

## 지능시스템 연구회

## 지능시스템의 실현과 지능화기술

심 귀 보

중앙대학교 전자전기공학부

지능시스템이란 우리 인간이 고도의 지능정보처리 메커니즘을 이용하여 어려운 문제를 대처해 나가는 것과 같이 애매함과 불확실성이 존재하는 환경에서도 스스로 적응하고 학습해 나가는 시스템을 말한다. 이러한 지능시스템이 갖추어야 할 요건은 말할 필요도 없이 “불확실성에 대한 대처 기능”, “적응 및 학습기능”, “최적 지향성기능” 등을 꼽을 수 있는데 이러한 기능을 구현하고자 하는 기술을 지능화기술이라 하고, 이들의 기술을 이용해서 구현한 시스템을 지능시스템이라고 한다. 지능화기술을 요소기술로 분류하면 크게 생체모델과 자연계모델로 나눌 수 있다. 생체모델은 생물체의 행동을 결정하는 정보처리 메커니즘, 즉 유전계(Genetic System), 뇌신경계(Brain-Nervous System), 추론계(Inference System), 면역계(Immune System), 내분비계(Endocrine System)를 모방한 모델로, 이 중 유전계는 생물의 진화 및 발생에 관계된 메커니즘으로서 공학적으로 유전자 알고리즘으로 모델화되었고, 뇌신경계는 적응과 학습과 관련하여 인공신경망으로 모델화되었으며, 추론계는 불확실하거나 불분명한 정보를 다루는 인간의 추론과정을 모방한 퍼지논리로 모델링되어 지능시스템 연구의 훌륭한 도구로 다양한 분야에서 많은 성공을 거두고 있다. 반면 면역계와 내분비계에 관해서는 고도의 정보처리메커니즘을 가지고 있음에도 불구하고 공학적으로 응용된 예는 그리 많지 않다. 하지만 최근에 그 연구가 점점 늘어나고 있고 최근에는 생명체에 초점을 둔 다양한 방식의 지능시스템이 연구되고 이들의 융합을 통한 시스템 구축 방법들이 개발되고 있다. 다음은 최근 활발히 연구되고 있는 대표적인 지능화기술을 간단히 소개한다.

## ① 뇌-신경계(Brain-nervous system)모델

뇌 신경계는 생물의 뇌와 신경에 관계된 시스템으로 공학적으로 신경회로망(Neural Network, NN)으로 모델링되어 있다. 신경회로망은 1980년대 다층 신경회로망과 역전파 학습알고리즘의 개발로 중흥기를 맞이하여 모델과 응용분야가 매우 다양해지고 있다. 대표적인 모델로 multilayer NN, recurrent NN, Self-organization Map, Adaptive Resonance Theory, radial basis NN, wavelet NN, 등이 있고 퍼지이론과 결합한 퍼지-신경회로망 모델도 개발되어 있다. 신경회로망은 패턴(또는 영상) 인식, 패턴매칭, 제어 및 로봇틱스 분야에 폭넓게 사용되고 있다. 최근에는

인공생명의 다른 모델과 결합하여 생물체의 뇌를 설계하고자 하는 인공뇌(Artificial Brain)에 대한 연구가 수행되고 있으며 대표적으로 de Garis의 셀룰라 오토마타 머신(CAM)을 이용한 고양이 뇌의 설계를 들 수 있다. 뇌 신경 모델은 생물체의 적응성(학습)을 구현할 수 있는 대표적인 모델이라는 점에서 인공생명체 구현을 위한 매우 중요한 모델이다.

## ② 유전계(Genetic system) 모델

유전계는 생물의 진화 및 발생에 관계된 메커니즘으로서 공학적으로 진화 알고리즘으로 모델링 되어 있다. 진화 알고리즘은 자연세계의 진화과정을 컴퓨터상에서 시뮬레이션함으로써 복잡한 실세계의 문제를 해결하고자 하는 계산 모델이다. 진화 알고리즘은 구조가 간단하고 방법이 일반적 이어서 응용범위가 매우 넓으며, 특히 적응적 탐색과 학습 및 최적화를 통한 공학적인 문제의 해결에 많이 이용되고 있다. 또한, 최근에는 신경망, 퍼지 로직과의 결합으로 그 응용범위는 점점 늘어나고 있는 추세이다. 진화 알고리즘은 염색체를 표현하는 방법과 연산자의 종류 및 특성에 따라 여러 가지가 있으나 대표적으로 4가지로 나누어 볼 수 있다. 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms, GA)은 고정된 길이의 이진 스트링을 염색체로 사용하며 진화전략(Evolution Strategies, ES)은 실수의 값을 취하는 유전자들로 구성된 벡터를 사용한다. 그 밖에도 그래프와 트리를 염색체 표현에 사용하는 진화 프로그래밍(Evolutionary Programming, EP)과 유전자 프로그래밍(Genetic Programming, GP) 등이 있다. 진화적 탐색에 사용되는 연산자로는 EP와 ES는 돌연변이(mutation)를 GA와 GP는 교배(crossover)를 주로 사용한다. 최근에는 공진화 알고리즘이 동적인 환경에서의 강건한 최적화 수법으로 개발되고 있다. 공진화 알고리즘은 두 개 이상의 개체군(자연계에서는 종)이 상호작용을 하며 함께 진화하는 알고리즘이다. 두 개 이상의 개체군의 관계에 따라 협조적 공진화 알고리즘과 경쟁적 공진화 알고리즘, 기생체-숙주 공진화 알고리즘으로 나뉜다. 공진화 알고리즘의 특징은 상대 개체군이 일종의 환경으로 간주되어 변화한다는 것이다. 따라서 진화에 따라 적합도 지형이 바뀌며 전역적인 최적해에 도달하기 쉽다. 또한 공진화 알고리즘은 동시에 여러 가지 파라미터를 동시에 최적화하기 위한 방법으로도 사용된다. 유전계 모델중 나머지 한

가지는 발생모델이다. 생물의 세포는 하나의 수정란으로부터 발생한다. 이 발생을 제어하는 규칙은 생물의 암호코드인 DNA 분자이다. 대표적인 발생모델로 세포 간의 관계를 모델링한 셀룰라 오토마타(Cellular Automata, CA)와 식물의 성장을 모델링한 L-시스템(L-system)이 있다. 셀룰라 오토마타는 von Neumann에 의해 구상된 세포모델로서 현재는 1차원 CA, 2차원 CA, 3차원 CA, Continuous CA 등 여러 가지 모델이 제안되어 있다. 셀룰라 오토마타는 주로 동적인 시스템의 분석이나 신경회로망의 설계, 진화하드웨어 설계, 그리고 패턴생성 등에 사용된다. L-시스템은 Lindenmayer에 의하여 개발된 일종의 string rewriting 시스템이다. 이것은 컴퓨터 그래픽 기술과 접목되어 식물이나 자연의 모델링에 많이 사용되며 최근에는 신경회로망의 구조설계 등에도 사용된다. 한편 발생모델의 규칙을 설계하기 위한 방법으로 진화 알고리즘과 결합된 DNA 코딩방법도 개발되어 있다.

### ③ 면역계(Immune system) 모델

생체의 방어체제인 면역 시스템은 박테리아, 기생균, 병원균, 독소, 바이러스 등과 같은 항원이라고 통칭하는 매우 다양한 외부 유기체나 단백질에 대하여 생체를 방어할 수 있는 매우 정교하고 복잡한 시스템이다. 면역계는 생물학적인 진화와 비슷한 진화 메커니즘에 의해서 학습을 수행한다. 따라서 면역계는 순수 학문적인 흥미뿐만 아니라 적응 계산에 대한 응용 가능성 때문에 인공생명 연구자들에게는 매우 흥미 있는 분야이다. 면역계는 거의 모든 외부의 세포나 분자들을 인식할 수 있다. 그러기 위해서는 자신의 체내에서 만들어지고 순환하는 세포와 분자들을 외부의 것과 구별해야 한다. 면역계는  $10^{16}$  정도의 다른 외부 분자들을 인식할 수 있다고 추정되는데 이것은 패턴 인식의 관점에서 매우 놀라운 숫자이다. 특히 인간의 유전자가 약  $10^5$  종류의 면역계의 구성요소를 암호화할 수 있다는 것과 면역계가 중앙의 제어 기관이 없이 온몸에 걸쳐 분산되어 있다는 것(자율분산시스템)을 고려할 때 이는 매우 놀라운 사실이다. 면역계를 구성하는 기본 요소는 두 가지 형태의 림프구이다. 이는 B 세포(B 림프구)와 T세포(T 림프구)로써, B 세포는 항체를 분비하는 체액성 반응을 하며, T 세포는 면역에 관련된 세포를 자극 또는 억제하거나 감염된 세포를 죽이는 세포성 반응을 주로 담당한다. 특히 최근의 의학·생리학 연구 결과에 의하면, 면역계는 외계로부터 침입한 이물질을 물리치는 단순한 기능만이 아니라, 시시각각으로 변화하는 환경 속에서 자신을 존속시키는 중요한 기능을 가지고 있다는 것이 밝혀지고 있다. 즉 각종 림프구 세포가 체액 속을 단지 흩어져서 떠다니는 것이 아니라 서로 상호간에 커뮤니케이션을 통하여 고도의 정보 처리를 시스템 레벨에서 실현하고 있는 것이다. 이 기능은 뇌 신경계와는 또 다른 새로운 병렬분산처리 알

고리즘을 제공해 줄 것으로 기대된다. 이는 또한 미지의 동적 환경에서 자율적으로 대처하는 이동 로봇의 행동 전략 결정에도 새로운 방법론이 될 것으로 생각된다. 응용분야는 면역계가 외부의 적을 인식하는 기능을 이용한 적응 잡음 제거기 구성, 외부의 적을 기억하고 학습하는 기능을 이용한 적응 제어 시스템 설계, T세포가 자신의 세포로부터 감염된 세포를 구별해 내는 능력을 이용한 패턴인식, 미지의 동적인 환경에서 자율 분산계로써 전체의 조화를 유지하는 기능을 이용한 자율 분산 로봇 시스템의 행동전략 결정과 창발행동 실현, 항체의 친화성을 이용한 최적화 알고리즘, 클론복제 메커니즘을 이용한 군 로봇의 자기조직화, 면역 네트워크의 자기·비자기의 상호인식 메커니즘을 이용한 센서의 고장진단과 플랜트 시스템의 고장 원인 검출 등이다.

### ④ 내분비계(Endocrine system) 모델

항상성이란 동물의 내적 환경을 비교적 일정 수준으로 유지하는 생체의 메커니즘이다. 생물체 내에서 이러한 항상성을 유지하는 기관이 바로 내분비계이다. 내분비계는 혈액이나 체액 등에 있는 산소나 영양분의 농도, 온도, 다른 호르몬의 농도 등에 반응하여 특수한 화학물질인 호르몬을 생성해서 표적조직으로 이동시키는 시스템이다. 이때 호르몬은 표적조직의 수용체 단백질과 열쇠와 자물쇠의 관계와 같이 특이적으로 결합한다. 이러한 작용을 바탕으로 내분비계가 항상성을 유지하는 원리는 기본적으로 자동 온도 조절기의 부귀환 시스템(Negative Feedback System)과 같다. 내분비계는 이러한 기본원리를 바탕으로 뇌 신경계와 상호작용 및 협동에 의하여 생체를 통제하고 조절한다. 내분비계의 주요 기능은 호르몬을 수용하여 정보를 인식하는 기능, 정보 전달기능, 응답기능 등으로 요약된다. 대표적인 연구자는 GIT의 Arkin이다. 그는 이러한 특징을 인공적으로 모델화하여 구조화되지 않은 환경에 대하여 즉각적으로 반응하는 반응제어 메커니즘을 연구하고 있다. 또한 로봇 자신의 내부 자원을 관리하며 목적을 수행하는 항상성 제어에 적용하였다. 이러한 제어 알고리즘은 군 로봇의 군집 시스템에 효율적으로 적용될 수 있다. 이것은 핵폐기물, 환경복원, 화재진압, 지뢰제거, 군대의 전쟁 및 병참 지원, 자원 탐색 및 개발, 행성탐험 등 앞으로의 응용분야가 기대된다.

### ⑤ 자연계 모델(자율분산시스템, 군지능, 군행동, ESS, 게임이론, 카오스)

자율분산시스템이란, 시스템 전체를 통합하는 관리기능을 가지지 않고, 시스템을 구성하는 각 요소(서브 시스템 : 자율성을 강조하는 의미에서 個라고도 한다)가 개별적으로 시스템의 목적 및 환경, 다른 요소의 거동 등을 인식하여 자신의 행동을 자율적으로 결정함으로써 각 요소간

의 협조를 도모하여 시스템 전체로서의 대역적인 질서 형성 또는 유지하는 시스템이다. 자율분산시스템의 각 요소가 로봇이 되는 경우를 특히, 자율분산로봇시스템이라고 한다. 이때 개개의 로봇은 자율적인 판단에 따라 행동하여 시스템 전체의 목적을 달성하게 된다. 따라서 시스템의 크기가 커졌을 때, 즉 구성하는 로봇의 수가 많아졌을 때에도 시스템 설계에 큰 영향을 주지 않으며 시스템 환경의 변화에 대처하는 능력도 우수하다. 또한 구성하는 서브시스템인 로봇 몇 대가 고장을 일으켰을 때 시스템의 유지 능력도 뛰어나다. 한편, 학습, 진화와 같은 생물체의 적응 메커니즘은 예로부터 과학자의 흥미를 끌어들였다. 특히 컴퓨터의 발달과 더불어 이러한 자연 시스템을 인공적으로 구현해보려는 시도가 계속되고 있다. 또한 80년대 후반 Langton은 인공생명이란 이름으로 이러한 연구결과를 모으고, 연구를 촉진시켜 하나의 분야를 이루고 있다. 이와 같이 생물이 가지고 있는 유연성, 다양성, 용장성, 자기 조직성 등의 특징을 공학적인 관점에서 유용하게 받아들여 실제 시스템에 적용하는 것이 하나의 중요한 과제가 되었다. 자율이동로봇군의 연구에서도 개미나 벌과 같이 집단을 이루고 사는 생물체에서 나타나는 창발적인 행동을 적용하여 군지능을 구현할 수가 있다. 여기서 창발적 행동이란 시스템을 구성하는 각 요소들의 단순한 규칙으로부터 복잡하고 예기치 못한 시스템 전체의 새로운 질서가 생겨나는 현상을 일컫는 말로써, 나타난 결과는 단순한 요소들의 합이 아닌 요소들의 상호작용의 결과로서 "전체가 부분의 합보다 크다"라는 말로도 표현된다. 이외에도 자연계를 모델링한 것에는 여러 가지가 있다. 대표적으로 진화 안정전략(Evolutionary Stable Strategy, ESS), 게임이론, 카오스, 프랙탈 등이 있다. ESS 및 게임이론은 최근에 사회나 자연현상의 해석뿐만 아니라 다목적 최적화 수법으로서 진화알고리즘과 결합되어 연구되고 있다. 한편 카오스, 프랙탈 등은 자연계 현상을 나타내는 모델로서 자연계 군집의 진화나 신경세포의 동작 등도 카오스 현상을 나타내는 것으로 알려지고 있다. 따라서 다른 인공생명 모델과 결합한 여러 가지 응용이 가능한 모델이다.

한편 지능시스템에 필요한 여러 가지 특징은 창발성, 진화, 자기복제, 자기조직, 적응, 학습, 복잡성 등이 있는데, 분류상으로 가장 간단한 대표적인 모델로는 POE 모델이 있다. POE 모델은 지금까지 발전된 여러 가지 인공생명 및 소프트웨어기술의 패러다임들을 분류시킬 수 있는 개념이다. POE 모델의 POE는 각각 Phylogeny(계통발생학, 진화), Ontogeny(개체발생학, 발달), Epigenesis(후성설, 적응 및 학습)의 첫 자를 딴 것으로서 그 의미는 자연계의 POE 현상을 구현한 공학적인 모델이라는 뜻이다. P, O, E 모델은 그림과 같이 각각 하나의 축을 이루고 있으며 각각의 조합에 의하여 다시 PO 모델, PE 모델,

EO 모델, POE 모델로 구성된다. 이는 지능시스템을 구축하기 위한 필요충분조건은 아니며, 지능시스템이 갖추어야 할 독립적인 자유도를 갖는 필요조건에 해당하는 것이다. POE 모델은 앞의 생체 및 자연계 모델의 설명과 중복되는 부분이 많기 때문에 각 모델의 특성과 알고리즘에 대하여 간단히 언급한다.

⑥ P model

Phylogeny (P)는 계통발생, 진화의 의미를 가지고 있다. P 모델은 진화, 적응, 자기 재생산의 특징을 가진 모델로서 다음과 같은 모델이 개발되어 있다.

- 진화 알고리즘(Evolutionary Algorithm)
- 공진화 알고리즘(Co-Evolutionary Algorithm)
- 대화형 진화 알고리즘(Interactive Evolutionary Algorithm)

⑦ O model

Ontogeny (O)는 개체발생, 발달의 의미를 가지고 있다. O 모델은 자기복제, 자기조직화, 성장 등의 특징을 가진 모델로서 다음과 같은 모델이 개발되어 있다.

- 셀룰라 오토마타(Cellular Automata)
- L-시스템(L-system)
- 프랙탈(Fractal)
- 발생학(Embryonics) : 진화하드웨어의 발생학적 설계 방법
- DNA 코딩 : DNA의 동작을 모방한 발생 규칙 표현방법

⑧ E model

Epigenesis(E)는 후성설, 적응 및 학습의 의미를 가지고 있다. E 모델은 적응, 학습, 자율성, 자기조직화 등의 특징을 가진 모델로서 다음과 같은 모델이 개발되어 있다.

- 신경회로망(Neural Networks)
- 자기조직화 지도(Self-Organization Map)
- 증가 학습(Incremental Learning)
- 강화학습(Reinforcement Learning)
- 분류자 시스템(Classifier System)
- 인공면역시스템(Artificial Immune System)

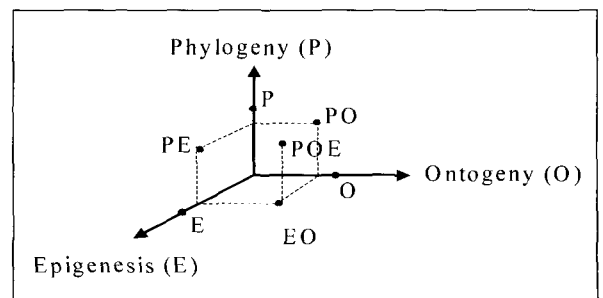


그림1. POE 모델의 관계.

### 지능시스템 기술의 발전 동향

현대 사회는 정보화 사회라는 말과 같이 컴퓨터와 통신이 매우 발달된 시대이다. 전 세계가 인터넷을 통하여 연결되어 있고 개인이 휴대용 단말기를 가지고 있으며 그 성능 또한 점점 좋아지고 있다. 한편 컴퓨터와 로봇이 각 가정에 파고들어 우리의 생활의 일부가 되고 있다. 지능시스템에 대한 연구는 이와 같은 기술개발에 따라 큰 전환기를 맞게 될 것으로 생각된다. 이전에는 해보지 못했던 모의실험 및 계산이 가능해 졌으며, 이에 따라 새로운 구조의 시스템이 나올 것이다. 또한 컴퓨터가 그 형태를 다양하게 바꾸어 우리의 생활에 파고들면서 지능시스템의 조건과 환경이 바뀌게 될 것이다. 예를 들면 인간과 기계의 상호작용이 중요하게 되어 지능뿐만 아니라 인간의 감성을 이해하는 시스템이 요구될 것이고, 개인용 지능 로봇(Personal intelligent robot), 컴퓨터를 몸에 장착하는 웨어러블 컴퓨터(Wearable computer), 건물이나 공간이 지능화하는 지능형 공간(Intelligent space), 일상의 도구들에 지능을 부여하게 되는 유비쿼터스(Ubiquitous)라는 개념에 적용될 것이다. 지능시스템은 지능을 모방하려는 시도에 의해 발전되어왔다. 지능의 논리구조의 연구인 인공지능에서 생물체 구조를 모방하는 인공생명까지 발전해왔다. 이러한 발전의 일면을 보면 컴퓨터의 계산속도의 증가에 기인한 발전이었다고도 볼 수 있다. 앞으로 역시 컴퓨터 기술의 발전에 따라 더욱 다양한 방식의 지능시스템이 탄생할 것으로 예상할 수 있다. DNA 컴퓨팅을 포함한 생물정보학(Bioinformatics)과 양자 컴퓨팅(Quantum Computing)이 지능시스템의 범주에 들어올 것이다. 또한 기계가 인간의 일상생활에 밀접하게 파고들기에 따라 지능시스템의 다양한 요구가 생길 것이며 이 요구에 대응하는 지능시스템 또한 매우 다양해 질 것으로 예상할 수 있다.

### 지능시스템 연구회 활동내용

지난 2003년 12월 12~13일 양일간 부산대학교에서 ICASE의 부산·경남·울산 지부, 로보틱스 및 응용연구회, 지능시스템연구회가 공동 주관한 ICASE 합동학술발표대회를 개최했다. 본 학술대회는 총 66편의 논문과 1편의 초청강연이 발표되었으며 회원 상호간의 친목도모와 연구력 향상은 물론 이 분야의 학문발전에 크게 기여할 수 있는 모임이 되었다.

정부는 최근 앞으로 5년에서 10년 후 우리 경제의 성장을 이끌 차세대 미래전략산업으로 10대 미래 성장(신성장) 동력산업을 발표했다. 이 중 지능시스템연구회와 관련된 지능형로봇과 지능형 홈네트워크가 들어 있다. 그만큼 우리 경제의 성장을 이끌 미래 산업에서 지능시스템이 차지하는 비중이 매우 크다고 할 수 있다. 본 연구회는 앞으로도 상급 연구력 향상을 위한 다양한 방법론들에 대해서 학술 토론회와 초청 강연 등을 통하여 회원 상호간의 연구력 향상은 물론 이 분야의 학문발전에 크게 기여할 수 있는 모임을 자주 가질 것이며, 명실 공히 21세기를 주도하는 선도적인 학문분야와 연구회로 자리 매김할 수 있도록 많은 회원님들의 관심과 적극적인 참여를 기대합니다.

### ..... 저자소개 .....



《심 귀 보》

- 1984년 중앙대학교 전자공학과 공학사
- 1986년 동대학원 전자공학과 공학석사
- 1990년 The University of Tokyo 전자공학과 공학박사
- 1991년~현재 양대학교 전자전기공학부 교수
- 2000년~현재 제어자동화시스템공학회 이사 및 지능시스템연구회 회장
- 2002년~현재 중앙대학교 산학연컨소시엄센터 센터장
- 2003년~현재 일본계측자동제어학회(SICE) 이사
- 2003년~현재 한국퍼지 및 지능시스템학회 부회장
- 연구관심분야 : Artificial Life, Intelligent Robot, Intelligent Systems, Artificial Brain, Multi-Agent System, Distributed Autonomous Robotic System, Machine Learning, and Adaptation Algorithm, Soft Computing(Neuro, Fuzzy, Evolutionary Computation), Evolvable Hardware, Artificial Immune System, Intrusion Detection System, etc.
- 연락처 : Phone : +82-2-820-5319  
 Fax : +82-2-817-0553  
 E-mail : kbsim@cau.ac.kr  
 Homepage URL : http://alife.cau.ac.kr