

CASE 기술특집 : 21세기의 자동화기술(3)

미래의 제조시스템: 홀로닉 제조 시스템 (HMS)

K. Kawamura

Center for Intelligent Systems, Vanderbilt University, USA

1. 서론

다양한 고객의 요구를 충족하고 기업의 경쟁력을 유지하기 위하여, 차세대 제조 시스템은 제품의 쾌속 개발, 생산량과 제품 다양화에 적응할 수 있는 유연성 및 제조 장비 및 시스템의 재사용성을 구현하여야만 한다. 이러한 미래의 제조 시스템은 자율적이면서도 서로 협동이 가능한 모듈들, 즉 홀론(holon)들로 구성되어야 한다. 여기서, '홀론(holon)'이란, '전체(whole)'를 의미하는 그리스어 'holos'와 '입자(particle)'를 의미하는 접미사 'on'의 합성어이다. 이 용어는 헝가리의 작가이자 철학자인 Arthur Koestler [1] 에 의하여 만들어진 말로서, 특정의 시스템에 속하는 일체성을 가진 부분품이면서, 시스템과 자신 사이에, 그리고 자신과 또다른 부분품들 간에 상관 관계를 유지하는 존재를 의미한다. 이러한 정의에 의하면, 인간 사회내의 하나의 인간도 홀론이라고 정의할 수 있다. 하나의 인간은 자신이 속한 사회내에서 자율성과 일체성을 가진 존재이지만, 사회내에서 제정된 규범에 의하여, 사회와 다른 인간과의 관계에서 상관 관계를 가지고 행동한다. 이러한 개념을 제조 시스템의 설계와 제어에도 응용하여 미래의 제조 시스템을 구성하려고 노력하고 있으며, 이러한 개념의 제조 시스템을 우리는 홀로닉 제조 시스템 (Holon Manufacturing System: HMS) 이라고 부른다.

따라서, HMS에서는 제조 시스템의 요소인 기계, 조작자, 제조되는 제품 또는 부품을 모두 홀론으로 생각한다. 홀론은 자율성과 협동 능력을 모두 가지고 있다.

여기서, 협동 능력이라 함은 상호 의견 일치와 조직화된 상호 작용에 의하여 행동한다는 의미이다. 각 홀론은, 자신의 행동을 결정하고, 다른 홀론과 통신 및 협상을 하고, 상호 합의된 일을 수행하고, 이러한 알고리즘 및 절차를 수행하기 위한, 데이터를 자체적으로 반드시 가지고 있어야 한다 (HMS home page: <http://hms.ncms.org/> 참조).

기계 요소가 홀론으로 개발되면, 원하는 제조 장비 및 시스템은 기계 요소의 재구성과 조합을 통하여 유연하고 쾌속하게 실현될 수 있다. 만일, 기계에 작업을 담당하는 일에 홀론을 사용하면, 실제 기계 동작 조건에 따른 실시간 일정 전개가 가능하다. 국제적으로 진행되고 있는 IMS 프로그램의 일부인 HMS 프로젝트에서 추구하는 목표는, 공작기계, 로봇, 치구, 제품 등이 다양한 공정을 수행하고, 다양한 제품을 제조하기 위하여, 자기 자신을 자율적이면서 협동적으로 재구성할 수 있는 HMS를 개발하는데 있다.

2. 홀로닉 제조 시스템 (HMS)

2.1. HMS 관련 연구 내역

HMS 프로젝트는 1992년에 호주, 캐나다, EFTA, EU, 일본 및 미국에 의하여 개시된 국제 지능 제조 시스템 (IMS) 타당성 연구의 시범 케이스들 중의 하나로 시작되었다. IMS 프로그램의 성공적인 중간 완료로 인하여, 1995년 가을에 HMS 프로젝트가 네 가지 본격

적인 IMS 프로젝트들 중의 하나로 선정되었다. HMS 프로젝트의 목표는 (1) 시스템 설계, 공학, 운영의 측면에서의 핵심적인 홀로닉 기술의 개발과 (2) 가공, 치구 설계, 부품 취급, 자원 관리 분야에서 홀로닉 시스템 기술에 대한 데모 시스템을 개발하는 것이다. HMS 프로젝트의 회원들은 6개의 IMS 지역으로부터의 산업체의 사용자 그룹과 판매자 그룹, 대학교, 연구소 등이다. 한국은 1997년 여름부터 제7지역으로서 HMS 프로젝트에 참여할 전망이다.

2.2. HMS 개념

초기 작업으로서, HMS 콘소시엄은 홀로닉 개념을 제조 분야에 적합하게 번역하고 이해하는 것을 돕기 위하여, 다음과 같은 정의를 개발하였다.

(1) 홀론(holon): 물리적인 물체와 정보를 변형, 운반, 저장 및 가치화하는, 자율적이고 협동 가능한 제조 시스템의 구성 모듈.

(2) 자율성(autonomy): 하나의 개체가 자기 자신의 계획과 전략을 스스로 만들어내고, 스스로 그 계획과 전략을 수행하고 통제하는 능력.

(3) 협동(cooperation): 여러개의 개체가 상호간에 받아들일 수 있는 계획들을 세우고, 이러한 계획들을 수행하는 일.

(4) 홀론조직(holarchy): 목표를 달성하기 위하여 협동할 수 있는 홀론으로 구성된 시스템. 홀론조직은 홀론이 협동하는 기본 규칙을 정의하며, 이에 따라서, 홀론의 자율성이 규제된다. <그림 1> 참조.

(5) 홀로닉 제조시스템(HMS): 주문 예약, 제품 설계, 제조, 판매 등의 전체 생산 과정을 통합하는 홀론조직을 의미하며, 이를 통하여 신속 제조 (agile manufacturing)를 구현한다.

(6) 홀로닉 속성(holonik attributes): 하나의 개체가 홀론이 되게하는 속성. 최소한도로 자율성과 협동성을 속성으로 가져야만 한다.

(7) 홀론성(holonomy): 하나의 개체가 홀로닉 속성을

발휘하는 정도.

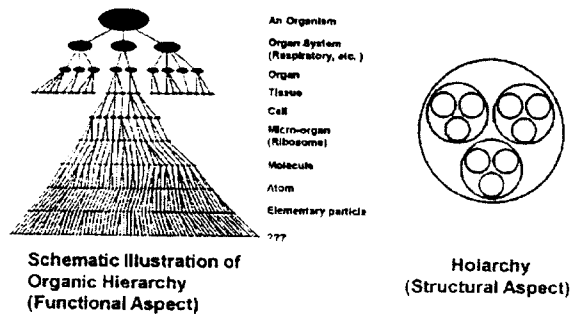


그림 1. 홀론조직(holarchy)의 개념도.

3. HMS 관련 연구 및 현황

3.1. HMS 관련 연구 개괄

HMS의 기술적인 목표는 HMS 개념의 이해, 체계화 및 승인과 산업체에서의 응용을 위한 설계, 설치 및 활용에 있다. 상기 목표를 달성하기 위하여, HMS 콘소시어의 회원들은 아래와 같은 6개의 소그룹으로 배분되어 있다.

WP1: 시스템 구조 및 공학 (위원장: Rockwell Automation)

WP2: 시스템 운용 (위원장: VTT Automation)

WP3: 홀로닉 자원 관리 (위원장: CSIRO)

WP4: 홀로닉 기계 장치 (위원장: Kobe University)

WP5: 홀로닉 치구 스테이션 (위원장: Keio University)

WP6: 홀로닉 취급 시스템 (위원장: VTT Automation)

WP7: holomobiles (위원장: TBA)

프로젝트 연구를 시작한 이래, HMS 콘소시엄 회원들은 4개월마다 1회씩 만나서 기술적 문제들과 테스트 베드에 대하여 토의하였다. 이 중에서 두가지 연구 내용에 대하여 설명한다.

3.2. 핵심 연구 내용

(1) 홀론 모델과 구조

협동은 홀론 시스템의 특징을 정의하는 두가지 핵심 속성 중의 하나이다. 홀론 사이의 협동은 Smith[3] 또는 Saad[4]가 제안한 contract net와 같은 협상 프로토콜을 응용하여 달성할 수 있다. 모든 홀론은 홀론들 사이의 통신 절차를 구현하기 위하여 contract net과 같은 요소를 가지고 있다. Contract net는 계획 창생과 자원 배분 목적에 매우 적합하기 때문에 통신 프로토콜로 선정되었다. 홀론은 구조적인 수준 또는 층으로 구성되며, 자기의 상위층, 동위층 또는 하위층의 홀론과 메시지를 교환할 수 있다. 홀론의 일반적 동작 모델은 <그림 2>와 같이 표현될 수 있다 [5].

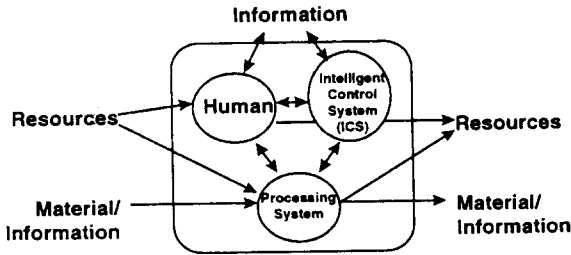


그림 2. 홀론의 일반적 동작 모델.

(2) PEM 모델링

자율성 또한 홀론 시스템의 특징을 정의하는 두가지 핵심 속성 중의 하나이다. 자율성은 자체적 지능을 의미하며, 자체적 지능을 통하여, 홀론은 건설한 동작이 가능하며과 자체적으로 문제를 해결할 수 있다. HMS 콘소시엄의 회원사인 VTT Automation에서는 홀론 제조시스템에서 사용할 수 있는 PEM (Planning, Executing, Monitoring) 이라는 틀을 제안하였다 [6]. PEM은 로봇 제어 시스템에서 데이터 흐름과 제어 흐름을 동시에 지원하는 목표 지향의 구조적인 체계이다. PEM 체계에서는 구조적인 로봇 이송 운동 및 조작 해석 및 센서 정보의 처리와 모델링 등의 프로세싱

유닛이 있다. PEM 모듈의 다른 형태는 다른 meta control 원칙을 적용함으로써 구현할 수 있다.

(3) 지능형 기계 구조 (IMA)

또다른 회원인 Vanderbilt 대학교에서는 통합 로봇 시스템을 위하여, 지능형 기계 구조 (IMA: Intelligent Machine Architecture) 라고 불리워지는 agent-based 소프트웨어 구조를 제안하였다. IMA는 향상된 로봇용 소프트웨어 구조이며, agent-based 시스템 설계, 객체 지향형 소프트웨어 공학의 장점을 이용하여 개발되었다[7].

Agent-based 시스템 구조의 기본적인 요소를 <그림 3>과 <그림 4>에 보인다. 지능형 기계 구조에는 agent-based 모델링 단계와 agent 모델링 후단계라는 두단계의 모델링 수준이 있다. Agent-based 모델링 단계에서는 로봇을 자원, 기능, 동작, 작업 내용 및 환경 agent들로 표현되며, agent들은 다양한 표현 형태를 교환하는 동적인 관계를 서로 맺는다. Agent 모델링 후단계에서는 재사용이 가능한 많은 하위 요소들을 결합함으로써 이러한 agent들을 조립하는 단계이다.

IMA의 요소들은 현재 객체 지향형 기술과 component object software[8]를 이용하여 개발하고 있으며, 구현의 과정에서 전혀 전용적인 소프트웨어 언어는 사용하고 있지 않다[9].

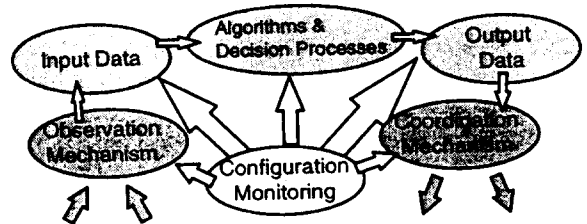


그림 3. Agent-based 시스템 구조의 기본적 요소(1).

3.2. 작업자 통합과 조작 편의성

홀론 제조 시스템의 주요 특성 중의 하나는 유연

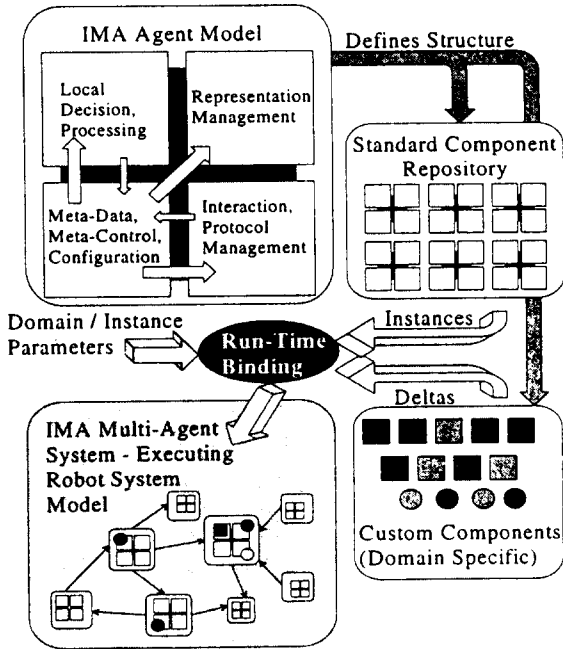


그림 4. Agent-based 시스템 구조의 기본적 요소(2).

한 작업자 통합을 들 수 있다. 인간의 지능은 예상하지 않았거나 복잡한 상황이 발생하거나, 생산 계획, 일정 전개, 자원 배분, 제어 등의 시스템의 정상 작동 상태에서나, 또는 오차가 발생한 상황에서 매우 우월하다. 작업자가 서로 다른 형태의 작업에 대응할 수 있는 작업자 통합 방법이 정의되고 개발되어야 한다. Vanderbilt 대학교에서는 HuDL(Human Directed Local Autonomy)이라는 개념을 통하여 이러한 목표를 달성하고 있다[9]. HuDL이라는 모델 시스템은 <그림 5>에서와 같이 humanoid, 이동 로봇 및 인간 작업자로 구성된다. 두 대의 로봇이 작업자와 함께, 원격 장소에서 물체를 찾아서, humanoid 로봇에 전달하고, 다시 작업자에게 전달하는 공동 작업을 수행한다. 인간과 기계 사이의 상호 작용은 content, media 및 hardware의 세 가지 형태로 연구되어야만 한다. HMS에서의 서로 다른 기계들은 서로 다른 상호 작용 특징을 가져야 한다. IMA는 인간과 기계를 통합하는 구조를 제공하리라고 기대된다.

4. HMS 모델 시스템

기술적인 연구의 주요한 측면은 새로운 개념의 창출

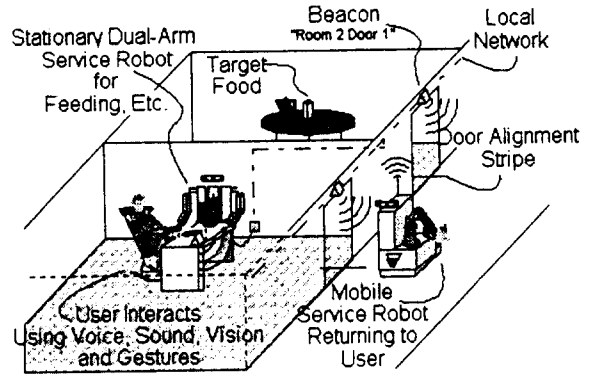


그림 5. HuDL 모델 시스템.

이다. HMS도 예외가 아니다. 가능성 시험 기간 동안에 홀로닉 시스템이라는 패러다임으로 확립된 모델 시스템의 정의와 벤치 마킹에 많은 노력이 투입되었다.

일본, 호주, EU의 세 지역에서 다수의 홀로닉으로 구성된 모델 시스템에 대한 전체 구조와 업무들을 준비하고 있다. 예를 들어서, 일본의 Keio 대학교에서는 홀로닉 치구 스테이션 (HOLOFIX) 에 대한 모델 시스템을 개발하고 있다. 이 그룹은 치구 계획과 시뮬레이션 모듈, 소재 취급 모듈 및 홀로닉 치구 스테이션 등으로 구성된 자율적이고 유연한 소재 치구 스테이션을 개발하려고 한다. 이러한 홀로닉 치구 시스템의 개념은 <그림 6>에 표시되어 있다 [10].

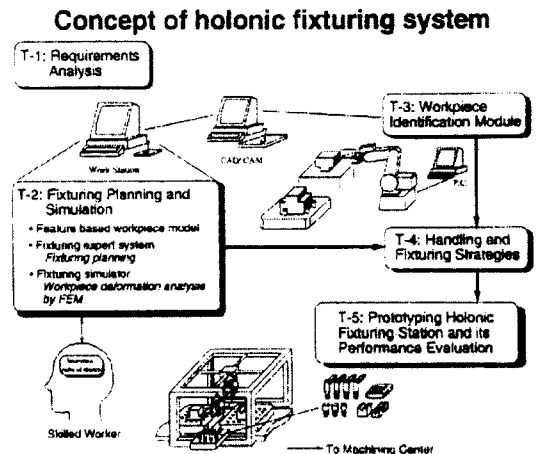


그림 6. 홀로닉 치구 시스템.

5. 결론

여기서는 국제적인 연구 개발 과제인 홀로닉 제조

시스템에 대하여 개념, 목표와 현황과 HMS에서의 핵심 연구 내용을 기술하였다. 홀론과 홀로닉 시스템의 개념은 소프트웨어 agent와 agent-based 시스템과 유사하다. 그러나, 가장 큰 차이점은 제조 공정을 조직화하여 표현하는 홀론과 홀론 조직은 부분과 전체의 관계를 더욱 잘 표시할 수 있다는 점이다. HMS 회원사에 의하여 개발되는 모델 시스템들을 통하여 HMS 개념의 중요성과 지능형 제조 시스템에 응용될 수 있다는 점이 확인될 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] Koestler, *The Ghost in the Machine*, Arkana Books, 1989.

[2] Hino, R., Architecture of Holon and Holonic Machining Unit, *HMS5 meeting*, Lake Tahoe, NV, 1997.

[3] Smith, R. G., The Contract Net Protocol: High-level Communication and Control in a Distributed Problem Solver, *IEEE Transaction on Computers*, C-29, No.12, pp.1104-1113, 1980.

[4] Saad, A., Kawamura, K., and Biswas, G., Performance Evaluation of Contract Net-based Heterarchical Scheduling for Flexible Manufacturing Systems, *Special Issues on Intelligent Manufacturing Planning and Shop Floor Control, International Journal of Intelligent Automation and Soft Computing*, 1997.

[5] Christensen, J., *Holonic Manufacturing Systems: Initial Architecture and Standards Directions, First European Conference on Holonic Manufacturing Systems*, Hannover, Germany, 1994.

[6] Heikkila, T., and Roning, J., PEM-Modeling: A Framework for Designing Intelligent Robot Control, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 4, No.5, pp.437-444, 1992.

[7] Pack, R. T., Wilkes, D. M., Biswas, G., and Kawamura, K., Intelligent Machine Architecture for Object-based System Integration, *1997 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 1997.

[8] Microsoft Corporation, The Microsoft Object Technology Strategy: Component Software, *Microsoft Technical Report*, Redmond, Washington, 1996.

[9] Kawamura, K., Wilkes, D. M., Pack, R. T., Bishay, M. and Barile, J. B., Humanoids: Future Robots for Home and Factory, *First International Symposium on Humanoids*, Tokyo, Japan, pp.53-62, 1996.

- 담당 편집위원:

김종원 교수 (서울대학교 기계설계학과) -