

지능형 생산시스템의 MANPro기반 제어 기초구조

Framework of MANPro-based control for intelligent manufacturing systems

신문수, 정무영

포항공과대학교 산업공학과 / 제품생산기술 연구소

Abstract

MANPro-based control is a novel control paradigm aimed at intelligent manufacturing systems on the basis of mobile agent-based negotiation process (MANPro). MANPro is a negotiation mechanism based on the agent-based control architecture and, especially, it adapts a mobile agent system called N-agent for the negotiation process. N-agent travels around the network of distributed manufacturing systems to acquire information, and it makes a decision for system control according to the obtained information. MANPro includes communication architecture and information architecture for intelligent shop floor control. MANPro also considers the following issues: (1) negotiation mechanism, (2) single-agent internal strategic policies, and (3) information model. Communication architecture concerns the first issue of the negotiation mechanism. It provides information exchanging mechanism with functional modules. In specific, N-agent is equipped with an intelligent reasoning engine with a built-in knowledge base. This reasoning engine is closely related to the single-agent internal strategic policies of the second issue. Finally, ontology-based information architecture addresses information models and provides a framework for information modeling on negotiation. In this paper, these three issues are addressed in detail and a framework of MANPro-based control is also proposed.

Keywords: mobile agent-based negotiation process (MANPro), distributed manufacturing systems, agent-based control, intelligent control

1. Introduction

지능형 생산시스템의 구현을 위해서는 시스템 구성 장비들의 지능적 제어는 물론, 주변 환경의 변화에 대해 지능적이고 능동적으로 대처할 수 있어야 한다. 지능적 제어란 능동적으로 주변 환경에 대한 정보를 수집하고, 내장된 지능을 통해 이를 분석하여 적절한 대응 방안을 마련하며, 필요한 경우에 결정된 대응 방안에 따라 시스템을 제어하는 것을 말한다. 특히, 정보의 수집을 통해 형성한 현실에 대한 인식모델을 적절히 분석하고, 필요한 대처방안을 마련하는 기능은 지능적 제어의 핵심이다. 이러한 기능은 인간의 두뇌에 해당하는 것으로 많은 연구자들의 관심 속에서 활발히 연구되고 있으며, 신경망(neural network) 이론, 유전자

알고리즘(genetic algorithm), 퍼지 로직(fuzzy logic) 등 다양한 인공지능(artificial intelligence) 기법을 통해 구현되고 있다[8].

또한 지능형 생산시스템은 하부 시스템들의 자유로운 동적 재구성을 지원해야 한다. 하나의 생산시스템은 다양한 생산 장비들과 이들의 제어기들로 구성되며, 제어기들은 중앙 집중형(centralized), 계층형(hierarchical) 혹은 분산형(distributed)으로 제어구조를 형성한다. 시스템의 동적 재구성이란 제어기들 사이의 제어구조가 정적으로 확정되지 않고, 시스템 내·외부의 환경적 변화에 따라 자유롭게 변화하는 것을 의미한다. 즉, 새로운 장비가 추가되거나 삭제되는 경우, 혹은 기존 장비가 새로운 장비로 교체되는 경우에 제어 시스템 스스로가 변화에 맞도록 제어체계를 변화시키게 된다. 이는 시스템 운영에 작업자의 개입을 최소화하며, 시스템이 환경의 변화에 따라 스스로 진화할 수 있도록 한다. 따라서 자유로운 동적 재구성 능력은 온전한 지능형 생산시스템 구현의 필수 요소이다. 최근 차세대 생산시스템으로 주목 받고 있는 BMS(bionic manufacturing system)[7]과 FrMS(fractal manufacturing system)[4][5], 그리고 HMS(holonc manufacturing system)[1]은 모두 지능형 생산시스템의 구현을 목적으로, 시스템의 동적 재구성 능력에 초점을 두어 개발되고 있다.

하지만 다양한 이질적인 하부시스템들로 구성되는 시스템 환경에서 동적 재구성 개념을 실현하는 것에는 많은 어려움이 따른다. 실제로 장비의 제어구조가 공급자의 설계에 의존적일 수밖에 없는 상황에서, 새로운 장비를 추가하거나, 기존의 장비를 대체하는 경우, 관련 장비의 특성을 면밀히 검토하여 제어 시스템 전반을 수정하여야 하기 때문이다. 본 논문은 이러한 문제점을 극복하고, 자유로운 동적 재구성 개념을 실현할 수 있는 시스템 제어 방법론을 제안한다.

2. Intelligent System Control

본 논문이 대상으로 하고 있는 지능형 생산시스템은 그림 1과 같이 에이전트 기반의 분산제어 구조를 따른다. 시스템 외부로부터 작업지시와 함께 프로세스 플랜 정보를 받고, 장비 제어기들의 협업을 통해 시스템이 운영된다. 협업 과정에서 발생하는 제어기들 사이의 갈등(conflict)은 조정자 에이전트(shop coordinating agent)에 의해 조율되고 해소된다. 각각의 장비 제어기들은 작업자의 개입 없이 스스로 상황을 인지하고 판단할 수 있는 지능을 가지며, 분산되어 있는 정보를 공유하고 협업하기 위해서 자발적인 협상 프로세스를 진행한다.

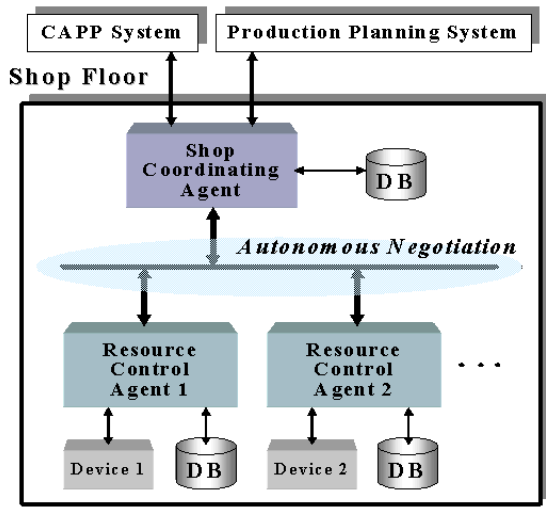


그림 1. 에이전트 기반의 분산제어 시스템

각각의 제어기는 장비의 지능적 제어를 위해 다음 세 가지 기능적 모듈을 갖춘다(그림 2).

- 모니터링(monitring) 모듈
- 의사결정(decision making) 모듈
- 장비제어(execution) 모듈

제어기 스스로가 환경의 변화를 인지하고 적절한 의사결정을 하기 위해서는, 주변 환경에 대한 정보를 능동적으로 수집할 수 있어야 한다. 이는 모니터링 모듈에 의해 구현된다. 모니터링 모듈은 수집한 정보를 바탕으로 현실에 대한 인식모델을 생성하고, 데이터베이스에 저장한다. 모니터링 모듈에 의해 지속적으로 갱신되는 현실 인식모델은 의사결정 모듈의 추론과 판단 과정에 근거를 제공한다. 의사결정 모듈은 제어기 스스로가 인식하고 있는 현재 상황을 분석하고, 필요한 대응 방안을 추론하여 생성한다. 즉, 제어기를 통해 장비를 조작하는 작업자의 역할이 의사결정 모듈에 의해 대체된다. 장비제어 모듈은 모션제어카드(motion control card)와의 교신을 통해 장비를 하드웨어적으로 제어한다. 의사결정 모듈이 생성한 작업지시에 따라 제어 시그널(control signal)을 생성하고, 적절한 시기에 모션제어카드에 전달하여 장비를 제어한다. 모션제어카드는 장비의 하드웨어와 제어기의 소프트웨어 사이에서 인터페이스 역할을 수행하며, 장비에 대한 감지 시그널(sensory signal)을 모니터링 모듈에 전달하고, 제어 시그널을 실행모듈로부터 전달 받아 장비를 직접 제어한다.

이러한 제어기의 특징적인 기능들은 소프트웨어의 재사용성 증진을 위해 독립적인 모듈로 구현된다. 그러나 시스템의 재구성 과정에서 장비를 교체하는 이벤트가 발생하는 경우, 장비의 하드웨어적인 특성에 의존적인 모듈들의 재설계는 피할 수 없다. 예를 들어 장비에 대한 감지 시그널이나 제어 시그널은 하드웨어에 종속적이므로, 이들 시그널의 형태와 정의 역시 바뀌어야 한다. 따라서 이들 시그널을 처리하고 생성하는 모듈 역시 재설계되어야 한다. 즉, 장비의 교체는 모니터링 모듈과 실행 모듈 같은 장비의 특성에 종속적인 모듈들의 재설계를 요구하게 된다. MANPro(mobile agent-based negotiation process) 기반 시스템 제어구조는 장비의 특성에 종속적인 모듈과 장비의 특성에 자유로운 모듈을 분리하여 설계함으로써 이러한 문제점을 극복한다. MANPro는 자율적이고 이동성을 갖춘 모

바일 에이전트를 협상자로서 에이전트들 사이의 협상 프로세스에 도입한 신개념의 협상체계이다[6].

지능형 생산시스템의 운영은 주어진 작업지시와 프로세스 플랜 정보에 따라 필요한 작업들을 적절한 장비에 할당하는 과정으로 묘사할 수 있다. 시스템 설계에 따라 작업지시와 프로세스 플랜을 시스템이 자체적으로 생성할 수도 있다. 작업의 할당 과정은 시스템 구성 요소들 사이의 자율적인 협상을 통해 이루어진다. 즉, 장비 제어기들은 시스템이 완료해야 하는 작업들에 대해서 작업을 수행할 장비와 시기를 결정하기 위해 자율적인 협상을 진행한다. 협상을 통해 작업을 할당받은 장비는 작업 스케줄을 만들고, 스케줄에 따라 적절히 장비를 제어한다.

지능형 생산시스템에서의 제어는 작업지시와 프로세스 플랜을 만들어 적절히 배분하는 플래닝 수준의 제어와 작업할당 수준에서의 제어, 그리고 장비 제어기들이 개별 장비를 하드웨어적으로 제어하는 수준에서의 제어로 구분할 수 있다. 본 논문은 작업할당 수준에서의 시스템 제어구조를 다룬다.

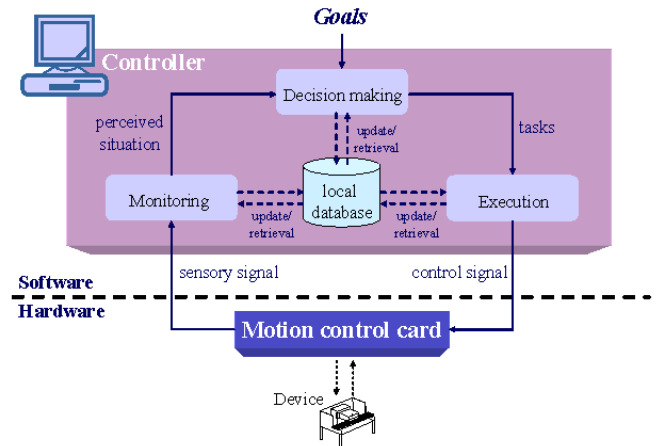


그림 2. 지능형 시스템 제어의 기능적 구조

3. MANPro-based System Control

3.1. Framework

MANPro 기반 시스템 제어는 적절한 장비에 작업을 할당하는 문제로 해석할 수 있다. 생산시스템에 프로세스 플랜과 함께 작업지시가 전달되면, 시스템 내부에서 처리해야 하는 작업들의 집합이 생성된다. 생성된 작업들은 협상을 통해 최적의 장비에 할당되고, 작업을 할당 받은 장비 제어기는 자신의 골과 장비의 상황에 맞도록 작업을 수행한다. 즉, MANPro 기반 시스템 제어는 수행해야 하는 작업들을 적절한 장비에 할당하여 완료하도록 하는 것을 목표로 한다. 작업의 수행을 위해 장비를 하드웨어적으로 제어하는 것은 본 논문이 다루고자 하는 문제가 아니며, 작업을 할당 받은 장비 제어기가 적절한 제어 시그널을 생성하여 모션제어카드를 통해 장비를 제어한다고 가정한다. 본 논문의 목표는 생산시스템이 자유로운 동적 재구성을 수행할 수 있도록 제어구조를 설계하는 것이다.

MANPro 기반 시스템 제어구조는 동적 재구성을 구현하기 위해 장비의 하드웨어적인 특성에 의존성이 강한 기능과 의존성이 비교적 약한 기능들을 나누어 모듈화 하고, 각각 R-agent(resource agent)와 N-agent(negotiation agent)로 구현한다. R-agent는 모니터링과 장비제어 기능처럼 장비의 하드웨어적인 특성에 종속

적인 제어기의 기능들을 담당하며, N-agent는 의사결정 기능과 협상기능을 수행한다.

R-agent는 장비를 하드웨어적으로 제어하고 감시하는 독립된 모듈로서 장비의 구동 드라이버 역할을 맡는다. 시스템의 동적 재구성 과정에서 장비와 제어기 사이에 새로운 커넥션이 형성되면, 제어기는 장비의 타입에 따라 미리 구현된 R-agent를 자동으로 로딩(loading)하여 설치한다. R-agent는 모션제어카드와의 상호작용을 통해 N-agent에게 장비와의 인터페이스를 제공한다.

N-agent는 자율적이고 이동성을 갖춘 에이전트이며, 협상자로서 에이전트들 사이의 협상 프로세스를 주도한다. N-agent는 일종의 모바일 에이전트이며, 네트워크를 통해 R-agent가 위치한 곳으로 직접 이동하여 정보를 수집하고, 수집된 정보를 분석하여 협상을 진행한다. 특히 N-agent는 지능적인 추론 엔진을 탑재하여 수집된 정보를 바탕으로 의사결정을 내린다. N-agent는 해결해야 할 문제에 따라 필요할 기능을 동적으로 연계하여 사용할 수 있다. 또한 장비의 하드웨어적인 특성에 자유로운 역할만을 수행하므로 제어기가 어떠한 종류의 장비와 커넥션을 형성하더라도 재설계 과정이 필요 없다. 그림 3은 MANPro 기반 시스템 제어구조를 도식화하여 보이고 있다.

MANPro 기반 시스템 제어를 구현하기 위해서는 에이전트들 간의 효과적인 정보교환 체계와 개별 에이전트의 지능적인 의사결정 능력, 그리고 이들을 지원할 수 있는 체계적인 정보모델이 갖추어져야 한다.

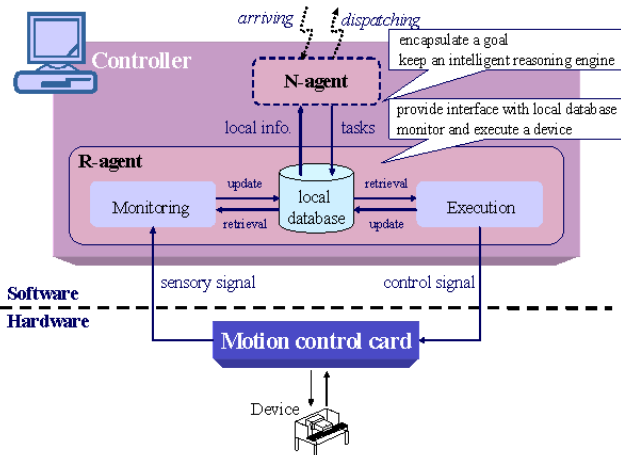


그림 3. MANPro 기반 시스템 제어

3.2. Communication architecture

MANPro는 에이전트 기반 분산제어 시스템을 대상으로 설계된 협상체계이다. 분산제어 시스템은 제어구조가 분산될 뿐만 아니라 시스템 관련 주요 정보들도 분산 관리되는 특징을 갖는다. 따라서 효율적인 시스템 운영을 위해서는 분산된 정보를 효과적으로 통합할 수 있어야 하며, 이를 위한 많은 관련 연구들이 학계에 보고되고 있다. Kadar et al.[2]는 분산된 정보의 공유 방법론을 전통적인 메시지 교환 접근방식과 블랙보드 기반 접근방식, 그리고 이들의 혼합구조로 분류하였다. 그러나 MANPro는 기존의 정보 공유 접근 방식과는 다른 모바일 에이전트 기반의 커뮤니케이션 메커니즘을 정의하고 있다. MANPro 기반의 제어 시스템에서는 N-agent를 매개로 정보를 공유한다.

MANPro는 정보의 분산관리를 보장하기 위해 R-agent와 T-agent(task agent)를 통해 정보에 접근한다. 하나의 생산시스템을 구성하는 각각의 장비에 대한 정

보들은 커넥션을 이루고 있는 R-agent들이 관리하고, 시스템 운영을 위해 필요한 작업 정보들은 T-agent에 의해 관리된다. T-agent는 주어진 작업을 어느 장비에 할당할지를 결정하기 위해 R-agent들 사이의 협상 프로세스를 생성시키며, R-agent들은 T-agent가 요청한 협상 프로세스에 참가함으로써 작업을 할당 받기 위해 다른 R-agent들과 경쟁한다.

이처럼 분산된 정보를 통합하기 위해 MANPro는 N-agent를 정의한다. N-agent는 T-agent가 협상 프로세스를 생성하면, 관련된 R-agent들의 네트워크를 이동하면서 정보를 수집한다. 즉, 개별 R-agent들이 갖고 있는 정보를 얻기 위해서 N-agent는 R-agent들이 설치된 곳으로 네트워크를 통해 직접 이동하고, 데이터베이스에 직접 접속하여 필요한 정보를 얻는다. 그림 4는 MANPro 기반의 협상 프로세스를 도식화한 것으로 N-agent의 생성과 R-agent들의 네트워크를 이동하며 정보를 수집하는 과정을 보여주고 있다.

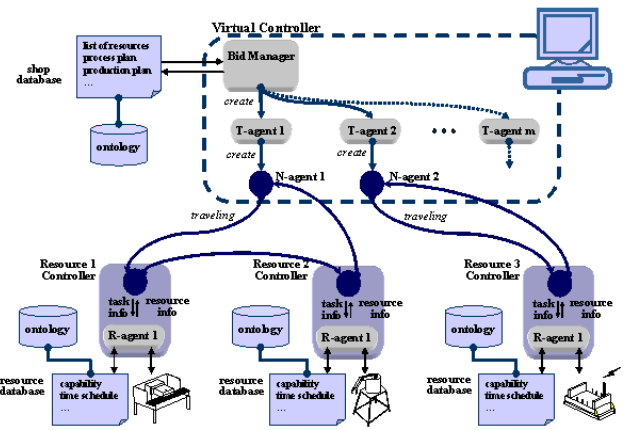


그림 4. MANPro 기반의 협상 프로세스

3.3. Information model

분산제어 시스템은 이질적인 하부시스템들로 구성되며, 하부시스템들의 정보 표현양식도 서로 이질적이다. MANPro 기반 시스템 제어구조는 이질적인 다양한 장비들로 구성된 생산시스템을 대상으로 하고 있으므로, R-agent들이 관리하는 정보의 표현 양식은 서로 다를 수 있다. 따라서 N-agent는 정보수집 과정에서 서로 다른 용어와 의미로 인해 어려움을 겪게 된다. 이처럼 이질적인 정보 표현양식은 하부시스템들 간의 정보 공유를 방해하므로 효과적인 협업을 어렵게 만든다. 정보 표현 양식을 획일적으로 통일한다면 이러한 이질성의 문제를 극복할 수 있겠지만, 정보 모델을 통일하여 표준화하는 작업은 매우 많은 시간과 비용을 요구하므로 현실적으로 불가능한 일이다.

MANPro는 정보 표현양식의 이질성 문제를 효과적으로 극복할 수 있는 현실적인 대안으로서 온톨로지(ontology) 기반의 정보 모델 구조를 제안한다(그림 5). 온톨로지는 특정 도메인에서 사용되는 개념들의 사전으로서[3], 응용프로그램들에 내제된 지식을 명시적으로 선언할 수 있어 에이전트들이 이질적인 시스템으로부터 정보를 추출하는 것을 가능하게 한다. 즉, 유사하거나 동일한 개념을 의미하지만 다른 형태로 표현된 용어들을 온톨로지에 표현된 관계구조를 바탕으로 이해할 수 있다. 따라서 정보의 분산관리와 표현양식의 이질성을 인정하면서도 하부시스템들 간의 상호 운용성을 높일 수 있다.

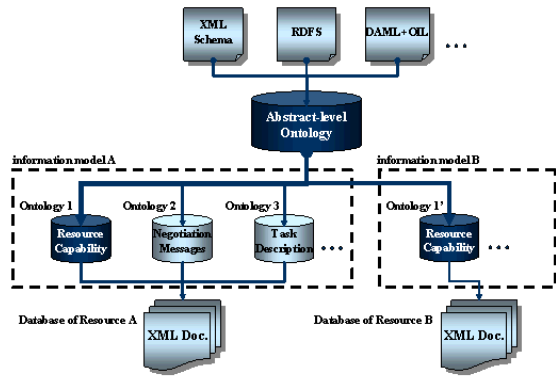


그림 5. MANPro의 정보모델 구조

3.4. Reasoning engine

효과적인 시스템 제어를 위해서는 에이전트들이 지능적인 의사결정을 내릴 수 있어야 한다. 즉, 이상상황에 대처하는 내부방침, 혹은 정상상황에서 시스템을 제어하는 전략적 방침 등이 잘 갖추어져 있어야 한다. 이러한 에이전트의 지능은 다양한 인공지능 기법을 통해 구현할 수 있다[8]. 또한 시스템의 동적 재구성을 위해서는 제어기들이 시스템에서 발생하는 모든 상황을 처리할 수 있는 지능을 갖추어야 한다. 그러나 각각의 제어기가 모든 상황을 고려할 수 있는 지능을 보유할 수는 없다. 급변하는 시스템 환경에서 발생할 수 있는 모든 상황을 고려한 완벽한 알고리즘을 만들어 낸다는 것은 불가능하다.

MANPro 기반의 시스템 제어구조에서는 에이전트의 지능을 If-Then 룰의 형태로 구현하여 knowledge base에 저장한다. 상황에 따라 필요한 코드를 동적으로 연계하고 제공되는 함수를 사용한다. 즉, 장비 제어기의 의사결정 기능을 실질적으로 담당하는 N-agent는 상황에 맞는 코드를 knowledge base로부터 동적으로 이식 받는다(그림 6). 이는 Java™의 동적 바인딩(binding) 기술을 통해 구현된다.

N-agent는 상황에 따라 필요한 추론 엔진을 이식 받아 동적으로 연계하여 사용할 수 있으므로, 자신의 기능적 역할을 고정시키지 않고 상황에 따라 유연한 기능을 수행할 수 있다. 이는 기능적 요구 사항이 변화할 때마다 제어기를 재설계해야 하는 문제를 해결할 수 있으며, 시스템의 동적 재구성을 용이하게 한다. 또한 추론 엔진의 구현을 분리할 수 있으므로, 비교적 단순한 형태로 지능형 제어 시스템을 구현할 수 있다. 뿐만 아니라 knowledge base에 저장된 If-Then 룰을 수정하거나 추가하는 작업만으로도 보다 우수한 지능을 갖춘 시스템을 구축할 수 있다.

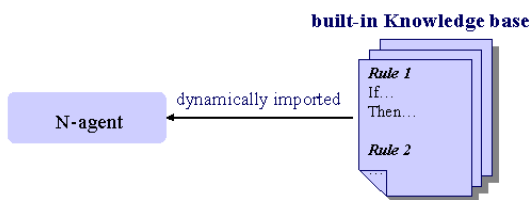


그림 6. 동적으로 생성되는 N-agent의 추론 엔진

4. Conclusion

본 논문은 MANPro 기반의 시스템 제어의 기초구조를 제안하고, 이의 구현을 위한 세 가지 주요 이슈에 대하여 고찰하였다. MANPro 기반의 시스템 제어는 일

련의 작업들을 적절한 R-agent에 할당하는 작업할당 과정으로 이해할 수 있으며, 이 과정은 N-agent가 정보 수집과 의사결정 기능을 담당하는 MANPro 기반의 협상 프로세스를 따른다.

MANPro 기반의 제어구조는 1)정보교환 방법론과 2)정보 모델, 그리고 3)지능형 추론엔진의 구현형태를 특징적인 요소로 갖는다. N-agent가 R-agent들로 구성된 네트워크를 직접 이동하며 정보를 수집하고, 수집한 정보를 바탕으로 적절한 의사결정을 내린다. 또한 N-agent가 이질적인 시스템들로부터 정보를 얻을 수 있도록 하기 위해 온톨로지 기반의 정보모델 구조를 도입한다. 수집된 정보는 built-in knowledge base로부터 동적으로 이식되는 지능형 추론 엔진에 의해 분석되고 상황에 맞는 의사결정을 이끌어낸다. 이러한 특징적 요소들은 시스템의 동적 재구성을 보다 용이하게 하는 장점을 부여한다. 뿐만 아니라 분산되고 이질적인 정보를 효율적으로 통합할 수 있는 장점도 갖는다.

추후 연구에서는 생산시스템을 위한 온톨로지를 정의하여 정보 모델을 생성하고, 실제 생산 장비들을 대상으로 하는 MANPro 기반의 제어 시스템을 구현한다.

Acknowledgement

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-041-D00622).

References

- [1] Brussel, H. V., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L., and Peeters, P. (1998), Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA, *Computers in Industry*, 37, 255-274.
- [2] Kadar, B., Monostori, L., and Szelke, E. (1998), An object-oriented framework for developing distributed manufacturing architecture, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9, 173-179.
- [3] Li, Y., Huang, B., Liu, W., Gou, H., and Wu, C. (2001), Ontology for modeling and analyzing of enterprise competence, *Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2941-2946.
- [4] Ryu, K. and Jung, M. (2003), Agent-based fractal architecture and modelling for developing distributed manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, 41(17), 4233-4255.
- [5] Ryu, K. and Jung, M. (2003), Modeling and specifications of dynamic agents in fractal manufacturing systems, *Computers in Industry*, 52(2), 161-182, 2003.
- [6] Shin, M. and Jung, M. (2004), MANPro: Mobile Agent-based Negotiation Process for Distributed Intelligent Manufacturing, *International Journal of Production Research*, 42(2), 303-320.
- [7] Ueda, K. (1992), A concept for bionic manufacturing systems based on DNA-type information, *Proceedings of the IFIP TC5/WG5.3 8th International PROLAMAT Conference*, Tokyo, Japan, 853-863.
- [8] Warwick, K. (1996), Intelligent adaptive control, *Intelligent Control Systems: Theory and Applications*, IEEE Press, Chapter 3. 63-85.