

고차치 시스템 설계를 위한 모델베이스 개념

지 승 도*

(*한국항공대 전자계산학과 전임강사)

1. 개 요

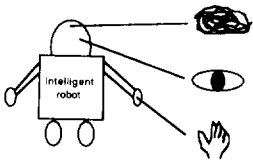
자치화(Autonomy)란 상호 추상화 관계에 있는 제어와 AI분야의 정점을 의미하는 확장된 개념을 말한다. 제어이론가들은 한정된 수학적 틀의 한계를 벗어나고자 애쓰는 반면, AI연구가들은 추상화된 기호적 개념들을 실세계에 어떻게든 적용시켜 보고자 하는 욕망속에 살아가고 있다. 이런 관점에서 볼 때, 디자인 목적으로서의 자치화는 제어와 AI분야 모두가 적절히 융화할 수 있는 공동의 장을 제공할 것이다[16, 33].

제어분야로부터 출발하여 지난 7년여 동안 정착되온 지능제어는 제어문제의 해결을 위한 새로운 방향을 제시해 주었다[28, 29]. 여기서 제어문제란 협의로 볼 때, 예를 들어 시스템의 물리적 구조에 대한 치명적 손상에 관한 고장진단(Diagnosis)이나 그에 따른 수리(Repair) 등에 필요한 제어기능을 포함하지는 않는다. 그러나 시스템의 자치성을 올리고자 하는 측면에서 볼 때 광의의 제어문제를 고려해야만 할 것이다. 그러므로 자치적 제어 시스템은 프랜트내의 여러 불확실한 환경하에서도 장시간에 걸쳐 주어진 목적을 수행할 수 있어야 하며, 외부의 간섭이 없이도 시스템의 오동작에 대한 보상능력이 있어야만 한다. 자치성의 달성을 위하여는 무엇보다도 프랜닝(Planning), 학습(Learning), 그리고 전문가 시스템(Expert System) 등의 개념이 기존의 제어 시스템과 함께 통합되어야만 가능할 것이다. 자치적 제어기의 개발을 위해서는 제어

(Control), 식별(Identification), 추정(Estimation), 통신(Communication), 소프트웨어공학(Software Engineering), 전산학(Computer Science), 특히 인공지능(AI), 그리고 운영연구(Operations Research) 등으로부터의 많은 개념과 방법론을 통합시키려는 각고의 노력을 필요로 할 것이다.

기존의 로봇트를 기계적 존재이상으로 끌어올리고자 하는 연구가들도 그림 1에 보인 바와 같이 비슷한 결론에 도달함을 알 수 있다[25]. 로봇트분야의 입장에서 볼 때, 로봇트공학은 그림 1에서처럼 세개의 구성원을 포함하는 자치적 시스템의 구현에 있다. 그 하나는 외부로부터의 입력을 감각하고 인식하고 이해하는 것이고, 두번째는 지능적이며 합리적인 의사결정요소를 나타내고, 마지막으로는 외부세계에 대한 작용을 나타낸다. 여기서 AI기법은 두번째 구성원에 쉽게 적용될 수 있을 것이다.

물론 AI연구가들은 다른 견해를 보일 수 있을 것이다. 실제로 Minsky는 AI분야에서 이용하는 지식베이스 접근방법은 귀환제어(Feedback Control) 방법의 하나로 일반화시키려는 견해를 보이고 있다. 비록 AI 접근방법이 고전적 귀환제어보다 투박해 보이는 감이 없지는 않으나, 그런대로 유용하게 사용될 수 있음을 보여왔다. 그러나 AI에서의 실제적 연구는 애초부터 실세계의 실질적 문제에 관심을 보이지 않아 왔던 것도 사실인 것이다. 즉 AI는 체스게임이나 단어 맞추기, 또는 개념적 학습 등의 지극히 추상적 문제영역에



Brain(cognition) :
reasoning, planning, control

Eyes(perception) :
vision, sensing

Hands(action) :
actuators, effectors

그림 1. 자치 시스템의 구성원

도전해야 한다는 제한적 분위기를 갖고 있었던 것이다. 그러나 정작 실질적이고 흥미로운 문제들이란 AI의 상징적 문제해결 방법론과 로봇트분야의 인식요소 등의 총체적 통합에 의해서만 제시될 수 있고 또한 해결될 수 있을 것이다. 왜냐하면 지능이란 추상적 지식 표현만을 사용하는 문제해결방법만으로는 달성될 수 없는 것이기 때문이다. AI 연구가들은 문제를 추상적으로만 정형화시키려는 한편 인식요소나 모터제어 등을 프랜닝이나 의사결정요소 등과 통합함에 의해서만이 적절한 해결책을 제공해 줄 수 있다는 사실[7]을 무시하려는 경향을 갖고 있다. 이와 같은 점에서 고자치 시스템의 연구는 앞서 제시한 세가지 요소를 가장 적절히 통합시킬 수 있는 수단을 제공할 뿐 아니라, AI의 한계를 극복하는데도 큰 역할을 담당하게 될 것이다.

2. 고자치 시스템의 구조

자치적 공장, 우주 로봇트, 그리고 우주 및 심해 자동차 등의 다양한 시스템을 자치화라는 영역으로 통괄키 위해 아래에 명시된 NASA의 정의[32]를 살펴보자: 『자치화란 일정 단위의 시간동안, 여러개의 센서로부터 탐지한 외부상황에 대처하면서 부여된 목적을 달성키 위해 여러가지의 필요한 행동을 자발적으로 수행해 나갈 수 있는 기능을 말한다.』

이와 같은 견해는 로봇트 및 자동화공학이 자치화를 얻기 위한 보조기법에 불과하다는 것을 보여주는 것이다. 이 분야의 대가인 Saridis는 지능제어를 위한 삼단계 계층구조(실행, 협력, 관리)를 개발했는데[37, 38] 지능을 높이는 댓가로 정확도를 낮추는 방향을 택했다. Antsaklis는 삼단계 구조로부터 응용분야에 따른 다계층구조로 세분화시켰다[5]. 삼단계보다 적은 계층구조는 의미가 없는 것으로 알려지고 있는데, 그림 2에 보인 최소 계층구조는 다음과 같은 삼단계 계층구조를 각각 나타낸다.

1. 실행 계층(Execution Layer) : 센서로부터의 데이터나 상위 레벨의 제어명령을 토대로 실행기들(Actuator 또는 Effector)를 제어하는 역할을 한다. 이런 제어기들은 기존의 자동제어기 뿐 아니라 실시간 작동이 가능한 동역학적 그리고 동시에 기호적 모델들을 근거로한 의사결정요소를 갖추어야만 할 것이다.
2. 협력 계층(Coordination Layer) : 실행계층과 관리계층을 연결시킨다. 관리계층에서 생성된 상위 레벨 명령을 실행계층에서 수행가능한 부분적 명령으로 세분화시킨다.
3. 관리 계층(Management Layer) : 시스템들을 협력계층으로 전개시키는 일을 한다. 즉 전체 시스템의 목적을 파악하고 하위계층의 명령들간의 충돌현상을 조절한다. 또한 지식공학(전문가와 다른 지식과의 교류), 정보검색(과거, 현재 그리고 미래의 시스템 행동에 관한 사항 등), 그리고 특수 명령 등을 지원할 수

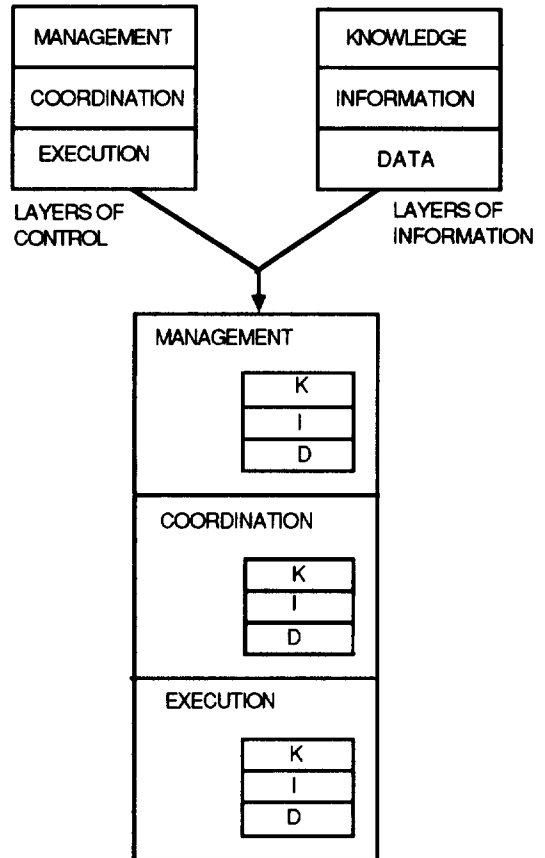


그림 2. 고자치 시스템 구조

있는 인간과의 접촉관계를 갖추어야 할 것이다.

상위계층에서 하위계층으로의 흐름외에도 실제 시스템의 상태파악을 위한 역방향의 귀환흐름도 필요케 되는데, 이 경우 다음과 같이 정보흐름상의 모순된 구조를 보이게 된다.

1. 데이터 계층(Data Layer) : 시스템 환경을 인지할 수 있는 요소를 갖는다. 센서들은 환경적 변수를 위한 직접적 측정기구로부터 각종 센서신호를 의미있는 기호들로 추출시킬 수 있는 정밀한 데이터 변환기에 이르기까지 다양해야 한다.

2. 정보 계층(Information Layer) : 데이터 계층으로부터 추출해낸 데이터의 궤적을 추적하여 시스템의 물리적 상태 및 운영상태를 점검할 수 있는 데이터 관리 시스템을 갖는다. 또한 부수적인 분석을 위해 환경조건(environmental condition), 동시적 제어(concurrent control), 관리명령(management command) 등에 대한 시간별 기록들도 관리해야 한다.

3. 지식 계층(Knowledge Layer) : 시스템의 구조적 및 행동적 지식베이스를 갖는다. 구조적 지식은 물리적, 생체적, 환경적 그리고 정보적 요소들을 함축할 수 있는 분할(decomposition), 종류(taxonomic), 그리고 결합(coupling) 관계로 표현되어야 한다. 행동적 지식은 시뮬레이션 모델로서 표현되어 진다. 모델베이스에 저장되어 있는 동역학적 모델들은 재생성되어져서 제어대상 프로세스의 동역학적 행동을 예측가능케 해준다. 기호적 모델들은 프랜닝, 스케줄링, 오동작의 고장진단 등과 같은 관리적 기능에 필요로 하는 노하우(Know-How)를 갖게 된다.

각 계층을 제어와 정보의 결합형태로 특성화시키려는 시도는 Albus에 의해 가시화 됐는데[1, 2, 3], 이는 7단계 계층구조로서 각 단계를 다시 분할 및 수행(Task Decomposition and Execution), 센서 정보 처리(Sensory Processing), 전체적 모델(World Model), 전반적 기억장치(Global Memory), 그리고 가치판단(Value Judgement) 등의 요소들로 구성하였다. 각 단계의 요소들은 동일단계의 다른 요소들과 그리고 상·하위 단계의 동일요소들과 정보를 교환하도록 되어 있다. Albus의 구조는 지능/자치화 등의 구현을 위해 의사결정, 인식, 행위 등을 통합시키려는 시도 가운데 가장 일관적이고도 심층적 연구로 평가되고 있다. 그러나 Albus의 연구는 구체적으로 많은 부분이, 특히 본 논문에서 다루고자 하는 모델의 역할 등

이 미비한 아쉬움을 남겼다.

MIT의 일명 곤충 연구실의 Brooks[6]에 의해 개발된 지능 로봇트를 위한 구조는 상위 계층에 필요로 하는 프랜닝이나 전체모델인식 등의 개념이 고려되지 않았다. 그의 접근방법은 다계층 구조에 소요되는 계산상의 부담을 줄이려는 방향으로 접근된 것이었다. 그가 연구결과로 선보인 곤충로봇트는 매우 인상적인 것이지만, 만약 로봇트가 한단계 차원을 높여서 정교성이 요구되는 상황에 대처한다 할 때, 그에 따르는 제어이외의 고장탐지, 진단, 수리 등의 지능적인 일을 제대로 수행할 수 있을지는 의문인 것이다. 그러나 Brooks의 연구는 Albus, Saridis, Antsaklis 등이 제시한 구조적 방법론이 자치적 기능의 수행을 위해서는 많은 온라인 시간을 필요로 하게 될 것이라는 큰 문제점을 지적해주고 있다.

3. 모델베이스 개념

자치화의 달성을 위한 편리한 방법중의 하나가 바로 모델베이스 구조이다. 이 구조에서(그림 3) 필요한 모든 지식들은 여러개의 모델속에 감싸여져서 주어진 시스템의 목적달성을 위한 여러 계층에서 사용되어진다. 이미 제안된 바와 같이, 하위 계층에서는 기존의 미분방정식 등의 동역학적 모델들이 적용될 것이며, 상위 계층에서는 기호적 모델들이 도입되는 것이 바람직할 것이다. 그러나 가장 중요한 요구조건은 타계층간에 존재하는 동역학적 모델과 기호적 모델간의 합리적인 통합 및 개발에 있다고 할 수 있다. 그래야만 기존의 제어이론들은 AI기법과 적절히 융화할 수 있을 것이다. Antsaklis는 기존의 미분/차등 방정식과 최근에 대두되는 기호적 수학적 표현과의 시스템적 결합을 위해 가칭 "혼합형 모델링 방법론"이 연구 도입되어야 한다고 주장하고 있다[5, 46]. 사건중심 제어이론을 창출해낸 이산 사건 모델링 기법은 동역학적 모델에서 기호적 모델로 추상화시킬 수 있는 방법론을 제공해 준다[9, 43, 45]. 고차치 시스템의 디자인에 있어서 DEVS[44, 47], 질적 모델(Qualitative Models)[26, 27, 41], 그리고 생체망(Neural Network) 등이 많은 이바지를 해온 것은 자명한 일이지만, 그들 각각이 어떻게 해야 최상적으로 사용될 수 있을지 그리고 어떻게 해야 일관성있게 통합될 수 있을지는 아직도 확실치 않은 실정이다.

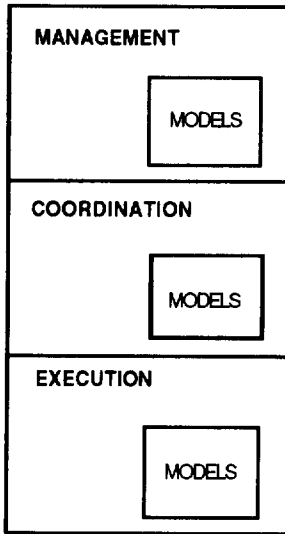


그림 3. 모델베이스 구조

여기서 우리는 자치 시스템이란 원칙적으로 행동하고, 고장진단하고, 수리하고, 계획하는 등등을 할 수 있는 전체적 시스템 즉 모델을 의미한다는 사실을 주목해야 한다. 그러나 이와 같은 모델의 구현에는 실제 개발상의 어려움 뿐만 아니라 많은 계산적 처리과정이 따르게 될 것이다[44]. 이와는 반대로 제안된 모델베이스 구조는 시스템의 목적달성을 위해 여러개의 작은 모델들을 사용하고 있다. 물론 각 모델들은 추상화 정도와 수학적 표현의 정도에 따라 적절한 계층에서 사용되어진다. 각개의 모델들을 세분화된 각 목적들에 대응시킴에 의해 개발이 용이해지며 계산도 단순화시킬 수 있다[44, 45, 47]. 그러나 이 방법은 많은 중복과 불필요한 표현을 이끌게 될 것이다. 그러므로 이와 같은 표현을 일관성있게 합리적으로 다루기 위한 개념과 도구들의 필요성이 대두된다. 모델링 이론으로부터의 구조 및 행동의 형태론(Morphisms) 개념은 여러 종류의 추상화 계층에 존재하는 모델간을 논리적으로 연계시킴에 의해 상호간의 일관된 개발을 가능케 하며 아울러 일관성있는 수정작업도 가능케 해준다[44, 45, 47].

동역학적 표현방식은 세가지 주요 방법론으로 구분할 수 있다. 연속 시스템을 기술하는데 사용되는 미분 및 차등 방정식은 그 수학적 표현방법이 컴퓨터의 도래 이전으로 거슬러 올라가는 오랜 개발 역사를 갖고 있다. 이에 반해, 이산 사건 모델링은 최근에 부각되고

있는데, 복잡한 제조업분야를 비롯한 로봇분야, 통신분야, 컴퓨터 시스템분야 등의 분석 및 디자인에 이르는 방대한 응용분야를 확보하고 있다[20, 23]. 연속 시스템의 시뮬레이션에 비해, 이산 사건 시뮬레이션은 컴퓨터의 엄청난 계산능력의 증가에 따라 가능해졌으며 또한 발전해 왔다. 따라서 이산 사건 시뮬레이션을 중심으로 한 모델의 형식론(model formalism)은 비교적 최근의 것으로 간주되고 있다[30, 47]. 물론 이산적 행동 및 연속적 행동 모두를 동시에 얻기 위한 형식론들도 그 중요성이 증가하고 있는 추세이다[31, 34, 40].

규칙(Rule), 의미적 망구조(Semantic Net), 그리고 프레임(Frame) 등과 같은 전형적인 AI 지식 표현 구조들은 근본적으로 정적 모델을 위한 기호적 형식론으로 간주할 수 있다. 그들은 다만 기호적 연산에 의해 추론하고, 최적 경로를 찾고, 비교하는 등의 기능을 가짐으로서 여러가지 지식(또는 사실(Fact))들의 체계화 수단을 제공하고 있을 뿐이다. 그러나 예를 들어 질적(qualitative) 모델링 및 프랜닝 등과 같은 AI의 새로운 방향들은 시간적 요소를 고려해야만 한다는 점을 인식해 오고 있다[4, 39].

한편, 미분/차등 방정식 형식론들이 근본적으로 수치적으로 이루어지는데 비해, 최근의 동역학적 시스템 형식론에서는 그렇지 않은 경우가 존재하게 된다. 예를 들면, 이산 사건 모델이나 오토매타(automata) 모델들은 대개 기호적 특성을 갖는 상태 표현식을 갖게 된다. Antasklis[5]는 이산 사건 모델이 “논리적”으로 명확한 시간대를 갖지 않는다고 주장함으로써 모델들의 기호적 특성을 강조하고 있다. Narain은 이산/연속 모델들의 결합된 행동에 관한 추론을 용이케 하기 위한 논리중심 형식론(Logic-based Formalism)을 개발하였다[31].

질적 물리학(Qualitative Physics)은 동역학적 모델 표현을 위한 질적 형식론을 알리는데 일조해 왔다. 질적 물리학 분야에 관계하는 AI 연구가들은 질적 형식론이야말로 미분방정식 없이도 동역학 시스템의 상식적 지식(common sense knowledge)을 획득할 수 있는 이상적인 형식론이 될 것이라고 기대하고 있다[14, 24, 26, 27, 35]. 질적 형식론에 입각한 모델들은 비록 애매모호성과 많은 궤적 분할(trjectory branching) 등을 댓가로 지불해야 함에도 불구하고 불완전한 상황의 표현을 다루기에 충분한 것으로 받아들여

지고 있다[10, 11, 48]. 예로서 모델베이스 고장진단 [11, 15, 21, 24, 36]은 모델을 사용함으로써 기존의 “얕은”(shallow) 전문가 시스템 접근방법보다 더 “깊은”(deep) 심층추론 방법을 제공하고 있다.

전형적인 이산 사건 형식론들은 추계 과정(stochastic process)을 사용함에 의해 불확실성(uncertainty)에 대응하고 있다. 그러나 최근의 경향은 해당 지식들의 모호성 또는 부적절성 등과 같은 불확실성의 유형들을 확률적인 방식으로 표현하기에는 많은 어려움이 따른다는 것을 지적하고 있다. 퍼지이론(Fuzzy set theory)은 그와 같은 불확실성을 표현하는 가장 주목 받는 기법 중의 하나로 인정받고 있다. 물론 퍼지이론을 모델링 개념에 도입하는 연구도 한창 진행되고 있다[13, 17].

자치 시스템 디자인을 위하여 위와 같은 여러가지 형식론들이 적용될 수 있을 것이다. 기존의 자동 제어 이론은 주로 하위의 물리적(공역학, 화학, 생체학, 생태학 등) 계층에서 실세계에 대한 연속적 특성을 얻기 위해 미분/차등 방정식 모델들을 사용하고 있다. 반면, 공장 자동화 등에 필요로 하는 프랜닝이나 스케줄링 등은 이산 사건 모델의 시물레이션에 의존하고 있다. 그러므로 고자치 시스템을 얻기 위해서는 기존의 모델 형식론들과 그에 따른 시물레이션 엔진을 토대로 보다 새로운 기호적 형식론 그리고 질적 형식론의 도입이 요청케 된다.

Fishwick은 프로세스 추상화 개념을 확장시켜서 시물레이션 도중에도 계층간의 교환을 가능케 한 시물레이션 시스템을 구현하였다[17, 18, 19]. 그러나 다계층간의 추상화 문제가 AI의 주류를 이룬 것은 사실이지만, 이 분야에서의 형태론(Morphism) 개념의 도입은 미미한 실정이다[22, 41]. 예를 들면, 고자치 시스템의 각 담당기관(agent)들이 효율적으로 프랜닝하고, 고장 진단하고, 추론할 수 있도록 하는 도구를 필요로 하듯이, 프랜닝, 고장진단, 추론 등을 지원할 수 있는 각종 모델의 체계화를 위한 도구 또한 필요한 것이다. 체계적으로 생성된 모델베이스는 각 담당기관들이 주어진 환경하에서 갖가지 목적 및 유동적 상황에 대처할 수 있게 하면서 상위계층의 프랜닝과 하위계층의 행동을 적절히 연결시킬 수 있을 것이다. 그와 같은 모델베이스 접근방법이 바로 Zeigler가 제안한 다조각 모델베이스 관리 시스템(Multifaceted Model Base Management System)의 한 경우가 된다.

본인과 Zeigler에 의해 최근 소개된 바 있는 사건중심 제어방식은 고자치 응용에서의 문제해결을 위한 제어방식을 제공하고 있다[9, 43, 45]. 그 방식은 비교적 간단하고 신뢰성있는 실시간 제어 계층을 제공함으로써, 추상화 관계에 있는 상위의 논리적 추론 계층과의 체계적 연결을 가능케 해준다.

4. 모델베이스 구축

그림 4는[8] 의사결정, 작동, 예측 등을 총괄할 수 있는 모델베이스를 이용한 고자치 시스템 구조를 나타낸다. 이 구조는 그 중심부에 프랜닝(Planning), 작동(Operation), 고장진단(Diagnosis), 수리(Repair) 등의 지식을 갖는 모델베이스를 갖고 있다[8, 49, 50]. 그러나 여기서 주목해야 할 점은 프랜닝, 작동, 그리고 고장진단 등의 갖가지 자치성 모델들이 독립적으로 행해질 수 없다는 것이다. 예컨대, 프랜닝은 실행을 필요로 하고, 고장진단은 실행중 비정상적 데이터의 인식 후에야 수행될 수 있는 것이다.

프랜닝은 “주어진 목적을 어떻게 달성할 수 있는냐에 관한 추론”으로 정의될 수 있다. 즉, 정상적 작동 범위를 만족시키면서 초기조건으로부터 최종조건까지

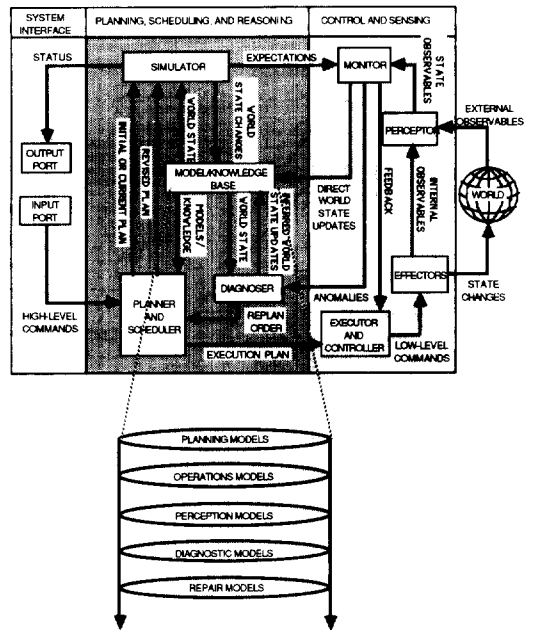


그림 4. 모델베이스를 이용한 고자치 시스템 구조

의 상태변환을 그려낼 수 있는 적당한 모델을 갖어야만 한다[42]. 일단 프랜이 확정되면 시스템은 "입증에 의한 실행"에 입각해서 작동을 시작하게 되는데, 이것은 입력명령과 예상되는 센서응답을 비교함에 의해 시스템의 성공/실패 여부를 실행 단위별로 확인해 나가는 것을 말한다[9, 12]. 확인된 결과가 성공적인 한, 최종 목적에 도달할 때까지 실행이 계속될 것이지만, 만약 실패할 경우라면, 고장진단 기능이 실행될 것이다. 고장진단은 "실패의 원인 추적"으로 정의될 수 있다. 즉, 관측된 증상(Symptom)들로부터 그것을 야기시켰을 가능성이 높은 비정상적 원인을 규명해 나간다. 원인이 밝혀진 뒤에는 수리작업을 해야 하는데, 이것은 "실제 시스템의 비정상적 상태로부터 초기 프랜닝상의 정상 상태로의 복귀 프랜닝"으로 간주될 수 있다.

그림 5는 본인과 Zeigler가 최근 제안한 HEAP 원칙(Hierarchical Encapsulation and Abstraction Principle)을 도식하고 있는데[53], 그림에서 계층적 실행구조(Hierarchical Execution Structure)상의 leaf 노드들에 있는 지능단위(Intelligent Unit)들은 실세계에 관한 기본적 모델들로부터 자동적으로 추상화된 내부적 모델들(각각 프랜닝, 작동, 고장진단, 수리 등의 기능을 갖음)로 구성된다. 상위계층의 지능단

위들도 역시 동일한 내부적 모델들을 갖는데, 이것들은 또한 하위계층의 각 내부모델들로부터 자동적으로 추상화된 모델을 의미한다. 이와 같이 상·하위계층간의 체계적 추상화 관계에 의해서 Bottom-up 방식으로 계층적 실행구조를 얻을 수가 있으며, 또한 목적에 따른 실행은 Top-down 방식에 의해 연속적으로 분할 수행될 수 있을 것이다[51, 52, 53].

5. 자치성의 구현단계

모델베이스 구조는 다음과 같은 고차치 시스템의 계층적 달성 단계를 제시해 준다.

1단계 : 필요한 모든 지식을 모델베이스 구조에 따라 적절한 모델로 구성하여 예정된 목적을 달성할 수 있는 능력을 보유할 것.

2단계 : 상황의 변화에 대처할 수 있을 것. 이를 위해서는 시스템의 구조적 재구성을 위한 지식이 필요하다. 즉, 구조적 그리고 행동적 대안(structural and behavioral alternatives)에 관한 지식을 갖어야만 한다[45, 46].

3단계 : 스스로 목적을 개발시킬 수 있을 것. 이를 위해서는 새로운 목적달성을 위한 새로운 모델, 즉 모델링 방법론 자체를 생성할 수 있는 지식을 필요로 한다[45].

6. 결 론

본 논문에서는 공장자동화, 우주로봇, 심해 자동차 등 여러 응용분야에서 새롭게 대두되는 고차치 시스템의 접근방법들과 시스템적인 개념들을 소개하였다. 이 분야에서의 주된 관심사는 상위계층의 기호적 모델과 하위계층의 동역학적(제어이론적) 모델간의 체계적 통합에 있다고 볼 수 있다. 즉, 프랜닝, 작동, 고장진단 및 수리 등과 같은 지능적 기능들을 제공할 수 있는 여러 계층의 동역학적 및 기호적 모델들의 유기적인 포괄 및 추상화에 의해서만 현존하는 다계층 제어 및 정보구조를 확장해 나갈 수 있을 것이다. 그러므로 고차치 시스템의 디자인을 위해서는 여러 분야의 팀단위의 노력이 경주되어야만 할 것이다. 디자인상의 난제로는 인간과 로봇트간의 기능적 분할 그리고 상위(soft : AI)와 하위(hard : 기존 제어)간의 자동화를 위한 역할 분담 등을 들 수 있다.

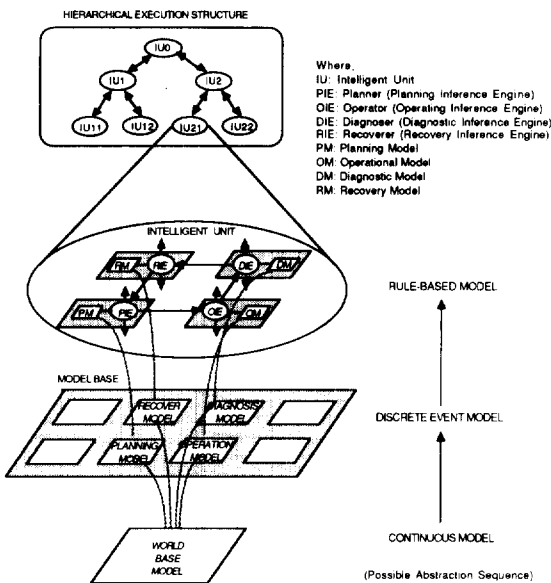


그림 5. 계층적 포괄 및 추상화 원칙(HEAP)

참 고 문 헌

- [1] Albus, J.S., "A Theory of Intelligent Systems", Proc. IEEE Conf. on Intelligent Control, Sept., Philadelphia, PA, 1990.
- [2] Albus, J.S., "Hierarchical Interaction Between Sensory Processing and World Modeling in Intelligent Systems", Proc. IEEE Conf. on Intelligent Control, Sept., Philadelphia, PA, 1990.
- [3] Albus, J.S., "The Role of World Modeling and Value Judgement in Perception", Proc. IEEE Conf. on Intelligent Control, Sept., Philadelphia, PA, 1990.
- [4] Allen J.F., "Toward a General Theory of Action and Time", Artificial Intelligence, Vol. 23, pp. 123-134, 1984
- [5] Antsaklis, P.J., K.M. Passino and S.J. Wang, "Towards Intelligent Autonomous Control Systems: Architecture and Fundamental Issues", J. Intelligent and Robotics Systems, Vol. 1, No. 4, pp. 315-342, 1989.
- [6] Brooks, R.A., "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", IEEE J. of Robotics and Automation, Vol. RA2, pp. 14-23, 1986.
- [7] Cassandras, C.G. and S.G. Strickland, "Sample Path Properties of Timed Discrete Event Systems", Proc. of the IEEE Vol. 77, No. 1, pp. 59-71, Jan., 1989.
- [8] 지승도, Modelling and Simulation for High Autonomy Systems, Ph.D. dissertation University of Arizona, 1991.
- [9] 지승도 and B.P. Zeigler, "DEVS-Based Intelligent Control of Space Adapted Fluid Mixing", Proc. of 5th Conf. on Artificial Intelligence for Space Applications, Huntsville, AL, May, 1990.
- [10] 지승도 and B.P. Zeigler, "Linear Polynomial Constraints Checking Algorithm", submitted to J. Applied Data and Knowledge Engineering, 1992.
- [11] 지승도 B.P. Zeigler, "Model-Based Hierarchical Diagnosis for High Autonomy Systems", accepted to J. Intelligent and Robotic Systems, 1992.
- [12] 지승도 B.P. Zeigler and F.E. Cellier, "Model-based Task Planning System for a Space Laboratory Environment", Proc. SPIE Conf. on Cooperative Intelligent Robotics in Space, Boston, Nov., 1989.
- [13] Chien, G., "Dynamic System Modeling and Simulation in Product Design", Master Thesis, Illinois Inst. of Tech., 1989.
- [14] Dekleer, Y., "Qualitative Physics, A Personal View", In: Readings in Qualitative Physics(eds. D. Weld and Y. Dekleer), Morgan Kaufman, Palo Alto, 1989.
- [15] Dekleer, Y. and B.C. Williams, "Diagnosing Multiple Faults", Artificial Intelligence, Vol. 32, pp. 97-130, 1987.
- [16] Fischler, M.A. and O. Firshein, Intelligence, The Eye, The Brain, and The Computer, Addison-Wesley Pub. Co., Reading, MA, 1987.
- [17] Fishwick, P.A., Fuzzy Simulation: Specifying and Identifying Qualitative Models", Special Issue on Modelling and Simulation for High Autonomy Systems, Int. J. Gen. Sys.,(to appear).
- [18] Fishwick, P.A., "A Taxonomy for Process Abstraction on Simulation Modeling", IEEE Int. Conf. Sys. Man. & Cyb., Vol. 1, pp. 144-151, 1987.
- [19] Fishwick, P.A., "Abstraction Level Traversal in Hierarchical Modelling", In: Modelling and Simulation Methodology: Knowledge Systems Paradigms(eds.: M.S. Elzas, T.I. Oren, B.P. Zeigler), North Holland Pub. Co., Amsterdam, pp. 393-430, 1989.
- [20] Garzia, R.F., M.R. Garzia, and B.P. Zeigler, "Discrete Event Simulation", IEEE Spectrum, Dec., pp. 32-36, 1986.
- [21] Genereth, M.R., "The Use of Design Des-

- criptions in Automated Diagnosis”, Artificial Intelligence, Vol. 23, pp. 411–436, 1984.
- [22] Hamscher, W. and R. patil, “Tutorial on Model-based Diagnosis”, Proc. of 11th IJCAI, Detroit, 1989.
- [23] Ho, Y., “Editors Introduction”, Special Issue on Dynamics of Discrete Event Systems, Proc. of IEEE Vol. 77, No. 1, 1989.
- [24] Iwasaki, Y., “An Integrated Scheme for Using First-Principle Physics Knowledge for Knowledge-based Simulation”, Proc. of 4th AAAI Workshop on AI and Simulation, pp. 57–59, 1989.
- [25] Kanade, T., A roundtable discussion: Present and Future directions: Trends in Artificial Intelligence, OE Reports, SPIE, Sept., 1989.
- [26] Kuipers, B.J., “Qualitative Reasoning with Causal Models in Diagnosis of Complex System”, In: Artificial Intelligence, Simulation and Modeling(eds.: L.A. Widman, K.A. Loparo, and N. Nielsen), J. Wiley, NY, pp. 257–274, 1989.
- [27] Kuipers, B.J., “Qualitative Simulation”, Artificial Intelligence, pp. 289–338, 1986.
- [28] Meystel, A., “Intelligent Control: A Sketch of the Theory”, J. Intelligent and Robotic Systems, Vol. 2, No. 2 & 3, pp. 97–107, 1989.
- [29] Meystel, A., “Intelligent Control: Highlights and Shadows”, Proc. IEEE on Intelligent Control, Philadelphia, jan., 1987.
- [30] Nance, R.E., “A Conial Methodology: A Framework for Simulation Model Development”, Proc. Conf. on Methodology and Validation, SCS Pubs. SanDiego, pp. 38–43, 1987.
- [31] Narain, S., “An Approach to Reasoning about Hybrid Systems”, Special Issue on Modelling and Simulation for High Autonomy Systems, Int. J. Gen. Sys.(to appear).
- [32] NASA, The Space Station Program, NASA Pub., 1985.
- [33] Newell, A., “Putting It All Together”, In: Complex Information Processing: The Impact of Herbert A. Simon(eds.: D. Klahr, K. Kotovosky), Lawerence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1988.
- [34] Praehofer, H., “System Theoretic Formalisms for Combined Discrete-Continuous System Simulation”, Special Issue on Modelling and Simulation for High Autonomy Systems, Int. J. Gen. Sys.(to appear).
- [35] Rajagopalan, R., “The Role of Qualitative Reasoning in Simulation”, In: Artificial Intelligence in Simulation(eds.: G.C. Vansteenkiste, E.J.H. Kerckhoffs, and B.P. Zeigler), SCS Pub., Sandiago, CA, 1986.
- [36] Reiter, R., “Theory of Diagnosis form First Principles”, Artificial Intelligence, Vol. 32, pp. 57–95, 1987.
- [37] Saridis, G.N., “Intelligent Robotic Controls”, IEEE Trans. on Auto. Control, AC-28, No. 5, 1983.
- [38] Saridis, G.N., “Knowledge Implementation: Structure of Intelligent Control System”, Proc. IEEE on Intelligent Control, Philadelphia, Jan., 1987.
- [39] Vere, S.A., “Planning in Time: Windows and Durations for Activities and Goals”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-5, No. 3, pp. 246–267, May, 1983.
- [40] Wang, Q. and F.E. Cellier, “Time Windows: An Approach to Automated Abstraction of Continuous-Time Models into Discrete-Event Models”, Int. J. Gen. Sys., Special Issue on Modelling and Simulation of High Autonomy Systems,(to appear).
- [41] Widman, L.E., “Semi-Qualitative ‘Close-Enough’ Dynamic Systems Models: An Alternative to Qualitative Simulation”, In: Artificial Intelligence, Simulation and Modeling(eds.:L.A. Widman, K.A. Loparo, and

- N. Nielsen), J. Wiley, NY, pp. 159-188.
- [42] Wilkins, D.E., Practical Planning, Morgan Kaufmann Inc., 1988.
- [43] Zeigler, B.P., "DEVS Representation of Dynamical Systems: Event-based Intelligent Control", IEEE Proc. Vol. 77, No. 1, pp. 72-80, Jan., 1989.
- [44] Zeigler, B.P., Multifaceted Modelling and Discrete Event Simulation, Academic press, 1984.
- [45] Zeigler, B.P., Object-oriented Simulation with Hierarchical Modular Models: Intelligent Agents and Endomorphic Systems, Academic Press, 1990.
- [46] Zeigler B.P., "Toward a Simulation Methodology for Variable Structure Modelling", In: Modelling and Simulation Methodology in the Artificial Intelligence(eds.: M.S. Elzas, T.I. Oren, and B.P. Zeigler), North-Holland, 1986.
- [47] Zeigler, B.P., Theory of Modelling and Simulation, New York, NY: Wiley, 1976.
- [48] Zeigler, B.P. and 지승도, "Symbolic Discrete Event System Specification", IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, Dec., 1992.
- [49] Zeigler, B.P. and 지승도, "Model-based Architecture Concepts for Autonomous Systems and Design and Simulation", Chapter 3, In: An Introduction to Intelligent and Autonomous Control,(eds.: P.J. Antsaklis and K.M. Passino), Kluwer Pub., 1992.
- [50] Zeigler, B.P. and 지승도, and F.E. Cellier, "Model-based Architecture for High Autonomy Systems", Part I. High Autonomy Systems, In: Engineering Systems with Intelligence, (eds.: Tzafestas), Kluwer Pub., 1991.
- [51] Zeigler, B.P. and 지승도, "Hierarchical Systems Architectures for Artificial Intelligence", Proc. on 34th Int. Soc. System Sciences Conf., Portland, July, 1990.
- [52] Zeigler, B.P. and 지승도, "Model-Based Architectures for Autonomous Systems", Proc. 1990 IEEE Symp. on Intelligent Control, Philadelphia, PA, pp. 27-32, 1990.
- [53] Zeigler, B.P. and 지승도, "Hierarchical Encapsulation and Abstraction Principle(HEAP) for Autonomous System Development", Proc. 3rd Conf. on AI, Simulation and Planning in High Autonomy Systems, Perth, Australia, 1992.



지승도(池承道)

1959년 2월 19일생. 1982년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 미국 아리조나대 전기 및 전산공학과 졸업(공학박). 1985~86년 두산 컴퓨터(현 한국 디지털) 근무. 1991~92년 미국 SIMEX S/W회사 S/W담당자로 근무. 현재 한국항공대학 전산과 전임강사