뇌과학연구개발사업

한국과학기술원 이수영

정부는 국가적 뇌연구 프로그램에 대한 기본 계획으로 1997년 9월에 뇌연구개발사업(Brain-tech21)을 발표하였다. 1998년부터 시작해서 10년간 진행되는 이 연구 프로그램은 뇌기능과 구조의 이해(뇌과학)를 바탕으로, 뇌신경질환의 치료(뇌의약학) 및 지능 시스템의 개발(뇌공학)을 목표로 하고 있다. 효율적인 추진을 위하여 뇌공학 분야와 뇌의약학 분야로 2개의 목표지향적 과제로 구성하며, 각각 관련 뇌과학 분야를 포함하도록 하였다.

이 중 뇌공학 및 관련 뇌과학 연구사업으로 구성되는 뇌과학연구개발사업은, 보다 효율적으로 인간을 도울 수 있는 인간기능 기계의 개발을 목표로, 뇌정보처리 메카니즘의 이해, 모방 및 구현을 연구한다. 이러한 목적은 미래의 인류사회에 있어서 기술상의 발전 경향에 대한 bottom-up식 추론과 기술상의 요구에 대한 top-down식 예측 둘 다를 고려해서 결정된 것으로, 이것은 신경과학, 인지과학, 수학, 물리학, 전기공학, 전자과학 등을 포함하는 많은 다양한 분야의 과학자들의 노력의 결정체이다.

1. 개 요

뇌는 현존하는 가장 복잡한 시스템이라고 할 수 있다. 많은 사람들이 오랫동안 뇌의 정보처리 메카니즘을 이해하고자 노력했으나 미미한 부분만 확인되었을 뿐이다. 신경회로망에 대한 제한된 지식을 가지고도 공학자들은 강력한 정보처리 모델을 이끌어 실세계 응용에서 탁월한 성과를 거두고 있다.

그러나, 이러한 과정을 좀더 촉진시키기 위해서는 많은 다양한 분야에서의 과학자 및 공학자 사이에 좀 더 밀접한 협력이 필수적이다. 일본의 뇌 연구 프로그램은 이러한 점에서 첫 번째의 적극적인 시도라고 볼 수 있다.

한국에서도 이제 뇌 연구와 발전에 대한 국가적인 연구 프로그램, 즉 브레인텍21(Brain-tech21)을 시작하게 되었다. 브레인텍21은 두 가지 명확한 목표를 가지고 있는데, 그 첫 번째는 뇌와 같은 정보처리 능력을 가지고 있는 인공 시스템의 개발이며, 또 다른 하나는 뇌질환에 대한 극복이다. 이러한 목표를 성취하기 위해서는 뇌 구조와 정보처리 메카니즘에 대해 이해가 또한 중요하다. 이러한 연구의 주제는 신경과학, 인지과학, 수학, 물리학, 전기·전자 공학 등을 포함하는 다양한 분야의 연구자들을 포함한다.

이 글에서는 브레인텍21 중에서 "뇌와 같은 지능 정보처리 시스템"을 목표로 뇌정보처리 메카니즘의 이해, 모방 및 응용을 연구하는 뇌과학연구개발사업에 대해 소개하기로 한다. 우리는 두 가지 접근방법, 즉 bottom-up과 top-down 접근방법을 동시에 적용하여 연구목표를 제시하고, 이를 학제적 연구로 이루어 내고자 한다. 이것은 각각 2장와 3장에서 설명하고자 한다. 4장에서는 "뇌와 같은 정보처리 시스템"에 대해서 집중적으로 기술하고, 5에는 뇌과학이 우리의 미래에 어떻게 영향을 미칠 것인가를 간단히 기술한다.

2. 기술 발전의 추세

우리의 bottom-up 접근방법에서는 기술상의 발전 경향을 추론하여 미래의 기술을 예측한다. 과학의 진보는 우연한 새로운 발견이나 소수 연구자의 천재성에 의해서 크게 영향을 받아 왔으며, 과학적 발견에 대한 장기간의 예측에 대한 신뢰성은 언제나 의문시되어 왔었다. 그러나, 최근 고성능 측정기기의 발전은 뇌의 구조와 정보처리 메카니즘에 대한 이해의 수준을 한층 끌어올렸으며, 시간과 공간에 대한 해상도를 증가시킴으로서 정확한 수학적 모델링에 필요한 충분한 신경신호를 기록할 수 있을 것으로 기대된다. 미시적 신경세포 모델과 거시적 행동모델 사이의 잘 알려져 있지 않은 부분까지 이해된다면, 통일된 뇌 정보처리 모델을 개발할 수 있을 것이다.

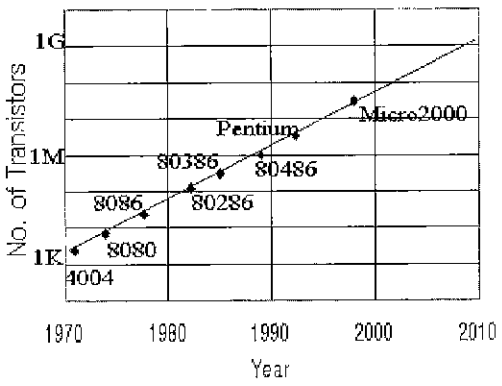

그림 1 무어(Moore)의 법칙

기술상의 발전에 대한 예상은 좀 더 믿을 만한 것으로 간주되었다. 특별히, 반도체 산업에서는 "무어(Moore)의 법칙"이라 불리는 이론이 널리 인정되고 있다. 1965년에 고든 무어(Gordon Moore)는 새로운 반도체 칩(chip)이 18-24개월 사이에 나타나며, 성능이 이전의 것 보다 약 두 배 증가한다는 사실에 주목하였다. 이러한 경향은 그림 1에서 볼 수 있으며, 매우 정확한 것으로 보인다. 펜티엄(Pentium II) 프로세서와 64M DRAM 각각은 약 750만개와 6400만개의 트랜지스터로 구성되어 있으며, 약 50배의 증가비율이 다음 10년 동안 기대된다. 10억개 이상의 트랜지스터를 가지고 있는 하나의 칩은 인간의 뇌 기능 중에 작은 부분을 담당할 수 있다. 좀더 강력한 시스템은 여러 개의 chip을 연결하여 만들 수 있다. 정통적인 폰 노이만(von Neumann) 전산구조에서는 프로세서와 메모리 사이의 통신 병목현상이 점점 더 심각해질 것이므로, 분산된 계산과 저장 구조가 요구된다. 따라서, 뇌정보처리 메가니즘에 기반한 신경회로망 칩(neuro-chip) 기술이 컴퓨터와 반도체 산업의 주요한 흐름을 형성할 것이다.

또 다른 흥미로운 법칙은 "Machrone의 법칙"이라 불리는 것으로, 우리가 일상적으로 사용하는 기계는 항상 5,000달러에 판매될 것이라는 것이다. 실제로 가격은 더 내려간다. 사람들은 항상 좀더 강력한 시스템을 요구하고, 공학자는 항상 비슷한 또는 조금 싼 가격으로 보다 강력한 시스템을 만든다. 따라서, 현재의 막대한 비용이 반드시 미래에 큰 문제가 되지 않을 수 있다.

한국 전자 산업의 특성을 생각해 보자. 한국 전자산업은 가전산업에서 출발했고, 최근에 반도체 메모리(DRAM) 분야에서 세계적인 경쟁력을 획득했다. 그림 2에서 보여 주듯이, 신경회로망 칩은 메모리와 비슷한 특성이 있어, 대단위 생산기술을 필요로 하는 반면, 상대적으로 회로설계 기술을 덜 요구한다. 따라서, 신경회로망 칩은 오늘날 한국의 핵심 전자 산업인 반도체 사업에 적합할 수 있다.

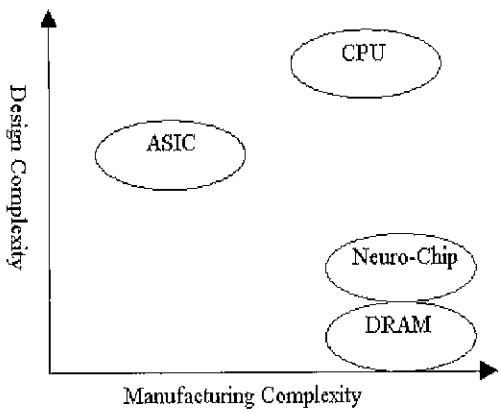

그림 2 반도체 소자의 설계 및 제조 기술 복잡도

3. 기술 수요의 예측

미래사회에 있어서 기술 수요에 대한 예측은 항상 기술 발전의 주요한 힘으로서 작용하며, 우리는 이것을 "top-down" 접근이라 부를 것이다. 실제로 미래의 인간 사회를 예상하기 위해 크고 상상력이 풍부한 뇌가 필요한 것은 아니다. 단지 역사책을 읽고 공상과학 영화를 보면서 미래를 상상할 수 있다.

인류의 역사에서 산업혁명은 인류의 복지에 기계를 사용한 첫 번째 단계로 간주된다. 증기 엔진과 같은 강력한 에너지 변환 장치의 도움으로, 산업혁명은 인간 육체의 물리적인 한계를 극복하고, 소비재 상품의 대량 생산을 통한 인류사회 발전에 크게 기여하여 왔다. 두 번째 단계는 컴퓨터 혁명이라 할 수 있는데, 이는 정확한 수 계산과 대량의 정보 저장이 가능한 전자기술에 기초를 둔다. 요즈음 우리는 대량 생산 기계와 컴퓨터가 없는 하루도 상상할 수 없다.

미래의 인류사회는 어떠할까? 사람들은 항상 현재의 어려움을 해결하기를 원하고 좀 더 나은 삶을 위해 어려움을 극복할 수 있는 방법을 찾으려 한다. Machrone의 법칙이 간단한 예일 수 있다. 컴퓨터 혁명이 좀더 나은 삶을 제공한다 할지라도, 이것 또한 문제를 만든다. 컴퓨터는 아직 인간과 친밀하게 일할 수 있을 만큼 지적이지 못하다. 컴퓨터를 이용하기 위해서 사람들은 어떻게 이용할 것인가를 배워야 한다. 많은 경우에 이것은 지루한 프로그래밍 언어나 미리 약속된 사용법을 배워야 한다는 것을 의미한다. 또한, 현재 컴퓨터는 그들이 프로그램한 것만을 수행하며, 일반화와 자기-학습 능력을 가지고 있지 않다. 따라서, 프로그래머는 특별한 적용을 위해서 모든 가능한 사항을 미리 생각해 놔야만 하며, 각각의 경우에 대한 해결책을 제시해야 한다. 단지 몇몇 사람만이 이러한 프로그램밍 능력과 논리적인 사고 능력을 가지고 있다. 모든 사람들이 컴퓨터를 유용하게 사용하기 위해서는 가능한 한 사람과 같은 컴퓨터를 만드는 것이 강력하게 요구된다. 사람들은 컴퓨터를 그들의 친구처럼 또는 동료로써 이용할 수 있을 것이며, 컴퓨터는 사람과 같은 추론과 자기학습 능력을 가질 것이다. 이러한 목적을 이룰 수 있는 가장 좋은 방법은 자연의 법칙으로부터 배우는 것이다.

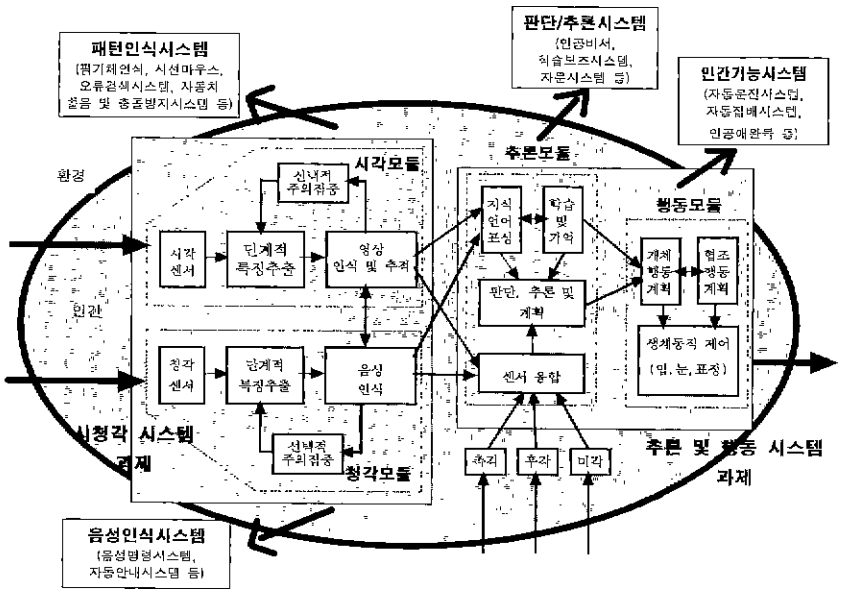

그림 3 뇌정보처리의 4개 모듈

그림 3에서 뇌에서의 정보처리 능력을 4개의 모듈로 나타내었다. 인간은 5개의 감각기관을 통해 환경으로부터 정보를 받아들이며, 이 신호에 근거를 두고 신호처리를 하며, 운동신호를 제공한다. 5가지 감각기관 중 시각과 청각은 가장 많은 정보를 제공하며, 복잡한 정보처리 과정이 이루어 진다. 모든 감각기관의 정보는 추론 모듈에 통합되며, 학습, 기억, 그리고 의사결정 기능을 제공한다. 마지막 모듈인 행동 모듈은 운동제어에 필요한 신호를 생성한다. 생물학적 뇌에 많은 피드백 경로가 있지만, 중요한 순방향(Feed-forward) 신호 경로를 여기에서 간단히 살펴보고자 한다.

초기 시각 시스템의 역할이 비교적 잘 이해되어 있지만, 우리는 아직 알고 있는 것이 모르는 것보다 훨씬 적다. 추론 모듈에 대한 지식은 가장 많이 제한되어 있다. 그러나, 생물학적 뇌 메카니즘으로 부터의 작은 단서만으로도 우리는 좀 더 많은 지능형 시스템을 만들 수 있다고 생각한다. 특별히, 공학적 모듈의 빈 부분을 채울 필요가 있는 기능에 집중적으로 신경과학을 연구한다면, 좀 더 빠른 발전을 가져올 수 있다. 변하지 않는 특징의 추출, 선택적 주의집중, 감각통합, 정보의 분산 표현, 일반화, 학습, 그리고 협동 행동과 같은 분야는 단지 몇 가지 예일 뿐이다. 전용 하드웨어적인 구현도 필요하다. 따라서, 각각의 모듈에 대해 신경과학, 인지과학, 수학, 물리학, 전자, 전기공학을 포함하는 많은 다양한 분야의 과학자들의 노력을 통합하는 "시스템적 접근방식"이 필요하다. 마지막으로, 네 개의 모듈이 하나의 시스템으로써 통합될 필요가 있다.

4. 세부 연구 내용

2장의 기술 발전 추세와 3장의 미래사회의 요구를 고려해서, 뇌과학연구개발사업에서는 "분자세포 수준 및 시스템 수준의 뇌과학연구를 통하여 실세계 응용기술의 기반을 마련하고, 이를 이용하여 인간의 감각기관(인공시각 인공청각), 학습·추론 및 행동 등 인간의 지능을 기계적으로 구현하는 지능형 시스템 및 핵심 소자를 개발함"을 연구목표로 한다.

연구 프로그램은 세 분야, 즉, 뇌의 정보처리 기제 중에 "이해", "모방", 그리고 "응용"이라는 부분으로 이뤄진다. 학문적인 경향에 따라서 이것은 또한 "뇌과학"과 "뇌공학"으로 나뉘어 질 수 있다. "뇌과학"은 주로 "이해"를 위한 신경생물학과 인지과학을 지칭하며, "뇌공학"은 "모방"과 "응용"을 위한 신경회로망 모델, 구현 및 응용을 의미한다.

뇌과학연구개발사업은 사업단 과제와 자유공모 과제로 구성된다. 사업단 연구는 "동일한 기술개발 목표하에 하위 기술들간의 연계성이 강하여 기술융합 및 상승효과(synergey effect)를 추구할 수 있는 핵심기술 단위"로 구성하고, 자유공모 과제는 개별 연구자의 제안으로 구성된다. 사업단 과제는 학제적 목표지향적 과제와 분야별 핵심기초 과제로 구성된다. 특히, 인간 뇌기능을 구성하는 시각, 청각, 추론 및 행동의 네 가지 모듈 중, 상호 공통기술이 많으며 비교적 연구가 잘 발전되어온 시각과 청각을 묶어 학제적("From Biology to Hardware") 핵심과제("인공 시·청각 시스템")를 구성한다. 추론 및 행동은 세계적으로 비교적 연구가 진전되지 못한 초기 단계이나, 최종 연구개발 목표 달성에 꼭 필요하고 학제성이 높은 중요 분야이므로, 2차년도부터 소규모 과제로 시작하여, 점진적으로 확대 발전시킬 예정이다.

위의 두 가지 학제적 연구에 직접 관련되지 못하나, 뇌연구개발사업에 포함되는 주요연구는 분야별로 과제를 구성한다. 뇌과학 분야에서는 분자 수준의 신경과학, 시스템 수준의 신경과학, 인지과학으로 구성되고, 뇌공학은 신경회로망 모델, 응용 및 구현 분야로 구성된다. 즉, 신경세포의 분자·세포생물학적 연구(신경과학/분자수준), 감각-운동 연계의 시스템 신경과학 연구(신경과학/시스템수준), 뇌의 인지기능 연구(인지과학), 뇌정보처리의 하드웨어 구현 연구(구현), 뇌 기능에 기초한 감각 정보처리 모델링 연구(뇌정보처리 모델), 뇌정보처리 기법에 의한 지능형 자율적응 시스템 구현(응용기술)로 분야별 과제를 구성한다.

뇌연구개발사업의 성공을 위해서는 과학자와 공학자의 협력이 요구된다. 그림 4는 6개 학문

분야의 이러한 동심체적 관계와 학제적 과제의 구성을 보인 것이다. 학제적 과제의 중요성은 단계별로 더욱 높아질 것이다.

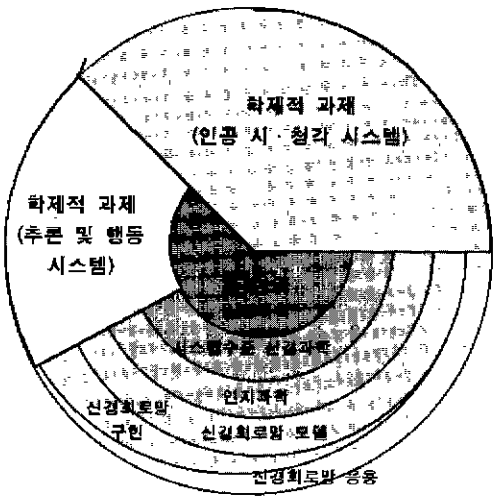

그림 4 6개 학문 분야의 동심체 및 학제적 과제의 구성

5. 미 래

뇌과학연구개발사업의 목적은 가능한 한 생산적이고 즐거운 미래의 인류사회를 만드는 것이다. 인간과 같이 5개의 감각기관을 가지고 자기 학습 및 추론 능력을 가지고 있는 지능형 기계가 인류에게 제공될 것이다. 그러한 기계들은 당신의 친구이자 동료가 될 것이며, 인류의 생산성을 크게 증가시켜 산업혁명과 컴퓨터 혁명에 이은 제3의 혁명을 가져올 것이다.

삶에 있어서 노동시간과 생활 자체에 대한 노력을 줄여, 인류는 "좀 더 사람답게 사는 일"에 좀 더 많은 노력을 기울일 수 있을 것이며, 창조적 일에 매진할 것이다. 과학, 공학, 그리고 예술이 그러한 일들의 예일 수 있다. 좀 더 빠른 진보가 과학과 공학에 있을 것이며, 이것은 다시 인류에게 번영을 제공할 것이다.

이 수 영

1975 서울대학교 전자공학과 학사
1977 한국과학원 전기공학과 석사
1977~1980 대한엔지니어링 대리
1982~1985 Staff/Senior Scientist, General Physics Corporation, MD, USA
1984 Polytechnic Institute of New York, Ph.D. in Electrophysics
1986~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수/부교수/교수
1997~현재 뇌과학연구센터 소장
E-mail:sylee@ee.kaist.ac.kr

● 제3회 알고리즘과 계산 한일공동 워크샵 ●

- 일 자 : 1999년 7월 19일(월)~20일(화)
- 장 소 : 서울대학교 신공학관
- 주 최 : 컴퓨터이론연구회
- 문 의 처 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 이상호 교수
  Tel. 02-3277-2313, Fax. 02-3277-2306
  E-mail:shlee@mm.ewha.ac.kr