \text{'reject'}\} \end{cases} \quad (8a)$$

$$\begin{cases} X_i^{iaa \rightarrow paa} & \text{if } U^{paa}(X_i^{iaa \rightarrow paa}) \geq U^{paa}(x_i) \end{cases} \quad (8b)$$

$$\begin{cases} x_i & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8c)$$

此決策函數表示 PAA 在第  $i$  次協商時，評估此次 IAA 對它的個別提案  $X_i^{iaa \rightarrow paa}$  及自己偏好的期望補償金反提案  $x_i$  後，所做出的行為模式；其結果為 PAA 此次對 IAA 實際提出的反提案  $X_i^{paa \rightarrow iaa}$ ，有三種可能的反提案結果：

(1) 結果一：'termination'

當 PAA 收到 IAA 提出 accept 或 reject 訊息時，表示 IAA 對於協商已有結果產生，並請求 PAA 依協議採取行動並結束協商動作。其結果為：IAA 接受 PAA 的補償金反提案(accept)，並請求 PAA 採取時程變更的行動；亦或 IAA 認為協商已破局而拒絕協商(reject)。此時，PAA 即不再對 IAA 的提案做出任何回應。

(2) 結果二： $X_i^{paa \rightarrow iaa} = X_i^{iaa \rightarrow paa}$

當 IAA 提案的效用滿意度大於或等於 PAA 此次期望補償金反提案的效用滿意度時，PAA 即接受 IAA 的提案，並將 IAA 的提案當成反提案再提給 IAA，表示願意接受 IAA 的補償金提案。

(3) 結果三： $X_i^{paa \rightarrow iaa} = x_i$

若 IAA 提案的效用滿意度小於 PAA 此次的期望補償金反提案的效用滿意度時，PAA 則拒絕接受 IAA 的提案，並將自己此次的期望補償金反提案提出給 IAA 再次協商。

IAA 與 PAA 協商策略演算法，我們以虛擬碼(pseudo code)表示，如圖、圖所示。



```

function IAA-NEGOTIATION-STRATEGY(counteroffers) returns offers
  inputs: counteroffers           //counteroffers at last time period
  static: times                  //current negotiation times
         last-offers             //offers at last time period

  expected-offers ← EXPECTED-TOTAL-OFFERS(times)           //eq(3), expected offers model for all PAA
  if times ≤ TOTAL-NEGOTIATION-TIMES then                 //eq(4), negotiation decision model of IAA
    if times > 1 then
      if UTIL-FCN(SUM(counteroffers)) ≥ UTIL-FCN(expected-offers) then //eq(4a); eq(1) utility function of IAA
        total-offers ← 'accept-all'
      else total-offers ← expected-offers                 //eq(4c)
    else total-offers ← expected-offers                   //eq(4c)
  else total-offers ← 'reject-all'                       //eq(4b)

  offers ← {}                                             //a set of offers proposed for all PAA
  if total-offers = 'reject-all' then                    //eq(6), decision function of offers for all PAA; eq(6a)
    offers ← {'reject'}
    times ← 0
    return offers
  if total-offers = 'accept-all' then                   //eq(6b)
    offers ← {'accept'}
    times ← 0
    return offers
  for each element in counteroffers do
    if counteroffers[index] = last-offers[index] then   //eq(6c), counteroffer equals to offer at last time period
      offers ← INSERT(last-offers[index], index)        //this offer assigned by offer at last time period
    else                                                 //eq(6d)
      offer ← OFFERS-DISTRIBUTION(total-offers)         //eq(5), offers distribution model
      offers ← INSERT(offer, index)
  times ← times + 1
  last-offers ← offers
  return offers

```

圖 9：IAA 協商策略演算法之虛擬碼

```

function PAA-NEGOTIATION-STRATEGY(offer) returns counteroffer, or termination
  inputs: offer           //offer at current time period
  static: times          //current negotiation times

  if offer is not in {'accept', 'reject'} then           //eq(8), negotiation decision model of PAA
    expected-counteroffer ← EXPECTED-COUNTEROFFER(times) //eq(7), expected counteroffer model
    if UTIL-FCN(offer) ≥ UTIL-FCN(expected-counteroffer) then //eq(8b); eq(2), utility function of PAA
      counteroffer ← offer
    else counteroffer ← expected-counteroffer           //eq(8c)
    times ← times + 1
    return counteroffer
  else                                                 //eq(8a)
    times ← 0
    exit

```

圖 10：PAA 協商策略演算法之虛擬碼

在 IAA 及 PAA 協商策略的運作下，動態排程最後有二種可能的結果產生：

- (三) 協商超過總協商次數而 IAA 尚未能接受所有 PAA 的提案時，協商即宣告破局。此時，IAA 即無法以偏好的支出採取延長工期行動，以解決其資源不足的問題，而只能採取準時完工行動，以資源超時趕工的方式加速工作的進行。
- (四) 在到達總協商次數前，IAA 接受所有 PAA 的提案達成協議。如此，各個工作代理人所協議的補償金均會符合大家的偏好與期待，其效用會達到一個大家都滿意的均衡點，此效用均衡點對於每個參與協商的工作代理人均不為負值。如此，IAA 能以其偏好的支出，採取延長工期行動解決資源不足的問題；而所有時程受到影

響的 PAA，也能在其適當的範圍內調整工作時程，並獲得較大利潤的補償。

如此，整個分散式專案，各個專案成員於工作執行階段，因資源不足所產生工期延誤的動態排程問題，即能在各個工作代理人各取所需的協同合作機制下，迅速找到符合各專案成員利益的平衡點，形成「多贏」的結果。

### 三、協商協定

為有效的提供工作代理人彼此互動、溝通的運作機制，本研究提出了協商模式中代理人一般化的協商協定。我們以代理人統一塑模語言(Agent Unified Modeling Language; AUML)的循序圖(sequence diagram)表達了模式中不同工作代理人彼此溝通互動的訊息標準，如圖所示。此協商協定可透過標準的代理人溝通語言(agent communication language)如 FIPA-ACL、KQML 進行實作、亦或一般程式語言進行客製化處理。內容語言(content language)部份可依專案實際運作需求，透過內容語言標準如 SL、XML 等、亦或一般程式客製化建構，而不影響系統的運作。訊息傳送採非同步化(asynchronous)的方式進行，並依模式運作平台所構建的訊息傳輸系統(message transport system)，透過網路及各種不同通訊協定(communication protocol)：如：HTTP、IIOP、SMTP 等，讓代理人彼此間進行有效的溝通。

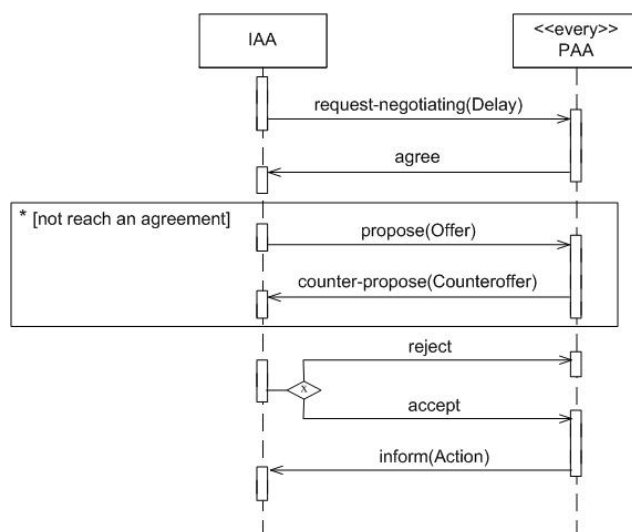


圖 11：代理人協商協定的 AUML 循序圖

在圖的協商協定中，當 IAA 需與所有 PAA 協商時，它即傳送 request-negotiating 及延時相關內容訊息(Delay)給所有的 PAA，要求展開補償金協商。經所有 PAA 確認同意、回應 agree 後，即展開協商的動作。雙方透過 propose 及 counter-propose 傳送彼此期望的補償金提案(Offer)及反提案(Counteroffer)內容訊息，進行多階段來回協商。最後，在 IAA 協商策略的評估下，若能接受全部 PAA 的反提案而達成協議，則傳送

accept 給所有 PAA 並停止提案協商的動作；PAA 在採取配合行動後，即回覆 inform 及所採取的行動內容訊息(Action)給 IAA；若到達總協商次數 IAA 尚無法接受所有 PAA 的反提案時，IAA 則傳送 reject 訊息給所有 PAA，並結束所有協商的動作。

## 陸、案例探討

我們藉由一個分散式多重合約式專案案例，說明工作代理人如何在補償式策略協商模式下，協同合作解決資源不足問題的過程。此案例的整體架構及工作時程如圖及圖所示。當要徑工作 A2 在執行階段，A2 工作代理人在感知臨時發生資源短缺的異常狀況時，它即進行採取準時完工或延長工期因應行動方案的決策評估。透過 A2 工作代理人所屬專案成員子系統中資料庫的相關資訊，A2 工作代理人可估算出在現有資源不足狀況下，需增加三天的正常工時方可順利完工、以及準時完工的加速成本比延長工期三天的延遲成本高 4,000 (Ca-Cd=4,000)。此時，透過各專案成員子系統所分享的工作時程資訊，它可得知延長工期三天可能影響後續 A4、A5、A6 的工作時程，因此，它即啟動協商機制，通知 A4、A5、A6 工作代理人，進行延長工期三天的補償金協商，以解決所面臨資源不足的問題。此時，A2 工作代理人即扮演 IAA 的角色、而 A4、A5、A6 工作代理人則扮演 PAA。

圖左顯示重排程前，A2、A4、A5、A6 的工作時程、工期及惰時狀況；圖右顯示 A2 若延長工期三天，A4、A5、A6 工作代理人可能採取的時程調整行動及相關工期及惰時狀況；三者採取惰時策略調整工期，其中 A4 工作代理人採取移動及壓縮工期行動、A5 工作代理人採取壓縮工期行動、A6 工作代理人採移動工期行動最後的工作惰時均為 0。表 1 則列出各工作代理人所屬相關成本及偏好等資料。

工作	重排程前			重排程後		
	時程	工期	惰時	時程	工期	惰時
A2 (IAA)		12	0		12+3	0
A4 (PAA-1)		8	2		8-1	0
A5 (PAA-2)		10	0		10-3	0
A6 (PAA-3)		7	3		7	0

圖 12：範例時程圖

表 1：工作代理人所屬相關資料

工作	成本來源	偏好水準(PL)	偏好等級(PD)	(10-PD)	偏好區間			
A2 (IAA)	Ca-Cd	4,000	2.5	0	-	-	10,000	0
A4 (PAA-1)	Csc	1,200	1.6	1.1	7	3	1,920	1,320
A5 (PAA-2)	Cc	2,500	2.1	1.2	5	5	4,620	2,640
A6 (PAA-3)	Cs	400	3	1.8	2	8	1,800	1,080

表 2：工作代理人協商提案內容

協商序號 項目	1	2	3	4	5
IAA的總補償金提案及對個別PAA子提案					
A2總補償金提案	1,250	2,500	3,750	5,000	6,250
A2對A4的子提案	234	469	703	1,172	1,641
A2對A5的子提案	391	781	1,172	1,953	2,734
A2對A6的子提案	625	1,250	1,875	1,875	1,875
PAA對IAA的反提案					
A4對A2的反提案	1,720	1,520	1,320	1,320	-
A5對A2的反提案	4,224	3,828	3,432	3,036	-
A6對A2的反提案	1,710	1,620	1,875	1,875	-

<pre>(propose :sender (agent-identifier :name A-2@server-2:1099/JADE) :receiver (set (agent-identifier :name A-4@server-4:1099/JADE)) :content "( (action (agent-identifier :name A-2@server-2:1099/JADE) (propose (offer-description :name (agent-identifier :name A-2@server-2:1099/JADE) :offer (1172) )))" :reply-with A-4@server-4:1099/JADE108424466828 :language fipa-sli0 :ontology compensation-ontology :protocol compensation-negotiation )</pre>	<pre>(counter-propose :sender (agent-identifier :name A-4@server-4:1099/JADE) :receiver (set (agent-identifier :name A-2@server-2:1099/JADE)) :content "( (action (agent-identifier :name A-4@server-4:1099/JADE) (counter-propose (counteroffer-description :name (agent-identifier :name A-4@server-4:1099/JADE) :counteroffer (1320) )))" :reply-with A-2@server-2:1099/JADE108424466875 :language fipa-sli0 :ontology compensation-ontology :protocol compensation-negotiation )</pre>
--	--

圖 13：代理人協商溝通訊息內容範例

協商過程中，工作代理人運用協商策略，進行提案及反提案的評估工作；透過本體論知識庫及協商協定的運作機制，工作代理人之間得以有效的溝通、交換彼此提案訊息。在 A2 工作代理人啟動協商機制、並首先提出提案後，整個協商溝通程序即重覆進行，協商溝通訊息內容範例如圖所示。

工作代理人每次協商的提案及反提案內容如表 2 所示。最後，在第 4 次協商時，由 A4、A5、A6 工作代理人提出反提案、經 A2 工作代理人評估接受並發出 accept 的訊息後，協商即達成協議，並結束整個協商動作。最後協議的結果為：A2 工作代理人以支付 6,231(1,320+3,036+1,875)的總補償金(比第 5 次期望總補償金提案 6,250 少 19)採取延長工期三天的行動；其他代理人同樣的，也在各自接受的補償金協議下配合進行時程變更。最後專案動態排程的結果，如圖甘特圖所示。

在以代理人為基礎的補償式策略協商模式下，此種狀況同樣也可能發生在其他工作代理人身上。如此，因工作資源不足所產生延長工期的動態排程問題，即可在工作代理人即時、互動的協同合作環境下，迅速找到符合各專案成員利益的平衡點而自行解決。

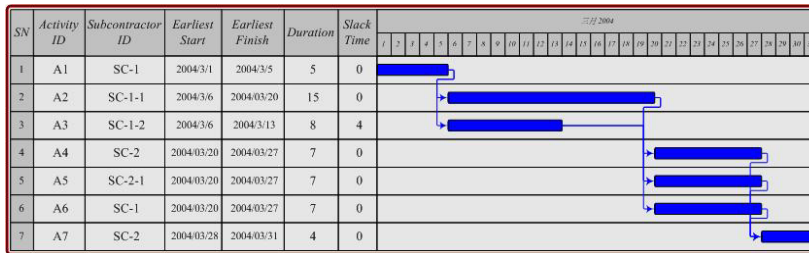


圖 14：重排程後之甘特圖

## 柒、討論

由於資訊技術及網際網路的快速發展，促使許多學者相繼投入了多重代理人自動協商的研究領域中，使得此研究主題受到相當程度的重視。學者們依據自己的研究興趣及觀點，以不同的角度切入進行構模，也因此，使得研究對象雖相同，但卻有著不儘相同的協商行為模式與決策法則。例如：

- Kim 等學者 (2003) 針對分散式專案執行過程中，提出了一個分散式代理人自動協商模式，以協助各個分包商協同合作解決因不確定性因素造成時程變更所產生的衝突問題。模式中，透過各個分包商所屬代理人協同運作下，能自動評估時程變更所造成的成本衝擊、模擬最佳決策的制定、給分包商決策建議，並能自動協商，以效用移轉的方式解決各分包商因資源不足所造成的時程變更問題。
- Chun 及 Wong (2003) 提出一個以代理人為基礎的自動協商模式，此架構包含了使用者偏好模式(user preference model)、評估函數(evaluation function)、協商協定(protocol)等相關協商運作的模組，以協商方式解決分散式動態排程的問題。其中，為能求得協商目標最佳化解，作者基於 A\* 演算法核心，提出一分散式協商最佳化演算命名為 N\* (Nstar)。代理人可透過此演算法結合協商協定，針對不同的協商策略及目標，動態的求得最佳解或快速的協商妥協解。
- Luo 等學者 (2003) 針對合作式競爭的代理人互動環境下，提出一以模糊限制為基礎(fuzzy constraint based)的雙邊多議題協商模式。此模式針對各個代理人在不同協商議題的可接受範圍內，採用優先化模糊限制(prioritized fuzzy constraints)的讓步策略，其可針對議題範圍進行協商而非單點協商，在部份私密資訊公開化的情況下，進行最佳妥協解的協議。

上述研究模式與本論文模式異同點的分析比較如所示。值得特別探討的是，許多研究學者所提出的協商模式，為能求得協商的最佳解，大多假設代理人需在公開協商私密資訊(協商策略、限制或效用函數等)的開放環境下、或在第三者介入的環境下進行協商，如此，才有利於協商最佳解的求得；然而實務上，在一個競爭環境的協商行為表現上，自我利益(self-interested)的代理人為求個別利益最大化，是不會輕易公開協商私密資訊的；此條件因此也限制了這些協商模式用來解決實際問題的能力及其應用



範圍(Zeng and Sycara, 1997)。相對於其他模式，本論文所提出的協商模式，重點關心於私密資訊不公開以及滿足個別偏好及最小成本的原則下，對於協商模式解決時程衝突之細節組織，如：成本模式、偏好模式、效用函數、讓步策略、提案模式及協商決策模式等之構模，進行較深入的探討，以達到符合各個代理人期望的協商可行解。

表 3：本模式與其他模式比較分析

	本文	Kim, et. al.	Chun and Wong	Luo, et. al.
<b>行爲模式(Behavior Model)</b>				
自主性(autonomous)	完全(full)	半(semi)	完全(full)	完全(full)
對象(party)	一對多	多對多	一對多	多對多
議題(issue)	單一	單一	多	多
私密資訊(private information)	不公開	公開	公開	公開
協商協定(protocol)	有	有	有	無
結果(solution)	合適(feasible)	合適(feasible)	最佳(optimal)	最佳(optimal)
移動性(mobility)	無	無	有	無
<b>需求模式(Requirement Model)</b>				
限制(constraint)	明確(crisp)	明確(crisp)	明確(crisp)	模糊(fuzzy)
預設(profile)	有	有	有	有
優先權(priority)	無	無	有	有

## 捌、結論

在現今快速變遷環境下的多重合約式專案來說，由於專案成員間具有分散性、獨立性及專業性等特質，常容易發生界面問題，造成專案的控管不易；又由於專案往往在執行階段，專案成員常會受到許多不確定性因素的影響，使得資源的實際可用量與當初規劃的需求量有所差異，造成工作延誤的現象，甚至影響專案準時完工的目標。本研究即針對分散式專案於執行階段中，自我利益的專案成員因資源不足所產生工作延誤的動態排程問題，提出以代理人為基礎的補償式策略協商模式，在代理人即時、互動、自動協商補償金償付的運作機制下，能迅速的找到符合各專案成員利益的動態排程的平衡點。

研究中，自我利益的工作代理人為模式中主要代理人，代表專案成員所負責執行的專案工作任務，並能以專案成員的利益與偏好考量，協同合作以順利完成工作任務為目標。首先，為能有效的解決分式專案動態排程的問題，並建立代理人協同合作環境，本研究提出了三個工作代理人協同合作運作機制：分散式架構、情時策略及補償機制。在此機制運作的環境下，為解決某專案成員於工作執行階段資源不足的問題，所有參與的工作代理人，皆有其動態排程所可能採取的因應行動、成本、偏好及補償金決策的考量，並透過補償金償付的自動協商機制，進行符合各專案成員利益及偏好的策略協商。其中，針對補償式策略協商模式中的三個主要核心：代理人的效用函數、協商策略及協商協定部份，我們亦進行了深入的探討，詳細說明模式中不同代理人角

色的協商策略，包括：讓步策略、總協商次數控制、期望總補償金提案模式、協商決策模式等策略協商模式，以及代理人的效用函數的構成及協商協定運作等整個模式的運作細節；最後，以一案例說明代理人如何利用補償式策略協商模式進行動態排程的過程。

由於能力與時間有限，本研究無法做到詳盡而完備，最後有幾點建議及未來可供努力的發展方向：

- 一、本研究只針對單一的補償金議題進行協商，可考慮加入更多協商的議題，例如：時程調整時間、專案成員態度等，發展成多議題的協商。
- 二、研究中代理人的效用函數採用單調性的線性模式，未來可探討非線性效用函數對代理人提案及協商結果的影響，亦或不同代理人採用不同類型的效用函數，以更能符合專案成員的態度及協商時的表現。
- 三、在提案讓步策略方面，本研究的讓步方式採用效用中立策略；可考慮加入效用遞增或效用遞減等不同策略模式，探討對提案及結果的影響；亦或針對讓步方式、讓步次數、堅持次數等變化進行探討。
- 四、智慧型代理人專案控管機制所涉及到的領域問題範圍層面極廣(如：專案類型、資源重配置、時程重排程等)，其中亦涉及到許多不可量化的質性控制因子以及利益或損害的偏好因素等量測問題之構模，此相關議題的探討實屬重要且符合實務運作的需求，為本研究未來發展的重點方向。

## 參考文獻

1. Abumaizar, R.J., and Svestka, J.A. "Rescheduling job shops under random disruptions," *International Journal of Production Research* (35:7) 1997, pp 2065-2082.
2. Aigner, C., Dorn, J., and Girsch, M. "Cooperation between a simulation environment and a reactive scheduling system," The Eighth International Conference on Manufacturing Engineering, Sydney, Australia, 2000.
3. Chun, H.W., and Wong, Y.M. "N\*--an agent-based negotiation algorithm for dynamic scheduling and rescheduling," *Advanced Engineering Informatics* (17:1) 2003, pp 1-22.
4. Dorn, J., Kerr, R., and Thalhammer, G. "Reactive scheduling: improving the robustness of schedules and restricting the effects of shop floor disturbances by fuzzy reasoning," *International Journal on Human Computer Studies* (42:6) 1995, pp 687-704.
5. Durfee, E.H., Lesser, V.R., and Corkill, D.D. "Trends in cooperative distributed problem solving," *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering* (1:1) 1989, pp 63-83.

6. Ferber, J. *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, (1st ed.), Addison Wesley, New York, 1999.
7. Hegazy, T. *Computer-based construction project management*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.
8. Huhns, M.N., and Stephens, L.M. "Multiagent systems and societies of agents," in: *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, G. Weiss (ed.), The MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1999, pp. 79-120.
9. Jennings, N.R., Faratin, P., Lomuscio, A.R., Parsons, S., Sierra, C., and Wooldridge, M. "Automated negotiation: prospects, methods and challenges," *International Journal of Group Decision and Negotiation* (10:2) 2001, pp 199-215.
10. Jennings, N.R., Sycara, K., and Wooldridge, M. "A roadmap of agent research and development," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* (1:1) 1998, pp 7-38.
11. Jungen, F.J., and Kowalczyk, W. "An intelligent interactive project management support system," *European Journal of Operational Research* (84:1) 1995, pp 60-81.
12. Kerr, R., and Szelke, E. *Artificial intelligence in reactive scheduling*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1995.
13. Kim, K. "Distributed coordination of project schedule changes: an agent-based compensatory negotiation approach," Stanford University, 2001.
14. Kim, K., Paulson, B., Levitt, R., Fischer, M.A., and Petrie, C. "Distributed coordination of project schedule changes using agent-based compensatory negotiation methodology," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* (17) 2003, pp 115-131.
15. Kraus, S. *Strategic negotiation in multiagent environments*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2001.
16. Nwana, H.S., Lee, L.C., and Jennings, N.R. "Coordination in software agent systems," *The British Telecom Technical Journal* (14:4) 1996, pp 79-88.
17. O'Brien, W., Fischer, M.A., and Jucker, J.V. "An economic view of project coordination," *Construction Management and Economics* (13:5) 1995, pp 393-400.
18. Oliver, J.R. "A machine-learning approach to automated negotiation and prospects for electronic commerce," *Journal of Management Information Systems* (13:3) 1996, pp 83-112.
19. Raiffa, H. *The art and science of negotiation*, Harvard University Press, Cambridge, MA., 1982.
20. Russell, S., and Norvig, P. *Artificial intelligence: a modern approach*, (2nd ed.), Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2003.
21. Sauer, J. *Knowledge-based scheduling techniques in industry*, CRC Press, Boca Raton, 1999.
22. Sen, S., and Durfee, E.H. "A formal study of distributed meeting scheduling group

- decision and negotiation," *Group Decision and Negotiation Support System* (7) 1998, pp 265-289.
23. Smith, S.F. "Knowledge-based production management: approaches, results and prospects," *Production Planning and Control* (3:4) 1992.
  24. Tserng, H.P., and Lin, W.Y. "Developing an electronic acquisition model for project scheduling using XML-based information standard," *Automation in Construction* (12) 2003, pp 67-95.
  25. Ulusoy, G., and Ozdamar, L. "A framework for an interactive project scheduling system under limited resources," *European Journal of Operational Research* (90:2) 1996, pp 362-375.
  26. Wooldridge, M., and Jennings, N.R. "Intelligent agents: theory and practice," *The Knowledge Engineering Review* (10:2) 1995, pp 115-152.
  27. Yan, Y., Kuphal, T., and Bode, J. "Application of multiagent systems in project management," *International Journal of Production Economics* (68) 2000, pp 185-197.
  28. Yen, B.P.-C. "Communication infrastructure in distributed scheduling," *Computers & Industrial Engineering* (42) 2002, pp 149-161.
  29. Zambonelli, F., Jennings, N.R., Omicini, A., and Wooldridge, M. "Agent-oriented software engineering for Internet applications," in: *Coordination of internet agents: models, technologies and applications*, A. Omicini, F. Zambonelli, M. Klusch and R. Tolksdorf (eds.), Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 2000, pp. 326-346.

