韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.154~158 KSPE 01F047

생산평활화가 고려된 에이전트 기반의 자원할당시스템

허준규(부산대 대학원), 김호찬(부산대 대학원), 이석희(부산대)

Agent-based Resource Allocation System with consideration of Production Smoothing

Jun-Gyu Hur, Ho-Chan Kim (Graduate School, Pusan National Univ.),

Seok-Hee Lee(Pusan National Univ.)

ABSTRACT

This paper proposes a new resource allocation system where overall performance can be improved using production smoothing method. In economic point of view, market price is determined by the market mechanism that is subject to the law of demand and supply. Similarly, agents determine whether to allocate tasks to machines by profit and loss or not. In existing resource allocation system, tasks are exclusively allocated to agents with better manufacturing conditions, because they are evaluated by the only currency. But in the proposed resource allocation system, agents are evaluated by not only a currency but also machine specifications. Hereby, the production smoothing is achieved and we expect to improve system performance In this study, we propose a resource allocation system with consideration of Production Smoothing.

Key Words : Resource Allocation(자원할당), Scheduling(생산일정계획), Production Smoothing(생산평활화), Multi-agent system(다중에이전트시스템), bidding(입찰)

1. 서론

오늘날 생산시스템을 둘러싼 내외적 환경은 동적으로 변하고 있다. 고객의 다양한 요구는 제품의 개발 사이클을 점점 짧아지게 한다. 생산시스템의 계획과 운용에 필요한 수요를 사전에 예측하기는 더욱 어려워 졌다. 또한, 정보기술의 급격한 발달과 인터넷은 생산시스템을 지능화라는 새로운 패러다임으로 이끌고 있다. 이러한 변화에 유연히 대응하여 효율적인 생산을 계속해서 행하기 위한 대안의 하나로써 근래 다중 에이전트 시스템(Multi-agent system)[1][2][3]의 개념을 이용한 생산시스템에 관한 연구가 활발히 진행중이다.

다중 에이전트 시스템에서 모든 생산활동은 에이전트들의 상호작용에 의해 결정된다. 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.

다중 에이전트시스템의 각 에이전트는 국소 데이터에 기초해 국소 의사결정을 하는 특징이 있다. 이는 시스템의 거동이 특정 요소에 의존하지 않게 하여 요소의 실패나 제거가 시스템 전체에 미치는 영향을 적게 하는 장점이 있다. 반면, 각 에이전트가 제한된 정보를 갖고 준 최적의 의사결정을 하기 때문에 시스템의 효율성을 보장할 수 없다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서 특정 에이전트에 부하가 집중되지 않게 함으로써 전체 시스템의 효율을 향상시키고 안정된 성능을 발휘할 수 있도록 하는 새로운 자원할당시스템(Resource Allocation System)을 제안한다. 또한 기계의 이상발생시 시스템에서 민첩하게 자원을 재할당할 수 있는 방법도 제안한다.

2 장에서는 자원할당시스템의 기본개념과 아키텍쳐를 제안한다. 3 장에서는 시스템을 구성하는

각 에이전트가 어떻게 상호 작용하여 전체의 거동을 결정하는 지에 대해 설명한다. 끝으로 4 장에서 본 논문을 정리하고 추후 계획을 제시한다.

2. 자원할당시스템의 에이전트 구성

본 연구의 자원할당시스템은 주문에 대한 생산을 지시 받은 후, 입찰방식(bidding mechanism)에 의해 생산자원의 할당과 생산일정계획(Scheduling)이 수행된다. 이로써, 주문의 수락 여부, 자재의 주문시기 및 수량, 그리고 제품의 출하시기 등이 결정된다. 또한 기계고장과 같은 이상이 발생한 경우, 생산자원의 재할당계획도 함께 수행한다. 자원할당시스템은 아래의 4 가지 기본 에이전트로 구성되어 그 특유의 기능이 실현된다.

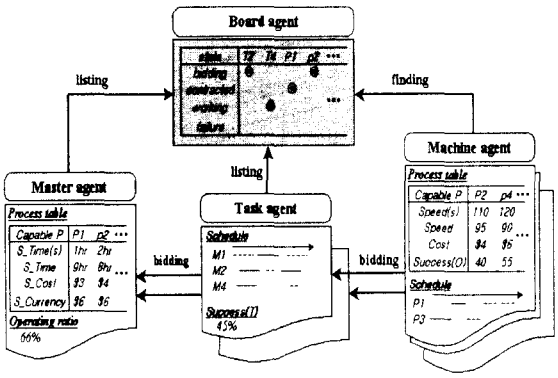

Fig. 1 Basic architecture of agent-based resource allocation system

2.1 Master agent

Master agent 는 외부와 시스템을 연결하는 유일한 채널로써, 유통/판매부서로부터 주문을 받고, 이를 생산하는데 필요한 기술정보를 생산설계부서에 요청해 받는다. 그리고 주문처리의 태스크를 수행해 줄 적절한 에이전트를 선정함으로써 태스크를 할당한다.

Master agent 를 개방적구조로 설계함으로써 생산활동에 필요한 여러 의사결정을 지역적으로 분리되어 있는 여러 장소에서 마치 하나의 통합된 시스템에서 운영하고 처리하듯이 수행할 수 있게 된다. 즉, 분산환경에 적합한 시스템 아키텍처를 가질 수 있다.[4]

속성정보로 시스템 내에서 실행 가능한 공정리스트와 각 공정의 표준 작업준비시간, 표준 작업시간, 표준 비용, 표준 가격, 그리고 전체시스템 가동률 등을 가진다. 실행 가능한 공정리스트는 주문을 처리하기 위해 수행되어야 할 모든 공정들과 비교된다. 표준 작업시간 및 표준 작업준비시간, 표준 비용, 그리고 표준 가격은 표준 기계에 의해 해당 공정이 작업될 경우의 작업시간 및 작업준비시간, 비용, 그리고 태스크의 수행에 대한 대가로서 지불될 수 있는 통화의 값이다.

2.2 Machine agent

샵 플로워 내의 모든 기계설비 각각은 Machine agent 라 불리는 에이전트로 간주되어 기계에 관한 속성정보를 관리하고 작업계획을 입안하는 역할을 수행 한다.

속성정보에는 작업 예정스케줄표, 작업 스케줄표, 그리고 실행 가능한 공정리스트와 각 공정의 작업준비 및 작업 속도율, 그리고 낙찰률 등이 있다. 작업 예정스케줄표와 작업 스케줄표는 자신의 기계에 의해 처리가 예약되어 있는 작업과 실제 실행 되고 있는 모든 작업의 칸트차트 이다. 작업준비 및 작업 속도율은 표준기계에 대한 작업준비 및 작업 속도의 비율이다. 낙찰률은 해당 공정의 입찰 참여 회수에 대한 낙찰된 회수의 비율이다.

2.3 Task agent

일반적으로 하나의 태스크에는 순차적으로 작업해야 할 여러 공정들이 포함되는데 각 공정에 대한 작업을 서브 태스크로 나눈다면, 각 서브 태스크를 하나씩 Machine agent 에 할당할 수 있다. 본 연구에서는, 여러 개로 나누어진 각 공정에 대한 서브 태스크를 태스크와 구별하여 오퍼레이션이라 칭한다.

하나의 태스크에 포함된 각각의 오퍼레이션을 주도적으로 Machine agent 에 할당하고, 또한 할당받은 여러 Machine agent 들이 형성하는 그룹의 대표자로써 이들을 관리 감독하는 에이전트가 Task agent 이다.

속성정보로 그룹 내에서 태스크를 수행하는 모든 기계의 작업 예정스케줄표, 작업 스케줄표, 그리고 태스크에 대한 낙찰률을 가진다.

2.4 Board agent

Board agent 는 시스템 내에서 할당을 기다리는 모든 태스크와 오퍼레이션을 게시하고 이들의 상태정보를 관리하며, 다른 에이전트들에게 공유할 수 있도록 하는 에이전트이다.

Board agent 를 도입함으로써 모든 에이전트의 자율적인 의사결정에 의해 정보가 게시(listing)되고 확인(finding)될 수 있다. 따라서 시스템 구성요소간에 상호 의존성을 낮추어 시스템의 전체 거동이 보다 견고하게 되는 효과가 있다.

3. 자원할당시스템

본 연구에서 태스크 및 오퍼레이션의 할당은 수요와 공급의 법칙에 의해 시장가격이 결정되는 시장경제의 특징을 이용한다. Master agent 는 Task agent 에게 태스크의 수행을 의뢰하고, Task agent 는 Machine agent 에게 오퍼레이션의 수행을 의뢰한다. 오퍼레이션에 대해 예를 들면, 의뢰하는 에이전트를 ' 갑', 의뢰를 받아 작업하는 에이전트를 ' 을' 이라 하고 오퍼레이션의 수행행위를 ' 용역' 이라 하자. 그러면 오퍼레이션의 할당은 갑이 을로부터 용역을 구입하는 것으로도 생각할 수 있다. 즉, 갑은 시장가격 만큼의 통화의 값을 을에게 대가로써 지급하고 제조에 대한 용역을 구입하는 경제활동과 같다. 이 같은 시스템은 너무 자유로워 무질서하게 여겨질 수 있으나 입찰 메커니즘에 의해 자연스러운 질서가 유지된다.[5]

기존에 이와 유사한 시스템들은 ' 을' 이 판매하는 ' 용역' 의 가격에만 기초해 의사결정 하여, 가격 경쟁력만 좋은 특정 ' 을' 이 ' 용역' 을 독점했다. 이는 시스템 전체로서 만족스럽지 못한 효율을 나타나게 한다.[1][2][3] 본 연구에서는 가격과 함께 용역의 수준까지 고려하여 의사결정을 수행하도록 하여, ' 을' 이 ' 용역' 을 독점하지 못하게 한다. 이는 생산자원의 할당 문제에서, 하나의 기계설비에 작업부하가 지나치게 가중되지 않도록 하는 것과 같다. 즉, 간접적인 생산평활화(Production Smoothing)를 구현함으로써 시스템 전체의 효율을 향상시킬 수 있게 된다.

지금부터는 각 에이전트가 어떤 기준으로 의사결정하며 어떤 수순으로 동작하여 시스템 전체의 정합성을 유지되는지를 설명한다.

3.1 Task agent 생성 프로세스

Master agent 는 부품의 수량, 납기일 및 주문가격 등과 같은 주문정보와 공정의 순서 열, 각 공정의 기술사양, BOM, 표준 작업비 및 요구되는 품질수준 등과 같은 기술정보로부터 태스크 사양을 만든다. 생산수량이 아주 많은 주문의 경우에는 생산해야 할 수량을 여러 batch 로 나누어 각각의 태스크를 생성하고, 수량이 비교적 적고 납기 여유가 다소 있는 주문에 대해서는 몇몇의 주문을 한데 묶어 하나의 태스크를 형성할 수 있다.

이때, 태스크 사양에 태스크 가격이라는 항목을 추가하는데, 이는 Master agent 가 자신의 속성정보의 표준 가격과 비교해 평가한 값으로, 할당하고자 하는 태스크에 대한 대가로 지불하고자 하는 통화의 값이다. 특급주문과 같이 납기가 촉박하지만 꼭 처리되어야 하는 주문은 태스크 가격을 높게 책정하여 많은 에이전트가 입찰에 참여하도록 유도한다.

태스크의 사양을 모두 명기한 Master agent 는, 이를 자신의 통신채널을 통해 Board agent 에게 게시한다. 그러면, Machine agent 는 Board agent 에 게시되어 있는 여러 태스크 중 입찰에 참여할 하나의 태스크를 선택한다. 이에 대한 기준은 태스크에 포함된 여러 오퍼레이션 중 적어도 하나에 대한 작업수행이 가능한 Machine agent 가 2 가지 값에 근거해 결정한다. 이는 해당 태스크에 대한 낙찰률과 Master agent 가 책정한 태스크의 가격이다. 낙찰률과 태스크의 가격이 높은 태스크일수록 Machine agent 에 의해 쉽게 선택된다.

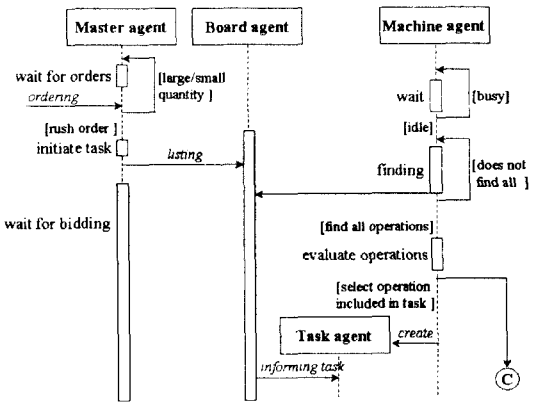

Fig. 2 Process for creating Task agents

Machine agent 는 입찰에 참여하기로 결정한 태스크에 대해 Task agent 를 생성한다. 동일한 태스크에 대해 복수의 Machine agent 가 입찰 참여를 결정할 경우, 이들 Machine agent 는 동일한 태스크에 대해 서로 다른 Task agent 각각 생성하게 된다. 이로써 하나의 태스크에 대해 복수의 작업계획이 만들어지고, 그 중 가장 적합한 작업계획이 결정되게 된다.위와 같은 Machine agent 가 Task agent 를 생성하는 메커니즘을 취함으로써 Task agent 는 시스템 내에 항상 상주해 있지 않고, 새로운 태스크가 발생할 때마다 이에 응해 하나 또는 여럿의 Task agent 가 생성되었다가 해당 태스크가 완료되면 자동으로 소멸하게 된다. 이는 태스크에 대한 Task agent 의 책임과 권한이 명확해 질 수 있게 한다.

3.2 오퍼레이션 할당 프로세스

본 연구에서는 태스크에 포함된 마지막 오퍼레이션에서부터 순차적으로 이전의 각 오퍼레이션 들에 대해 할당이 이루어 진다.

먼저, Task agent 는 오퍼레이션에 대한 사양을 명기한다. 오퍼레이션 사양에는 가공 및 조립해야

할 부품의 수량, 요구되는 작업의 납기일, 그리고 각 공정에 대한 기술사양, 표준 작업비 및 품질수준 등이 포함된다. 수량은 부품의 BOM 으로부터, 납기는 이후 오퍼레이션의 할당이 이루어 지면 이후 오퍼레이션의 작업시작 시각으로부터 산출한다. 또한 태스크 사양에서와 유사하게 오퍼레이션에 대한 가격이 추가 되는데, 이는 Task agent 의 낙찰률에 반비례하여, 각 오퍼레이션의 표준작업시간에 대한 태스크의 가격에 비례하여 책정된다.

여러 Task agent 들로부터 서로 다른 오퍼레이션 사양이 Board agent 에 게시되면, Machine agent 는 자신의 기계에 의해 수행 가능하고 작업비와 품질수준을 만족시킬 수 있는 오퍼레이션 들을 확인한다. 그리고, 이들 중 자신이 입찰에 참여할 오퍼레이션을 낙찰률과 가격에 근거해 선택한다. 이때, Machine agent 는 동일한 태스크에 대해 생성된 여러 Task agent 들이 게시한 오퍼레이션에는 중복하여 입찰 할 수 있다. 그러나, 서로 다른 태스크에 대해서는, 오퍼레이션이 중복되어 낙찰될 수 있기 때문에, 중복입찰을 할 수 없다.

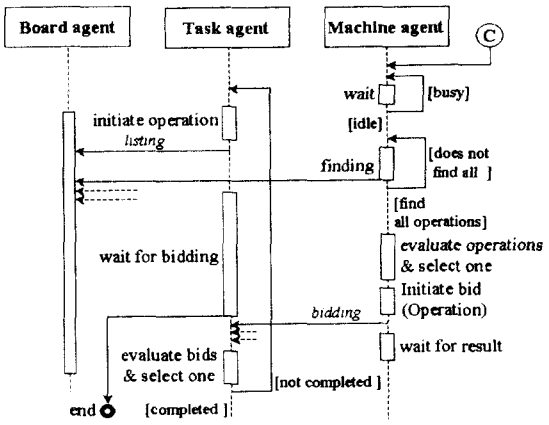

Fig. 3 Process for allocating operations

이후, Machine agent 는 선택한 오퍼레이션에 대해 입찰에 참여한다. Machine agent 는 먼저 자신의 기계가 해당 오퍼레이션을 수행할 경우에 예상되는 품질수준, 작업비 및 작업시간이 포함된 입찰안을 작성한다. 또한, 여기에는 할당 받고자 하는 오퍼레이션에 대해 지급 받고자 하는 통화의 값으로 가격이 포함된다. 이는 Machine agent 가 자신이 작업할 오퍼레이션에 대해 평가한 값으로, 품질수준에는 비례하게, 그리고 현가동률, 작업비 및 작업시간에는 반비례하게 책정된다.

하나의 오퍼레이션에 대해 여러 Machine agent 가 입찰에 참여 할 경우, Task agent 는 이들이 제시한 입찰안을 평가해 적합한 하나의 Machine agent 를 결정하여 오퍼레이션을 할당한다. 이에 대한 방법은, 두 가지 경우로 나누어 고려될 수 있다. Machine agent 가 입찰안에 제시한 오퍼레이션의 가격이 하나라도 Task agent 가 책정한 가격보다 낮을 경우, Task agent 는 여러 Machine agent 가 제시한 입찰안의 품질수준, 작업비, 그리고 작업시간의 각각에 대해 등수를 메겨 가장 적합한 Machine agent 를 결정한다. 반면, 모든 입찰안의 오퍼레이션 가격이 Task agent 가 책정한 가격보다 높을 경우, Task agent 는 품질수준, 작업비, 작업 시에 덧붙여 제시한 가격에 까지 등수를 메겨 하나의 Machine agent 를 결정한다.

Verify whether all the Machines_Currency is more than Task_Currency or not ;
If so, perform a following step:
  For *i=1 to num. of Machine, perform a following step:*
    Set E(i) = $w_{Quality}$ *Rank(Quality) + w_{Cost} *Rank(Cost)
        + w_{Time} *Rank(Time)+$w_{Currency}$ *Rank(Machine_Currency) ;
Otherwise, perform a following step:
  For i=1 to num. of Machine with the Machines_Currency which is
  more than Task_Currency, perform a following step:
    Set E(i) = $w_{Quality}$ *Rank(Quality) + w_{Cost} *Rank(Cost) + w_{Time} *Rank(Time) ;
End If
Solve Maximum value of E ;
Return a Machine with Maximum value of E ;

단, witem는 각 항목(item)의 등수에 대한 평가가중치.
Rank(item)는 각 item의 등수.

Fig. 4 Decision making algorithm for selecting a Machine

이와 같은 방식으로 태스크에 포함된 각각의 오퍼레이션을 처리해줄 Machine agent 를 결정함으로써 오퍼레이션이 할당되고, 태스크에 포함된 모든 작업에 대해 마지막 공정에서 이전 공정으로 순차적으로 태스크에 포함된 모든 오퍼레이션의 할당이 이루어진다.

3.3 태스크의 할당 프로세스

Task agent 는 태스크에 포함된 모든 오퍼레이션에 대한 할당을 완료한 후, 이를 토대로 태스크에 대한 입찰안을 작성하여 Master agent 에 입찰한다. 하나의 태스크에 대해 여러 Task agent 들이 제시한 각 각의 입찰 사양은 해당 태스크에 대해 실행 가능한 작업계획 들을 의미하고, 태스크 할당은 이들 중 최적의 작업계획이 선택됨을 의미한다.

입찰안에는 가동률, 품질수준, 작업비, 그리고 가격이 포함된다. 가동률은 그룹에 포함된 모든 Machine agent 들에 대한 가동률이고, 품질수준은 부품을 구성하는 각 부품 또는 각 프로세서에 대한 품질수준 이다. 그리고 작업비와 가격은 각 오퍼레이션에 대해 예상되는 비용과 가격의 합으로 각각 정의한다.

여러 Task agent 로부터 태스크에 대한 입찰안을 받은 Master agent 는, 오퍼레이션 평가와 동일한 방

식으로 최적의 Task agent 를 선택한다. 단만, 평가 항목이 가동률, 품질수준, 작업비, 그리고 가격이라는 점이 다르다.

최적의 태스크 사양, 즉 Task agent 가 선택되면 Master agent 는 입찰에 참여한 모든 에이전트에게 낙찰/유찰 통지를 한다. 낙찰통지를 받은 Task agent 는 자신의 그룹에 포함된 모든 Machine agent 들에게 오퍼레이션에 대한 낙찰통지를 한다. 낙찰통지를 받은 Machine agent 는 자신의 스케줄 예정표에 해당 오퍼레이션을 예약 확정한다.

3.4 생산자원의 재할당

태스크의 모든 오퍼레이션에 대한 스케줄이 확정되면 실제 작업이 실행된다. 여기서는, 이때 n 번째 오퍼레이션의 작업도중 기계설비에 고장이 발생한 경우의 예를 들어 자원의 재할당이 어떻게 이루어 지는지 설명한다.

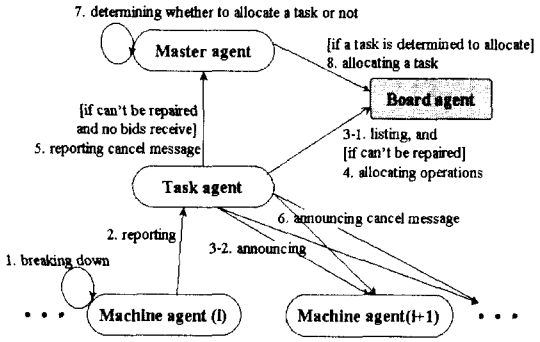

Fig. 5 Process for re-allocating tasks

i 번째 공정인 Operation(i)을 수행하던 Machine agent(i)로부터 기계고장을 보고 받은 Task agent 는 이후 오퍼레이션을 수행하기로 되어 있는 모든 Machine agent 들에게 이를 통지한다. 그리고, 설비의 수리가 완료되기를 기다리는 한편 Operation(i)에 대한 사양을 작업게시판에 게시하여 오퍼레이션 할당 프로세스를 수행 한다. 해당 오퍼레이션의 납기를 근거로 이후 Machine agent 들이 오퍼레이션을 예약된 스케줄 대로 수행할 수 있는 시간 내에 설비수리가 완료되지 않으면, 오퍼레이션 할당 프로세스를 통해 낙찰된 새로운 Machine agent 가 Operation(i)을 수행하게 된다. 그러나 시간 내에 설비수리가 이루어 지지 않을 뿐만 아니라 오퍼레이션의 할당도 이루어 지지 않은 경우에, Task agent 는 작업취소를 그룹 내의 모든 Machine agent 와 Master agent 에 통지한다. 그러면 Master agent 는 주문자에게 이를 보고하여 주문을 취소할 건지 납기가 다소 늦더라도 계속 태스크를 수행할 건지를 지시 받는다. 태스크가 계속 수행되기로 결정되면, Master agent 는 이를 다시 Task agent 에 통지하여 i 번째 이후의 모든 오퍼레이션 들에 대해 오퍼레이션 할당 프로세스를 다시 수행할 수 있도록 한다.

4. 결론

이상으로 다중 에이전트 시스템을 이용한 자원할당 시스템의 이론적 기초를 제안했다. 제안된 시스템에서는

첫째, 에이전트가 가격과 함께 용역의 수준까지 고려한 의사결정을 하므로, 시스템 내에 생산부하가 평활화되어 전체 효율이 향상될 수 있다.

둘째, 주문에 응해 시스템이 동작하는 구조이기 때문에, 고객 또는 다른 생산시스템과 쉽게 직접적으로 상호연결 될 수 있다. 이는 개방적이고 분산적인 시스템 아키텍처를 이용할 수 있도록 한다.

향후에는 알고리즘의 정합성과 시스템의 유효성을 생산 시뮬레이터를 통해 검증 할 계획이다.

참고문헌

1. W. Shen, D. H. Norrie, and J. A. Barthes, "Multi-Agent Systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing," London and New York, 2001.
2. S. H. Lee, K. H. Choi, and C. H. Bae, "Multi-factors bidding for job dispatching in hybrid shop floor control system," International Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 1, No. 2, pp.124~131, 2000.
3. K. Iwata, M. Onosato, and M. Koike, "Random Manufacturing System(RMS): a New Concept of Manufacturing Systems for Production to Order," Annals of the CIRP, Vol. 43, pp. 517-521, 1990.
4. 황지현, 최경현, 이석희, " 지능에이전트를 이용한 개방형 셀 제어기 개발," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 393-397, 2001.
5. R. G. Smith, "The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver," IEEE Transactions on Computers, Vol. C-29, pp. 1104-1113, 1980.