

□ 특별기고 □

행동에 기반한 인공지능의 접근방식[†]

연세대학교 조성배*

1. 들어가는 말

최근 인공지능(AI)의 주변에는 신경망, 퍼지 이론, 카오스, 유전자 알고리즘(GA), 그리고 인공생명등 새로운 분야가 잇따라 등장하고 있다. 아무리 새롭고 괴상한 것을 좋아하는 사람이라도 이렇게 많이 나오면 따라가는 것만도 힘이 벅찰 것이다. 일찌기 모태가 되는 AI 자체가 다소 괴상한 분야의 대표이긴 하였지만, 이러한 신흥세력에 둘러싸여 있는 것을 보면 상대적으로 건전한 분야로 보이기까지 한다.

그런데 밖에서 활발하고 있는 것들은 모두 괴상한 것뿐이고 AI는 정말로 건전하게 되어 버린 것인가. 건전한 AI라 하면 문체부 추천의 영화처럼 따분해진 것인가. 유감스럽게도 1980년대 AI의 붐이후 건전노선을 따르는 분위기는 사실이지만, 여전히 괴상하고 매력적인 노선도 몇가지 남아있다. 그 하나가 “이러니 저러니 말만 하고 작동하지 않는다면 깡이다”라는 노선이다. (또다른 하나는 “크고 빠르면 역시 기쁘지 아니한가” 노선으로, 거대한 데이터 베이스를 만들고 그것을 고속으로 처리함으로써 지능 시스템을 구축하고자 하는 것이다. 대규모 지식베이스라든가 초병렬 AI가 이 노선에 속한다.) 이 노선은 아주 정교하지는 않아도 그런대로 작동하는 시스템을 만들고, 그것을 조금씩 정교하게 해가자는 것이다. 종래의 AI가 사고에 치우쳐 있었다는 반성을 기반으로 행동을 중시하고자 하는 것이다. 이 글에서

는 이 노선의 대표적인 “행동에 기반한 인공지능”의 접근방식에 대하여 소개한다.

2. 물리기반 가설

애초에 AI라는 것이 무엇이었나 생각해 보자. AI는 공학적으로 말하자면 인공적으로 지능을 실현하기 위한, 또는 지능적 시스템을 만들기 위한 방법론을 제공하는 것이다. 또한 과학적으로 말하자면 인공적으로 지능을 구성하는 과정을 통하여 지능이라는 것이 무엇인가를 탐구하는 것이다. 이와 같이 개괄적인 목표만 정하고 구체적으로 무엇을 어떻게 할 것인가에 대해서는 컴퓨터를 도구로 사용한다는 것 정도이며(경우에 따라서는 다른 도구를 사용할 수도 있음) 그 이후는 완전히 자유에 맡긴다.

하지만, 암암리에 대략적인 연구방침은 결정되어 있다고 할 수 있다. 그것을 명확하게 말하고 있는 것이 Newell과 Simon[1]인데, 그 방침은 기호계 가설(symbol system hypothesis)이라고 불리는 것이다. 기호계라는 것은 기호의 집합으로 구성되어 기호 상에서 구조가 결정되고 그 기호구조를 처리하는 장치가 존재하는 시스템이다. 추상적으로 설명하면 무엇인지 알기 어려울지 모르지만, 예를 들면 Lisp이나 Prolog 등의 처리계가 컴퓨터 상에 탑재되어 있는 상태를 말한다고 생각하면 된다. 기호계 가설을 정리하면 다음과 같다.

- 기호계는 지능적인 작동을 하기 위해 필요 충분한 도구이다.

심하게 말하면 AI의 연구는 Lisp이나 Prolog로 컴퓨터 상에 프로그램을 작성하는 것으로

[†] 이 원고는 1994년 1월 Bit에 게재된 松原仁의 “행동은 사고보다 우수한가?”에 근거함.

* 중신회원

충분하다는 것이 된다. 이것은 어디까지나 가설이지만, 의식하고 있던 앞단간에 AI는 이 가설을 기반으로 연구가 진행되어 왔다. 이 가설을 채용하면 다음의 연구방향이 결정된다.

- 컴퓨터 안에서 기호를 조작한다.
- 지식을 기호로써 명시적으로 표현한다.

이것에 반대하여 MIT의 Brooks는 물리기반 가설(physical grounding hypothesis)을 내세웠다[2]. 이것은,

- 지능을 갖는 시스템을 만들기 위해서는 물리세계에 근거를 둔 것이 아니면 안된다.

라는 것이다. 컴퓨터로 가능한 것은 만능 튜링 머신의 레벨로 정해져 있기 때문에, 기호계 가설과 물리기반 가설 간에 원리적으로 능력의 차이는 없다. 그러나, 실제로 AI 연구를 수행한다는 차원에서는 상당한 차이가 있다. 종래 AI의 분류인 기호계 가설에 기반하면, 외계로부터 정보가 일단 입력되면, 외계와의 관계는 어쨌든 단절되고 컴퓨터 안에서 기호를 처리하는 것에 전념하며, 결과가 나오면 그것을 외계에 데이터로 출력하는 형태가 된다. 물리세계인 외계와 입력과 출력의 부분에서 접하고 있기는 하지만, 주요한 절차는 컴퓨터 안에서 기호 처리가 된다. 기호의 특징은 물리적 실체에 일단 기호를 대응시키면, 그 이후는 원래의 물리적 실체를 참조하지 않고 기호상에서의 조작으로 이야기를 진행시켜 나갈 수 있다는 것이다. 이것은 추상적인 절차를 가능하도록 하는데, 기호계의 장점이 되기도 하지만 단점이 될 수도 있다. 개미 한마리와 고래 1마리를 합하여 2마리가 된다는 식의 물리세계에서는 거의 의미없는 추론도 가능하게 되기 때문이다. 컴퓨터 안에서 추상적인 기호조작을 하고 있으면, 원래 그것이 대응하고 있던 물리적 실체와 유리될 위험이 있다. “말만 많고 행동이 따르지 않는” 몽상가가 되어 현실적으로 도움이 되지 않게 되는 것이다.

Brooks는 종래의 AI가 아무리 해도 인공적인 지능을 실현할 수 없는 것은 기호계 가설이 잘못되었기 때문이라고 하고, 이제부터 새로운 AI(Nouvelle AI)는 물리기반 가설에 근거하여야 한다고 주장하였다. 그것이 행동에 기반한 인공지능의 접근방식이다. 종래의 AI가 오로지

컴퓨터 안에서의 기호처리에 전심전력하고 있던 것에 반하여, 이 접근방식에서는 물리세계인 환경과의 상호작용을 중시한다[3]. 시스템은 그것만으로 독립하여 지능적인 것이 아니라, 시스템이 그 환경에 적절히 적응하고 있는 모습이 지능적인 것이다. 시스템의 움직임(행동)에 따라서 환경이 변화하고, 더 나아가 그 변화를 시스템이 받아들여 그것에 대한 움직임을 수행하는 피드백 루프가 성립되어 있지 않으면 안된다. 이를 위해서는 어쨌든 작동하지 않으면 안된다는 것이다.

지식을 기호로 명시적으로 표현하는 것은 지식획득 병목현상(knowledge acquisition bottleneck)이라고 불리는 문제를 야기시켜, 전문가시스템의 작성을 목표하는 지식공학에서 최대의 골치거리가 되고 있다. 인간 전문가는 전문지식을 반드시 기호로서 명시적으로 갖고 있지는 않으며, 의식조차 하지 않는 것도 있다. 도제제도에서 보고 흉내내는 중에 저절로 터득하는 전문지식도 많다. 이 병목현상도 기호계 가설을 받아들였던 것이 원인이다. 신경망이나 GA는 지식을 기호로서 명시적으로 표현하는 것에서 어느정도 벗어난 접근방식이다. 인간의 지능적 행동 중에도 지식이 명시적으로 표현되어 있지 않다고 생각되는 것이 많다. 예로서 잘 거론되는 것이 자전거 타기이다. 자전거 타는 방법을 문장으로 쓴다고 해도(물론 써있는 것도 실제로 존재할 수 있지만), 그것만으로도 태어나서 처음으로 자전거를 본 사람이 자전거를 타는 것은 무리일 것이다. 지능적으로 행동하는 것과 지식을 기호로써 명시적으로 갖는 것은 별개의 것이다.

종래 AI의 접근방식은 단번에 인간의 지능을 인공적으로 실현하는 것을 목표로 하고 있지만, 인간의 지능은 오랜 진화의 과정을 거쳐서 얻어진 것이다. 이것과 관련하여 종래 AI의 접근방식은 인간만을 특별하게 보아 그 지능을 대상으로 하는 경향이 강하지만, 동물도 어느 정도의 지능은 갖고 있어, 지능이란 것은 스펙트럼상에서 연속적으로 존재하는 것이라 할 수 있다. Brooks는 이 스펙트럼을 조금씩 진화시키는 형태로 인공적인 지능을 실현시키고자 하고 있다. 이와 같이 하면, 지능에 있어서 중요

한 것은 환경에 적절히 적응하여 행동하는 것이며, 사고는 인간 등 일부의 동물밖에 갖고 있지 않은 오히려 특수한 기능이다. 사고보다도 행동 쪽이 AI에 있어서 훨씬 중요하다고 할 수 있다. 사고만 하고 행동하지 않는 시스템보다 행동만하고 사고하지 않는 시스템 쪽이 보다 지능적일 수 있다. 이와 같이 사고에 대한 행동의 우위성을 주장하고 있는 Brooks가 IJCAI에서 Computer and Thought Award(컴퓨터와 사고 상)이라는 이름의 상을 수상한 것[4]은 재미있는 일이다(이 상은 우수한 신진 AI 연구자에게 수여된다).

3. 포섭 아키텍처

물리 기반 가설에 기반하여 AI 연구를 하기 위해서는 어떻게 해서든 실제로 작동되는 시스템을 만들어 보지 않으면 안된다. 이러한 의미에서 지능 로봇이 좋은 대상이 된다.

종래 지능 로봇의 접근방식은 그림 1과 같다. 센서(예를 들면 TV 카메라)로 외계의 정보를 얻는 감각계, 그 정보를 기반으로 행동의 계획을 세우는 사고계, 사고계의 지시에 따라서 실행기(예를 들면 로봇 팔)를 작동시키는 행동계라는 형태로 지능 로봇의 기능이 나뉘어져 있다. 지능 로봇의 외계정보는 모델(environment model)로서 세계의 계에 공통하는 형태로 저장되어 있다. 이 아키텍처는 기호계 가설에 기반한 것이다. 예를 들어 단순한 외계를 대상으로 해도 환경모델이 상당히 커지게 되어 그 위에서의 처리도 꽤 복잡한 것이 된다. 그 결과, 단순한 작업을 하는데도 시간이 소요되어, 문자 그대로 “말만 많고 행동이 따르지 않는”로봇이 되고 말았다. 또한, 노이즈나 외계의 작은 변화에도 따라갈 수 없는 허약한 로봇이 되고 말았다(노이즈나 외계의 변화에도 강한 것을 로버스트(robust)하다고

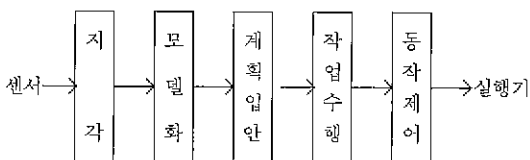


그림 1 종래의 아키텍처

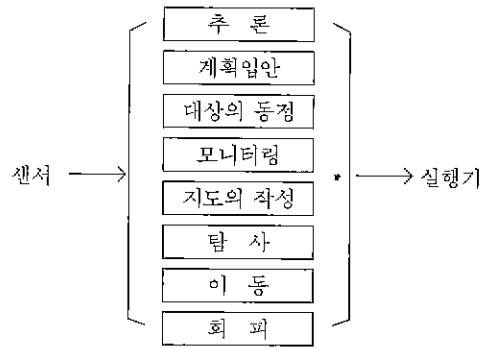


그림 2 포섭 아키텍처

함). 어떻게든 대단한 생각은 해낼 수 있지만, 약간의 변형도 만족시킬 수 없는 로봇인 것이다.

Brooks는 제대로 작동하지 않는 원인이 종래의 아키텍처에 있다고 생각했다. 그는 물리 기반 가설에 기반하여, 그림 2의 아키텍처를 새롭게 제창하였다[2, 4, 5, 6]. 종래의 아키텍처와 잘 비교해 보기 바란다. 그림 1에서는 지각, 모델화, 계획입안, 작업수행, 동작제어와 같이 기능에 따라서 모듈이 분할되어 있다. 이것에 비해서 그림 2에서는 회피, 이동, 탐색, 지도작성과 같이 작업내용에 따라서 모듈이 분할되어 있다. 종래의 분할과는 달리 수직적인 분할방식이다. 그는 이것을 포섭 아키텍처(subsumption architecture)라고 명명하였다. 그림 2에 있어서, 회피의 모듈은 그 위의 이동 모듈에 포섭되어 있고, 더 나아가 이동의 모듈은 탐색의 모듈에 포섭되어 있는 것과 같이, 아래의 모듈은 상위의 모듈에 포섭되어 있다는 의미이다. 포섭이라는 용어는 다소 난해하지만, 상하관계라고 생각하면 거의 틀림이 없다. 이 이름은 진화의 과정을 의식하여 붙인 것인데, 최근에는 행동에 기반한(behavior-based)이라는 표현을 많이 사용하는 것 같다. 이 포섭 아키텍처에 있어서 각 모듈은 (거의)독립되어 있어 병렬로 동작한다. 센서로부터의 정보는 모든 모듈에 병렬로 입력되고, 모듈의 처리결과가 적절한 실행기를 통해서 출력된다. 종래의 아키텍처와 같이 전체를 제어하기 위한 환경모델은 존재하지 않는다. 종래의 아키텍처에서는 인간의 의식과 같이 로봇 전체를 제어하는 최상위의 순차적인 프로세스가 존재하고 있지

만, 포섭 아키텍처에서는 그와 같은 프로세스가 존재하지 않는다.

그럼 2에서 모듈의 포섭(상하관계)에는 큰 의미가 있다. 행동에 기반한 지능의 접근방식에서는 무엇보다도 먼저 제대로 행동하는 것을 중시한다. 움직여나가기 위해서 가장 중요한 것은 장애물을 회피하는 것이다. 이것에는 시각센서나 촉각센서의 입력을 이용한다. 시각센서로서는 초음파 소나와 같은 것을 구비하고 있다. TV 카메라는 정보량이 많고 고도의 처리가 가능하기는 하지만, 처리에 시간을 소요하는 것과 정밀도가 나쁜 것등의 이유에서 장애물 회피에는 사용할 수 없다(실시간이 아니어도 좋다면 TV 카메라로도 장애물 회피가 가능하다). 센서의 출력에 대해 로봇의 움직임은 방향을 바꾸기도 하고 정지하기도 하는 행동을 순식간에 수행한다. 마치 반사와 같은 것이다. 이 모듈에 있어서 장애물이 무엇인가를 인식할 필요는 없다.

행동에 기반한 접근방식에서는 먼저 이와 같은 장애물 회피의 모듈만을 갖는 로봇을 만들고, 그것을 실제로 현실의 환경에서 작동시켜 본다. Brooks는 MIT AI 랩의 연구자이기 때문에, 현실의 환경이란 구체적인 MIT AI 랩 내의 방안이나 복도를 가리키고 있다. 또한 NASA로부터 연구비를 받아 혹성탐사용 로봇도 연구하고 있기 때문에, 혹성의 표면도 현실의 환경이 된다. 이 모듈은 장애물을 로버스트하게 피할 수만 있으면 그것으로 충분하다. 회피의 모듈이 완성되었으면, 그 위에(장애물 회피와는 독립적으로) 아무 목적없이 이동하기만 하는 모듈을 만들어 붙인다. 이 때, 로버스트하게 이동하기 위해서는 로버스트하게 장애물을 회피할 수 없으면 안된다는데 주목하기 바란다. 그리고 또 현실의 환경에서 두개의 모듈을 갖는 로봇을 작동시켜 본다. 제대로 작동한다면, 그 위에 목표를 향해 탐사를 하는 모듈을 만들어 붙인다. 이와 같이 포섭 아키텍처에서는 고차 레벨의 모듈을 순차적으로 붙여가는 방법을 사용한다. 위의 모듈이 아래의 모듈을 포섭하고 있는 것이 아키텍처명의 어원이다. 이와 같이 하여 최종적으로는 인간과 같은 지능을 갖는 로봇을 만들고자 하는 것이 행

동에 기반한 지능의 접근방식이다.

포섭 아키텍처의 장점은 다음과 같다.

- 점증적으로 모듈을 추가할 수 있으며, 도중의 어느 단계에서도 제대로 행동할 수 있다. 종래의 아키텍처는 단번에 최상위를 목표하고 있는데 그것이 어려워서 곤란을 겪고 있다. 더 나아가 최상위가 완성될 때까지는 거의 행동할 수 없다.

- 센서로부터 환경의 정보가 입력되어 모듈에서 처리하고 실행기로 환경상에서 움직인 후 환경의 변화를 센서로 읽는다는 피드백 루프가 완성된다. 종래 아키텍처에서는 계산만 많이 하여 이러한 피드백 루프가 제대로 기능하지 않는다.

- 단순한 행동의 집합에 지나지 않음에도 불구하고 환경과의 상호작용이 제대로 이루어지고 있기 때문에, 적어도 별레정도로는 지능적으로 보인다. 실제 생물에서 상당히 복잡하게 보이는 지능적인 행동은 사실 환경이 복잡하기 때문에 그렇게 보이는 것이며, 행동양식 그 자체는 단순한 경우가 많다. 지능의 복잡도는 환경의 복잡도와 행동양식의 복잡도의 합으로 나타나는데, 이것은 환경을 중시하는 최근 인지과학의 동향과도 합치하고 있다. 종래의 아키텍처는 환경과는 독립적으로 지능을 실현하고자 하는 경향이 강하고, 환경의 변화에 약하여 결과적으로 장애물 회피와 같은 단순한 행동도 로버스트하게 할 수 없다.

- 로봇의 행동은 사전에 결정된 것이 아니라, 환경과의 상호작용을 통해서 발생(emergence)되는 것이다. 종래 아키텍처에서는 사전에 결정된 행동밖에 할 수 없다.

포섭 아키텍처는 Brooks 그룹이 말하고 있는 것처럼, 어느 정도는 Minsky의 마음의 사회(Society of mind)이론[7]에 대한 구체화라고 할 수 있다. 지능을 갖지 않는 에이전트(여기서 말하는 행동의 모듈)를 모아서 조직화함으로써 지능을 실현시키고자 하는 것이다.

4. 인공 곤충들

Brooks 등은 포섭 아키텍처에 기반한 로봇을 여러대 구현하였다. 미국의 AI 연구자들

이 대부분 그러하듯이, Brooks의 그룹도 회사를 만들어 연구성과의 로봇트를 판매하고 있다.

Genghis-II (징기스-II : 몽골제국의 시조인 징기스칸에서 따온 이름이라 생각됨)[8]는 6개의 다리로 보행하는 로봇트로서, 크기는 가로 35cm, 세로 20cm, 높이 15cm이며 무게는 약 1.2kg이며, 12개의 서보모터에 의해서 움직인다. 각 다리에 충돌감지, 부하감지를 위한 센서가 붙어있는 이외에, 장애물 탐지(2개의 촉수), 열감지, 복면접지 등의 센서가 있다. 장애물이 많고 울퉁불퉁한 환경에서도 로버스트하게 움직여 나갈 수 있다. 또한 옵션으로 여러가지 센서를 추가할 수 있고, 그러한 센서를 관리하는 기반도 추가할 수 있다.

Attila-II (아틸라-II : 5세기 유럽을 침략했던 훈족의 아틸라왕에서 따온 이름이라 생각됨)[8]는 6개의 다리로 보행하는 로봇트로서, 크기는 가로 35cm, 세로 30cm, 높이 20cm이며, 무게는 약 2.5kg이다. 매분 25~37cm의 속도로 움직이고, 최고 25cm까지의 장애물을 넘어갈 수 있다. 68,000개의 마이크로프로세서가 LAN 상에 분산하여 탑재되어 있으며, 12종의 총합계 150개의 센서가 붙어있다. 이 로봇트도 장애물이 많고 울퉁불퉁한 환경에서도 로버스트하게 움직여 나갈 수 있다.

이 두 로봇트는 모두 겉모습이 곤충과 상당히 흡사한데, 사실은 겉보기만이 아니라 행동도 곤충과 유사하다. Brooks 등은 행동에 기반한 지능의 사고방식에 기반한 로봇트를 만드는 데 있어서 로버스트하게 움직여 나가는 생물은 무엇인가를 검토한 결과, 곤충을 참고하기로 하고 그 행동을 자세히 관찰하였다. 먼저 곤충과 같은 로봇트를 만들고, 그것을 진화시켜 나감으로써 더욱 지능적인 로봇트를 만들고자 한 방안이었다. 이러한 이유에서 Brooks 등이 만든 일련의 로봇트를 인공 곤충(artificial insect)이라고 부르고 있다. 6개의 다리는 상당히 안정성이 높고, 기동성에 있어서도 좋다. 미지의 환경에서도 제대로 움직여 나가기 위해서 다리에는 여러가지 센서가 부착되어 있다(다리 자체도 일종의 센서로서 기능한다).

T-3이라는 이름의 로봇트[8]는 앞의 두개와는 달리 바퀴로 움직인다. 크기는 가로 41cm,

세로 33cm, 높이 20cm이며, 무게는 약 5kg이다. 매초 10~60cm의 속도로 움직인다. 68,000개의 프로세서가 탑재되어 있고, 적외선 빛 열감등의 센서가 붙어있다. 이외에도 여러가지 로봇트가 구현되어 있는데, 그 중에는 Allen, Herbert, Seymour 등 유명한 AI 연구자의 이름이 붙어있는 것도 있다(순서대로 Newell, Simon, Papert의 이름이다).

이러한 로봇트를 제어하기 위해서는 인간이 행동언어(behavior language)라고 하는 프로그래밍 언어로 Sun이나 Macintosh상에서 높은 레벨의 설계기술을 수행한다. 설계기술은 확장된 유한상태 오토마톤(AFSM : Augmented Finite State Machine)의 형태로 표현되어 있다. 이 프로그램은 행동언어 컴파일러를 통해서 낮은 레벨의(예를 들면 68000계의 프로세서용) 기계어로 변환된다. 이 기계어 프로그램을 드라이버로 로봇트에 다운로드한다. 여러개의 프로세서가 다운로드된 프로그램에 따라 병렬적으로 작동하게 된다.

실제로 로봇트를 만들어 작동시켜 보지 않아도, 시뮬레이션으로 충분하지 않을까 하고 생각할지 모르겠다. 그러나 행동에 기반한 지능의 접근방식에서는 시뮬레이션은 안되며, 어디까지나 실제로 만들어 보지 않으면 안된다. 머리 안에서 생각만하는 것을 “말만 많고 행동이 따르지 않는”것으로 부정하였기 때문에, 머리 안에서 생각하는 시뮬레이션을 해서는 의미가 없다.

원래, 로봇트를 연구하는 사람에게 있어서 시뮬레이션으로 제대로 움직인다는 것은 거의 의미가 없다. 탁상공론에 지나지 않으며, 거기에서 부터 실제로 움직이기까지 상당한 작업이 필요하다. 실세계에는 노이즈도 있고, 오차도 있으며, 고장도 있어서 제대로 움직이지 못할 원인을 열거하면 끝이 없다. AI 연구자는 시뮬레이션과 실재를 동일하게 간주한다. 예를 들어서, 블럭 세계(blocks world)라고 하면 AI에서는 인공적인 세계의 상징이며, 간단한 대상으로 예전부터 해결되는 것으로 생각하고 있다. “블럭의 세계에서 실세계로”라는 것이 80년대에 많이 들던 문구였다. 지능 로봇트에서 블럭의 세계는 상당히 어려운 실세계로 간주되

며, 지금까지도 완전히 해결되지 않았다. 이러한 인식의 차이는 AI에서는 시뮬레이션의 블럭 세계, 전형적으로는 Winograd의 SHRDLU 블럭 세계를 가지고 블럭의 세계라고 간주하고 있는 데 기인한다. 실제 블럭의 세계는 그렇게 간단한 것이 아니다.

Brooks 그룹이 만든 로봇은 “인공생명”이라는 이름으로 판매되고 있다. 아마 AI도 지능과 생명과의 관계를 재평가하는 시점에 온 것 같다. 인공 곤충은 AI와 인공생명[9, 10]이라는 두개의 연구분야를 연결하기[11] 위한 접착제가 될 것이라 생각한다.

5. 장점과 단점

행동에 기반한 지능의 접근방식은 종래의 AI연구에 만족하지 못했던 사람들이 호감을 갖고 받아들였다. 일부에는 약간 과도하다고 생각되는 찬미마저 있었다.

컴퓨터내에 지식을 기호로 표현하고 그것을 조작함으로써 지능을 실현하는 입장이나, 머릿속에서 지식을 기호로 표현하여 그것을 조작하는 것으로 인간의 지능을 이해하고자 하는 입장을 철학적으로는 표상주의(representationalism)라고 한다. 종래의 AI나 인지과학은 의식적으로든 무의식적으로든 표상주의를 전제로 하고 있다. 이 표상주의가 모든 문제의 근원이라고 늘 생각하고 있던 철학자에게 있어, 지능에 표상따위는 필요없다 라는 슬로건을 부르짖으며 등장한 Brooks는 악마 집단중의 천사로 보였는지 모른다. 또한, 환경과의 상호작용을 중시한 생태학적 심리학자에 있어서도, 내부표상의 역할을 부정하고 환경과의 상호작용을 지능의 본질로 한 Brooks는 자기들의 입장을 정당화하는데 딱맞는다고 생각했습에 틀림없다. 그들은 Brooks를 영웅시하고 그를 찬미하는 논문을 쓰기까지 하였다.

확실히 잘 들어맞는 부분도 있기는 하지만, Brooks가 위세를 위해 쓴 대사를 앵무새처럼 따라하는 것이나 과도하게 기대하는 것등도 없지않다. 지능에 표상은 필요없다고 Brooks가 말한 것은 종래의 권위에 대한 명확한 반론으로 다소 과격한 표현을 선택한 것뿐이다. 그자

신도 지금은 너무 심하게 말했다고 반성하고 있기도 하다. 그가 만든 로봇도 자신이 있는 환경을 머릿속에 만들기도 하고, 현재 자신이 어디에 있는지의 내부상태를 유지하기도 한다. 로봇트 내부에서 표상들 사이의 상호작용(다시 말해 추론)도 수행된다. 머릿속의 조작으로 전부 해결하려는 종래의 노선도 극단이지만, 머릿속의 조작은 전혀 없이 하는 것도 극단에 지나지 않는다. 그리고, 지금까지 제대로 작동한 것은 대부분 곤충의 레벨까지이며, 곤충이 인간으로 진화할 수 있을지는 지금까지의 결과로는 알 수 없다.

Brooks가 “코끼리는 체스를 하지 않는다(Elephants don't play chess)[2]”, “지능에 표상은 필요없다(Intelligence without representation)[6]”, “지능에 추론은 필요없다(Intelligence without reasoning)[4]” 등, 종래의 AI 연구자가 볼때 과격한 제목의 논문을 썼기 때문에, 일부에서는 감정적으로 반발하는 사람들도 있다. “지능에 로봇트는 필요없다(Intelligence without robot)” 등과 같은 반론의 논문도 쓰여지곤 하고 있다. 또한, 종래의 AI 연구자 중에는 완전히 무시하는 태도를 취하는 사람들도 많다. 예를 들어서, 최근에 출판된 Ginsberg의 AI 교과서에는 Brooks 그룹의 연구는 언급도 하지 않고 있다[12]. 또한, 기호계 가설을 제창한 Simon등은 종래 AI를 대변하는 논문을 발표하기도 하였다[13]. 행동에 기반한 접근방식으로 가능한 것은 종래(기호계 가설에 기반한) AI로도 가능하다는 것이다. 심지어는 최근 제5회 인공생명 워크샵(1996년 5월 16일~18일, 일본 나라)에서 Minsky조차 환경과의 상호작용만 믿고 막무가내로 로봇트를 구현부터하는 Brooks의 접근방식을 실랄하게 비판하기도 하였다.

앞에서 설명한 것처럼 컴퓨터로 가능한 것은 만능 튜링머신의 레벨로 한정되어 있다는 의미에서는 행동에 기반한 지능의 접근방식을 채용하였다고 해서 원리적으로 능력이 증진되었다고는 할 수 없다. 대단한 것처럼 떠들면서 만든 것이 겨우 곤충 정도인가 라는 반발도 모르는 바는 아니다. 그렇지만, 종래의 AI가 컴퓨터내의 기호처리에 과도하게 치우쳐 있던 것은

사실이다. 그 때문에 입은 피해는 매우 컸다. 예를 들면 시간이나 공간의 처리가 지금도 제대로 되지 않는 것은 종래의 AI가 컴퓨터내에 한정하여 물리세계와의 상호작용을 경시하였기 때문이다. 로봇을 실제로 만들지는 않는다고 해도, 이제부터의 AI는 행동에 기반한 지능의 접근방식에 착안하여 환경과의 상호작용을 중시하는 방향으로 나아갈 것 같다.

6. 전 망

행동에 기반한 지능은 지금의 “말만 많고 행동이 따르지 않는” AI에 대한 비판으로서 흥미가 있다. 인공 곤충도 확실히 로버스트하게 작동하고 있다. 하지만, 앞으로의 길은 험난하다. 만들어진 것은 겨우 곤충 정도이며, 인공 곤충으로부터 인공 인간까지의 길은 한없이 멀다. 실제 생물의 진화에서도 이 사이에 상당히 오랜 시간이 소요되었다. 이 접근방식으로 곤충보다 먼저 진화시킬 수 있을지는 앞으로의 연구에 달려있지만, 인간까지 진화시킬 수 있으리라고는 거의 생각할 수 없다. Brooks는 인간은 환경과의 상호작용에 의해서(넓은 의미의) 플레이 문제[14]를 실제적으로 해결하고 있다는 식으로 말하고 있다. 그렇기는 하지만, 인간이라는 생물은 오랜 진화의 과정을 거쳐 플레이 문제의 실제적인 해결방안을 획득하여 온 것이다. 곤충은 플레이 문제로 고민하지 않을지도 모르지만, AI가 원하는 것은 곤충은 아니다.

포섭 아키텍처는 장해물 회피에서 시작하는 낮은 레벨의 모듈을 몇개 쌓아나가는 데는 성공하였지만, 높은 레벨의 모듈이 그 아래 모듈군과 거의 독립적으로 만들어질 수 있을지는 의문이다. 가령 학습시킨다고 해도 높은 레벨의 모듈을 만드는데는 상당한 노력이 들어갈 것 같다.

보다 큰 문제점은 포섭 아키텍처가 장해물 회피에서 시작하는 포섭(상하) 관계를 고정하고 있다는 점이다. 어느 모듈이 어느 모듈을 포섭할 것인가는 환경에 의해서 변화한다는 것이 행동에 기반한 지능의 접근방식으로서 자연스럽다. 포섭의 관계를 변화시키는 새로운 아

키텍처를 고안하여야 할 것이다[14]. 말은 쉽지만 그렇게 하는 것은 어려워, 이와 같은 아키텍처를 실제로 설계하는 것은 대단한 작업이다. AI의 길은 아직도 멀기만 한 것 같다.

7. 맺는 말

지식표현, 화상이해, 자연언어이해, 기계학습, 문제해결과 같은 기존의 구분으로, 종래의 가치관에 안주하고 있는 AI 연구자가 많은 것 같다. 모두가 같은 문제에 달려들어 누가 가장 좋은 해답을 얻을지 경쟁하는 세태가 두드러지고 있다. 그러한 연구를 해서 정말로 지능의 실현이 가능할 것인가, 그 문제를 해결하는 것이 정말로 의미있는 것인가 라는 것을 항상 스스로 질문해 볼 필요가 있다. 행동에 기반한 지능의 접근방식도 종래의 AI와 같이 그대로 인공적인 지능을 실현하는 것은 불가능할 것이다. “바퀴벌레를 만들어서 언젠가는 인간이 만들어질 것이라는 것은 나무에 올라 언젠가는 달까지 갈 수 있다는 것만큼 허풍에 지나지 않는다”라고 빈정거리기도 한다. 그러나, 이와 같은 접근방식의 출현으로 인하여 지능이란 무엇인가를 다시 한번 생각하고 연구의 구분을 재고하는 것이 가능하다면 좋을 것이다. 그러한 의미에서 행동에 기반한 지능이라는 괴상한 연구노선이 AI에 미치는 영향은 클 것이라 사려된다.

참고문헌

- [1] A. Newell and H. Simon, “Computer science as empirical inquiry: symbols and search,” *CACM*, vol. 19, no. 3, pp. 113-126, 1976.
- [2] R.A. Brooks, “Elephants don’t play chess,” In P. Maes (ed.), *Designing autonomous agents*, MIT Press, 1990.
- [3] 松原仁, “AI Map-計三郎先生の 記事에 대한 comment,” *人工知能學會誌*, vol. 8, no. 5, pp. 543-540, 1993.
- [4] R.A. Brooks, “Intelligence without reason.” *Proc. of IJCAI-91*, pp. 569-595,

1991.

[5] R.A. Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. RA-2, no. 1, pp. 14-23, 1986.

[6] R.A. Brooks, "Intelligence without representation," *Artificial Intelligence*, vol. 47, pp. 139-159, 1991.

[7] M. Minsky, *Society of Mind*, Simon & Schuster, 1986.

[8] (株)Uchidate, 지능 마이크로로봇 팜 플렛.

[9] C.G. Langton (ed.), *Artificial Life*, Addison-Wesley, 1989.

[10] C.G. Langton et al. (eds.), *Artificial Life II*, Addison-Wesley, 1992.

[11] 北野宏明, "AI Map-AI에 있어서 科學革命," *人工知能學會誌*, vol. 8, no. 6, pp. 744-751, 1993.

[12] M. Ginsberg, *Essentials of Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann, 1993.

[13] A.H. Vera and H.A. Simon, "Situating action: a symbolic interpretation," *Cognitive Science*, vol. 17, no. 1, pp. 7-48, 1993.

[14] 橋田浩一, 松原仁, "知能의 設計原理에 관한 時論-部分性, 制約, 플레임 問題-," *認知科學의 發展*, vol. 7, 日本認知科學會, 1994.



조 성 배

1988 연세대학교 건산과학과 (학사)
 1990 한국과학기술원 전산학과 (석사)
 1991~현재 한국과학기술원 인공지능연구센터 참여연구원
 1993 한국과학기술원 전산학과 (박사)
 1993~1995 ATR 인간정보통신연구소 객원연구원

1995~현재 연세대학교 소프트웨어응용연구소 연구원, 연세대학교 컴퓨터과학과 조교수
 관심분야: 신경망, 패턴인식, 지능정보처리

● 제24회 정기총회 및 추계학술발표회 ●

- 일 자 : 1997년 10월 24일(금)~25일(토)
- 장 소 : 이화여자대학교
- 발표논문 접수마감 : 1997년 8월 30일(토)
- 문의 및 접수처 : 한국정보과학회 사무국

Tel : 02-588-9246 ☎137-063

서울시 서초구 방배3동 984-1(머리재빌딩 401호)