

생체 모방 지능 로봇 기술

오 상 록*, 유 범 재**

(*한국과학기술연구원 지능제어연구센터 생체모방시스템국가지정연구실)

1. 서 론

생체기반 감각제어 기술은 다양한 메카트로닉 시스템에 적용되는 정보산업 분야의 핵심 요소기술 중 하나로 떠오르고 있는 분야로서 선진국에서도 기술의 도입 단계에 있고 국내에서는 몇몇 대학을 중심으로 기술의 도입을 검토하고 있는 단계에 있는 분야이다. 메카트로닉 시스템의 효율적인 구현과 제어 방식의 해답을 기존의 자연에 존재하는 생명체로부터 찾을 수 있다는 전략을 기반으로 하고 있는 이 기술은 생명체의 지각능력, 변화하는 환경에의 대응 능력, 작업 수행의 효율성 및 신뢰성 등을 메카트로닉 시스템 제어에 접목시키기 위한 제반 기술을 칭한다. 이 기술은 애완용 로봇, 첨단 자동차, 무인 정찰기, 무인 잠수정, 감시 로봇, 지뢰 제거 로봇, 무인 탐사 로봇, 재활 메카트로닉스 등 변화하는 환경에 적극적으로 대응하며 주어진 작업을 자율적으로 수행하는 다양한 메카트로닉 시스템에 응용될 수 있으며, 그 응용 대상을 통칭하여 지능형 에이전트라고 부를 수 있다.

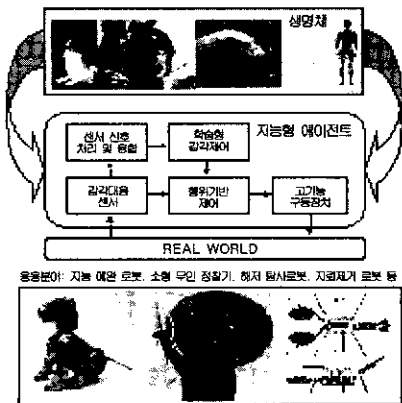
생체의 모방 연구는 크게 두 가지의 측면을 목표로 하여 진행되고 있다. 첫 번째는 생체 시스템의 기계적인 메커니즘의 형태와 동작 원리

를 모방하는 분야이고, 다른 하나는 생명체의 지능에 해당하는 부분을 연구하는 분야로서 생명체의 판단과 그에 따른 행동 양태의 원리를 이해하고 모방하려는 것이 그 목표이다. 지능형 에이전트 시스템에서 핵심적인 기술 내용을 구체적으로 그림 1에 도시하였다. 기계적인 생체 메커니즘의 모방 기술로서 고기능 메커니즘 기술, 지능 생명체의 감각 대응 센서 기술 등이 있고, 생명체의 지능을 모방·구현하기 위한 분야로서 센서 신호처리 및 융합 기술, 학습형 감각제어 기술, 행위기반 제어 기술 등의 연구가 진행중이다. 본문에서 생체모방 시스템의 대표적인 성공적인 예를 소개하고, 몇 가지의 생체 메커니즘 모방 기술과 생명체의 지능을 구현하기 위한 기술들을 기술하였다. 특히 생체의 지능을 모방하는 지능제어 부분을 자세히 소개하였다.

2. 생체 모방 시스템의 연구 사례

2.1 미국 NASA JPL(Uet Propulsion Lab.)의 Sojourner Rover(Mars Pathfinder)

1997년 7월 화성에 착륙한 Sojourner Rover는 기초적인 행위기반 제어방식으로 비구조적 환경 하에서 주행 및 장애물 회피 등의 기능을 성공적으로 수행한 바 있다. 감각 센서로는 전통적인 시각 센서



*그림 1. 생체기반 감각제어의 핵심 기술 및 응용 분야

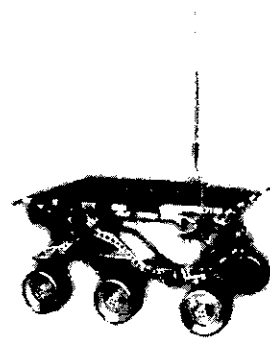


그림 2. Sojourner Rover, NASA JPL

인 Camera와 Laser Range Finder를 사용하였다. 이후 Rocky-7 등 후속의 화성탐사 로봇에서도 하등 동물의 행위를 모방한 제어 방법이 보완 적용되고 있다.

2.2 일본 Sony사의 애완견 로봇 AIBO

일본 Sony사에서는 1999년 6월 1일 강아지의 행위를 그대로 재현해 놓은 듯한 애완견 로봇 AIBO를 한정량 400대를 주문에 의해 시판했고 보름이 안되어 모두 품절된 바 있다. 1997년 발표된 prototype과 AIBO 제품설명서에서 보면 칼라 카메라와 적외선 거리 센서, 머리부분에 접촉센서를 달아, 센서에 의한 정보 변화에 따라 자율적인 행위를 조절하는 초보적인 단계의 행위기반 제어 방식을 구현해 놓고 있다.

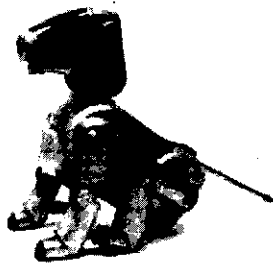


그림 3. AIBO, Sony.

2.3 일본 이화학 연구소의 Biomimetic Control Research Center (Nagoya)

일본 이화학 연구소의 New Frontier Program의 일환으로 생체 모방 제어기술 개발이 나고야의 Biomimetic Control Research Center를 중심으로 현재 진행되고 있다. 신경회로 기술, 신경 시스템 유전자 기술, 생체모방 센서시스템 기술, 생체모방 제어시스템 기술 등 4가지 기술 분야를 나누어 연구를 진행하고 있다.

2.4 미국 DARPA의 Controlled Biological Systems Program

1998년 미국 DARPA에서 Controlled Biological Systems이라는 새로운 연구 개발 프로그램을 시작한바 있는데, 주로 국가 및 사회 방위를 위하여 미지 환경에서 화생방 무기나 미폭발 병기에 대한 정보를 입수하는데 생체의 원리를 이용하고자 하는 것을 목적으로 하고 있다. 연구는 Animals Systems, Biological Interfaces, Biomimetics 등 세 개 분야로 나누어 진행되고 있으며, 분야별로 5-6개의 대학 및 산업체가 세부과제를 나누어 진행하고 있다. 본 과제와 관련된 주요 연구기관 및 연구내용을 살펴보면 다음과 같다.

- Univ. of Michigan: Computational Neuromechanics
- Northwestern Univ.: 생체모방 underwater robots
- Univ. of California at Berkeley: 생체모방 비행제어
- IS ROBOTICS: Climbing Gecko Robot

2.5 국내 한국과학기술원의 뇌연구사업

1998년부터 과학기술부에서 시행하는 뇌연구개발사업은 인간의 시

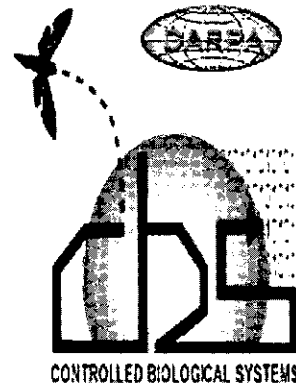


그림 4. Controlled Biological Systems, DARPA

각, 청각, 추론 및 행동의 4가지 기능의 메커니즘 모델링 및 응용기술개발을 목표로 하고 있다.

3. 생체 모방 메커니즘 연구

생명체의 메커니즘을 로봇을 비롯한 메카트로닉 시스템에 적용하는 연구는 움직임의 기본이 되는 구성 요소인 구동기(actuator)의 구조에서부터, 최종적인 동물의 역동적인 움직임 방식까지 다양한 수준에서 연구가 진행되고 있다. 또한 로봇의 판단의 물리적인 핵심 장치인 센서를 동물의 감각기관의 구성 원리를 빌어 구현하고자 하는 시도가 활발히 일어나고 있다. 본 장에서는 이러한 생체 모방 메커니즘의 연구의 사례를 통해 그 내용을 살펴보고자 한다.

3.1 모터에서 근육으로

이제까지의 전통적인 로봇의 거의 전부는 구동기로서 각종 규격과 방식의 모터를 사용하였다. 현재도 이 추세는 여전히다. 산업용 로봇에서부터 애완용 로봇에 이르기까지 최종적인 로봇의 움직임의 형태나 세기가 다르다고 할지라도 구동력은 대부분의 경우 근본적으로는 모터의 회전력에 의한 것이다. 그러나 생명체에서는 이러한 회전력을 기본으로 하는 구동장치보다는 근육의 작용이 주종을 이루고 있음을 알 수 있다. 여기에 착안하여 구동장치를 생명체의 근육의 형태로 구현하고자 하는 연구가 수행되고 있다. 이러한 연구의 대표적인 예가 영국 Salford 대학의 공압식 근육을 로봇의 팔과 다리에 적용하는 연구이다. 공압 근육(Air Muscle)은 작고 가벼우며 사용하기 쉬운 강력한 액츄에이터이다. 고무튜브를 고강성의 플라스틱 그물망이 감싸고 있는 구조로서 공기의 압력을 높이면 근육이 수축되고 공기의 압력을 낮추면 이완되는 형식으로 인간의 근육 운동형태와 유사하게 동작한다. 공압 근육은 중량대 파워비가 400:1로 일반 공압 실린더나 DC 모터의 16:1 에 비하여 매우 크다. 동작의 측면에서도 부드럽



그림 5. 공압식 인공 근육

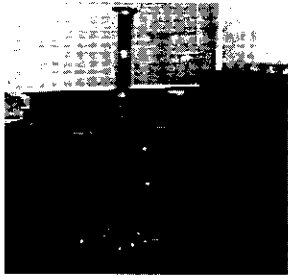


그림 6. 'Salford lady', Salford Univ.

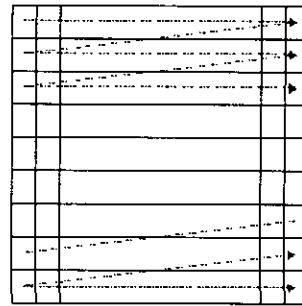
럽게 동작하며 제어가 쉬운 장점을 가지고 있다. 1982년 개발된 이래로 꾸준히 개량되어 왔으며 현재 로봇의 구동기로 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 로봇에 적용될 경우 부드러운 움직임은 물론 모터보다 자유로운 움직임과 함께 강력한 구동력을 구현하는데 큰 도움을 줄 수 있다. 영국 Salford 대학의 Telford Institute of Cybernetics에서는 공압식 근육을 이용한 고성능의 3-자유도의 구동기 연구와 함께 2족 보행 로봇에 공압 근육을 적용하여 성공적인 보행 성능을 보여 주었다.

3.2 생체모방 센서-생체의 망막구조를 갖는 시각 센서

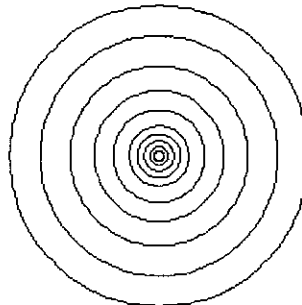
기존의 시각시스템 및 시각센서는 방송에서 사용되는 영상신호의 사양에 따라 Raster Scan 방식에 의해 최대 30 Hz의 속도로 영상을 획득하여 처리할 수 있었다. Raster Scan 방식은 그림 7 (a)에서 보는 바와 같이 화면의 좌측 상단에서 시작하여 우측 하단으로 순차적으로 영상을 주사하는 방식으로 CCD 카메라에서 영상 데이터를 받는 원리도 이와 동일하다. 그에 따라, 기존의 영상처리 시스템은 카메라로부터 영상 데이터를 순차적으로 받아 메모리에 저장한 후 영상을 처리하기 때문에 처리속도 및 영상처리 방법에 한계를 가지고 있어 응용분야가 많이 제한되어 있고 생체와 비교할 때 상대적으로 매우 낮은 수준의 처리능력을 보이고 있다. 최근, 디지털 카메라 기술이 발달하면서 최대 250 Hz까지 동작하는 카메라가 발표되었으나 정밀 시각검사 혹은 고속 측정 등의 특정분야에서 제한적으로 사용되고 있다.

반면에, 생체의 시각시스템은 망막을 통하여 일정한 영역에 해당하는 영상을 동시에 읽어들이며 뇌에서 처리하고 해석하는 것으로 알려져 있다. 즉, 많은 화소로 구성되는 영상 데이터를 순차적으로 읽어들이는 것이 아니라 많은 화소에 대한 데이터를 동시에 읽어들이고 처리하는 것이다. 인간의 관점에서 볼 때 영상을 연속적으로 읽어들이고 처리하는 것으로 판단된다. 또한, 구조적인 관점에서 볼 때 생체의 눈은 응시(Vergence) 능력이 탁월하여 대상 물체가 망막의 중심에 맞히게 한 후 그림 (b)와 같이 중심부에서는 고해상도의 영상 데이터를 읽어들이고 외곽으로 나가면서 상대적으로 해상도가 낮은 영상 데이터를 받아들이도록 되어있어서 모든 영역에 대해 일정한 해상도로 영상을 읽어들이는 카메라와는 구분된다.

이러한 구조는 관심영역에 영상처리 및 판단 능력을 집중시킴으로써 처리해야 할 영상 데이터의 양을 줄이고 처리시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 한편, 영상을 읽어들이는 후의 영상처리 관점에서 보면 망막에 맺힌 영상이 뉴런이 그물처럼 연결된 시신경에 투영된 후 뇌신경에 전달되는데 이 과정에서 영상 특징들에 대한 정보를 획득하게 된다. 이는 개념적으로 영상을 받아들이면서 병



(a) 기존의 Raster Scan 방식의 시각 센서



(b) 생체기반 방사형 시각 센서의 개념

그림 7. 시각 센서의 영상 데이터 획득 및 처리 방식 비교

렬 처리를 통하여 영상 특징들을 추출하는 것으로 영상을 메모리에 저장하고 순차적으로 읽어 처리하는 기존의 시각시스템과 구분된다. 따라서 이 방식으로 기존의 카메라 및 영상처리 시스템의 여러 가지 단점들을 극복할 수 있으며, 생체의 망막시스템을 기반으로 화소별로 영상을 읽어들이 수 있는 방사형 시각센서와 뉴런과 같이 영상을 처리할 수 있는 병렬처리형 영상처리 시스템의 개발이 필요하다.

3.3 생체모방 센서-생체의 피부를 모방한 인공 피부센서

생체와 같은 부드러운 운동을 구현하기 위하여 산업용 로봇에서는 손목에 6 자유도의 Force-Torque 센서를 장착하여 생체와 유사한 Compliance Control을 시도하고 있고, 산업용 로봇에 다수의 손가락을 갖는 손을 장착하여 물건을 잡는 경우 물건과 손가락 특정부분 사이의 접촉과 압력을 감지할 수 있는 간단한 센서를 손끝에 장착하여 사용하고 있다. 또한, 최근에 피부를 모방하여 접촉 여부, 접촉 압력 및 순간적인 미끄러짐을 감지할 수 있는 센서가 개발되었다.

4. 생체 모방 지능 제어

지금까지 다양한 산업 현장에서 많이 사용되어 오고 있던 메카트로닉 시스템에서의 제어 문제에서는 거의 대부분 대상물체의 수학적 모델이나 주변 환경의 기하학적 world 모델을 기반으로 복잡한 절차적 추론을 거쳐 제어 행위를 결정하게 되므로, 고정된 환경에서의 단순 반복작업을 수행하는데 시스템의 응용이 국한될 수밖에 없었다. 그러나, 최근 무인 자동차, 무인 정찰기, 서비스 로봇, 의료 보조기, 농업용 기기, 수중 작업용 로봇, 대화형 연구 로봇 등 변화하는 환경에 적극적으로 대응하면서 주어진 작업을 수행하는 메카트로닉 시스템의

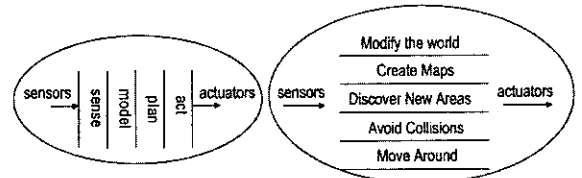
수요가 급증함에 따라, 생명체에서의 제어 기능을 모방한 새로운 패러다임의 제어 방식이 요구되고 있다. 로봇이 처하게 될 다양하고 수시로 변화하는 환경을 설계자의 예측에 의하여 치밀하게 설계하는 기존의 제어방식과는 다른 새로운 형태의 제어 시스템의 요구는 반사적인 제어방식(reactive control)을 하나의 해법으로 제시하고 있다. 로봇이 처하게 되는 환경 대부분이 수학적 모델링이 불가능하거나 부정확할 수밖에 없으므로 이에 근거한 고전적 제어 방법으로는 시스템의 효과적인 제어가 어렵다. 이의 대안으로 제시하는 새로운 제어 방법은 곤충이나 동물 등의 생체 시스템에서 볼 수 있는 반사제어 방식을 근간으로 하는 자율제어 기능이다. 이 방식은 개미와 같은 하등동물이 중추신경계 없이도 복잡한 행동 양식을 취하면서 변화하는 환경에 적응하며 살아가는 데에서 착안한 것으로 최근 제어분야에서 집중적으로 연구되고 있는 분야로서 기존의 수학적인 모델을 기반으로 한 제어방식이 갖고 있는 비유적인 측면과 한계를 극복하고 새로운 차원의 제어 패러다임으로 자리잡아가고 있다.

4.1 생체 모방 반사 제어 방식

전통적인 AI에서의 deliberative planning에 기반을 둔 제어 방식은 센서와 구동기 부분이 비교적 간단한 형태로 구성된다. 이 시스템은 그림 8 (a)에서와 같이 sense-model-plan-act의 단계에 따라 동작하게 된다. 이 방식에서는 sensing 부분과 planning 부분, action 부분이 서로 그다지 밀접한 상호 작용을 하지 않는다. Sensing 부분은 단순히 정보만을 감지하여 planning 부에 넘겨주는 역할만을 하고, 나머지의 일체의 일은 planning부분에 맡긴다. Action 부분 역시 단순히 planning 부분에서 보내온 명령대로 주어진 행동을 수행할 뿐이다. 이와는 반대로 behavior-based 방식으로 대표되는 reactive algorithm에서는 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 제어한다.

Deliberative planning의 단점은 환경 변화에 민감하게 반응하는 약점을 가지고 있다. 이 방식은 주변 환경의 수학적인 모델링을 필수적으로 가지기 때문에 주변 환경에 대한 불완전한 지식에서 오는 자율제어 시스템의 문제점을 필연적으로 가지게 된다. 또한 불완전한 sensing 정보를 수학적인 모델링이라는 한 단계의 가공과정을 더 거치기 때문에 정확도는 더욱 떨어지게 된다. 모델링에서 오는 단점은 이 외에도 시스템이 복잡하게 되고, 따라서 비용이 증가하며, 가장 중요한 요인으로 복잡한 software적인 계산 과정을 거쳐야 하므로 응답시간이 길다는 것이다. 복잡한 중앙 집중식 planner는 시스템의 안정성 측면에서도 단점을 가지고 있다. 중앙의 planner의 고장은 전체 모든 시스템의 전면적인 오동작을 초래하기 때문이다. 반면에 reactive 방식은 수학적인 모델링의 과정을 거치지 않으므로 불확실한 모델링에서 비롯되는 문제점이 없으며, 시스템이 간단하다. 각 sensory-motor부분은 분산되어 구성되므로 시스템의 설계나 구현시에 모듈화하여 만들 수 있고, 원하는 기능을 간단히 첨가할 수도 있다. Reactive 방식은 근본적으로 분산처리 시스템이

므로 부분적인 시스템의 고장이 전체적인 고장을 의미하지도 않는다. 가장 중요한 특징으로는 계산량이 극히 적으므로 주어진 정보에 대한 즉각적인 출력이 가능하다는 것이다. 이 특징은 시스템 자체의 고속 동작은 물론, 시시각각 동적으로 빠르게 변화하는 환경에서 동작하는 시스템에는 필수적으로 요구되는 성질이다. 이러한 reactive control 방식은 곤충 등의 생물체의 행동 분석에서도 자주 보여지는 방법으로 시스템의 목표에 따라서 효율적인 제어 방식이 될 수 있다. 다음에서



(a) Conventional sense-plan-act paradigm
(b) New behavior-based paradigm
그림 8. 지능 로봇 시스템의 제어 패러다임 변화

4.2 Subsumption architecture

1980년대 말 미국 MIT Artificial Intelligence Lab.에서는 Brooks의 subsumption architecture로 대변되는 지능 로봇 시스템의 제어 구조에 대한 패러다임의 변화를 주창했다. 이전의 로봇 제어 시스템에서는 센서 신호처리, 모델링, planning, 액츄에이터 구동 등 일련의 과정이 순차적으로 이루어져 환경 변화에 신속한 대응이 어렵고 어느 한 부분의 작은 오류가 전체 시스템의 이상을 초래하는 경우가 많았다. 이러한 기존의 제어 방식을 바꾸어 센서와 액츄

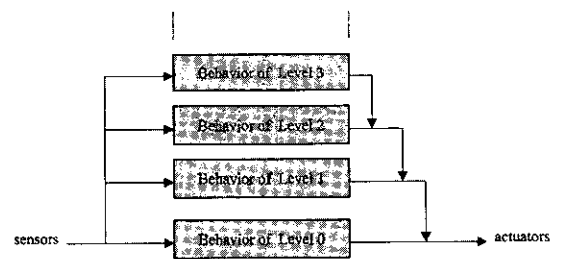


그림 9. The subsumption architecture

에이터 간에 tight coupling이 존재하도록 로봇의 행위를 분류하고 이들을 수평적/병렬형으로 배치하면서 상반되는 액츄에이터로의 행위를 포섭(subsumption)과 회피(inhibition)의 두 방법으로 중재하는 행위기반 subsumption 제어 구조를 제안하였다. 이 새로운 패러다임의 제어 방식은 수학적 혹은 추상적인 모델링 과정과 부가적인 중앙 판단 장치 없이도 오로지 센서의 입력을 바탕으로 반사적인 행동을 취하는 방식 만으로도 복잡한 행동 양식을 취하면서 변화하는 환경에 적응하며 살아갈 수 있는 지능 로봇의 제어구조로서 이후 지능형 에이전트의 필수 불가결한 제어 방식인 행위기반 제어의 효시가 되었다.

4.3 Motor schema

Motor schema는 Arkin에 의해 알려진 방식으로 생물체의 신경

전달 구조에서 착안한 제어 방식으로 로봇의 행위의 기본 단위로 motor schema들을 정의하고 이 들을 조합하여 보다 복잡한 형태의 행위를 구성할 수 있으며, 각각의 motor schema는 주변의 환경을 감지하는 모듈(perceptual schema)과 주어진 정보를 처리하여 최종단의 action을 수행하도록 하는 명령을 만드는 모듈(motor schema)로 구성된다. 각각의 motor schema는 로봇의 임무를 위한 고유의 역할을 수행하며, 그 입력은 자신의 역할에 필요한 정보만을 주위에서 취하는 action-oriented perception이고, 출력 역시 각각의 해당되는 구동기를 제어하는 명령이 된다. Motor schema는 neural network에 비교하여 보다 큰 범위에서 로봇의 행위를 encoding하는 수단을 제공한다. Motor schema들은 각 자가 독립된 개체로서 동시에 임무를 수행하며, 서로 협동하거나 경쟁한다. 따라서 이는 분산처리 구조에 곧바로 도입될 수 있는 개념이다. 각 schema의 출력은 그림 10에서 보는 바와 같이 vector sum의 형태로 취합되어 최종적인 로봇의 행동을 결정하게 된다. 예로서 자율주행을 위한 motor schema 제어 방식에 대하여 알아보자. 이동 로봇의 자율주행을 위한 motor schema module로서 다음과 같은 behavior들을 정의한다.

- Schema-manager schema : 주행 중 각 단계에서 필요한 schema만을 개체화시킴.
- Move-Robot schema : 각 schema들의 출력 vector를 합산하여 로봇이 이동한 다음 단계의 최종 출력 vector를 출력.
- Find-obstacle schema : 로봇의 현재 위치에서 지정된 일정 환경내의 장애물 존재 여부를 검색

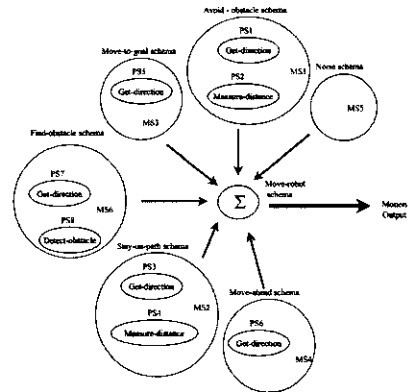


그림 10. Schema-based navigation system

그림 10의 Motor schema를 기본 동작 단위로 하는 자율 주행 알고리즘은 구체적으로 다음과 같이 schema들을 운용함으로써 이루어진다.

1. Find-obstacle schema에 의한 진행 방향의 장애물 존재 여부 검색
2. Schema-manager schema에 의한 필요 schema의 개체화
3. 개체화된 schema에 의한 vector force 생성
4. Move-robot schema에 의한 최종 vector force 출력

위의 동작 순서에서 2, 3, 4.번에서 볼 수 있듯이 다음 단계의 동작을 위한 출력 vector는 모든 관련 schema들의 vector합으로 결정된다. 이 때 합쳐지는 모든 속도 vector들은 각 상황마다 중요도에 따라 자동적으로 그 크기가 weight를 가지도록 되어 있어 각 상황에서 가장 필요한 동작을 많이 반영되도록 control이 되도록 설계되었다. 예를 들면 주위에 장애물이 없을 때는 목표점인 goal을 찾아가는 Move_to_goal schema가 가장 큰 역할을 하다가 장애물이 나타나면 그 역할이 줄고 대신 Avoid_obstacle schema가 중요 역할을 하게 되어 장애물을 회피하게 된다. 이 때도 물론 다른 schema들도 모두 역할을 포기하지 않고 상대적으로 작은 weight를 가지고 역할을 계속하기 때문에 로봇은 단순히 장애물만을 피하지 않고, goal을 향해 주행하는 역할도 계속 수행하게 되는 지능적인 주행이 가능하다.

위의 예에서 볼 수 있듯이 사람의 언어나 수학과 같은 추상적인 모델링과 계획없이도 어떤 핵심되는 행위의 조절 전략만 있다면 로봇의 지능이 구현이 가능하다. 이는 모든 동물의 행동이 꼭 고도의 처리 단계를 거친 사고의 결과가 아니라라도 지능적으로 생존해가고 있음을 이용한 좋은 예라 할 수 있다. 이러한 방식을 취함으로써 간단한 설계 방식, 적은 계산량, 빠른 응답특성, 적응성 등의 제어 구조에서의 여러 가지 요구사항을 적은 비용으로 만족시킬 수가 있다.

- Move-ahead schema : 일정방향으로 전진하게 함.

$$\vec{V}_{ahead} = G_{ahead} \frac{\vec{Goal} - \vec{Start}}{|\vec{Goal} - \vec{Start}|}$$

- Move-to-goal schema : 모든 지점에서 목표점을 향하게 하는 속도 성분 발생

$$\vec{V}_{goal} = G_{goal} \frac{\vec{Goal} - \vec{Position}}{|\vec{Goal} - \vec{Position}|}$$

- Avoid-obstacle schema : 장애물로부터 반발력을 발생

$$|V| = \begin{cases} 0 & \text{for } d > s \\ \frac{S-d}{(D-R)} G_{obst} & \text{for } R < d \leq S \\ \infty & \text{for } d \leq R \end{cases}$$

- Stay-on-path schema : 경로를 가운데의 채널로 유도하여 최적의 주행 경로를 찾게 함.

$$|V| = \begin{cases} P & \text{for } d > (W/2) \\ \frac{d}{(W/2)} G_{path} & \text{for } d \leq W/2 \end{cases}$$

- Noise schema : Local minima를 극복하기 위한 random noise force 발생.

$$|V| = G_{noise}$$

국내에서도 한국과학기술연구원(KIST)을 비롯한 여러 기관에서 새로운 행위기반 로봇 제어 구조의 개발과 함께 이의 적용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

4.4 학습형 행위기반 제어 기술

생명체의 행위는 하등 동물에서 조차 반복을 통해 학습된다. 이러한 개념을 지능형 에이전트에 접목시키고자 하는 연구가 시도되고 있다. 신경망을 통한 학습 이론과 reinforcement learning 이론 등을 행위기반 제어기술에 접목시켜 스스로 경험을 통하여 보다 세련된 행동을 하고, 진화하는 생명체의 특성을 구현할 수 있을 것이다.

5. 결론 및 향후 전망

생체의 물리적인 메카니즘의 구현은 기존의 기계적인 형태의 메카니즘의 성능의 한계를 극복하고 보다 섬세하고 지능적인 로봇의 움직임과 감각을 위한 물리적인 수단을 제공할 수 있는 하나의 대안으로 자리잡을 것이다. 또한 추상적인 인지(cognition)와 거대한 정보처리 요구로 인한 기존의 인공지능의 구현상의 어려움으로 인하여 생체 메카니즘을 모방한 제어 기술은 로봇의 요구되는 지능의 수준에 맞게 다양한 제어 방식이 모방되어 그 적용 영역을 넓혀갈 것으로 보인다. 산업용 로봇 분야는 명백히 정해진 동작 환경의 영향으로 여전히 기존의 고전적인 제어 방식에 많이 의존할 것이다. 최근 들어 활발히 거론되는 인간 친화형 서비스 로봇, 홈 로봇, 애완 로봇 등의 분야에서는 생체 모방 제어 기술의 응용이 급속도로 확대될 것으로 보인다.

참고문헌

[1] Ronald C. Arkin, *Behavior-Based Robotics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1998

[2] Rodney A. Brooks, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-2, No. 1, pp. 14-23, 1986.

[3] Rodney A. Brooks, "Intelligence without Representation," *Artificial Intelligence* 47, pp. 139-159, 1991.

[4] Y.J. Cho, J.M. Park, J. Park, S.R. Oh, C.W. Lee, "A Control Architecture to Achieve Manipulation Task Goals for a Humanoid Robot," Accepted for Publication in Proc. of Int'l Conf. on Robotics and Automation, Leuven, Belgium, May 1998

[5] D.-H. Hwang, Z. Bien, and S.-R. Oh, "A Note on Iterative Learning Control Method for Discrete-Time Dynamic System," *IEE Proceeding, Part D*, Vol. 138, No. 2, March, 1991

[6] D.-H. Hwang, Z. Bien, and S.-R. Oh, "A Non-Linear Iterative Learning Method for Robot Path Control," *ROBOTICA*, Vol. 9, 1991

[7] M. Hwangbo, B. -J. You, S. -R. Oh and C. W. Lee, "Design and Redundant Motion Control of Active Stereo Head-Eye System with Vergence," *IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN'98)*, 1998

[8] A. Lush, J. Rowland and M. Wilson, "Characteristics of Robot Behaviour", *Advanced Robotics & Intelligent Machines, IEE*

Control Engineering Series 51, Chapter 18, pp. 281-293, 1996.

[9] Y. Jeon, J. Park, I. Song, Y.J. Cho, and S.R. Oh, "An Object-Oriented Implementation of Behavior-Based Control Architecture," Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, Vol.1, pp.706-711, Minneapolis, Minnesota, U.S.A., Apr. 22-28, 1996

[10] M.-S. Lim, S.D Lee, J.H. Lim, Y.J. Cho, "The Dynamic Path-Following Using the Path-Observer for Wheeled Mobile Robots," Proc. of the World Automation Conference, Alaska, USA, May 1998

[11] David McFarland and Thomas Bosser, *Intelligent Behavior in Animals and Robots*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1993

[12] S.-R. Oh, Z. Bien, and I. H. Suh, "An Iterative Learning Control Method with Application for the Robot Manipulator," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol.4, No.5, October, 1988

[13] S.-R. Oh, Z. Bien, and I. H. Suh, "A Model Algorithmic Learning Method for 34 R.G. Simmons, "Structured Control for Autonomous Robots", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 1, pp. 34-43, 1994.

[14] Arkin, R.C. "Behavior-Based Robot Navigation for Extended Domains," *Adaptive Behavior*, Vol. 1, No. 2, pp.201-225.

[15] Arkin, R.C. "Towards Cosmopolitan Robots: Intelligent Navigation in Extended Man-Made Environments," Ph.D. Dissertation, COINS Technical Report 87-80, University of Massachusetts, Dept. of Computer and Information Science, pp.39-75

[16] Paolo Pifjanian, "An Overview of System Architectures for Action Selection in Mobile Robotics", Laboratory of Image Analysis, Aalborg Univ. 1997.

저자 소개



오 상 륙 (吳尙錄)

1980년 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업.
1982년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 졸업(공학). 1988년 ~ 현재 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 책임연구원. 관심분야는 로봇의 지능제어, 이동 매니플레이터의 동작제어, 로봇 손 제어.



유 범 재 (劉凡材)

1985년 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업. 1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(공학). 1991년 ~ 1994년 (주)터보테크 근무. 1994년 ~ 현재 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 책임연구원. 관심분야는 시각(센서) 기반 제어, 고속 영상처리 및 영상 추적, 신호처리소자 기반 고속 영상처리시스템.