

# 以競合為基礎的 HMS/MAS 在複雜系統中排程之研究

計劃編號：NSC 89-2212-E-029-004  
執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日  
主持人：王偉華 東海大學工業工程與經營資訊系  
E-mail:wangwh@ie.thu.edu.tw

## 一、摘要

在網路盛行之現今，傳統集中式控制決策的方式將不敷需求，而以 HMS/MAS 之方式來解決企業內與之間的問題將愈形重要。因此本研究針對企業間之訂單競爭與交易，以及企業內訂單加工作業之工作中心排程兩個情境來進行探討。

本研究欲以 HMS/MAS 來建構分散式環境架構，以此一架構建立企業之間以及工作中心之間的虛擬市場；並設計多重代理者訂單拍賣與交易機制為代理者之間的互動機制，以此方式來探討解決上述兩情境之問題。本研究最終目的為提供未來建構企業網路市場與分散式排程系統之研究的參考。

關鍵詞：HMS，MAS，多重代理者，合約網路協定，排程

## 二、緣由與目的

HMS (holonic manufacturing system) 團隊把 Koestler 從社會組織與生命有機體所發展的觀念應用到製造工業方面，其目的在面對不安定的環境能增加系統穩定性，在環境變動時更有適應性和彈性與有效運用可用資源。

一個 HMS 有一些特點，在軟體科技的應用上有個概念類似 HMS 稱做智慧型合作代理人 (Intelligent cooperating agents) 也稱做多重代理者系統 (multi-agent system; MAS)，兩個系統的共通點不論是 holon、agent 都有自主決策的機會所以 HMS 可以說是能有效滿足快速變動環境中的系統。同時在分散式人工智慧領域中，MAS 受到相當的重視。在本研究的 level of abstraction，我們將 HMS 和 MAS 視為相同的概念。如何透過代理者與代理者之間的互動，如統合(coordination)、交涉協商(negotiation)以及合作(cooperation)的溝通機制，共同解決問題是本研究重點[3]。過去已有多位國外學者開始著手研究運用此一技術來解決問題，如：Sandholm 運用交涉協商機制解決產品倉儲運送的問題以及 Wellman 等人以拍賣協定 (auction protocols) 解決工作指派的問題等。而多重代理者系統相對於集中控制決策系統有其顯著的優點[2]：運用平行的績效快速解決問題；只傳送高度價值的部分答案(partial solutions)而不是傳送原始資料至控制中心，以此減少通訊量；不同能力的代理者能動態的組合以共同解決問題有其較多的彈性；允許代理者接替已故障代理者之工作

可增加系統的可靠性。因此，本研究欲藉分散式人工智慧的優點，來探討圖一所述之情境所遭遇到之問題。

顧客或廠商欲尋找製造商來生產其所需的產品或零件時，可將此一訂單需求公布在虛擬市場，透過在市場的訂單競標，來選擇一適合之製造商。而製造商針對此一訂單之加工作業進行工作中心加工的指派規劃，並評估計算此一訂單對於製造商本身的效益，而根據此一效益來進行虛擬市場的訂單競標。本研究將以多重代理者黑板系統之環境架構下，發展一以交涉協商之拍賣機制與訂單交易機制。以此分散式人工智慧之方式建構一多重代理者拍賣交易之系統，來探討與解決企業間訂單招標與企業內工作中心之訂單加工作業排程問題。

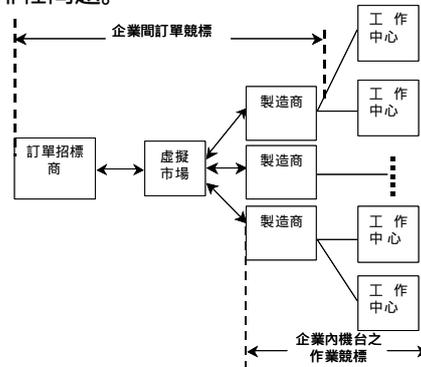


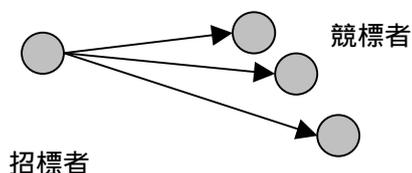
圖 1、訂單招標拍賣情境之階層示意圖

而以下將介紹基本的合約網路協定(Contract Net Protocol)，並將上述訂單招標拍賣情境分成兩個層次來探討其多重代理者拍賣機制之應用。

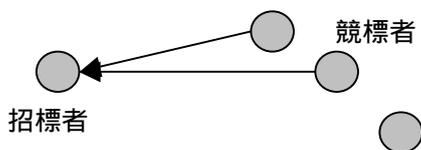
## 三、合約網路協定

1980 年 Smith[1] 提出 Contract Net Protocol (CNP) 的交涉協商機制。合約網路協定是為求多重代理者合作地解決問題的一互動協定。此一協定乃是模擬企業的招標機制，而企業以此用來交換商品與服務。其基本型式如下：

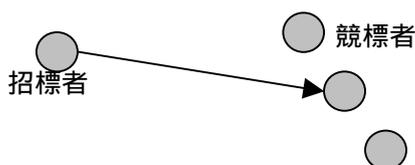
- (1) 由一個訂單招標者向所有的有潛力執行此一訂單之代理者宣告有一訂單需要拍賣。



- (2) 各代理者接收到訂單拍賣之訊息後，評估本身所提供的能力與服務是否符合訂單的需求，以及執行此一訂單能否增進代理者本身的利益。代理者評估此一招標之訂單後，若對其感興趣，即向招標者提出其競爭此一訂單的競標 (bid)。



- (3) 由招標者比較各代理者所提競標之價格或者所花費之成本後，選擇最佳者給予此任務之執行權。



#### 四、代理者效益函數之設計

競標代理者之效益函數之設計，在不同情境層次因競標代理者角色之不同而有不同之設計，即企業代理者與工作中心代理者。因此，以下分別敘述企業代理者與工作中心代理者之效益函數之設計：

- (1) 在企業代理者之效益函數設計方面：

在此一情境層次中，本研究認為企業代理者在競標訂單時，除衡量本身個體之效益之外，也必須考量拍賣訂單之效益。因此企業代理者整合兩者之效益後以此效益值參與訂單之競標，而有最佳之效益值者得標。然而兩者之效益其內涵與整合方式如下所述，本研究之設計為以一線性參數函數來協整合兩者之效益：

$$U = aP(x) + (1 - a)C(x)$$

$P(x)$  與  $C(x)$  各為代理者個體以及訂單之效益函數，而  $x$  為工作中心代理者接下訂單作業後或交易作業後的排程， $a$  為調整與平衡兩者效益的比重參數， $0 < a < 1$ 。 $P(x)$  與  $C(x)$  之設計如下圖所示， $P(x)$  乃代理者個體之利益，以代理者本身利益著眼， $P(x)$  為企業代理者接下競標訂單時，所需付出的工作中心閒置時間 (idle time)。而  $C(x)$  以訂單之利益為著眼點，若競標之訂單由此一企業接手時，訂單所要付出的等待工作中心時間 (waiting time)。所以當  $a=1$  時，此代理者為絕對的自私行為 (selfishness)，即完全追求工作中心最短之閒置時間。而當  $a=0$  時，此代理者則以追求訂單最短之等待時間，在此一情況中企業代理者所考量的效益為訂單代理者之效益，因此產生絕對的利他行為 (altruism)。

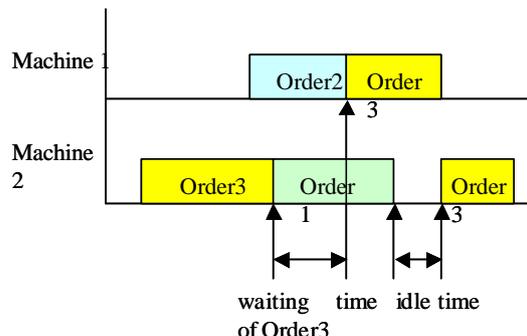


圖 2 企業代理者效益函數運算圖

- (2) 在工作中心代理者之效益函數設計方面：

工作中心代理者在此一情境層次中，所競標的是訂單的加工作業，且其主要之目的在於追求工作中心使用效率之最佳，即排程之密實度。在此一情境中，工作中心代理者對於拍賣之加工作業提出其完工之時間，以提出最短之時間之工作中心代理者得標。而工作中心代理者如何評估此拍賣之加工作業的完工時間，本研究所設計之直覺式 (heuristic) 法則如下所述。

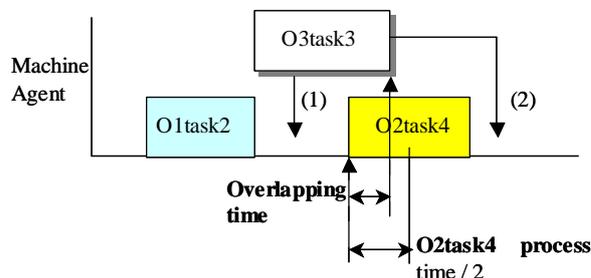


圖 3 工作中心代理者排程準則示意圖

本研究採用模擬人類社會的市場機制，即拍賣協定 (auction protocols)，應用於排程的問題。因此將以訂單代理者為訂單製程的招標者，另外以工作中心代理者為訂單製程的競標者。而所競標的訂單製程乃是訂單所要經過的加工作業，對於這些加工作業僅部分工作中心有能力處理。

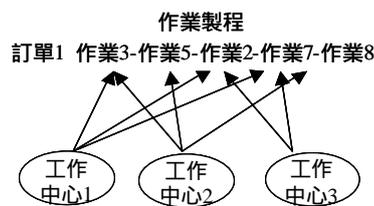


圖 4 工作中心加工功能重疊示意圖

本研究之工作中心分散式排程其資料模式如上圖所示，訂單的作業製程如作業 3 就有工作中心 1 與工作中心 2 都能處理，而作業 5 只有工作中心 2 可以處理。但在作業 3 之狀況，工作中心 1 處理作業 3 所需之加工成本即加工時間與工作中心 2 有所不同。由於各工作中心對於可處理之作

業其加工時間之不同，加上本身排程狀況之不同的狀況下，有較快之加工時間之工作中心並不一定能對於招標作業有最快之完工時間。因此在作業製程有多數工作中心可以處理的狀況下，就必須進行作業處理權的競標。

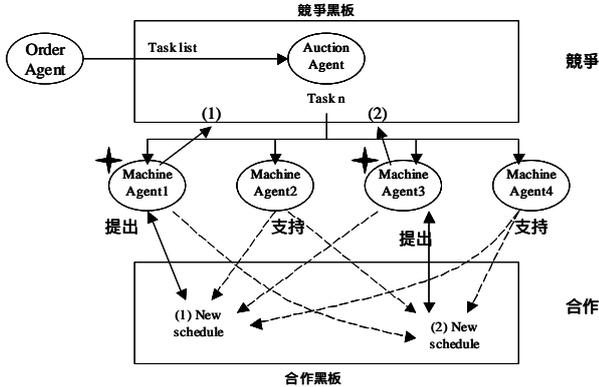


圖 5 工作中心分散式排程之加工作業拍賣流程圖

本研究結合 First-price sealed-bid 之拍賣協定與多重代理者之黑板系統環境架構，根據所研究之問題的資料模式來設計本研究之拍賣機制。因此在黑板系統的環境架構之下，拍賣代理者在黑板中接受來自訂單代理者的拍賣訂單之加工作業流程，以及來自各工作中心代理者對於訂單之加工作業的競標資料，並判定由哪一工作中心代理者得標。其拍賣流程步驟如下所示：

- (1) 由訂單代理者將其要拍賣之訂單製程即訂單各加工作業交與拍賣代理者代為拍賣。
- (2) 拍賣代理者將訂單的加工作業中每一加工作業一一地拍賣，即向所有的工作中心代理者告知正在拍賣的加工作業為哪一種。
- (3) 每一工作中心代理者當接收到正在拍賣的是哪一加工作業時，檢查本身的加工能力是否可以處理此項作業。
- (4) 若工作中心代理者可以處理正在拍賣的加工作業，根據本身的效益函數之設計，安排此新的加工作業進入本身的排程中。
- (5) 若工作中心代理者其所競標之作業完工時間必須變更已安排之作業時，在競標時除了提報完工時間之外，須向拍賣代理者告知此一變更之需要。由於本研究之訂單作業排程是一有加工順序之相依性的問題，所以牽一髮而動全身。在拍賣代理者判定由某一須變更排程之工作中心代理者得標時，必須根據此一變更作業的後續製程，將其變更通告給處理後續製程之相關代理者。其他受此影響的代理者根據此一變更，再修正本身排

程，以服從拍賣代理者之判定。此一過程為一利己的工作中心代理者為求更好的作業排程之密實度以及拍賣作業之及早完工時間而可能變更排程，此一變更必須有其他工作中心代理者的支持。而此一支持的行為即表示其他工作中心代理者為利他主義者。(合作)

- (6) 另外在第(5)點中，由可以處理正在拍賣的加工作業之工作中心代理者提出其競標價格，即此一加工作業的完工時間。由拍賣代理者依據拍賣協定來決定由誰得標。而決定誰得標後，其他工作中心必須更新剛剛支持競標工作中心所要變更之排程。(競爭)
- (7) 回到第 2 步驟，直至訂單所有的加工作業安排完畢。

### 五、企業間訂單競標以及交易

企業代理者基於其他因素的考量(如降低閒置率)，可再透過黑板系統之拍賣機制，將本已標得的訂單轉讓給其他企業處理。企業代理者基於本身的利益或者訂單整體利益的考量，欲接下正在競爭的訂單以增進本身的效益時，可透過交易機制將某一已標得但尚未處理的訂單，再轉讓出去由其他有能力的企業代理者競爭，以換取有較好的條件，競爭正在進行拍賣的作業。其基本示意圖如圖 6 所示。

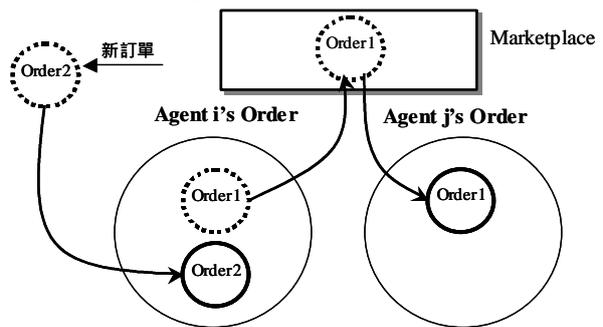


圖 6 訂單交易示意圖

而此訂單交易機制在本研究之多重代理者黑板系統環境中，與訂單拍賣機制搭配，其訂單交易機制過程與步驟如下：

- (1) 各企業代理者接收到拍賣代理者的新訂單拍賣訊息後，根據本身之效益函數計算其接下新訂單之 TU(take order utility)值，以及將本身以接受之訂單與新訂單互換後所計算之 SU(swap order utility)值。
- (2) SU 值之計算為若接下新訂單後所計算之  $TU_{t+1}$  值較差於原本尚未接受新訂單之  $TU_t$  值時，檢查已接受之訂單中有最差 TU 值之訂單(swap order)。將此一訂單與新訂單互換，即抽掉此一訂單後預

- 排新訂單並計算其 U 值，即為 SU 值。
- (3) 各企業代理者將 TU 與 SU 回報拍賣代理者後，由拍賣代理者在這些 U 值中選擇最佳者。若最佳者為一 TU 值時，則此一新訂單為提出此一最佳 TU 值之企業代理者得標。若最佳 U 值為一 SU 值時，則提出此一 SU 值之企業代理者把所與新訂單替換之訂單再次公告於黑板系統上，由其他企業代理者再次對此一訂單競標，如圖 7。
  - (4) 一旦由拍賣代理者判定之最佳 U 值為一 SU 值時，其交易過程如下圖所示。由提出最佳 U 值之企業代理者(例:EA1)將所替換之訂單提交黑板系統，由其他企業代理者競爭此一訂單(order i)，提出其對此訂單之 TU 與 SU 值。其中，原本提出交換訂單之代理者(即 EA1)也可向黑板系統提出 TU 之競標，如圖 8。
  - (5) 最後再由拍賣代理者選擇其中最佳值。若為一 TU 值，則由提出此一 TU 值之企業代理者(例:EA2)得標。若為一 SU 值時，則重複(4)之過程，且 EA1 可重新參與競標，直到最佳之 U 值為一 TU 值為止，即各訂單均有企業代理者負責。

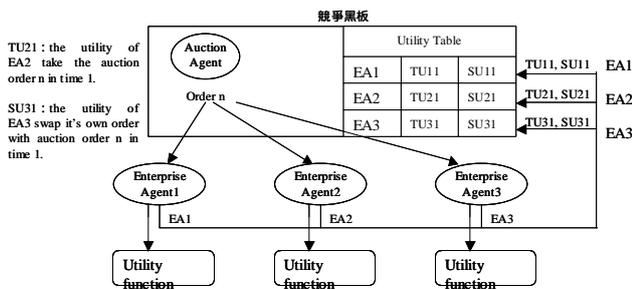


圖 7 訂單交易運作圖(1)

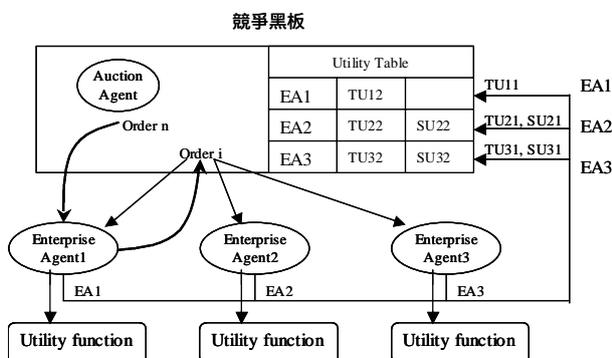


圖 8 訂單交易運作圖(2)

## 六、實驗設計

- (1) 在工作中心之訂單加工作業分散式排程方面：

工作中心分散式排程模式測試其主要目的在於拍賣機制在多重代理者黑板系統運作之狀況，以及在訂單作業加具有相依性時，工作中心代理者根據其排程法則所得之排程結果，觀察其排程密實程度。而在工作中心代理者模式建構方面，各工作中心有其處理加工作業能力上之限制，即對於某些加工作業工作中心代理者無此加工能力。在一企業中部分工作中心其部分加工能力重疊，而且其加工能力即加工時間也有所不同的情況下，進行一有加工作業順序之訂單的作業排程。本研究將設計以三個工作中心代理者來進行工作中心分散式排程模式之測試，而各工作中心之加工能力如下表所示：

	作業 1	作業 2	作業 3	作業 4	作業 5	作業 6	作業 7	作業 8	作業 9
工作中心代理者 1	*	3	6	5	2	7	*	1	4
工作中心代理者 2	2	4	7	1	5	*	4	3	*
工作中心代理者 3	4	7	5	3	*	4	5	6	2

\* 表示工作中心代理者對作業無加工能力  
單位：時間/作業

由於本問題乃是一有加工順序之相依性排程問題，因此各工作中心代理者在對於加工作業競標時，必須注意此加工作業之前製程的完工時間，因為此一時間將限制正在競標之加工作業的開始加工時間。換言之，每一訂單的後一製程其開始加工時間不能早於前一製程之完工時間。也就因此一限制，使各工作中心代理者必須在每一次的競標時，必須檢查本身之排程，尋找出符合上述之條件，且變動原先排程不大的新排程之競標提案，並以提供最快之速度即最快之完工時間來參與競標。

另外在本問題中，各工作中心代理者為提供最好的服務來競標加工作業，以及工作中心加工作業之密實化即將閒置時間最小化，可將原先已競爭標得之訂單往後挪移。其挪移之準則如上述工作中心代理者效益函數所述。所以根據第三章之設計以及上述之模式設定，本研究將以下兩組之訂單加工作業測試資料，來測試工作中心分散式排程模式是否能達成工作中心作業排程之密實：

工作中心分散式排程模式之加工作業測試資料表

作業	程序 1	程序 2	程序 3	程序 4	程序 5	程序 6	程序 7	程序 8	程序 9
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

訂單 1	2	4	6	1	3	5	9	8	7
訂單 2	3	5	7	2	4	9	6	1	8
訂單 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
訂單 4	4	7	9	2	8	6	5	1	3

(2)在企業間訂單競標以及交易方面：

在企業訂單競標模式方面，以企業代理者為訂單的競爭者。在此模式測試中，主要目的為測試訂單交易模式之功能，並使在此模式中之所有訂單有其整體最佳之平均效益，而在此特別說明此一目的。在此模式中每一企業代理者皆能生產此一訂單，但不同企業代理者因本身之排程狀況以及工作中心加工能力之不同，所以使得各代理者處理此一訂單之效益也有所不同。

而根據企業代理者效益函數之設計，此一效益值為企業代理者工作中心閒置時間與訂單等待時間之線性組合。即各企業代理者其所追求之效益的設定為：(1)各工作中心其作業排程的密合度，即追求工作中心的等待時間總和之最低；(2)訂單等待工作中心之時間之最短，即此一時間之縮短為在製品的閒置降低。而企業代理者追求的是此兩時間之和的最小化。所以若某一企業代理者能以最小之效益值得標時，其意思為訂單由此一企業代理者負責生產時，可使企業代理者之工作中心閒置時間與訂單等待時間，兩者比重平衡後之值比其他企業代理者低。

在此情境中本研究假設各企業代理者皆有四具工作中心，各工作中心所負責之加工作業各不相同，例如工作中心 1 負責車床、工作中心 3 負責銑床。而這樣之設計與工作中心分散式排程模式中工作中心為多能工之工作中心有所不同，此設計之原因在於本研究尚無程式能力將此兩個模式以三階層(3-tier)的手法連接起來。故將工作中心對於加工作業拍賣競爭之過程在企業訂單競標模式中予以簡化，而以單一功能工作中心來替代。而各工作中心對於工件之加工能力即加工時間如下表所示：

企業訂單競標模式之工作中心加工能力表

	Enterprise 1				Enterprise 2				Enterprise 3			
工作中心	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
加工能力(hr)	3	2	6	5	2	6	3	4	1	4	7	3

以下為測試企業訂單競標模式之訂單交易機制的訂單製程資料。其中訂單 1 的程序 1 為加工作業 3，其意思為訂單 1 之程序 1 為一銑床作業，

所以需由各企業代理者中工作中心 3 來加以處理

企業訂單競標模式之測試訂單資料表

作業	程序 1	程序 2	程序 3	程序 4	程序 5	程序 6	程序 7	程序 8	程序 9
訂單 1	3	2	1	4	3	1	3	2	1
訂單 2	2	4	3	1	4	3	1	4	2
訂單 3	1	3	4	2	1	2	4	2	3
訂單 4	4	1	2	3	2	1	2	3	2

## 七、實驗結果

(1)在工作中心之訂單加工作業分散式排程方面：

在工作中心分散式排程模式之中，各工作中心代理者之排程以追求其作業之密實度為主，並以工作中心代理者最佳之能力來參與競標。而由結果可知，各工作中心之排程其閒置時間皆很短，另外，各作業皆能尋求具有最佳之加工時間的工作中心來予以加工。除部分因擁有最佳之加工時間之工作中心為忙碌時，選擇另外次佳之工作中心來加工。例如：訂單 2 之作業 2、訂單 3 之作業 3、4 與 6 以及訂單 4 之作業 8 的情況。

在此情境模式中，工作中心所知之資訊只有正在拍賣之加工作業的資料。而在拍賣代理者與各工作中心之間所流通之資訊，是為訂單排程之部分解，此乃是由於各工作中心代理者分別處理本身之排程，尋找對於訂單有較佳之解。因此在此模式中資訊之傳遞皆是必要且重要地，並且傳遞較少之資訊量。以上所述為此一模式之分散式平台的特性，而經由此一測試後可知，以分散式平台來建構一排程系統是一可行之方式，並且有其分散的優點，也可達到以集中控制方式來處理之相當程度的效果。

(2)在企業間訂單競標以及交易方面：

以第 4.2.2 節模式測試之訂單資料，來進行企業間訂單競標模式之測試。從訂單代理者處將此一測試資料，一一地將訂單投入虛擬市場中拍賣。企業代理者評估拍賣訂單之效益後將接下訂單之效益(TU)回報拍賣者。若企業代理者(EA)認為將先前之已接受之訂單交易出去，可使 EA 本身對於拍賣訂單有較佳之效益值時，此時 EA 可向拍賣者回報交換訂單後之效益值(SU)。

以下為此實驗資料在企業訂單競標模式中之測試過程。在此將以每一訂單之競標過程中決定由誰得標之效益值表。其中 TU1 與 SU1 表示在第 3.4 節中所提訂單交易演算法的第一階段中，EA 向拍賣者回報之效益值。而 TU2 為拍賣者判定由某一提出交換訂單之 SU1 的企業代理者得標時，

必須進行所交換出之訂單的競標。

下表中 代表在第一階段得標者，而 則表示第二階段競標之得標者。

表 4 各訂單競標時企業競標之效益值  
 訂單 1 :

	Enterprise Agent 1	Enterprise Agent 2	Enterprise Agent 3
TU1	10	(8)	9.5

訂單 2 :

	Enterprise Agent 1	Enterprise Agent 2	Enterprise Agent 3
TU1	11.5	13.5	(10)
SU1		9	

在訂單 1 之競標時，由於各企業代理者為啟始狀態，即無負責任何訂單之加工。因此只提出對於接下此訂單所需之成本，即此訂單之效益。由上表之競標結果可知，企業代理者 2 所提之效益值為最低，即所花費之成本最少。在訂單 2 競標之效益表中，EA2 有最低之效益值 9，但是 EA2 必須將已安排的訂單 1 交換才有此值。而由於交換後之效益值比原來訂單 1 之效益來得差，因此由 EA3 得標。我們可發現，此一過程可使原已有較佳之效益值的訂單不被替換掉，而且訂單整體效益之平均值也能更佳。如上兩表所示，若 EA2 得標將訂單 1 交易出去，而後 EA3 將以 9.5 之效益值得此訂單 1，其平均效益值為 9.25。然而，在此一測試中，訂單 2 之得標者為 EA3、訂單 1 之得標者為 EA2，其效益平均值為 9。

訂單 3 :

	Enterprise Agent 1	Enterprise Agent 2	Enterprise Agent 3
TU1	9	18	28
SU1		9.5	(8)
TU2	11.5	13.5	<del>8.5</del>

訂單 4 :

	Enterprise Agent 1	Enterprise Agent 2	Enterprise Agent 3
TU1	(6.5)	17.5	24.5
SU1		7	15.5

訂單 5 :

	Enterprise Agent 1	Enterprise Agent 2	Enterprise Agent 3
TU1	(11)	11.5	19
SU1	11.5	8.5	22.5

訂單 6 :

	Enterprise Agent 1	Enterprise Agent 2	Enterprise Agent 3
TU1	18.5	18	32
SU1	(9)	9.5	19.5
TU2	20.5	<del>11.5</del>	19

## 八、計劃成果自評

本研究以多重代理者之黑板系統拍賣機制建構一企業訂單外包程序模型。而此一模型分為兩個模式，一是企業對於訂單競標與交易模式，另一為訂單加工作業之工作中心分散式排程模式。不論是在哪一模式中，拍賣機制為其重要基本的運作機制。而在企業訂單競標模式中，本研究設計一訂單交易之機制，此一機制可以使整體訂單有較佳之配置。本研究得到以下幾點之結論：

- (1) 在工作中心分散式排程模式方面：本研究提供一以可在分散式之環境下運作以揉合交涉協商與協調整合之特性所設計出之拍賣機制，而以此一機制所設計之多重代理者系統平台來解決 job shop 排程之問題。
- (2) 在企業訂單競標模式方面：經由第四章之測試發現，各訂單經競標以及交易之後皆能有最好的配置。也就是說，各訂單之競標結果能使企業代理者有其較少之工作中心閒置時間與訂單等待時間的平衡加權值。

結合此兩個模式即為一企業虛擬市場的訂單競標之整體架構。而本研究之貢獻在於實際建立此一架構之模型並測試之，以此提供企業對企業之虛擬市場之環境建構之參考。

## 九、參考文獻

- [1] Davis, R., and R. Smith, "Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving", *Artificial Intelligence*, Vol. 20, pp. 63-109.
- [2] Huhns, M. N. and Larry M. S., "Multiagent Systems and Societies of Agents", *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, Gerhard Weiss(ed.), The MIT, pp. 79-120, 1999.
- [3] Moulin, B. and B. Chaib-draa, "An Overview of Distributed Artificial Intelligence", *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, G. M. P. O'Hare and N. R. Jennings(ed.), John Wiley and Sons, pp. 211-219, 1996.
- [4] Ossowski, S., *Co-ordination in Artificial Agent Societies: Social Structures and Its Implications for Autonomous Problem-Solving Agents*, Springer, 1999.
- [5] Sandholm, T. W., "Negotiation Among Self-Interested Computationally Limited Agents", Ph.D. Dissertation, Department of Computer Science, University of Massachusetts Amherst, 1996.
- [6] Smith, R., "The contract net protocol : High-level communication and control in a distributed problem solver", *IEEE Trans. Computer* 29, 1980.