

가상기업을 위한 멀티에이전트 기반 태스크할당시스템에 관한 연구

허준규*, 최경현⁺, 이석희⁺⁺
(논문접수일 2003. 2. 10, 심사완료일 2003. 4. 23)

A Study on Multi-agent based Task Assignment Systems for Virtual Enterprise

Jun-Gyu Hur*, Kyung-Hyun Choi⁺, Seok-Hee Lee⁺⁺

Abstract

With the paradigm shifting from the principal of manufacturing efficiency to business globalism and rapid adaptation to its environments, more and more enterprises are being virtually organized as manufacturing network of different units in web. The formation of these enterprise called as Virtual Enterprise(VE) is becoming a growing trend as enterprises concentrating on core competence and economic benefit. This paper proposes multi-agent based task assignment system for VE, which attempts to address the selection of individually managed partners and the task assignment to them. A case example is presented to illustrate how the proposed system can assign the task to partners.

Key Words : Virtual Enterprise(가상기업), Multi-agent System(다중에이전트 시스템), Resource Allocation(자원할당), Task Assignment(태스크할당), Scheduling(생산일정계획), Distribution Manufacturing(분산생산), Autonomous System(자율시스템)

1. 서론

오늘날 기업을 둘러싼 환경은 동적으로 변하고 있다. 고객은 보다 다양한 제품을 요구하고 있고, 신제품의 개발주기는 점점 짧아져 오고 있다. 수요의 변동이 크고, 생산의

계획과 관리에 필요한 수요를 사전에 예측하기는 매우 어렵다. 또한 인터넷을 포함한 정보기술의 발달과 무역장벽의 붕괴는 시장의 규모를 세계화하여 기업의 비 핵심적 사업부분은 외주에 의해 행할 수 있도록 한다. 이에 따라, 생산시스템은 가상기업(Virtual enterprise, VE)으로 그 개

* 주저자, 부산대 대학원 지능기계공학과 (revive4@korea.com)
주소: 부산시 금정구 서1동 520-34
.. 제주대 기계공학부
..+ 부산대 기계공학부

범이 확대되고 있다⁽¹⁾. 가상기업은 여러 기업들이 상호 컨소시엄(consortium)을 맺어, 이들에게 공동의 작업을 적절히 분배함으로써 구성된다⁽²⁾.

Alert D. Baker은 신경망 모델(Neural network model)을 통해 재고비용이 최소가 되는 기업을 선택 해 작업을 분배하였고⁽³⁾, C. S. Ko은 제조비용과 운송비를 최소로 하는 기업을 금단검색 휴리스틱법(Tabu search heuristics)을 통해 선정하였으며⁽⁴⁾, Naiqi Wu은 지리적위치 및 운송수단에 따른 비용을 최소로 하는 기업을 정수계획법(Integer programming)을 사용하여 선정하는 방법을 각각 제안하였다⁽⁵⁾.

가상기업의 구성에 일원으로 참여하는 기업은 독립적 경영주체로서 동적으로 변화하는 내부적 생산 상황에 따라 참여 여부가 자율적으로 결정되어야 하지만, 기존의 연구에서는 이를 고려하지 않고 있다. 즉, 참여 기업을 마치 지리적으로 분산되어 있는 여러 작업장을 갖는 하나의 기업으로 간주하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안의 하나로써 근래 자율생산시스템(Autonomous Manufacturing System)의 개념이 널리 이용되고 있다⁽⁶⁾. 자율생산시스템에서 모든 생산 활동은 자율적 에이전트들의 상호작용에 의해 결정되는 다중에이전트시스템(Multi-agent System)으로 구성된다. 에이전트는 자신의 목적이나 그에 부합하는 이익을 성취하기 위해 스스로 의사결정하고 행동할 수 있는 독립적인 계산 프로세서로 알려져 있다. 에이전트는 시스템 내에 분산되어 있는 데이터를 자신의 통신 채널이나 센서를 통해 모은다. 이를 바탕으로 다른 에이전트나 인간의 개입 없이 자율적인 의사결정을 수행한다.

본 논문에서는 다중에이전트(Multi-agent)를 기반으로 하여 참여 기업의 생산 상황이 고려되는 태스크할당시스템(Task assignment system)의 제안을 연구목적으로 한다.

2. 태스크할당시스템의 기본 구조

본 논문에서는 가상기업을 구성하는 여러 기업 중에 주문, 즉 생산 의뢰를 받은 기업을 주기업(Main enterprise)이라 하고, 이에 대해 협력하여 생산을 행할 기업을 파트너기업(Partner enterprise)이라 칭하기로 한다. 가상기업을 위한 태스크할당시스템은 Fig. 1과 같이 4가지 요소에 의해 특유의 기능이 실현된다.

(1) 수주제품정보관리 (Ordered product data management, OPDM) 시스템

태스크의 납기, 품질수준, 수량 등의 고객요구 사항, 제

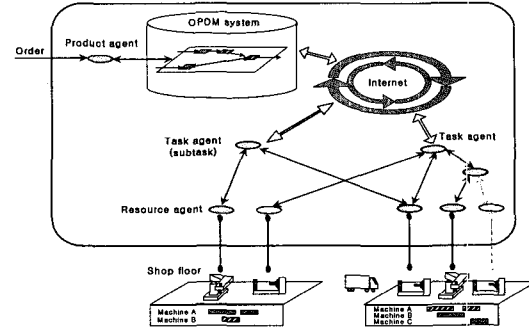


Fig. 1 Architecture of multi-agent based task assignment system

품 및 부품의 기하정보, 그리고 필요한 공정 및 작업정보 등의 수주된 제품정보가 저장 및 관리된다.

(2) 제품에이전트 (Product agent)

제품에이전트는 가상기업을 외부와 연결하게 해 주는 유일한 통신 채널로써, 가상기업 내의 여러 파트너기업들을 조율하여 태스크를 할당하는 역할을 수행한다. 물리적으로 제품에 대한 주문을 받은 주기업에 위치하고, 태스크의 생산 완료되면 가상기업과 함께 소멸된다.

(3) 태스크에이전트 (Task agent)

OPDM 시스템에 등록되어 있는 태스크를 지역적으로 분산되어 있는 여러 생산자원의 그룹에 동적으로 할당하는 에이전트이다. 그룹 내의 생산설비를 감시하고 조율하는 역할을 수행하며, 해당 생산을 완료하면 자동 소멸된다.

(4) 자원에이전트 (Resource agent)

생산에 참여하는 각 기업의 가공 및 조립기기, AS/RS, 컨베이어, AGV, 그리고, 자재 및 부품 등 모든 생산설비에 하나씩 부수되어, 설비 파라미터와 상태를 속성정보로 갖고 설비에서 이루어지는 작업의 진척 상황을 관리하는 에이전트이다.

3. 태스크할당의 개요

3.1 작업순서그래프

주문의 발생과 더불어 제품에이전트가 수주 제품에 대한 정보를 OPDM 시스템에 제시한다. 이때 제시되는 수주 제품의 정보에는 그림 Fig. 2와 같이 작업의 순서에 관한 정보를 포함한다. 원으로 표시되는 노드(node)는 작업을 나타내고, ◇표시의 분기 노드 내의 O는 or의 약자로 분기되는

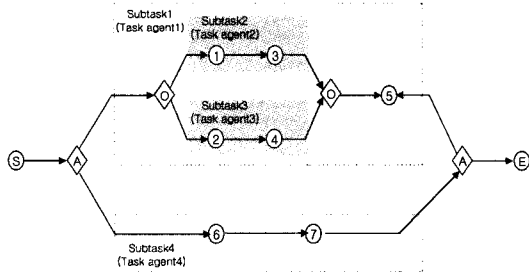


Fig. 2 Operation sequency graph of task

여러 가지의 작업그룹 중에 하나만 수행된다는 의미이고, A는 and의 약자로 분기되는 여러 작업그룹이 처리의 우선 순위는 없지만 모두 처리되어야 한다는 의미이다.

또한, 작업 j, k에 대해 j가 k보다 한 공정 앞선 경우(작업 j가 작업 k의 바로 이전에 수행되어 져야 하는 경우) j<k라 정의한다. 태스크에이전트는 서브태스크를 구성하는 마지막 작업에서부터 순차적으로 생산을 수행해 줄 자원 에이전트를 결정한다. 즉, 작업 k를 수행할 에이전트가 결정된 이후에 작업 j(<k)를 수행할 자원 에이전트를 결정할 수 있다. 여기서, 작업 k의 할당이 결정된 이후에 할당을 결정할 수 있는 작업들의 집합을 Hk-, 작업 k를 수행할 자원 에이전트가 결정되기 전에 선행되어 결정되어야 할 작업들의 집합을 Hk+라 정의한다. 또, 이미 할당이 결정된 작업 k보다 늦게 수행되는 모든 작업의 집합을 Hk++라 정의한다.

3.2 태스크할당 프로세스

태스크의 할당은 태스크를 여러 서브태스크로 나누어 할당하는 방식을 취한다. Fig. 2에서와 같이, 노드를 기준으로 하여 점점 세부적으로 분할하여, 최종적으로 서브태스크 내에 분기 노드가 없고 단지 작업 노드만이 남을 때까지 분할하여, 이를 자원 에이전트에 할당한다. 각 서브태스크에는 태스크에이전트가 생성되어 주도적으로 작업(또는 하부 서브태스크)을 자원 에이전트(또는 하부 태스크에이전트)에 할당한다.

단위 작업을 할당할 때, 자원 에이전트는 그림 Fig. 3과 같이 수행 가능한 여러 작업들 중에 적절한 하나를 먼저 선택한다. 이후, 태스크에이전트는 동일한 작업을 선택한 여러 자원 에이전트들 중에 가장 적절한 하나를 선택함으로써 하나의 작업에 대한 할당을 최종 완료한다. 이의 과정이 작업 순서 그래프의 마지막 작업에서부터 맨 처음의 작업에까지 반복하여 수행되면 하나의 서브태스크에 포함된 전 작업의

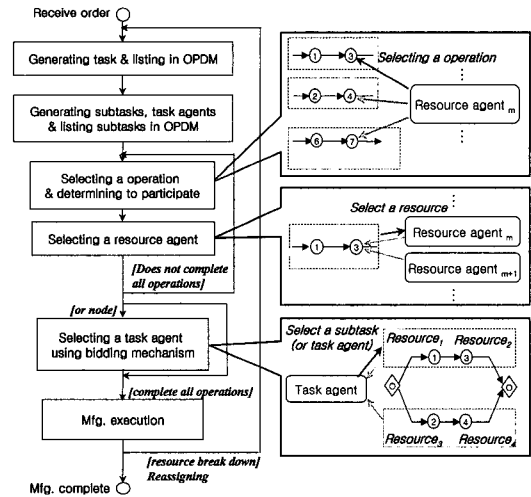


Fig. 3 Task Assignment Process

할당이 이루어진다.

이때, or노드의 경우 두 가지의 작업그룹 중에 오직 하나만이 선정되어야 하므로 이의 선정 방법을 포함한 상세의 사결정 기준은 다음 장에서 설명하도록 한다.

4. 의사결정 기준

4.1 작업참여 결정

자원 에이전트가 OPDM 시스템에 저장되어 있는 여러 개의 작업 중에 하나를 선정하는 기준은 아래의 식 (1)과 같다.

$$MinCost_{m,k} = OprCost_{m,k} + DuePly_{m,k,q} + OpportPly_{m,k} \quad (1)$$

OprCost_{m,k}는 자원 에이전트 m이 작업 k를 수행했을 때 발생하는 모든 제조비용을 미리 산출한 예상 값으로 다음의 식 (2)과 같다.

$$OprCost_{m,k} = FixCost_{m,k} + \sum_{q=0}^{q(k)} TransCost_{m,k}(m_q) \text{ where, } k \in H, q \in H_k^+ \quad (2)$$

이때, m_q는 작업 q의 할당이 결정된 자원 에이전트를, n(q)는 작업 k의 바로 이후에 위치한 작업의 수를 나타낸다. FixCost_{m,k}에는 자원 에이전트 m에서 작업 k를 수행할

때 소요되는 원자재의 직접재료비와 소모성 공구, 기구, 부품, 오일, 용접가스 등의 사용에 의한 간접재료비, 직·간접 노무비, 보험료, 감가상각비, 전력, 수도 등의 일반경비, 그리고 공구교환비용과 같은 셋업(setup)비용 등이 포함된 고정비용이다. $TransCost_{m,k}(m_q)$ 는 자원 에이전트 m에서 작업 k를 수행한 후, 다음 작업 q를 수행할 자원 에이전트로 부품을 운송하는데 소요되는 비용이다.

$DuePly_{m,k}$ 는 작업 k의 지연납기 및 잉여납기에 대해, 자원 에이전트 m이 추가로 태스크 에이전트에 지불해야 하는 범칙금이다. 이 비용에 대한 산출은 아래 식 (3)에 의해 이루어진다.

$$\begin{aligned} DuePly_{m,k,q} &= \delta_i \times \text{Max}[c_{m,k}(q) - d_k, 0] \\ &+ \varepsilon_i \times \text{Max}[d_k - c_{m,k}(q), 0] \end{aligned} \quad (3)$$

where, $k \in H, q \in H_k^+, d_k = \text{Min}(s_q), d_k = D_i (k = n)$

이때, δ_i 는 서브태스크 i에 포함된 작업의 지연납기에 대한 범칙금, ε_i 는 납기일 보다 앞서 할당이 계획된 작업의 범칙금, D_i 는 서브태스크 i의 납기일, d_k 는 작업 k의 납기일, $c_{m,k}(q)$ 는 작업 k가 자원 에이전트 m에서 수행된 후 작업 q($>k$)를 수행하는 자원 에이전트까지의 운송함에 있어 그 완료시각, 그리고 s_q 는 작업 q의 작업 시작 시각을 의미하며 태스크 에이전트에 의해 OPDM 시스템에 서브태스크의 작업 정보로서 등록되어 있는 값이다.

$OpportPly_{m,k}$ 는 자원 에이전트 m이 납기일을 초과하여 작업 k를 완수함으로써 인해, 다른 자원 에이전트에 이미 예약되어 있는 작업의 납기초과로 발생하는 범칙금으로 식 (4)과 같다.

$$\begin{aligned} OpportPly_{m,k} &= \text{Max} \left[\sum_{l>k} \beta_l \times (c_k - d_k), 0 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

where, $k \in H, l \in H_k^{++}$

이때, β_l 는 작업 k의 지연으로 인해 초래하는 작업 l($>k$)의 작업 지연에 대해, l의 할당이 결정되어 있는 다른 자원 에이전트 들에 지불해야 하는 범칙금이다.

4.2 자원 에이전트 결정

식 (1)에 의해, 자원 에이전트 m이 작업 k에 대해 작업 참여를 최종적으로 결정하면, $Cost_{m,k}$ 의 값과 함께 참여의사를 태스크 에이전트에 통지한다. 이때, 태스크 에이전트는 가장

적은 $Cost_{m,k}$ 값을 제출한 자원 에이전트를 결정하여 가상기업의 구성원으로 결정한다. 여기서 선택된 자원 에이전트를 m^* 로, $Cost_{m,k}$ 를 $Cost_{m^*,k}$ 라 각각 표기하기로 한다.

태스크 에이전트에 의해 작업 참여가 결정된 자원 에이전트는 자신의 작업 스케줄을 예약 확정하고, 나머지 에이전트들은 OPDM 시스템에 등록되어 있는 다른 작업을 검색하여 새로이 작업 참여 프로세스를 진행하게 된다.

4.3 서브태스크 결정

or노드로 나누어진 여러 서브태스크 중에 하나를 결정하기 위해, 먼저 태스크 에이전트들은 자신의 서브태스크를 수행하여 줄 자원 에이전트를 하나의 작업 그룹으로 하여 상위의 태스크 에이전트에게 입찰 신청을 한다. 이후, 상위의 태스크 에이전트는 가장 적절한 태스크 에이전트의 작업 그룹에 낙찰함으로써 서브태스크에 포함된 모든 작업의 할당이 최종으로 결정된다. 본 절에서는 이때 상위의 태스크 에이전트가 어떤 기준에 의해 적절한 하나의 서브태스크를 결정하는지에 대해 설명한다.

서브태스크의 작업 그룹을 평가하기 위한 지표로서 품질, 납기, 비용 요소를 생각한다. 이때, 각 요소에 대한 평가 가중치는 태스크 에이전트가 소속된 파트너 기업의 경영 시스템에서 결정되는데, 이들 각각의 차원이 서로 다르기 때문에 이를 선형화 하여 식 (5)에 의해 작업 그룹을 결정한다.

$$\begin{aligned} MinZ_i &= W_C \times \sum_{k=0}^n Cost_{m^*,k} \\ &+ W_Q \times \sum_{k=0}^n Quality_{m^*,k} \\ &+ W_D \times (C_i - D_i) \end{aligned} \quad (5)$$

where, $k \in H$

여기서 W_C, W_Q, W_D 는 비용, 품질, 그리고 납기 요소에 대한 선형화된 평가 가중치이다. 또한, $Quality_{m^*,k}$ 는 할당이 계획된 각 자원 에이전트 m^* 에 의해 수행될 작업 k의 예상 품질 수준을 나타내며 OPDM 시스템에 데이터 테이블로 저장되어 있는 값이다. 이 값은 자원 에이전트에 의해 이미 수행된 작업 또는 부품들의 품질 수준에 대한 과거의 이력 정보를 근거로 산출되는 값이다.

5. 사례 연구

본 장에서는 5개의 생산 설비를 보유하고 있는 3개의 후보 기업을 대상으로 한 사례 연구를 통해, 제품에 대한 주문

이 발생하였을 경우 태스크에 포함된 각 작업이 어느 파트너기업의 생산설비에 할당되는 지에 대한 이해를 돕고자 한다.

태스크를 생산설비에 할당하는 과정은 C++프로그램에 의해 수행되고, OPDM 시스템에 등록되는 수주 제품은 Fig. 4와 같고, 작업순서그래프는 Fig. 5와 같다.

또한, 5개의 생산설비가 수행할 수 있는 작업의 형태와 소

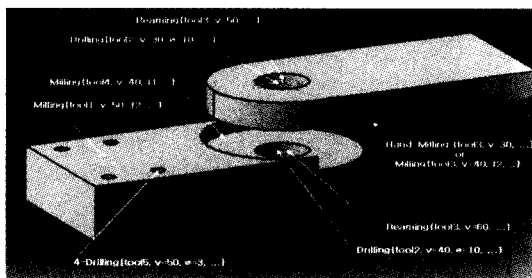


Fig. 4 Ordered product data

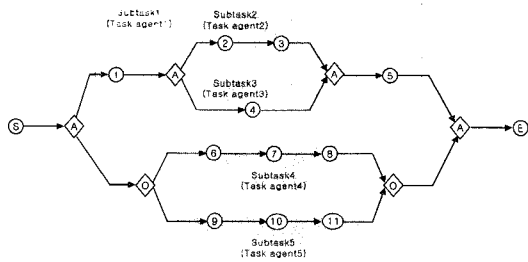


Fig. 5 Operation sequence graph of OPD

요 시간, 단위 시간당 작업비용, 그리고 예상품질수준 등의 작업정보는 Table 1과 같고, 각 작업간의 셋업비용과 기업 간의 이송시간 및 단위 시간당 비용은 Table 2, Table 3과 같다.

Table 2 Setup cost between operations

	Opr1	Opr2	Opr3	Opr4	Opr5
Opr1	0	20	30	10	20
Opr2	20	0	10	20	30
Opr3	30	10	0	30	20
Opr4	10	20	30	0	10
Opr5	20	30	20	10	0

Table 3 Transfer cost per time & transfer time between enterprises

	Enterprise1 (R.A.1, R.A.2)		Enterprise2 (R.A.3, R.A.4)		Enterprise3 (R.A.5)	
	TT	TC	TT	TC	TT	TC
Enterprise1 (R.A.1, R.A.2)	0	0	1	30	1	40
Enterprise2 (R.A.3, R.A.4)	1	30	0	0	1	50
Enterprise3 (R.A.5)	1	40	1	50	0	0

TT: Transfer time,

TC: Transfer cost per time

Table 1 Operation information

Opr Type	Opr1 (Milling)			Opr2 (Drilling)			Opr3 (Reaming)			Opr4 (Milling)			Opr5 (4Drilling)		
	Opr ID	j=6			j=2, 7, 10			j=3, 8, 11			j=1, 5, 9			j=4	
	OT	FC	Q	OT	FC	Q	OT	FC	Q	OT	FC	Q	OT	FC	Q
R.A.1	.	.	.	2	40	0.4	1	20	0.6	.	.	.	3	30	0.2
R.A.2	2	25	0.6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	20	0.8
R.A.3	1	10	0.4	3	20	0.2	.	.	.	2	20	0.8	.	.	.
R.A.4	4	20	0.7	.	.	.	1	20	0.5	.	.	.	2	20	0.3
R.A.5	.	.	.	1	30	0.4	.	.	.	3	30	0.7	.	.	.

Opr: Operation type, OT: Operation time,

FC: FixedCost per time, Q: Quality,

R.A.: Resource agent

Table 4 Penalty of Task Agent

	T.A.1	T.A.2	T.A.3	T.A.4	T.A.5
Generating Agent	R.A.3	R.A.4	R.A.2	R.A.4	R.A.5
ϵ (price/time)	30	30	30	50	40

T.A. : Task agent

Table 5 Selected resource agents

Opr ID	d	OT/TT	d-c	NR	PR	Cost	
8	14	1	0	-	R.A.4	20	*
11	14	1	0	-	R.A.4	20	*
5	14	2	0	-	R.A.3	40	*
3	12	1	0	R.A.3	R.A.4	20	*
		1+1	0		R.A.1	50	
4	11	1+1	0	R.A.4	R.A.2	50	*
		2	2		R.A.4	100	
10	13	1+1	0	R.A.4	R.A.5	80	*
7	13	1+1	0	R.A.4	R.A.5	80	*
		2+1	0		R.A.1	110	
6	11	1+1	1	R.A.5	R.A.3	110	*
		1+1	2		R.A.4	230	
		2+1	2		R.A.2	290	
9	11	2+1	1	R.A.4	R.A.3	130	*
2	9	2	3	R.A.2	R.A.1	170	*
1	4	2+1	0	R.A.1	R.A.3	70	*

OT+TT: Operation time + Transfer time,

NR: Next resource agent,

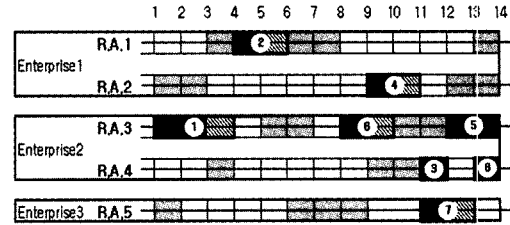
PR: Participating resource agent

* : Selected operation

본 사례연구에서는 납기 지연 없이 작업의 수행이 가능한 모든 자원 에이전트가 작업에 참여하는 것으로 가정하고, 태스크 에이전트는 주문 취소가 발생하지 않도록 Table 4와 같이 ϵ 값을 상대적으로 높게 책정한 것으로 한다. 여기서 ϵ 값은 태스크 에이전트를 생성하는 파트너기업의 경영시스템에서 전략적으로 판단하여 결정하는 값이다.

이상의 조건 하에서 프로그램을 수행하여, 태스크에 포함된 각 작업을 최소 Cost로 수행할 수 있는 자원 에이전트가 Table 5와 같은 순서대로 결정되었다.

이때, 태스크 에이전트 4와 태스크 에이전트 5는 서로 or노드에 의해 연결되어 있으므로, 이들 중 하나의 작업그룹이 제품 에이전트에 의해 결정되어야 한다. 본 사례연구에서 가중치는 비용요소(WC)가 품질요소(WQ)에 상대적으로 3배로 중요하다고 하고 가정한다. 이를 선형화 하여 식 (5)에



■ : Existing Operation,
 ▨ : Operation time of assigned operation,
 ▨ : Transfer time of assigned operation

Fig. 6 Task assignment result

대입한 계산식은 식 (6)과 같다.

$$Z_4 = 0.75 \times 0.48 + 0.25 \times 0.43 \approx 0.47^*$$

$$Z_5 = 0.75 \times 0.52 + 0.25 \times 0.57 \approx 0.53 \quad (6)$$

위 식에 의해, 태스크 에이전트 4가 구성한 작업그룹이 선정되고, 그로써 태스크 에이전트 4에 포함된 작업 6, 7, 그리고 8은 자원 에이전트 3, 5, 그리고 4에 각각 할당된다. 그에 따른 최종 할당 결과는 Fig. 6과 같다.

이상의 사례 연구를 통해,

- (1) 아무런 태스크를 수행하고 있지 않은 기업에 새로운 태스크를 할당하는 기존의 방식(3, 4, 5)과는 달리, 수주된 태스크 외의 다른 태스크를 이미 독자적으로 수행하고 있는 파트너기업에 대해 새로운 태스크를 추가하여 할당할 수 있는 알고리즘을 제안하였고,
- (2) 또한, 하나의 계산 프로세서가 중앙 집중적으로 태스크를 독자적으로 할당하는 기존의 방식(7)과 달리, 여러 파트너기업이 분담하여 태스크 할당 프로세스를 수행하는 방법을 제안하였다. 이는 하나의 계산 프로세서에 부하가 집중되는 단점을 해결할 수 있는 방법이다.

6. 결론

본 논문에서는 가상기업 환경 하에서 기업 간의 협업에 의해 생산을 수행할 수 있도록 하는 멀티 에이전트 기반의 태스크 할당 시스템을 제안하였다.

제안된 시스템의 특징은 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 자율적인 의사결정이 가능한 제품 에이전트, 태스크 에이전트, 자원 에이전트와 OPDM 시스템으로 할당 시스템을 구성

하여, 시스템의 주 프로세서가 독자적으로 작업할당을 수행 하든 기존의 방법과는 달리 할당의 역할을 동적으로 구성되는 여러 파트너기업의 그룹 대표자에게 위임함으로써 계산 부하의 집중문제를 해결하였다. 둘째, 파트너기업의 동적인 생산 진행상황을 할당과정에 반영하여 파트너기업의 경영 독자성을 보장하였다. 셋째, 시스템은 주문에 응하여 태스크할당을 계획하고 실행하여 예측하지 못한 기업 환경의 변화에 적절히 대응할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

- (1) L. M. CAMARINHA-MATOS, H. AFSARMANESH, C. GARITA and C. LIMA, 1998, "Towards an architecture for Virtual enterprises", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 9, No. 2, pp. 189~199.
- (2) M. T. Martinez, P. Fouletier, K. H. Park, and J. Favrel, 2001, "Virtual enterprise - organisation, evolution and control", *International Journal of Production Economics*, Vol. 74, pp. 225~238.
- (3) Albert D. Baker, H. Van Dyke Parunak and Kutluhan Erol, 1999, "AGENT AND THE INTERNET: Infrastructure for Mass Customization," *IEEE INTERNET COMPUTING*, Vol. 3, No. 5, pp. 62~69.
- (4) C. S. Ko, T. Kim and H. Hwang, 2001, "External partner selection using tabu search heuristics in distributed manufacturing", *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 17, pp. 3959~3974.
- (5) Naiqi Wo, Ning Mao and Yanming Qian, 1999, "An approach to partner selection in agile manufacturing", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 10, No. 6, pp. 519~529.
- (6) Tae-II Seo and Myeong-Woo Cho, 2000, "Study of Machined Surface Error Compensation for Autonomous Manufacturing System", *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 4, pp.75~84.
- (7) N. K. C. Krothapalli and A. V. Deshmukh, 1999, "Design of negotiation protocols for multi-agent manufacturing systems", 1999, *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 7, pp. 1601~1624.