

◆특집◆ 시스템 지능화

로봇 시스템의 지능화

오상록\*, 윤도영\*\*

Intelligent Robotic Systems

Sang-Rok Oh\*, Do-Young Yoon\*\*

Key Words : Intelligent robot(지능형 로봇), Robot intelligence(로봇 지능), Robotic planning (로봇 계획)

1. 도입

1.1 로봇시스템 지능화의 배경

로봇 시스템의 지능화 측면에서 볼 때 산업 현장에 로봇이 투입되어 생산라인의 자동화가 시작된 1960년대 말부터 이미 지능화가 시작되었다고 볼 수 있다. 연대별 구분을 뚜렷이 하기 어렵지만 기능적으로 보아 제 1세대의 로봇 시스템을 컴퓨터를 통한 연산이나 센서 시스템을 전혀 갖추지 않은 것으로 본다면 제 2세대는 제한적인 컴퓨터 연산 능력과 단순 기능을 갖는 폐환 제어(feed back control)를 갖춘 것으로 발전하였다. 제 3세대 로봇은 다양한 감지능력(sensing capability)과 판단 능력(decision making capability)을 갖춘 로봇으로 발전하였다. 이 제 3세대 로봇을 이른바 지능 로봇(intelligent robot)이라 규정할 수 있다.

로봇 시스템의 지능화는 다른 주변 학문과 기술의 발전과 함께 이루어져 왔다. 특히 지능형 기계(Intelligent Machine)이론의 발전이 많은 영향을 미쳤다. 로봇 설계 기술과 동시에 같이 발전을 해 온 이 이론은 1950년대의 전통 제어(classical

control)기법과 60년대의 적응 학습 제어(adaptive and learning control), 70년대의 자기 구조화 제어(self-organizing control), 80년대의 지능 제어(intelligent control) 기법의 연구 개발과 함께 도출된 자연스런 산물이었다. 여러 가지 다양한 과학과 공학, 수학의 원리들과 인공 지능(Artificial Intelligence), 시스템 이론(System Theory) 등의 분야들에서 추출한 개념과 아이디어 들을 채용, 조합하여 지능 기계 이론이 구성되었다. 따라서 지능 기계 이론의 주된 관심과 동기는 이러한 여러 분야의 이론들의 성과를 어떻게 지능 기계 시스템에 맞게 적용시키는 것이었다. 지능 로봇 시스템은 바로 이 지능형 기계 이론의 대표적인 적용 예로서 로봇의 지능은 이 지능형 기계 이론에 근거하고 있다. 이러한 이론적 배경을 바탕으로 로봇 시스템은 기계적인 측면에서의 정밀성과 복잡도를 증가시키는 동시에 지능화를 거듭하여 왔다. 표 1은 널리 알려진 로봇의 예를 통하여 로봇 시스템의 발전 단계를 보여주고 있다.

현재의 지능 로봇 시스템은 복잡한 고도의 컴퓨터 제어 시스템의 형태를 띠고 있으며, 다양한 시각적인(visual) 센서 시스템과 비 시각적인(non visual) 센서 시스템을 가지며 또한 로봇의 동작 영역에서 판단(decision making)과 문제 해결(problem solving)의 능력을 갖추고 있다.

1.2 로봇 지능화의 주요 사항들

로봇 시스템의 지능화에서 고려해야 할 주요

\* 한국과학기술연구원 지능제어센터 센터장  
\*\* 한국과학기술연구원 지능제어센터 학생연구원  
Tel. 02-958-5757, Fax. 02-958-5749  
Email sroh@amadcus.kist.re.kr

Robotics and Automation, Intelligent Control and Machine Learning, Advanced Control System Theory 에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

Table 1 Development of robot systems

년도	로봇 시스템
1938	최초의 페인트 분사 로봇, DeVilbiss사
1946	ENIAC: 최초의 전기 컴퓨터 출현, University of Pennsylvania
1962	General Motors 생산 라인에 산업용 로봇 채용, Unimation사
1968	"Shakcy": mobile robot, vision capability, 컴퓨터 컨트롤, SRI(Stanford Research Institute)
1973	T3: 최초의 상업용 minicomputer-controlled 산업용 로봇, Cincinnati Milacron사
1978	PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly): Famous general purpose robot arm, Unimation사
1994	Dante II: 6족 보행, 화산 지대 주행, 화산 gas 채취, CMU Robotics Institute
1997	Sojourner: 화상 탐사, 이미지 전송, NASA
1997	P3: humanoid, 인간을 닮은 안정되고 섬세한 보행 및 동작들, Honda사
1999	Cog: Humanoid, 로봇 지능 프로젝트의 대표적 예, MIT
2000	Asimo: humanoid, Honda사
2000	SDR: humanoid, high-speed 보행, 자유로운 몸 동작, Sony사
2001	AIBO: 애완로봇, 학습에 의한 지능 형성, Sony사
2001	Cyc: thinking machine, Cycorp사

사향으로는 지능의 설계 및 구현의 방식 또는 구조적인 문제(architecture of robot intelligence)와 컴퓨터 연산 능력, 센서 시스템을 들 수 있다. 로봇 지능의 구현 방식은 수 많은 이론과 구조가 주장되고 있으며 각각의 장점과 단점이 있으므로 구현하고자 하는 로봇의 특성에 맞게 선택되어야 한다. 환경에 대한 모델링, 작업 계획(task planning) 등의 문제를 해결하기 위하여 전통적인 계층적(hierarchy) 구조를 가지는 방식에서부터, 행위 기반 방식, 분산 지능, 학습에 의한 지능 형성 방법 등의 여러 방식이 독자적으로 또는 혼합되어 사용되고 있다. 컴퓨터 연산 능력은 로봇 시스템의 지능을 구현하는 측면에서의 중심적인 요소이며, 센서 시스템은 로봇 시스템의 지능의 자율성을 보장하는 필수적인 전제 조건이다. 본 글에서는 2장에서 로봇 지능화의 일반적인 설명을 하고, 3장에서 지능의 구현 방식들에 대하여 알아보았다. 4장에서 컴퓨터 연산 능력과 센서의 측면에 대하여 살펴 보았고, 5장에서는 자율적인 지능을 위하여 필요한 센서 시스템들에 대하여 소개하였다.

## 2. 로봇 시스템의 지능화의 대상

로봇 제어의 입장에서 볼 때 로봇시스템의 지능화는 대부분이 로봇의 계획(robotic planning)과 관련이 되어 있다. 로봇의 계획은 상위의 작업 계획(task planning)부터 동작시의 경로 계획(path planning)에 이르기 까지 여러 단계들 가진다. 이들 각 단계는 로봇의 물리적인 메커니즘을 직접 구동하는 데 필요한 로봇 제어와 달리 정해진 추종 값이 구체적으로 주어지지 않고 로봇 스스로 환경과 자신의 상태를 토대로 결정해야 하는 단계이다. 여기서 말하는 환경과 로봇의 상태의 조합이 로봇에게는 상당히 추상적인 문제로 로봇 지능의 주된 문제이다. 로봇 계획의 문제점은 첫째로 환경의 불확실성이다. 일반적인 접근 방식으로 환경을 로봇이 이해할 수 있는 형태로 모델링을 하는데 이 때 발생하는 불충분한 모델링이 그릇된 판단으로 이어지기 쉽다. 두 번째 문제점은 판단(decision making)이다. 주어진 정보로부터 운영자의 개입 없이 로봇 스스로 합리적인 판단을 하기 위해서는 되도록 모든 경우를 포함할 수 있는 판단 규칙이 필요하다. 로봇의 설계 시에 모든 경우를 예상하여 프로그래밍하기가 쉽지 않으므로 유연하고도 강인한 판단 규칙이 필요하다. 다음 절에 지능형

manipulation의 예를 통하여 지능화 시켜야 할 대상인 구체적인 작업들에 대하여 살펴보았다.

### 2.1 로봇 작업 계획(robotic task planning)

로봇의 작업 계획은 환경의 모델링(world modeling), 작업 규정(task specification), 로봇 프로그램 합성(robot-program specification)의 3단계로 나눌 수 있다. 환경의 모델링은 다음의 정보들을 반드시 고려하여야 한다[2].

- (1)대상 물체와 로봇 자신의 기하학적인 정보: 위치, 모양 등을 말하며 이것은 환경 모델링의 주된 요소이다.
- (2)대상 물체의 물리적인 정보: 질량, 관성 모멘트 등을 말하며 얼마나 빨리 이동시킬 수 있는가 또는 얼마 만큼의 힘이 가해질 수 있는가 등을 결정할 때 필수적이다.
- (3)로봇 linkage들의 기하학적(kinematic) 정보: 갱신되는 환경 모델에 대한 추종(tracking)이 필요하다.
- (4)로봇 특성 정보: 관절 한계, 가속 한계, 센서 능력 등을 말한다.

작업 규정은 작업 계획기가 정해진 작업을 여러 단계의 모델의 상태의 순차적인 배열로 변환하는 과정을 말한다. 즉 작업 규정은 모델의 구성 요소들의 위치 변화의 순서를 로봇의 입장에서 모델링 하는 것이다. 작업 규정을 위한 방법의 한 예를 들면 대상 물체 사이의 공간적인 위치 관계를 기호화 하는 방법을 들 수 있는데 이 방법을 이용하면 로봇 프로그래밍 시에 프로그래머가 해석하고 수정하기에도 편리하며 정확도가 높다.

로봇 프로그램의 합성은 전 단계에서 규정된 모델의 상태들을 추종하도록 하는 직접 로봇을 구동할 수 있는 명령어들로 이루어진 프로그램을 생성하는 단계를 말한다. 이 단계의 주요 작업으로는 grasp planning, motion planning 등이 있다. 합성된 로봇 프로그램은 grasp command, motion command, sensor command, error test 등으로 구성되어 있다. 즉, 각 로봇 시스템마다 주어지는 고유한 robot-level의 언어로서 구현된다.

### 2.2 로봇 경로 계획(robot path planning)

로봇의 경로 계획에 대한 연구는 상당히 깊게 연구되어 왔으며, 다양한 방법들이 개발 되었다.

이 방법 들은 환경에 대한 정보를 얻는 방법에 따라 모델 기반(model-based) 방식과 모델을 사용하지 않는(non-model based) 방식으로 나누어 볼 수 있다(이러한 분류 관점은 경로 계획 뿐만 아니라 작업 계획 등 로봇 지능의 전반적인 사항에 모두 해당되는 사항이기도 하다). 모델 기반 방식에서는 모든 작업 공간 모델에 대한 모든 정보는 사전에 학습되거나 주어져야 하며 운영자는 대상 물체들의 위치적인 관계를 주어진 모델의 관점에서 서술하여 주어야 한다. 반면에 모델을 사용하지 않는 방식에서는 작업 공간에 대한 정보는 비전 시스템이나 접촉 센서 등을 통해 직접 얻어지고 대상 물체들의 위치 관계는 사전에 주어지지 않는다. 동작 환경의 물체는 고정된 장애물과 움직이는 장애물의 두 가지로 나눌 수 있다. 따라서 고정된 장애물 사이에서의 경로 계획과 움직이는 물체 사이에서의 경로 계획의 두 가지 문제를 해결하여야 한다. 모델 기반 경로 계획에서 고정된 물체 사이의 충돌 없는 경로를 찾는 방법은 전통적으로 많은 연구가 되었다. 공간 구성법(configuration space), 자유 공간(free space)법, potential field법, 격자(grid)법 등이 대표적인 방법 들이다. 움직이는 물체가 있는 공간에서의 경로 계획은 다시 움직이는 물체가 없을 때의 경로 계획과 움직이는 물체가 있을 때의 속도 계획의 두 가지로 나누어 해결하려는 시도가 일반적이다. 모델 기반 경로 계획의 단점은 시시각각 변화하는 물체 들에 대한 사전 정보가 없다는 점이다. 이러한 단점을 극복하고자 사전 정보에 의존하지 않는 모델을 사용하지 않는 방법에 의한 경로 계획 방법이 활발히 연구되고 있다.

### 2.3 로봇 지능의 구현: 로봇 프로그래밍

로봇 프로그래밍은 사용자가 되도록 편하게 구현할 수 있게 하는 목표와 보다 복잡하고 세밀한 작업 지시를 가능하게 해야 한다는 두 가지의 모순되는 목표를 가지고 있다. 일반적으로 로봇 프로그래밍은 로봇 지향 프로그래밍 언어(robot-oriented programming language), 작업 지향 프로그래밍 언어(task-oriented programming language), 목표 지향 프로그래밍 언어(goal-oriented programming language)의 세가지 수준으로 나눈다. 로봇 지향 언어는 가장 하위 단계의

언어로 로봇이 이해할 수 있는 로봇 명령어들로 이루어져 있으며 로봇 시스템 마다 다른 형태를 가진다. 작업 지향 언어는 직접적인 로봇 명령어 대신 상위 수준의 작업 지시 형태의 프로그래밍을 말한다. 따라서 로봇은 자동적인 작업 계획의 능력이 있어야 한다. 예를 들어 "볼트를 집어라"라고 작업 지향 프로그래밍을 할 수 있으며, 이를 시스템은 자동적으로 주변의 장애물을 피해서 볼트를 집을 수 있는 경로를 계획하고 볼트를 잡는다. 목표 지향 언어는 위 두 가지의 중간 형태로 작업(task)의 subgoal들로 프로그래밍을 하는 것을 말한다. 즉, 프로그래머가 원하는 상태의 순차적인 배열로 프로그래밍 하는 수준이다.

이 장에서 알아본 사항들은 모든 지능화된 로봇 시스템의 구현에 필요한 일반적인 사항들이다. 다음 장에서 이러한 과정을 통해 구현되는 로봇 시스템의 다양한 구성 방식들에 대하여 알아본다.

3. 로봇 시스템의 지능화 방식들

3.1 계층적 지능 로봇 시스템(hierarchical Intelligent Robot System)

계층적인 지능 로봇 시스템은 전통적인 지능형 기계 시스템의 대표적인 구현 방식으로 작업이 하위 작업(subtask)으로 분해가 가능하다는 가정아래 이루어진 지능 시스템 구현 방식이다. 이 방식은 지능에 필요한 계산 방식에서 보면 다음 절의 반사적인(reactive) 방식과 달리 면밀한 분석적 과정을 거치는(deliberative) 방식을 취하고 있다. 상위의 계층은 하위 계층에 대하여 subgoal을 제공하여 주는 역할을 하도록 구성된다. 계층의 수는 각 구성의 예에 따라 여러 가지가 제시 되었다. 여기서는 Rensselaer Polytech Institute(Lefebvre and Saridis)에서 제안한 3층의 계층 구조를 갖는 지능형 로봇 시스템의 구조를 예로 보자[1]. 그림 1은 자율 지능에 필요한 여러 종류의 센서를 갖는 지능 로봇 시스템의 계층 구조를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 계층 구조는 최상위의 organization level과 다음의 coordination level, 최하위의 execution level로 구성되어 있다. Organization level은 상위 수준의

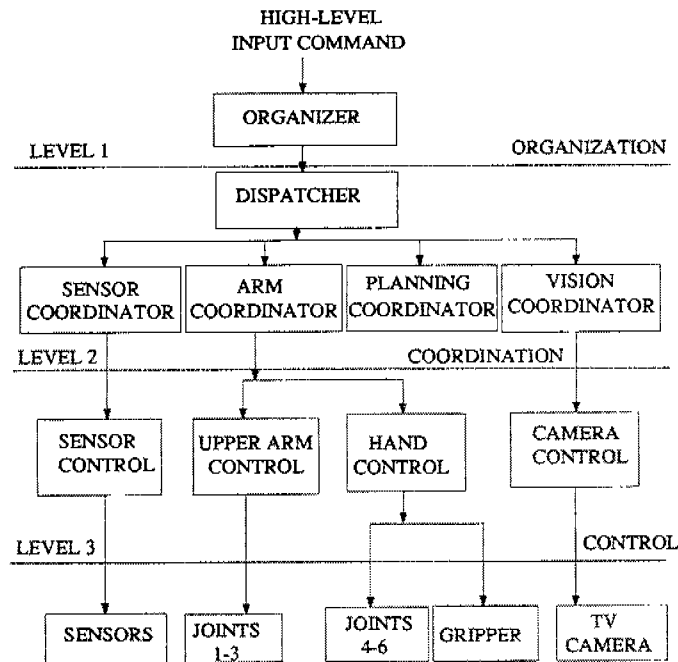


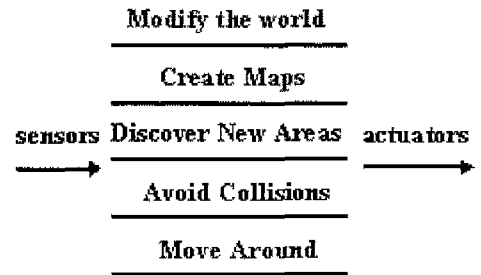
Fig. 1 Intelligent Robotic System with Multi-Sensory Capabilities[1]

계획(planning)과 추리(reasoning)을 담당하고, coordination level은 다양한 하드웨어 시스템간의 통합을, execution level은 기초적인 제어와 하드웨어를 지원하는 역할을 맡고 있다. 이 구조의 집단 방법은 계층을 따라 내려감에 따라 increasing precision - decreasing intelligence의 원리를 구현하고 있음을 볼 수 있다.

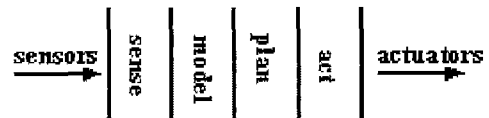
계층적 구조를 갖는 지능 로봇 시스템은 공장의 생산 라인과 같이 구조화 되고(structured) 예측이 가능한 환경에 적합한 구조로 평가되고 있다. 그러나 환경의 모델링이 필요하고 각각의 모듈간의 상호 통신 통로의 제한으로 인하여 구조화되지 않고 불확실한 환경에 대응할 수 없고, 시스템의 구현의 차원에서는 필요한 기능을 점증적으로 더해나가기 어렵고 테스트 전에 모든 전체적인 구조가 완성되어야 하는 단점이 있다.

### 3.2 반사적(reactive) 지능 로봇 시스템

위의 계층적인 deliberative 시스템의 단점을 극복하고자 하는 차원에서 나온 방식으로 모델링에 의존하지 않고 동작시의 센서에 즉각적으로 반응하여 판단을 하는 지능 시스템이다[4]. 실제 많은 연구를 통하여 하등 동물 등의 경우 중앙의 고도의 뇌의 처리 없이 감각에 의한 방법으로 일정한 수준의 지능이 구현되고 있다는 것이 증명되었다. 이러한 감각적인 지능 로봇의 대표적인 사례가 MIT의 Brooks 팀에 의해 연구되고 있으며, Georgia Tech.의 Arkin에 의해 Behavior-based robotics라는 개념으로 정립되고 있다[3]. 이 방식에서는 로봇의 지능의 구성에 필요한 sensing과 plan, action의 기본 단위로 sensory-motor process를 구성한다. 이 sensory-motor process는 분산되어 있으면서, scheduling, management, coordination 등의 planning 역할을 하는 동시에 물론, 본연의 sensing과 action도 같이 수행한다. 전체 시스템은 이러한 여러 개의 sensory-motor들로 구성되며 sensory-motor들 상호간은 서로 communication을 통하여 시스템의 전체적인 동작 목표에 맞게 자신의 행동을 제어할 수 있는 지능을 구현한다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 이 방식은 병렬적인 처리 방식의 일종으로 앞 절의 계층적인 방식에 비해 여러 가지 장점을 갖는다. 이런 방식을 통하여



a) Parallel processing of information in reactive system



b) Serial processing of information in hierarchical system

Fig. 2 Architectures for information processing in reactive and hierarchical system

구현된 지능은 기호적인 또는 수학적인 모델링의 과정을 거치지 않는 보다 감각적인 (다르게 말해 보다 직접적인 정보형태를 이용하는) 지능으로 불확실한 모델링에서 비롯되는 문제점이 없으며, 시스템이 간단하다. 각 sensory-motor 부분은 분산되어 구성되므로 시스템의 설계나 구현 시에 모듈화하여 만들 수 있고, 원하는 기능을 간단히 첨가할 수도 있다. 이 방식은 근본적으로 분산처리 시스템이므로 부분적인 시스템의 고장이 전체적인 고장을 의미하지도 않는다. 가장 중요한 특징으로는 계산량이 극히 적으므로 주어진 정보에 대한 즉각적인 판단이 가능하다는 것이다. 이 특징은 시스템 자체의 고속 동작은 물론, 시시각각 동적으로 빠르게 변화하는 환경에서 동작하는 시스템에는 필수적으로 요구되는 성질이다. 그림 3은 반사적인 로봇 지능의 효시라 할 수 있는 Brooks의 포섭구조(subsumption architecture)를 이용하여 구성한 지능 로봇 시스템이다. 이러한 반사적인 지능의 로봇 시스템은 곤충 등의 생물체의 행동 분석에서도 자주 보여지는 방법으로 시스템의 목표에 따라서 효율적인 로봇 지능의 구현 방법이 될 수 있을 것으로 보여진다. 그러나 구조화 되고 예측 가능한 환경에서는 모델링에 의거하는 계층적인

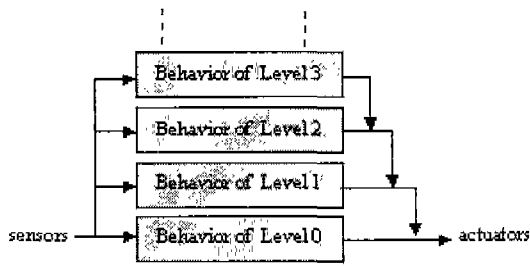


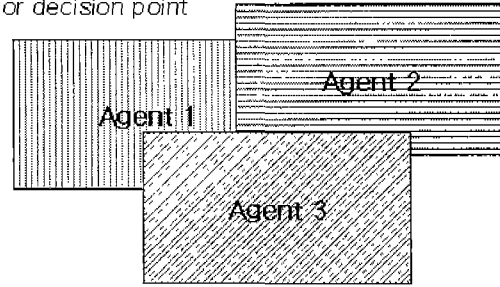
Fig. 3 Subsumption architecture, Brooks

로봇 시스템에 비해 신뢰도가 떨어지므로 계층적인 구조에 비해 적합하지 않은 단점이 있다.

### 3.3 분산 지능 로봇 시스템(Distributed Autonomous Robotic System)

어떤 작업을 수행하기 위한 모든 기능을 한 로봇에 모두 두지 않고 여러 대의 로봇을 만들어 이들의 협동 작업에 의하여 목표한 전체적인 작업을 완료하게 하는 로봇 시스템이다. 앞으로의 사회에서 자율 로봇이 작업하게 되는 환경은 안정적이지도 않고 구조화되지도 않을 경우가 많을 것이라는 예측에서 로봇 시스템을 분산 지능 방식으로 설계하는 경향이 활발히 증가하고 있다. 복잡한 작업을 단순한 하위 작업으로 분해하는 방식은 어쩌면 유일한 해결책일지도 모르며 최소한 병렬적인 작업 처리는 전체적인 측면에서의 작업의 수행 속도를 높이는 장점을 가지고 있다. 이 방식에서는 각각의 로봇을 서로 통신하면서 협력하여 작업을 할 수 있는 능력을 가진 구성원(member of the society)으로 하는 하나의 로봇 사회(robot society)를 만든다[8]. 분산 지능 시스템은 이 로봇 사회의 공동의 작업 계획(planning)과 수행(execution)을 가능하게 하는 정보와 제어의 구조로 정의된다. 분산 지능 로봇 시스템의 핵심은 전체의 작업을 어떻게 분해하느냐의 문제이다. 그림 4에 전체의 작업을 각각의 로봇 구성원에 할당하고 공동작업을 수행하는데 일반적으로 많이 사용되는 두 가지의 작업 분해 방식을 나타내었다. 그림에서 첫 번째 방식은 주로 로봇 구성원이 동일한 능력을 가지는 개체로 구성된 균일 사회(homogeneous society)에 많이 사용되는 방식으로 주로 영역에 의해서

Spatial decomposition by information source or decision point



Functional decomposition by expertise

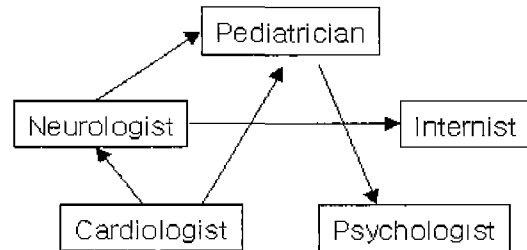


Fig. 4 Two commonly used methods for distributing tasks among agents[5]

작업이 분해된다. 다른 한 방식은 구성원의 능력이 서로 다른 종류의 것으로 이루어진 불균일한 사회(heterogeneous society)로 분산 지능 시스템을 구성하였을 경우에 적당한 방법으로 전체 작업을 각각의 기능 별로 분해하여 공동 작업을 수행하는 방식이다. 일단 작업이 분해되면 다음의 전략들을 지키면서 공동 작업을 수행한다.

- (1) 각 구성원의 능력에 해당하는 작업을 수행한다.
- (2) 보다 넓은 시야를 가진 구성원이 좁은 시야의 구성원에 작업을 할당해 준다.
- (3) 전체적 작업의 완성도를 위해 겹침을 허용한다.
- (4) 겹치는 경우 가장 근접한 구성원이 수행한다.
- (5) 긴급한 경우를 위해 작업을 재 할당할 수 있게 한다.

분산 지능 로봇 시스템의 단점은 각 구성원 간의 작업이 최적으로 분해되기 어렵기 때문에 작업의 겹침으로 인한 전체적인 시스템 차원에서의 redundancy가 발생한다는 점이다.

그러나 활동 기간이 길고 시스템의 가격이 높은 우주 탐사 로봇이나, 지형적인 제약으로 로봇의 활동 공간이 작은 공간등에서는 로봇을 작게 분산시켜 여러 대로 만드는 것이 유리하다. 또한 분산 로봇 시스템은 각 구성원이 채취한 정보를 공유할 수 있으며, 같은 작업을 하는 구성원이 여러 개체가 있어 발생하는 redundancy가 오히려 전체적인 시스템의 강인성을 높여주는 장점으로 작용하기도 한다.

#### 4. 로봇 시스템 지능화에 필요한 요소

##### 4.1 컴퓨터 연산 능력(computing power)

컴퓨터의 연산 능력은 로봇 시스템 지능화의 수준을 결정하는 핵심적인 요소이다. 로봇 시스템의 지능화의 발전 단계는 이 컴퓨터 연산 능력의 발전과 같이 한다고도 볼 수 있다. Hans

Moravec의 분석에 의하면 현재의 산업용 로봇으로 널리 사용되고 있는 자동차 공장의 도장 로봇, 용접 로봇, 전자 회로 기관 조립 로봇, 공장 바닥에 깔은 유도 라인에 의존하여 부품을 운반하는 로봇 등의 지능화의 수준은 10MIPS를 넘지 못하는 수준으로 이는 곤충의 수준에도 미치지 못하는 수준이어서 좀더 복잡한 작업을 부여한다면 임무를 완수하지 못할 것으로 보고 있다. 그 만큼 아직 산업용 로봇의 지능화 수준은 미비하다. 보다 조금 발전한 수준의 지능이 상업용 문자 인식기나 음성 인식 장치로 활용되고 있다. 컴퓨터 연산 능력과 그에 따른 로봇 지능은 그림 5와 같이 발전해 왔다. Moravec의 예측에 따르면 이러한 컴퓨터의 연산 능력이 채용되면 현재 각각의 고유한 기능을 하는 장치가 담당하고 있는 기능들을 모두 할 수 있는 범용 지능 로봇이 활발히 개발될 것이다. 앞으로 10년 후에는

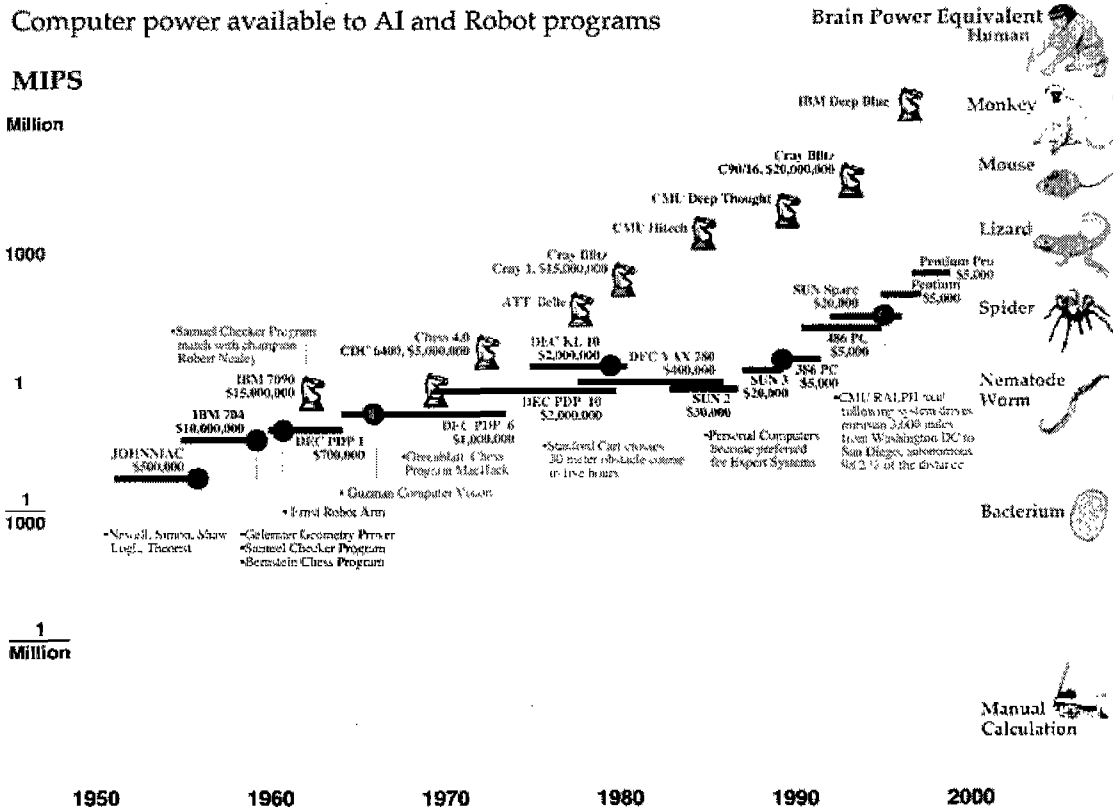


Fig. 5 Development of computing power in AI and robot programs[7]

도마뱀 수준의 공간 지각이 가능한 로봇이 가능하고, 쥐의 적응력과 원숭이의 모방력, 마침내 사람의 판단력을 가지는 수준의 지능 시스템이 약 10년을 주기로 개발될 것으로 보고 있다.

그러나 컴퓨터 연산 능력의 발전 수준이 곧 로봇의 지능화의 수준을 곧바로 말해주지는 않는다. 컴퓨터를 실제 로봇 시스템의 몸체 속에 구현하기 위해서는 우선 컴퓨터의 크기 문제가 해결되어야 하고, 두 번째로는 이에 따르는 이동 가능한 전력의 공급 문제가 해결되어야 한다.

**4.2 센서 시스템**

로봇 시스템의 자율적인 판단과 동작의 전제 조건은 변화하는 환경에 대한 정보의 감지이다. 센서 시스템은 로봇 시스템 지능화의 첫 번째 전제 조건이라 할 수 있다. 로봇의 지능화에 필요한 센서 시스템 중 가장 강력하고 많은 정보를 제공하는 것이 비전 시스템인 점을 감안하여 센서 시스템은 크게 시각적인 것과 비시각적인 것으로 분류하여 볼 수 있다. 로봇의 지능화에 필요한 비전 시스템의 기능은 로봇의 움직임에 필요한 표면이나 가장자리 감지와 같은 영역 관련 정보와 좀더 지능화된 응용에 필요한 대상 인식의 기능이다. 영역 관련 정보 추출은 현재 이동 로봇의 고속 주행에 적합한 수준의 가장자리 검출이 가능하고, 스테레오 카메라에 의한 거리와 깊이의 판별이 가능하며 대상 인식 기능은 특성 추출(feature extraction)에 의한 다른 종류의 물체의 판별과 같은 종류의 물체(이들 테면 사람의 얼굴들)의 판별은 제한된 가지수의 대상을 분류해 낼 수 있는 수준을 보이고 있으며 이 시스템들이 지능형 로봇에 채용되고 있다. 비시각적 센서 시스템은 위치 관련 센서로서 자체 위치 계산을 위한 광학 엔코더, 나침반, GPS 와 거리 정보를 위한 초음파, 레이저, 마이크로웨이브 radar, 접촉 감지를 위한 접촉센서와 근접센서 등이 로봇에 채용되고 있다[6]. 현재의 로봇의 현황을 보면 컴퓨터 연산 능력보다는 센서 시스템의 수준에 의해서 로봇의 지능이 결정되는 것으로 보여진다.

**5. 지능형 로봇 시스템의 예**

**5.1 지능형 manipulator**

산업용 로봇에 많이 사용하는 manipulator가 정해지지 않은 임의의 위치의 물체를 잡기 위한 지능형 manipulator가 개발되었다. 분절된 로봇 팔(articulated robot arm)과 스테레오 비전 시스템을 이용한 독일 Bundeswehr 대학의 지능형 manipulator는 비전 시스템을 사용하여 사전에 시스템 파라미터의 보정이 전혀 필요 없는 시스템을 발표하였다. 이 시스템은 심지어 manipulator에 대한 어떠한 사전 지식(예를 들면 link의 길이, 제어 명령어와 실제 로봇 팔의 움직임과의 관계 등) 과 카메라에 대한 지식(초점 거리, 왜곡 특성, manipulator와의 상대 거리 등)에도 의존하지 않는 시스템이라고 발표하였다. 이러한 성능은 모델에 대한 의존을 포기하고 영상 데이터를 직접 제어 명령어로 변환하는 방식을 채용함으로써 가능하였다.

이러한 지능형 manipulator는 가정이나 사무실 같이 예측이 불가능한 환경에서의 적용에 커다란 가능성을 부여해 주고 있다.

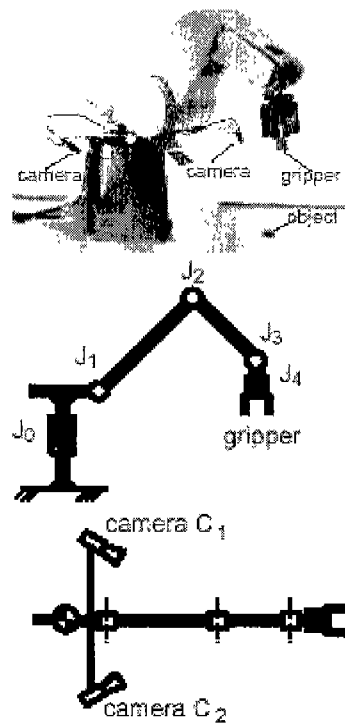


Fig. 6 Intelligent manipulator, Bundeswehr Univ.



### 5.2 지능형 humanoid 로봇 시스템

대표적인 휴머노이드 프로젝트인 MIT의 Cog 프로젝트의 산물인 Cog는 인간과 인공지능의 다양한 연구를 위한 platform으로 제작되었다. 머리와 몸통 두 팔을 가지고, 인간과 같은 감각의 구현을 위하여 시각, 청각, 감촉 센서 등을 가지고 있다. 어린 생체체의 지능은 그 개체의 물리적인 구조와 이를 통한 환경과의 상호 작용으로부터 구현되고 변화한다는 관점에서 출발한 흥미로운 로봇으로 embodied intelligence의 대표적인 주창자인 Brooks에 의해서 연구가 진행되고 있다. 인간의 지능은 인간과 똑같은 형태의 로봇으로만 구현할 수 있다는 관점에서 인간의 모습을 충실히 모방하여 제작되었다. Cog의 지능은 사람과 비슷한 감각(perception)과 모터 동작을 통하여 실제 사람 사이에 또는 사람과 환경 사이에 일어나는 상호작용을 통한 학습을 통하여 정의되고 구현되도록 하고 있다. 이러한 실제적인 상호 작용의 중요성으로 인하여 시뮬레이션을 통한 연구를 지양하고 있기도 하다. Cog의 지능의 수준을 보면 사람의 눈과 비슷한 정도의 부드러운 눈 운동을 하며, 관심 대상의 움직임을 따라 시선을 집중할 수 있다. 또한 환경으로부터 사람의 얼굴과 눈동자를 구분해내며 사람의 머리 끄덕임을 흉내내기도 한다. 어린 아이들의 움직임처럼 손에 물체가 닿았을 때 놀라 뒤로 빠기도 하는 정도의 지능을 가지고 있다.

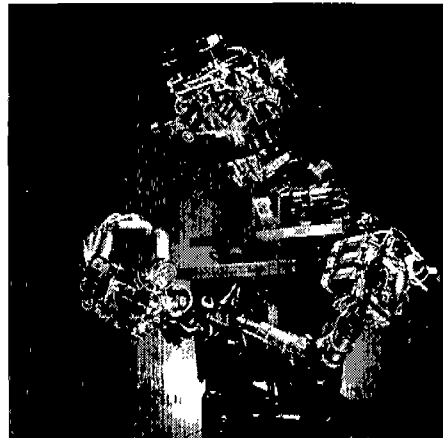


Fig. 7 Humanoid Cog, MIT

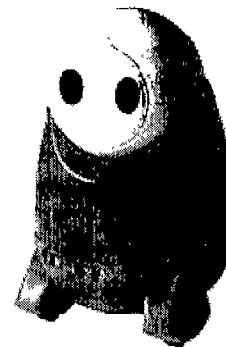


Fig. 8 R-100, NEC

### 5.3 지능형 entertainment 로봇 시스템

Entertainment 로봇은 일본을 중심으로 여러 종류가 발표 되었다. NEC가 발표한 달걀 모양의 로봇 R-100은 유명한 Sony의 AIBO와 더불어 상당한 수준의 지능형 로봇 시스템으로 평가 된다. 바퀴로 움직이는 이 로봇은 전자우편을 주고받을 수 있고 자기도 하고 집안을 번덕스럽게 돌아다니다 사람을 발견하면 이야기를 한다. 가족의 얼굴을 외우고 일본어 수백 개 수준의 간단한 회화도 가능하다. 감정표현도 풍부하여 상대에 따라 반응한다. 말로 지시하면 TV와 에어컨 스위치를 켜주고, 집을 비울 때는 가족에게 말도 전해주는 로봇이다. 마치 가족이 한 사람 늘어난 것처럼 느껴질 정도의 지능을 갖추고 있다.

## 6. 결론

로봇 시스템이 예측 불가능한 환경에의 적응, 자율적인 동작, 다중 임무의 수행을 위한 범용 로봇이 되기 위해서는 지능화가 필수적인 요소이다. 지능화는 계층적인 분석적 방식과, 반사적인 방식, 분산 지능 등의 여러 가지 방식으로 구현되고 있으며, 로봇 시스템의 지능화는 로봇 몸체에 구현할 수 있는 컴퓨터의 능력과 센서 시스템에 의해 크게 영향을 받는다. 현재 로봇 산업은 공장의 생산 라인 외에 서비스 분야나, 가정용 등 다양한 환경에의 적용이 폭발적으로 증가하고 있다. 이들 새로운 응용의

성패는 바로 로봇 시스템의 지능화의 수준에 달려있다.

### 참고 문헌

1. K. P. Valavanis and G. N. Saridis, Intelligent Robotic Systems : Theory, Design and Applications, Kluwer Academic Publishers, MA, 1992.
2. P. C-Y. Sheu, Q. Xue, Intelligent Robotic Planning Systems, World Scientific Publishing, New Jersey, 1993.
3. Ronald C. Arkin, Behavior-Based Robotics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1998.
4. Rolf Pfeifer and Christian Scheier, Understanding Intelligence, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.
5. G. Weiss, Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.
6. H.R. Everett, Sensors for mobile Robots, AK Peters, Ltd., Wellesley, MA, 1995.
7. Hans Moravec, Robot: Mere Machine to Transcendent Mind. Oxford University Press, Oxford, New York, 1999.
8. A. Halme, P. Jakubik, T. Schönberg, and M. Vainio, The Concept of Robot Society and its Utilization, Proceedings of the IEEE International Workshop on Advanced Robotics, Tsukuba, Japan, 1993.