

전자빔 가공기에 대한 에이전트 응용

임선종*, 이찬홍⁺, 송준엽⁺

(논문접수일 2006. 8. 24, 심사완료일 2007. 2. 23)

Agent Application for E-Beam Manufacturing System

Sun Jong Lim*, Chan Hong Lee⁺, Jun Yeob Song⁺⁺

Abstract

An agent is an abstract unit for problem solving in the field of distributed artificial intelligence, and an agent-based system is designed and implemented based on the definition of agent as its central concept. Agent modeling is advantageous to abstraction, disintegration and structuring for describing complex system, so its application is increased in various areas including air traffic control, power transmission, e-commerce and medicine. There is no agreed definition of agent but agents have common points as follows: autonomy, reactivity, pro-activeness and cooperation. An agent-oriented modeling is an approach of a concept different from existing object-oriented modeling. This study proposed the agent application for E-Beam manufacturing system. To evaluate the performance of the proposed process design, we used the JADE library. The JADE toolkit provides a FIPA-compliant agent platform and a package to develop Java agents. It provides a basic set of functionalities that are regarded as essential for an autonomous agent architecture.

Key Words : 분산 에이전트(Distributed Agent), 에이전트 기반 시스템(Agent Based System), 에이전트 정의(Agent Definition), 객체 기반 모델링(Object Oriented Modeling), 전자빔 가공기(E-Beam Manufacturing System), 전자 현미경(Scanning electron microscope)

1. 서론

소프트웨어 공학 입장에서 복잡한 시스템을 기술하기 위해 추상화(Absraction), 분해(Decomposition) 그리고 구성

(Organization) 등의 기술을 사용한다⁽¹⁻³⁾. 추상화란 복잡한 시스템을 기술하는 기본적인 방법으로 가장 중요한 요소들에 중점을 두어 개략화시킨 것이다. 에이전트 모델링은 추상화, 분해 및 구조에 장점을 가지고 있어서 응용 분야와 관

* 한국기계연구원, 지능기계연구센터 (sjlim@kimm.re.kr)
주소: 305-343 대전시 유성구 장동 171

+ 한국기계연구원, 지능기계연구센터

런 연구가 증가하고 있다⁽⁴⁻⁷⁾. 기계 시스템의 운영 소프트웨어 개발에서 설계 공정은 요구 사항 분석을 기초로 하며 구조와 행위로 나눌 수 있다. 구조 모델링은 시스템의 구성 요소들과 이들 사이의 구조적인 관계와 특성을 모델링한다. 행위 모델링은 시스템의 각 구성 요소들의 기능적인 특성을 모델링하는 것으로 이들 요소들이 언제 그리고 어떠한 순서로 수행되는가와 같은 동적인 모델링을 한다. 최근 소프트웨어 엔지니어링 측면에서 머시닝 센터 그리고 기계 지능화를 위한 소프트웨어 개발에 에이전트 모델링을 적용하려는 연구가 Rzevski와 Lei 등에 의해 진행되고 있다^(8,9). Rzevski는 에이전트의 특징을 바탕으로 공작 기계에 대한 개념적 설계를 제시하였다. Lei는 기계 지능화를 위한 에이전트의 활용에 대해 제시하고 필요한 에이전트를 기반으로 개념적인 설계를 제시하고 있다. 이들 모두 개념적인 설계를 제시하고 있는 단계이다.

본 연구에서는 응용 시스템에 적합한 에이전트 모델링 과정을 제시하고 FIPA-OS(Foundation for Intelligent Physical Agent-Open Source)에 기반을 두고 있는 JADE(Jade Agent Development Framework)를 이용해 프로타입을 위한 기본 프레임의 구축을 제시하였다. 응용 대상은 전자빔 가공 시스템(이하 가공기)이며 전자 현미경(이하 현미경)의 동작 원리에 바탕을 두고 빔 차단기를 추가하는 방법으로 개발이 진행되고 있다. 현미경은 개발이 완료된 상태이다.

2. 에이전트 모델링

에이전트에 대해 다양한 정의들이 있으며 공통된 특징은 반응성, 사회성 그리고 목적 지향성이다. 현재 제안된 많은 에이전트 정의들 중에서 Wooldridge와 Jennings의 정의를 가장 많이 사용하고 있다⁽¹⁰⁾.

2.1 객체 지향과 에이전트 모델링의 비교

현재 운영 프로그램 개발에 주류를 이루고 있는 객체 기반 모델링(Object Oriented Modeling)과 에이전트 모델링(Agent Oriented Modeling)을 Table 1에 비교하였다.

비교는 객체의 선정, 추상화, 분해 그리고 구조적인 측면에 대한 것이다.

2.2 에이전트 설계 공정

에이전트 기반의 소프트웨어 개발은 환경 및 문제 영역 분석, 에이전트 객체 선정, 에이전트 구조 설계, 에이전트 시

Table 1 The comparison of OOM and AOM

	객체 기반	에이전트 기반
객체의 선정	데이터와 이를 처리하는 프로시저	에이전트의 기본적인 특징
분해	객체는 메시지를 통해 수동적으로 동작	컨트롤 쓰레드를 가지며 언제 그리고 어떻게 동작하는가를 스스로 결정
추상화	서브 시스템에 대해 데이터와 결과로 표현	서브 시스템에 대해 목적과 역할로 표현
구조	객체간의 관계가 설계 단계에서 미리 결정된 구조	에이전트 스스로 관계 설정 및 단절을 자유롭게 결정할 수 있는 구조

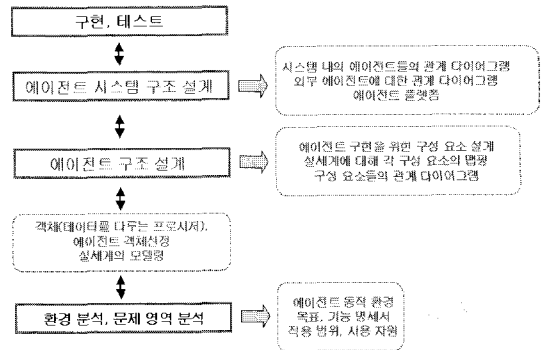


Fig. 1 Design process for software based on agent

스템 구조 설계 그리고 구현 및 테스트로 구성된다. Fig. 1은 개발 단계를 보이고 있다.

2.2.1 환경 및 문제 영역 분석

에이전트 프레임 적용의 목적은 가공기 운영 시스템의 구축며 우선적으로 이를 위한 프레임 구축을 목적으로 한다. 프레임의 구축은 JADE 컨테이너에 에이전트의 등록을 통해 이루어지며 이것은 개발의 첫 단계이다. 운영 시스템은 기본 프레임을 구축한 클래스의 확장을 통해 이루어진다.

에이전트 프레임을 구축하는데 사용되는 다양한 도구들 중에서 JADE를 사용한다. JADE는 특정한 에이전트 구조를 정의하지 않지만 에이전트 구조 설계에 필요한 기능을 제공한다. 단일 에이전트는 제공되는 에이전트 클래스를 확장하여 구현하며 이것은 에이전트 라이프 사이클을 관리하는 JADE 컨테이너에서 동작한다.

2.2.2 객체의 선정

환경 및 문제 영역 분석 단계를 바탕으로 모델링을 위한 객체를 선정한다. 객체는 능동적 객체 및 수동적인 객체로 나누며 능동적인 객체(에이전트 특징이 요구되는 객체)는 에이전트화한다.

2.2.3 에이전트 구조 설계

에이전트 구조 설계는 구현을 위한 클래스 선정, 기능 구현을 위한 모듈 그리고 모듈간의 관계 다이어그램을 설계하는 과정이다. 다양한 구조의 특징을 살펴보면 환경 변화가 심하거나 급격한 경우에는 reactive 구조를 사용하며 보다 안정된 환경의 경우에는 deliberate 구조를 기반으로 한다. 본 연구에서 적용하는 가공기는 진공 생성, 사용자 인터페이스에 의한 제어 변수 설정, 감시 변수 표시 및 이미지 표현 등과 같은 급격한 변화 보다는 상대적으로 안정된 공정 절차를 가지고 있다. 따라서 Deliberate의 BDI(Beliefs, Desires and Intentions) 구조에 기반을 두고 있다. Fig. 2는 간단한 BDI 구조를 보이고 있다. Beliefs에 대해 실세계의 데이터는 챔버 진공도이며 내부 상태는 사용자 인터페이스에서 전달된 제어 변수들이다. 제어 변수는 가속 전압, 바이어스 전압, 필라멘트 전압, 브라이트니스, 콘트라스트, 스팟 사이즈, 배율, 이미지 쉬프트, 건 얼라인먼트 및 에버리지율 등이다.

2.2.4 다중 에이전트 구조

다중 에이전트 구조는 정의된 에이전트 사이의 관계와 의사 소통 메커니즘을 설계한다. 구조의 특징을 살펴보면 자율적인 에이전트(Autonomous agents) 구조는 다수의 에이전트가 독립적으로 목적을 수행하는 분산 시스템에 적합하다.

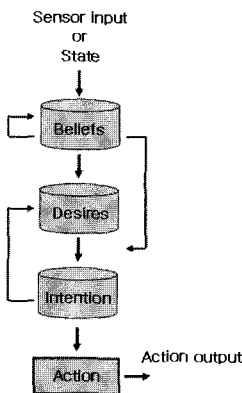


Fig. 2 A generic architecture of BID agent

연합(Federated) 구조는 보다 복잡한 분산 제조 시스템에 적합하다. 의사 소통 메커니즘에 대해 자율적인 구조는 address routing 방식이 적합하고 facilitator의 기능에 따라 brokering 모델 혹은 recommending 모델을 사용한다. 본 연구에서는 응용 시스템의 특징을 반영하여 연합 구조에 recommending 모델을 사용한다.

3. 전자빔 가공기에 대한 응용

현미경의 동작 원리에 기반을 두고 개발중인 가공기는 메인(Main), 빔(Beam), 옵틱(Optic) 그리고 스캔(Scan) 제어기로 구성되며 각 제어기의 기능과 구성은 Fig. 3에 보이고 있다. 에이전트 모델링을 구현하기 위한 개발 환경은 프로그램 개발을 위한 미들웨어인 JADE 3.3과 JDK 1.4를 사용하고 있다^(11,12).

3.1 에이전트 모델링 적용의 원리

에이전트 모델링 적용의 개념적 원리는 참고 문헌[8], [9]에 바탕을 두고 있으며 다음과 같이 설명된다. 첫째, 시스템 구조는 능동적으로 동작하는 서버 시스템과 이들의 네트워크로 구성한다. 서버 시스템은 에이전트에 대응한다. 둘째, 각 서버 시스템은 목적 달성을 위해 다른 서버 시스템과 협력 작업을 수행한다.

3.2 에이전트 선정 및 에이전트 관계

에이전트 추출 기준과 시스템 구성을 고려하여 사용자 인터페이스 에이전트(ua), 전자빔 가공 에이전트(ebma), 협력

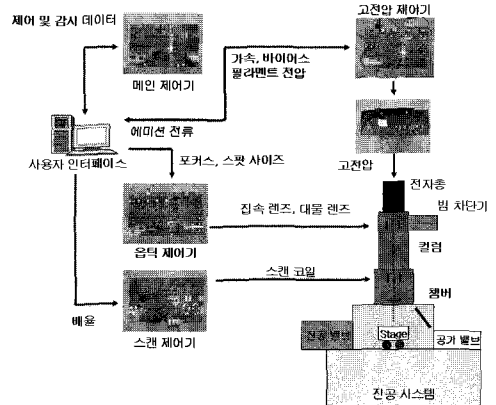


Fig. 3 Controller configuration for E-Beam manufacturing system

에이전트(ca), 빔 제어 에이전트(bca), 센서 에이전트(sa)로 선정하였다.

Fig. 4는 정의된 에이전트의 기능과 관계를 보이고 있다. 전자빔 가공 에이전트는 메인, 빔 그리고 옵틱 제어를 포함한다. 메인 제어기는 진공 생성을 위한 밸브 제어 및 공정 제어의 기능을 수행한다. 빔 제어기는 고전압 발생기를 제어하기 위한 가속 전압, 필라멘트 전압 및 바이어스 전압을 생성하며 에미션 전류를 받는다. 옵틱 제어기는 초점 및 스폿 사이즈 조종을 위한 집속 렌즈와 대물 렌즈의 전류를 제어한다. 전자빔 가공 에이전트는 사용자 인터페이스 에이전트로부터 고전압 발생기를 제어하기 위한 변수(가속전압, 바이어스 전압 및 필라멘트 전압)값, 영상의 밝기 조종을 위한 스폿 사이즈 그리고 초점 조종을 위한 변수값을 받는다.

사용자 인터페이스 에이전트는 사용자로부터 각 에이전트에 전달할 변수값을 받으며 결과 상태(영상 데이터)와 결과 (에미션 전류)를 표시한다. 센서 에이전트는 고전압 발생기의 제어 상태를 표시하는 에미션 전류와 진공도 등을 사용자 인터페이스와 전자빔 가공 에이전트의 메인 제어기에 전달한다. 진공도 측정은 초기화 과정에서 챔버내의 진공 생성을 위해 사용된다. 빔 제어 에이전트는 전자빔 가공에서 패턴 가공을 위한 빔 제어를 수행한다. 협력 에이전트는 향후 가공 라인에서 외부 기기와 메시지를 교환을 위해 외부 기기의 ID, 현재 상태 및 작업 내용 등을 관리하는 기능을 수행한다.

Fig. 5는 전자빔 가공 에이전트의 메인 제어기에 대한 기능을 보이고 있다. 주요 기능은 초기화 과정에서 진공 생성을 위한 밸브 제어, 진공도 표시 등과 시편 교환을 위한 공기 주입 등의 기능을 수행한다. 동작에 필요한 진공이 생성된

경우 “초기와 완료” 신호를 사용자 인터페이스 에이전트에 전달한다.

빔 제어 에이전트의 스캔 제어기는 현미경의 경우 배율에 따른 스캐닝과 가공기의 경우 가공 프로파일에 따른 빔 이동과 빔 차단기의 개폐 기능을 수행한다. 사용자 인터페이스로부터 이미지 확대를 위한 배율값을 전송받으며 포토 멀티플라이어(Photo multiplier)의 영상 신호를 이미지 그래픽에 전송한다. Fig. 6은 스캔제어기의 기능을 보이고 있다.

3.3 프레임 구축

JADE에서 에이전트가 실행되는 런 타임 환경인 컨테이너는 AMS(Agent Management System)와 DF(Directory Facilitator) 에이전트를 갖게된다. AMS는 에이전트 상태, 에이전트 ID 리스트의 관리 그리고 라이프 사이클 등을 제공한다. 현재 응용 시스템의 에이전트는 같은 플랫폼에 존재한다. DF는 에이전트에 대한 전화 번호부 기능을 수행한다.

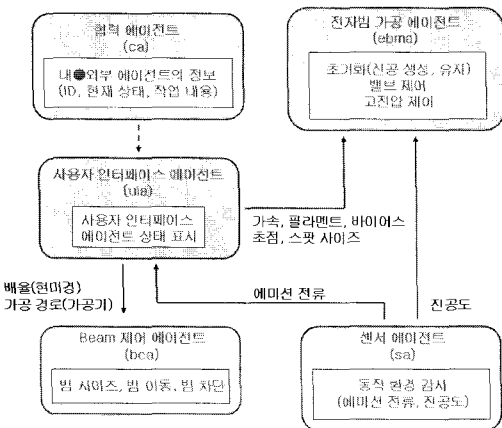


Fig. 4 Agent diagram for E-Beam manufacturing system

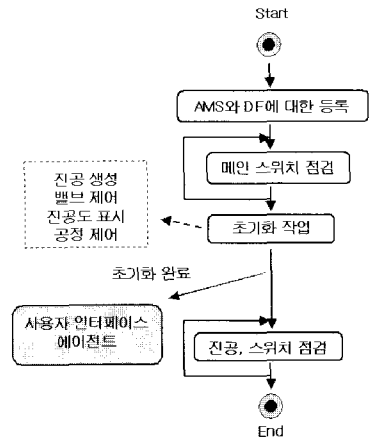


Fig. 5 The function of main controller

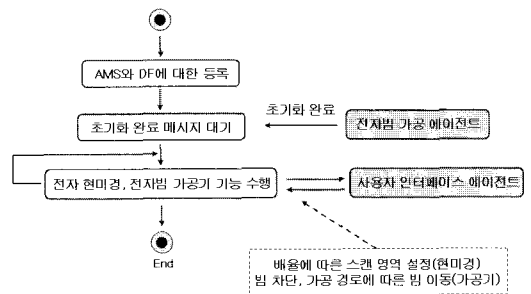


Fig. 6 The function of scan controller

시스템 커널과 응용 프로그램의 구현은 jade.core 패키지를 기본으로 하고 있다. 각 에이전트의 기능 수행은 서브 패키지인 jade.core.behaviours를 이용하고 언어 처리를 위해 jade.lang.acl을 이용하고 있다. jade.domain 패키지를 이용해 AMS와 DF를 관리하며 jade.gui 패키지의 클래스를 이용해 ID, 에이전트 표현, ACL 메시지의 표현과 편집 그리고 GUI를 만들고 있다. 등록된 에이전트와 플랫폼의 라이프 사이클을 통제하기 위해 jade.tools.rma의 인스턴스를 활용하고 있다.

응용 시스템을 위해 정의된 에이전트의 컨테이너에 대한 등록 그리고 동작을 확인하기 위해 로그 관리자, 플랫폼의 설정, DF, Inspector 그리고 RMA(Remote Monitoring Agent)를 구성하였다.

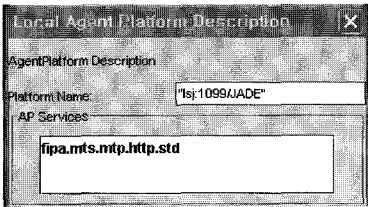


Fig. 7 Normal operation of agent platform

Registrations with this DF		Search Result	DF Federation
Agent name	Addresses		
bca-EBMS@1sj:1099/JADE	http://Msj:7778/acc		
ca-EBMS@1sj:1099/JADE	http://Msj:7778/acc		
sa-EBMS@1sj:1099/JADE	http://Msj:7778/acc		
uia-EBMS@1sj:1099/JADE	http://Msj:7778/acc		
ebma-EBMS@1sj:1099/JADE	http://Msj:7778/acc		

Fig. 8 DF window

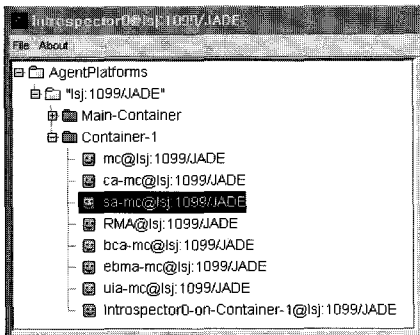


Fig. 9 Inspector window

로그 화면에서 컨테이너내에서 에이전트를 구별하기 위해 machine ID와 사용되는 포트를 입력한다. 정상적인 로그인 과정을 마치게 되어 메인 컨테이너가 생성되면 DF에서 확인할 수 있다. DF에 등록된 에이전트는 uia(사용자 인터페이스 에이전트), ebma(전자빔 가공 에이전트), ca(협력 에이전트) 그리고 sa(스캔 에이전트)이다. 각 에이전트들 사이에서 송수신되는 메시지를 확인하기 위해 위해서는 인스펙터(Inspector)를 사용한다. 인스펙터는 컨테이너에 등록된 에이전트의 리스트와 에이전트간의 전송되는 메시지를 확인할 수 있다.

에이전트 플랫폼의 구축 상태를 확인할 수 있도록 윈도우를 구성하였으며 Fig. 7에 보이고 있다. DF는 같은 플랫폼내에 등록된 다른 에이전트를 보이는 기능을 수행한다. 이것은 자신의 목적을 달성하기 위해 활용할 수 있는 다른 에이전트를 찾기 위해 활용된다. Fig. 8은 구축된 DF의 화면을 보이고 있다. 인스펙터는 동작중인 에이전트의 라이프 사이클(life-cycle)와 송수신되는 메시지 등 에이전트 동작에 대한 전반적인 사항을 감시할 수 있다. Fig. 9는 인스펙터 화면을 보이고 있다.

4. 결론

복잡한 시스템을 기술하는 추상화 측면에서 장점을 가지고 있는 에이전트에 대한 관심이 늘고 있다. 아울러 소프트웨어 엔지니어링 측면에서 머시닝 센터 혹은 기계 지능화에 에이전트 모델링을 응용하려는 시도가 진행되고 있다. 본 연구는 응용 시스템인 가공기에 대한 에이전트 모델링 과정을 제시하였으며 JADE를 이용해 기본 프레임의 구축하는 과정을 보였다. 구축된 프레임에 대해 JADE의 DF, Inspector 함수를 사용해서 정상적인 동작을 확인하였다. 또한 선정된 각 에이전트간의 메시지 전달을 확인할 수 있었다.

향후 연구 과제로는 구축된 프레임의 확장과 에이전트간의 협조 및 자율성의 관점에서 구조 설계 및 설계된 구조의 검증 방법 등이 있다. 또한 가공 라인에 적용하기 위해 협조 에이전트를 확장하여 분산 시스템에 대한 분산 에이전트 구조 설계에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- (1) Jennings, N. R., 2000, "On agent-based software engineering," *Artificial Intelligence* 117, pp. 277-297.
- (2) Booch, G., 1994, *Object-Oriented Analysis and*

- Design with Application*, Addison-Wesley.
- (3) Jennings, N. R., 2003, "Agent-Based Control System," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 61~73.
- (4) Rehtanz, C., 2003, *Autonomous Systems and Intelligent Agents in Power System Control and Operation*, Springer, pp. 247~277.
- (5) Farahvash, P. and Boucher, T. O., 2004, "A multi-agent architecture for control of AGV systems," *Robotic and Computer-integrated Manufacturing* 20, pp. 473~483.
- (6) Cremonino, M., Omicini, A. and Zambonelli, F., 1999, "Multi-agent Systems on the Internet: Extending the Scope of Coordination towards Security and Topology," *9th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World. MAAMAW'99* Valencia, Spain, pp. 77~88.
- (7) Lander, S. E., 1997, "Issues in Multiagent Design Systems," *IEEE Expert*, pp. 18~26.
- (8) Rzevski, G., 2003, "On conceptual design of intelligent mechatronic systems," *Mechatronics* 13, pp. 1029~1044.
- (9) Lei, T., Yang, M. and Yang, S., 1998, "Design an intelligent machine center-strategy and practice," *Mechatronics* 8, pp. 271~285.
- (10) Padgham, L. and Winikoff, M., 2004, *developing intelligent agent system*, WILEY, pp. 1~6.
- (11) <http://jade.tilab.com/>
- (12) <http://www.fipa.org/>