

지능형 에이전트를 이용한 협상 기반의 일정계획에 관한 연구

김성희*(성균관대학교 대학원), 강무진(성균관대학교 기계공학부)

A Study on Negotiation-based Scheduling using Intelligent Agents

Sunghee Kim*(Graduate School, Sung Kyun Kwan University),
Mujin Kang (School of Mechanical Engineering, Sung Kyun Kwan University)

ABSTRACT

Intelligent agents represent parts and manufacturing resources, which cooperate, negotiate, and compete with each other. The negotiation between agents is in general based on the Contract-Net-Protocol. This paper describes a new approach to negotiation-based job shop scheduling. The proposed method includes multi-negotiation strategy as well as single-negotiation. A case study showing the comparison of various negotiation strategies is also given.

Key Words : Intelligent agent(지능형 에이전트), Scheduling(일정계획), Contract-Net-Protocol, Job shop scheduling, Cooperation(협동), Negotiation(협상), Compete(경쟁)

1. 서론

오늘날 생산환경에서 가장 두드러지는 특징은 복잡도(Complexity)가 계속 증가하고 있다는 것이다. 이는 비단 생산현장 뿐만 아니라, 생산되는 제품(Product), 공정(Process), 그리고 기업의 조직(Structure)까지 확장되고 있다. 그리고 대부분의 생산시스템은 작업 현장에서 발생할 수 있는 많은 불확실성(Uncertainty)과 고객의 요구변화와 같은 외부요인 등 때문에 매우 동적인 환경에 놓여 있어 수시로 제약조건이 변화가 생길 수 있다. 따라서 이러한 환경에서 운영되는 시스템은 반드시 불확실성에 대한 유연성(Flexibility)을 갖추어야 한다. 또한 일정계획(Scheduling) 시스템은 유동적인 환경에서도 일정계획을 신속하게 생성하고 동적으로 재수정하며 안정적으로 유지할 수 있도록 만들어져야 한다. 기존의 일정계획 방법론들은 이러한 생산시스템의 복잡성과 불확실성 때문에 한계를 드러냈다. 과거의 일정계획에 관한 연구가 주로 해의 최적성(Optimality)에 중점을 두었다면, 최근에는 점차 급변하는 생산 환경의 불확실성, 다양한 소비자의 요구사항, 납기의 단축 등과 같은 유연한 생산 체제에 더욱 초점을 맞추게 되었다. 그리고 한걸음 더

나아가 보다 지능적인 생산시스템을 위해 스케줄링 시스템의 기민성(Agility)에 더욱 관심이 집중되고 있다.

생산시스템의 지능화의 한 방편으로, Holonic 제어구조에서 에이전트 기술을 이용하여 협동(Cooperation)과 협상(Negotiation)에 기반 한 일정계획 시스템의 새로운 프레임워크(Framework)가 제시된 바 있다.^[1] 본 연구에서는 특정한 Scheduling Algorithm 을 이용하지 않고, 동적으로 변화하는 주문(Order)과 생산 진행에 따라 에이전트들간의 협상과 협동을 위한 효율적인 통신 프로토콜(Communication Protocol)을 정의하였으며, 단일(Single) 협상과 다중(Multi) 협상 전략을 비교 및 검토하였다.

2. 에이전트 기반의 일정계획

에이전트(Agent)란 자율적으로 의사결정을 내릴 수 있고, 독립적으로 작동하며, 다른 에이전트와의 의사소통을 통하여 서로 협력하면서 전체의 목표달성을 위해 행동하는 일종의 소프트웨어 모듈이다. 에이전트의 주된 특징은 스스로 임무를 수행할 수 있는 자율성(Autonomy), 문제해결을 위해 다른

에이전트와 통신할 수 있는 사회성(Social ability), 외부 환경에 반응할 수 있는 대응성(Reactivity), 그리고 목표를 향해 일관되게 작업할 수 있는 일관성(Proactiveness) 등이 있다.^[2] 에이전트는 그 분산 협동처리와 에이전트간의 통신 능력에 있어 다른 인공지능 기술과 구별된다. 에이전트 사이의 통신의 목적은 정보나 작업 처리의 공유와 교환에 있다. 모든 정보를 가지고 복잡한 문제를 혼자서 처리할 수 있는 완전한 에이전트를 개발하는 것은 불가능하므로, 자신이 가지고 있지 않은 정보에 접근하거나 자신이 해결하지 못하는 작업을 처리하기 위해서 다른 에이전트에게 도움을 청하는 방법으로 에이전트간 통신을 이용하는 것이다. 에이전트간 통신을 위한 가장 큰 걸림돌은 각 에이전트가 가지고 있는 이형질성이다. 이들간의 통신을 위해서는 상호 이해 가능한 언어와 프로토콜이 필요하다. 지능적인 에이전트간의 통신을 위해서는 공통적인 구분과 의미, 실제 사용 방법들을 공유할 수 있어야 한다. 이를 위하여 에이전트 통신 언어로서 KQML(Knowledge Query and Manipulation Language)이 많이 이용된다. KQML 은 내부 구조가 다른 에이전트간의 효율적인 상호작용을 돕는 통신언어이며 프로토콜로서, 이미 존재하는 지식베이스에 에이전트를 두고 이들간의 통신을 통해 내용을 공유하기 위한 표준을 제공한다.^[3]

Smith^[4]는 분산 환경에서 독립적인 기능을 수행하는 에이전트들이 서로 의사교환을 통해 문제를 해결하는 협상 규약(Contract Net Protocol)을 처음으로 제안하였다. 이 규약에서는 문제 해결을 위해 에이전트들이 서로 협력하기 위한 고 수준의 의사교환 및 협상 메커니즘을 제시하고 있다. 이후 많은 연구들이 이 규약을 바탕으로 이루어졌다. Sousa 와 Ramos^[5]는 다중 에이전트(Multi-Agent)와 Holonic 개념을 이용하여, 동적인 일정계획 시스템을 위한 새로운 구조와 협상규약을 제시하였다. 특히 Task 와 Resource 를 나타내는 Holon 을 구체화 하였다. 또한, Ting^[6]은 CIM 환경을 구현하기 위해 시스템을 제어하고 스케줄링하기 위한 입찰(Bidding) 스키마를 제안하였다. Lin 과 Solberg^[7]은 다양한 방법과 여러 단계를 걸친 협상 시스템을 제안하였다. 특히 생산시스템을 시장에 비유하여 각각의 에이전트들이 가상의 돈(Money)을 가진다는 가정 하에 마치 경제학적인 경매 시스템과 유사한 모델을 제시하였다. 그러나 이 시스템은 에이전트들 사이의 의사교환 과정이 너무 지나쳐, 병목을 초래하는 단점을 가지고 있다. 정무영 등^[8]은 유연한 공정계획을 가진 자율적인 에이전트를 이용한 스케줄링 시스템을 개발하였다. 그리고 유연한 공정계획을 그래프를 이용하여 나타내었다.

스케줄링 시스템 분야 외에도, Enterprise Integration, Supply Chain Management 등 생산시스템의 여러 분야에 에이전트를 이용하는 연구가 진행되고 있다.^[9]

3. 에이전트를 이용한 일정계획

일반적으로 생산 현장을 제어하는 방법은 제어 시스템들 사이의 인터페이스 구성 방법에 따라 중앙 집중식(Centralized) 제어구조, 계층적(Hierarchical) 제어구조, 그리고 Holonic 제어구조로 분류할 수 있다. Holonic 제어구조는 기존의 계층적 구조의 단점들을 보완한 새로운 개념으로서, 그 장점과 잠재력에도 불구하고 생산현장에서 이용될 수 있을 만큼 실용적 수준까지는 이르지 못하였다. 그것은 협동과 타협의 신뢰성과 처리할 수 있는 복잡도의 한계가 아직 실제 시스템 규모로 검증되지 못하였기 때문이다.

Holonic 제어구조를 갖는 생산시스템은 일련의 자율적이고 협동적인 Holonic 요소들로 구성되어 있다. 그리고 그들은 독립적인 정보처리, 의사결정, 의사소통 등의 기본 기능과 기계가공, 이송, 운반 등의 고유한 기능을 가진다. 일례로 Fig.1 은 생산자원 에이전트의 구조를 나타내고 있다. 생산자원 에이전트의 주요 기능은 부품을 가공하는 것 외에도, 의사소통을 통한 협상을 위하여 외부 에이전트와의 메시지 처리, 지식 베이스 관리, 그리고 자신과 협상을 이끌어 나갈 다른 에이전트를 등록하거나 소멸된 에이전트의 등록을 취소하는 것 등이 있다.

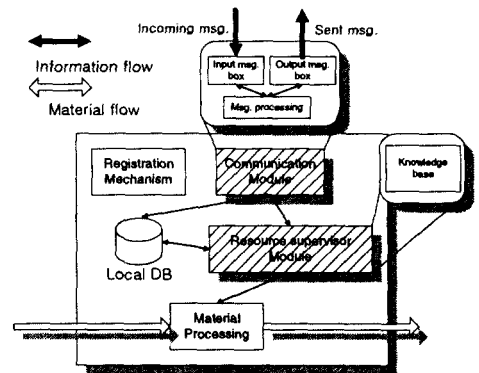


Fig. 1 Structure of a resource agent^[10]

본 연구에서 제안하는 시스템을 구성하는 에이전트는 크게 3 가지로 나눌 수 있다.(Fig.2) 각각의 에이전트는 다른 에이전트와 협동과 협상을 위한

의사소통 능력을 기본적으로 갖추고 있으며, 시시각각 변하는 상태와 속성들에 따라 입찰공고, 입찰, 평가, 그리고 계약 체결 등의 독자적인 행동들을 취하게 된다.

에이전트 매니저(Agent Manager)는 부품 에이전트의 생성과 소멸을 관리한다. 즉, 부품 에이전트는 상위 레벨의 ERP(Enterprise Resource Planning) 시스템에서 지시된 생산 오더에 의해 동적으로 생성되며, 공정계획(Process Plan)에 따라 생산자원에서 원하는 공정을 모두 수행하였을 때 소멸한다. 또한 물리적인 생산현장을 구성하는 각각의 생산자원 에이전트와 통신을 통하여 기계의 고장 등을 모니터링하는 역할을 수행한다. 사용자는 에이전트 매니저를 통하여 부품이나 생산자원의 상태 및 일정계획을 생성하기 위해 에이전트들간의 협상 내용 등을 모니터링할 수 있고, 각각의 생산자원에 할당된 작업을 간트 차트를 통하여 한 눈에 조망할 수 있다.

부품 에이전트(Part Agent)는 이미 설계된 공정계획에 따라 생산 자원들 사이를 이동하는 부품 또는 제조 오더를 의미하며, 원자재, 부품, 반조립품 등이 전형적인 예이다. 부품 에이전트는 각각 고유한 식별자와 공정계획 등을 자신의 속성으로 갖는다.

생산자원 에이전트(Machine Agent)는 원자재나 부품을 완제품으로 변환(가공, 조립, 및 운반)시키는 데에 관여하는 생산 자원을 말하며, 공작기계, Tools, 지그, AGVs(Automated Guided Vehicles) 그리고 창고 등의 모든 물리적인 장치들을 포함한다. 그러나 본 연구에서는 일정계획에 가장 큰 영향을 끼치는 공작기계로 한정한다. 각각의 생산자원 에이전트들은 자신의 고유한 능력에 따라 수행할 수 있는 여러 공정들과 각각의 공정들을 자신의 능력에 따라서 수행할 수 있는 가공 시간들을 속성으로 갖는다. 또한 자신에게 할당된 작업들과 이들 작업의 시작시간 및 종료시간 등을 관리하는 일종의 시간표를 가진다.

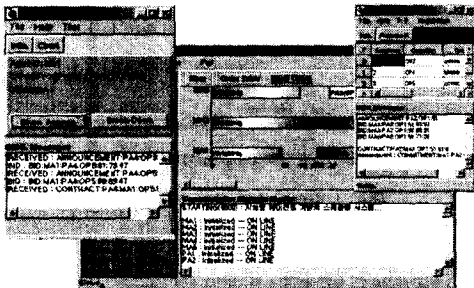


Fig. 2 Screenshot showing three types of agent

4. 협상 메커니즘(Negotiation Mechanism)

4.1 단일 협상구조

모든 상위 레벨의 ERP 시스템에서 계획된 제조오더는 데이터베이스의 오더 테이블에 저장된다. 또한 데이터베이스에는 각각의 오더(부품)에 대한 기본 공정계획 및 대체 공정계획 그리고 가공시간 등 협상에 필요한 기본 데이터를 저장하고 있다. 에이전트 매니저는 항상 데이터베이스를 모니터링하여 오더가 있을 경우, 새로운 부품 에이전트를 동적으로 생성한다.

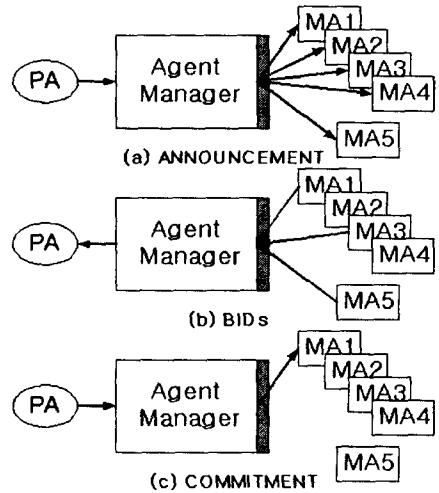


Fig. 3 Single Negotiation Scheme

생성된 부품 에이전트는 자신의 공정계획에 따라서 생산자원 에이전트와 협상을 주도한다(Fig.3). 마치 일반적인 경매에서 팔고자 하는 물건을 입찰자들에게 알리는 것처럼, 우선 자신이 원하는 공정을 모든 생산자원 에이전트들에게 공고한다(ANNOUNCEMENT). 입찰 공고를 통고 받은 생산자원 에이전트들은 공고된 공정을 자신이 수행할 수 있는지를 검토한다. 자신이 수행할 수 없는 공정은 입찰을 참여할 수가 없지만, 반대로 자신의 능력에 부합되는 공정이라면 최선의 입찰계획을 세워서 입찰에 임할 것이다(BIDs). 이때 최선의 입찰계획이란 공고된 공정을 가장 빠르게 처리할 수 시간(Earliest Finish Time)과 자신에게 이미 할당되어 있는 예약시간 등을 내용으로 한다. 입찰공고를 한 부품 에이전트는 일정시간동안 생산자원 에이전트들로부터의 입찰을 수집하고, 더 이상 입찰을 받아들이지 않는다. 부품 에이전트는 원하는 공정을

가장 빠르게 처리할 수 있는 생산자원 에이전트를 선택하고 그와 계약을 체결한다(COMMITMENT). 만일 최상의 입찰 내용이 중복되는 경우에는 생산자원 에이전트에게 사전에 예약된 시간이 적은 것을 선택함으로써 전체적인 균형을 이루도록 한다. 위와 같은 하나의 공정에 대해서 “입찰공고-입찰-계약체결” 등의 메시지 사이클을 마지막 공정까지 반복함으로써 일정계획을 수립해 나간다.

이때 중요한 문제는 여러 개의 부품 에이전트가 있을 경우에 어떤 것을 먼저 생성하여 협상에 임하게 하는가 이다. 위의 시나리오에서는 부품의 납기를 고려하지 않았기 때문에 예상 가공시간 중에 최선(Shortest Lead-Time)의 경우, 최악(Longest Lead-Time)의 경우 그리고 임의의 경우에 대해서 실험하였다.

4.2 다중 협상구조

단일 협상구조에서는 협상에 임하는 부품 에이전트의 개수가 오직 1 개로 고정되어 모든 공정에 대한 협상을 끝내고 다음 부품 에이전트가 협상에 임하는 방식이었던 반면, 다중 협상구조(Fig.4)에서는 여러 개의 부품 에이전트가 동시에 생산자원 에이전트와 협상에 임하게 된다. 따라서 협상을 주도하며 평가를 하는 주체가 부품 에이전트 뿐만 아니라 생산자원 에이전트도 선택적인 계약을 체결하는 능동적인 개체로 작용한다.

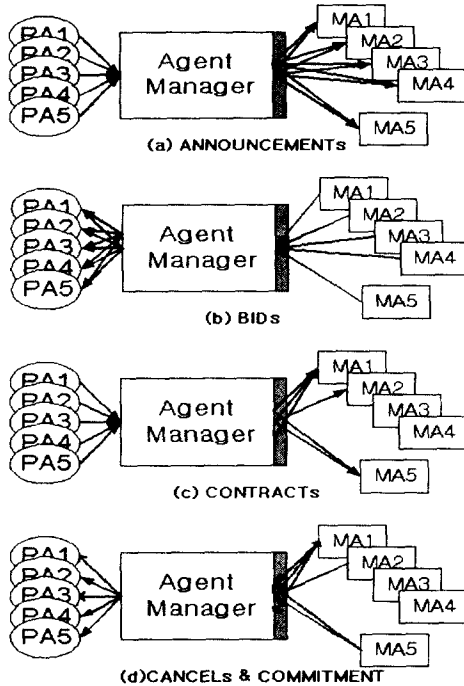


Fig. 4 Multi Negotiation Scheme

Fig.4 와 같은 다중 협상구조에서는 여러 개의 부품 에이전트가 동시에 입찰을 공고한다. 이때 생산자원 에이전트는 자신의 능력에 따라 여러 부품 에이전트에게 동시에 입찰하게 된다. 이 때 최종적으로 생산자원 에이전트가 최대도 활용될 수 있는 부품 에이전트의 계약을 체결하고 그 외의 입찰들은 취소한다. 즉, 다중 협상 구조에서는 각각의 에이전트가 서로 자신의 이익을 추구하는 방향으로 행동한다.

5. 사례 연구

에이전트간 협상을 위한 통신 프로토콜을 테스트하고 단일 협상 및 다중 협상 전략의 성능을 검토하기 위하여 인위적인 일정계획 문제를 정의하여 실험하였다. 즉, 5 Orders / 5 Machines 의 Flexible Job Shop 의 문제로, Table 1 은 생산자원 에이전트가 할 수 있는 공정과 예상 가공시간을 보여주고, Table 2 는 각각의 부품 에이전트의 공정계획을 나타낸다. 각각의 공정들 사이에는 엄격한 선행관계가 있다고 가정한다.

Table 1 Capacity of Machine Agents

MA ID	CAPACITY - Operation (Processing Time)
MA1	{OP1(10), OP3(12), OP5(15)}
MA2	{OP2(14), OP3(14), OP4(18)}
MA3	{OP1(15), OP3(16), OP4(22)}
MA4	{OP2(17), OP4(26), OP5(20)}
MA5	{OP1(20), OP2(20), OP5(25)}

Table 2 Process Plan of Part Agents

PA ID	Process Plan	S.L.	L.L.
PA1	OP3->OP2->OP1->OP4	36	56
PA2	OP2->OP4->OP5->OP1	57	91
PA3	OP1->OP3->OP5	43	71
PA4	OP1->OP2->OP4->OP3->OP5	40	62
PA5	OP4->OP1->OP2	54	82

(S.L.=Shortest LeadTime L.L.=Longest LeadTime)

Fig.5, Fig.6, Fig.7 은 단일 협상 전략에 의한 일정계획 결과를, 그리고 Fig.8 은 다중 협상 전략에 의한 일정 계획 결과를 보여 준다. 임의 순서(Random Sequence) 계획은 리드타임을 고려하지 않고 무작위로 나열한 경우이며, 최장 리드타임(Longest Leadtime) 계획은 대체 기계 중 리드타임이 가장 큰 기계를 택하는 방식이며, 최단 리드타임(Shortest Leadtime) 계획은 대체기계 중 리드

타임이 최소인 기계를 선호하는 전략을 의미한다. 단일 협상 전략의 경우, 예상할 수 있는 바와 같이 최장 리드타임 방식이 가장 나쁜 결과를 보이며, 임의의 순서 계획, 최단 리드타임 계획 순으로 개선된 일정계획을 생성함을 보여 준다.

다중 협상방식은 단일 협상방식보다 많은 메시지 사이클로 구성되므로 일정계획 생성에 상대적으로 많은 시간이 소모된다. 그러나 의사결정의 주도권이 부품 에이전트와 생산자원 에이전트에게 각각 분산되어 있어 서로 보완적인 입장에서 협상하게 되므로, 단일 협상 방식보다 좋은 결과에 도달하는 것을 알 수 있다.

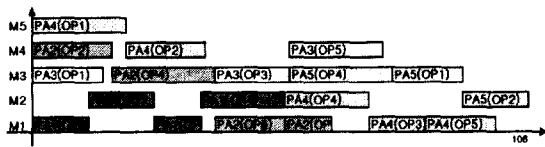


Fig. 5 Scheduling result by using random sequence

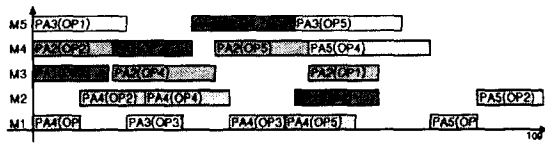


Fig. 6 Scheduling result by longest leadtime sequence

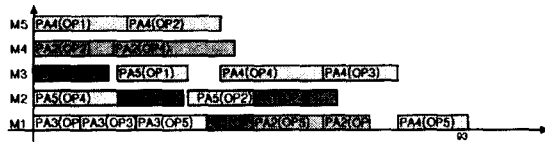


Fig. 7 Scheduling result by shortest leadtime sequence

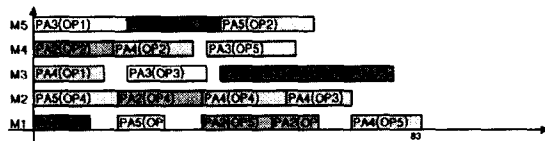


Fig. 8 Scheduling result from multi-negotiation scheme

6. 결론

자율성과 민첩 대응성이 강조되는 지능형 생산 시스템을 실현하는 데에 있어서 에이전트 기술은 중요한 수단을 제공한다. 본 연구에서는 부품 에이전트, 생산자원 에이전트 뿐 아니라 제조오더로부터 부품 에이전트를 동적으로 생성하고, 생성된 모

든 에이전트를 모니터링하며, 에이전트간의 의사소통을 돕는 에이전트 매니저라는 새로운 에이전트를 도입하였다. 향후, 실제 데이터를 바탕으로 성능 검증과 함께 현실적인 문제 규모에서의 실험, 그리고 기계의 다운이나 새로운 오더의 추가 등의 돌발상황에 대한 대응성 등을 정량적으로 검증하는 문제가 남아 있다.

참고문헌

1. 김성희, 강무진, “ 지능형 생산시스템을 위한 에이전트 기반 스케줄링에 관한 연구”, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp.261-265, 2000.
2. 박홍석, 손경미, “ Agent 기반의 Shop 제어 시스템”, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp.331-334, 1999.
3. KQML Advisory Group. An Overview of KQML : A Knowledge Query and Manipulation Language. March 1992.
4. Smith, R.G., “The Contract Net Protocol : High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver”, IEEE Trans. on Computers, Vol. C-28, No.12, pp.1104-1112, 1980.
5. Sousa, P., Ramos, C., “A distributed architecture and negotiation protocol for scheduling in manufacturing systems”, Computers in Industry, pp.103-113, 1999.
6. Ting, J. J., “ A Cooperative Shop Floor Control Model for Computer Integrated Manufacturing”, Proc. of CIMON '90, Albert Jones, Editor, U.S. Government Printing Office, pp.446-465, 1990.
7. Lin, G.Y., Solberg, J.J. “Autonomous control for open manufacturing systems”, Computer control of flexible manufacturing systems, Chapman & Hall, pp.169-206, 1994.
8. Jung, M., Cho, H., Char S., “Scheduler for processing machines in heterarchical SFCS”, Proc. of the 22nd Int. Conf. on Computer & Industrial Eng., pp.160-163, 1997.
9. Weiming S., Douglas, H. N., “Agent-based Systems for Intelligent Manufacturing : A State-of-the-art Survey, <http://www.acs.ucalgay.ca/~wshen/papers/survey-abm.htm>
10. Sugimura N., Morixaki, T., Hozumi, K., “A study on holonic manufacturing systems and its application to real time scheduling problems”, Advances in Production Management Systems, pp.411-422, 1996.