



CAM-Brain: ATR의 인공두뇌 프로젝트

ATR 연구소 Hugo de Garis

연세대학교 조성배*

1. 머리말

이 글에서는 지난 6년간 일본의 ATR 연구소에서 수행되고 있는 인공두뇌(CAM-Brain) 프로젝트[1]에 대해 소개한다. 1993년 시작 당시 이 프로젝트의 기본목표는 2001년까지 10 억 개의 인공 뉴우런으로 구성된 인공두뇌를 개발하는 것이었는데, 현재 좀더 실현 가능한 수치로는 약 4천만 개 정도가 될 것 같다. 기본 아이디어는 간단한 규칙으로 복잡한 행동양식을 보이는 셀룰라 오토마타(CA)를 기반으로 인공두뇌 구조인 신경망을 구축하는 것이다. 이때 실제 생물학적인 두뇌를 구성하고 있는 엄청난 규모의 신경망을 하드웨어적으로 구현하기 위해서 모듈단위 신경망을 진화방식으로 구축한 후, 모듈들을 결합하여 전체 신경망 시스템을 구축하고자 하고 있다.

이 프로젝트의 성과물중 대표적인 것으로는 FPGA(Field Programmable Gate Array)에 기반하여 프로그램가능한 논리 디바이스인 CAM-Brain 머신(CBM)[2]을 들 수 있는데, 이것은 셀룰라 오토마타에 기반한 신경망 모듈을 전자의 속도로 성장·진화시키고 수만 개의 모듈로 이루어진 인공두뇌의 상태를 실시간에 변경시킬 수 있다. 이 정도의 속도라면 수만 개의 모듈로 이루어진 신경망의 성장과 평가에 의한 유전자 알고리즘을 1초만에 실행시킬 수 있을 것이다.

ATR의 인공두뇌 개발팀은 CBM의 사용으로 이제까지 수백개 정도의 뉴우런을 대상으로

하던 기존 신경망 연구의 한계를 극복하여 수 천만 개의 뉴우런으로 구성된 신경망을 생성함으로써 신경망 분야에 혁신을 가져오리라 기대하고 있다. CBM을 사용하면 수만개의 진화된 신경망 모듈을 통합한 인공두뇌 구조를 생성할 수 있을 것이다. 여기에서 인공두뇌는 커다란 RAM 메모리 공간으로 구성되고, 각각의 CA 모듈이 진화된 후 이 곳에 다운로드된다. 이 RAM상의 CA 셀들은 실시간에 애완용 로봇인 “Robokoneko”를 제어할 수 있을만큼 빠른 CBM에 의해서 변경될 것이다. 현재까지 진화 가능한 전자회로에 맞도록 하기 위해서는 신경망 모델이 간단해야 하기 때문에 신경망의 신호전달 상태를 1비트로 하였는데, 이것을 “CoDi-1비트” 모델[2]이라고 명명하였다.

이 글은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 CAM-Brain 머신으로 구현된 CoDi-1비트 신경망 모델에 대해서 간단히 설명하고, 3장에서 CBM의 설계와 기능에 대해서 자세히 정리한다. 그리고 4장에서는 현재 인공두뇌로 제어하고자 하는 애완용 로봇인 “Robokoneko”에 대해서 소개하고, 마지막으로 5장에서 향후 고려하고 있는 연구에 대해 논의한다.

2. CoDi-1비트 신경망 모델

CBM은 소위 “CoDi”(Collect and Distribute) [3] 셀룰라 오토마타에 기반한 신경망 모델을 구현한다. 이것은 이전에 ATR 연구소에서 개발된 모델을 두 가지, 점에서 간략화한 모델이다. 하나는 신경망을 보다 단순하고 컴팩

*총신회원

트하게 작동하도록 하여, 1989년에 MIT에서 개발된 전용 하드웨어 도구인 CAM-8 (Cellular Automata Machine)에서 상당히 빠르게 진화될 수 있도록 한 것이다.

하나의 신경망 모듈을 진화시키기 위해서 30내지 100개의 모듈집단이 유전자 알고리즘으로 200내지 600세대 동안 실행되어 60,000번 이상 모듈에 대한 평가를 한다. 각 모듈의 평가는 그 모듈의 염색체에 의해 유도된 축색돌기와 수상돌기의 세로운 트리구조를 성장시킨 후 이루어진다. 이 트리들은 13,824 셀들($24 \times 24 \times 24$)의 3차원 셀룰라 오토마타 공간에서 수백개의 뉴우런들을 연결시킨다. 평가는 축색돌기를 통해 연결된 모듈로 스파이크 열을 보냄으로써 계속되는데, 모듈내의 모든 셀들에 대해 1000번 정도의 변경이 필요하다.

MIT의 CAM-8 상에서는 하나의 신경망 모듈을 진화시키는 데 필요한 8,290억 번의 셀변경에 69분이 소요된다. 단순한 곤충 정도의 두뇌는 1만 개 정도의 모듈에 수십만개의 뉴우런으로 구성된다고 알려져 있기 때문에, 24시간 내내 실행시킨다고 할 때 계산을 종료하는데 500일이 소요될 것이다.

또 다른 한계는 수천개의 모듈이 상호 연결되어 있는 전체 두뇌를 시뮬레이션하고자 할 때 나타난다. 1만 개 모듈의 두뇌에 대해서 CAM-8은 각 모듈을 초당 1.4번 정도 변경할 수 있는데, 가령 로봇을 실시간으로 제어하기 위해서는 초당 10내지 20번 모듈을 변경하여야 한다. 따라서 두 번째 목표는 CAM-8에 비해서 500배 빠른 속도로 두뇌의 진화와 시뮬레이션을 수행할 수 있는 기계를 설계할 수 있는 하드웨어에 탑재할 수 있는 모델을 만드는 것이었다.

CoDi 모델은 일종의 3차원 셀룰라 오토마타 (CA)이다. 각 셀은 정육면체로 각 면에 하나씩 6개의 이웃 셀을 갖는다. 서로 다른 표현형 코드를 셀에 적재함으로써 뉴우런이나 축색돌기, 또는 수상돌기중의 한 기능을 하도록 구성될 수 있다. 뉴우런들은 $2 \times 2 \times 3$ CA 셀들의 블록당 하나씩 할당될 수 있다. 셀들은 양방향의 1-비트 버스와 연결되고, 13,824개의 셀($24 \times 24 \times 24$)로 이루어진 3D 모듈로 조립된다.

모듈들은 또 인공두뇌의 기능을 하기 위하여 92개의 1-비트 연결로 서로 연결될 수 있다. 즉 각 모듈은 92개의 다른 모듈로부터 신호를 받아서 최대 32,768개의 모듈로 전달할 수 있다. 이러한 모듈간의 연결은 모듈 연결 메모리라고 하는 곳에서 상호-참조 리스트로 구현된다.

하나의 뉴우런 셀에서 다섯 개(또는 여섯 개)의 연결은 수상돌기의 입력용이고, 하나는 축색돌기의 출력용이다. 4-비트 어큐뮬레이터가 입력신호를 합하여 임계치를 넘으면 하나의 출력신호를 낸다. 각 입력은 해당 뉴우런의 염색체 정보에 따라서 흥분이나 억제기능을 하여 어큐뮬레이터에 값을 더하거나 뺀다. 뉴우런 셀의 출력은 3D 공간에서 6개의 다른 방향으로 향할 수 있다. 수상돌기의 셀도 다른 셀들로부터 신호를 모으기 위해서, 다섯 개의 입력과 하나의 출력을 갖는다. 입력신호들은 5-비트 XOR 함수에 의해 출력단으로 나간다. 축색돌기 셀은 수상돌기와 반대로, 하나의 입력과 다섯 개의 출력을 갖고 신호를 그 이웃으로 배포한다. 이렇게 신경모델이 신호를 “모으고 배포하는(Collect and Distribute)” 메커니즘을 사용하기 때문에 “CoDi”라는 이름을 붙였다. 공백 셀은 진화된 신경망에서 아무런 기능도 하지 않고, 진화과정에서 수상돌기나 축색돌기의 트리를 새롭게 성장시키는 공간으로 사용된다.

성장단계가 시작되기 전에 모듈 공간은 공백 셀들로 채워지는데, 각 셀은 6-비트 염색체에 의해서 기능이 결정된다. 따라서 염색체가 수상돌기나 축색돌기 트리의 국부적인 성장방향을 결정한다. 여섯 비트는 직진, 좌굴절, 세분기로의 분할, 성장정지, T-분할 및 T-모음과 같은 다른 종류의 성장 명령을 인코드하기 위한 마스크로 사용된다. 성장단계가 시작하기 전에 일부 셀들은 임의의 지점에서 뉴우런으로 지정되고, 성장이 시작됨에 따라서 각 뉴우런이 “수상돌기 성장”과 “축색돌기 성장”을 반복하면서 주위의 공백 셀들로 성장신호를 계속 보낸다. 성장신호를 받은 공백 셀은 수상돌기나 축색돌기 셀이 되고, 루트 뉴우런에서 계속 보내지는 성장신호를 다른 공백 셀들에 전달한

다. 전달방향은 앞에서 언급한 6-비트 성장 명령에 의해서 결정된다. 이러한 메커니즘으로 각 트리에 하나의 뉴우런 셀을 갖고 수상돌기와 축색돌기 트리를 분기시키는 복잡한 3D 시스템이 완성된다. 트리들은 복잡한 시공간적 기능을 수행하기 위해서 뉴우런들 사이에서 신호를 주고받는다. 성장단계의 최종 결과물은 각 셀의 유형과 공간적인 방향을 인코드한 표현형 비트 스트링이다.

따라서 전체적으로 보면 신경망의 성장과 신호전달이라는 두 단계로 구성된다. CoDi-1비트 모델에서 신호상태는 단지 1비트만을 저장하기 때문에 해석의 문제가 발생한다. 예를 들어서 8비트 신호를 이용한다면 신호의 상태만 보아도 그 값을 알 수 있지만, 1비트 신호전달에서는 주어진 시간에 스파이크의 수를 세는 등의 신호 해석방법을 결정할 필요가 있다.

3. CAM-Brain 머신

3.1 CBM 개요

CAM-Brain 머신은 인공두뇌의 시뮬레이션을 위한 연구용 도구로서, 현재 미국의 Geno-byte사에서 구현하고 있다. CBM에 의해서 지원되는 인공두뇌는 최대 32,768개의 신경망 모듈로 구성되며, 각 모듈이 최대 1,152 뉴우런으로 이루어져 전체적으로 3,770만 개의 뉴우런을 갖는다. 각 신경망 모듈내의 뉴우런들은 3차원 공간상에서 수상돌기와 축색돌기 트리로 촘촘하게 연결되어 임의의 복잡한 연결구조를 형성한다. 하나의 신경망 모듈은 3차원 공간에서 다중분기할 수 있는 180개의 다른 모듈로부터 축색돌기 신호를 받을 수 있고, 모듈내에서 수백 개의 수상돌기 가지를 형성할 수 있다. 각 모듈은 최대 32,768개의 다른 모듈에 축색돌기 가지를 보낸다.

CBM 접근방식의 핵심 아이디어는 두뇌의 특별한 기능을 수행하기 위해서 신경망 모듈을 수작업으로 설계하는 것이 아니라 유전자 알고리즘을 사용하여 하드웨어상에서 직접 진화도록 하는 것이다. 유전자 알고리즘은 각각 다른 구조와 기능의 신경망을 표현하는 염색체

의 집단 상에서 작동한다. 특별한 기능에 대하여 나은 성능을 하는 염색체가 선택되어 염색체의 교차나 돌연변이로 재생산된다. 수백 세대를 거치면서 이러한 방식이 원하는 기능을 하는 매우 복잡한 신경망을 생성하게 된다. 진화적인 접근방식은 원하는 입출력 기능이 알려져 있는 한 그것을 어떻게 구현할지에 대한 사전 지식이 없는 경우에도 복잡한 기능을 만들어 낼 수 있다는 장점이 있다.

3.2 CBM 구조

CBM은 크게 셀룰라 오토마타 모듈, 유전자형/표현형 메모리, 적합도 평가부, 유전자 알고리즘부, 모듈 연결 메모리, 외부 인터페이스와 같이 여섯 개의 블록으로 구성된다.

3.2.1 셀룰라 오토마타 모듈

셀룰라 오토마타 모듈은 CBM의 하드웨어중 핵심으로서, 셀상태의 변경을 고도로 병렬화시켜 실행함으로써 두뇌 진화의 속도를 증진시키기 위한 것이다. CA 모듈은 3D 구조의 $24 \times 24 \times 24$ 셀(총합 13,824개의 셀)로 배열된 하드웨어 논리회로의 배열로 구성된다. 모듈의 상위층을 형성하는 셀들은 하위층의 셀들과 순환적으로 연결된다. 유사한 순환연결이 동서남북의 셀들 사이에서 이루어진다. 이러한 특성은 셀공간을 효과적으로 사용하여 보다 고집적된 축색돌기 및 수상돌기의 성장을 가능하도록 한다.

CBM 하드웨어의 핵심은 두뇌 시뮬레이션 중에 두뇌를 형성하는 다중 모듈들 사이에서 시분할되어 사용되어, 한번에 하나의 모듈만이 활성화된다. FPGA 휠웨어의 설계는 이중버퍼 구조로서, 현재 모듈이 실행되는 중에 다음 모듈을 동시에 구성할 수 있다. 따라서, FPGA의 핵심부가 모듈의 재배열 중에 충돌없이 계속 실행된다.

모듈의 표면에는 외부와 연결할 수 있는 부분이 있어 외부와 신호를 주고 받을 수 있다. 각 면은 60개의 신호를 주고 받을 수 있고, 반대편 면과 wrap around식으로 연결된다. 따라서 도합 180개의 서로 다른 연결이 가능하고, 각 면당 하나씩 세 개의 연결이 출력점으

로 사용된다.

CA 모듈은 Xilinx FPGA 디바이스 중 XC6264로 구현된다. 이 디바이스는 완전 또는 부분적으로 재배열가능하고, 사용자 입출력과 더불어 데이터와 어드레스 버스를 갖는 코프로세서 구조로 되어 있으며, 데이터 버스를 통해서 내부 플립플롭에 읽거나 쓰기를 할 수 있도록 한다. XC6264 FPGA는 16,384개의 논리함수 셀들을 갖고 각 셀은 플립플롭과 불리언 논리함수를 실행하며 220MHz의 속도를 낼 수 있다. 논리 셀들은 여러개의 계층에서 이웃들과 상호연결되어 어떠한 길이의 연결에 대해서도 동일한 전달지연이 되도록 한다. 이러한 기능은 3D CA 공간의 배열에 매우 적합하다. 덧붙여서 동일한 전달시간을 위해 클럭 라우팅이 최적화되어 있다.

CA 모듈을 구현하기 위해서 동일한 논리셀의 3D 블록을 셀들을 상호연결하는 1-비트 신호버스를 명시한 CoDi와 함께 각 XC6264 디바이스내에 배열시킨다. FPGA의 내부 라우팅 기능과 각 셀을 구현하는데 필요한 논리기능을 XC6264에 최적으로 배열시키면 $4 \times 6 \times 8$ (192 셀)이 된다. 이와 같은 기본적인 셀들의 블록을 가상적인 3D 공간에서 이웃하는 여섯 개의 FPGA와 연결함으로써 커다란 3D 블록을 형성하기 위해서 208개의 외부연결이 필요하다. 따라서 $6 \times 4 \times 3$ 배열에 배열된 전체 72개의 FPGA가 $24 \times 24 \times 24$ 셀공간을 구현하는데 사용된다.

셀의 변경을 위한 CBM의 클럭속도는 8.25MHz, 9.42MHz, 11MHz 중에서 선택된다. 이 속도로 13,824개의 셀이 모두 동시에 변경되어, 초당 1,140에서 1,520억개의 셀을 변경할 수 있다. 이 정도의 속도라면 CAM-8에 비해서 570에서 751배 빠른 것이다.

3.2.2 유전자형/표현형 메모리

72개의 FPGA 보드 각각에는 신경망 모듈의 유전자형과 표현형을 저장하기 위해서 16M 바이트 메모리가 있다. CBM의 작동은 진화모드와 실행모드가 있는데, 진화모드는 성장단계와 신호전달 단계로 나뉘어진다. 성장단계에서 메모리는 모듈의 집단을 진화시키는 염색체 비

트 스트링을 저장하는데 사용된다. 13,824 셀로 이루어진 모듈에 대하여 91K 비트 이상의 유전자형 메모리가 필요하다. 각 모듈에 대해 유전자형 메모리도 모듈내 뉴우런의 위치와 방향에 대한 정보를 저장한다.

실행모드에서 메모리는 진화된 모듈을 위한 표현형 메모리로 사용된다. 표현형 데이터는 성장한 측색돌기와 수상돌기 트리와 해당 뉴우런들을 나타낸다. 표현형 데이터는 진화된 기능에 따라서 CA 모듈에 적재된다. 유전자형/표현형 메모리는 FPGA 하드웨어 CA 모듈을 신속하게 재배열하여 저장하는데 사용된다. 재배열은 각 셀에 제공된 이중 파이프라인된 유전자형/표현형 레지스터에 의해서 모듈을 실행시키면서 동시에 수행된다. 이로써 진화모드와 실행모드 사이에서 중단없이 최상의 속도로 FPGA 배열이 계속 실행될 수 있게 된다. 유전자형/표현형 메모리는 한번에 32,758개의 연결된 신경망 모듈까지 지원할 수 있다. 또한 PCI 버스에 의해 CBM과 연결된 호스트 컴퓨터의 메인 메모리가 추가적으로 사용될 수 있다.

3.2.3 적합도 평가부

CBM에서의 신호전달은 생물의 신경망과 마찬가지로 0의 간격에 의해 나뉘어진 1의 열로 표현되는 1-비트 스파이크 열로 이루어진다. 내부의 과정은 물론이고 외부의 자극을 표현하는 정보는 “스파이크 간격 정보 코딩” 방식[4]을 사용한 스파이크 열로 인코드된다. 이러한 코딩방법은 동물의 신경망으로부터 정보의 용량면에서 매우 효율적이며 밝혀져 있다. 스파이크 열을 “아날로그” 파형으로 바꾸는 작업은 특별한 멀티-탭 선형필터를 사용하여 수행한다.

하나의 모듈이 진화되려면 주어진 과제에 대한 적합도가 평가되어야 한다. 신호전달 중에 각 모듈은 180개의 서로 다른 스파이크 열을 입력받고, 최대 세 개의 서로 다른 스파이크 열을 출력하는데, 이 값을 목표 스파이크 열과 비교한 평가치로 진화를 유도한다.

적합도의 평가는 입력 스파이크 열 베피, 목표 스파이크 열 베피, 적합도 평가부로 구성된

하드웨어 유닛으로 수행된다. 각 클럭 사이클 중에 하나의 입력 벡터가 스텝으로부터 읽혀서 모듈의 입력으로 사용되는데, 동시에 목표 벡터도 베퍼로부터 읽히고 평가부에 의해 현재 모듈의 출력과 비교된다. 따라서 신호전달 단계의 마지막에 모듈의 최종 적합도가 계산된다.

3.2.4. 유전자 알고리즘부

모듈을 진화시키기 위해서는 앞에서 설명한 것처럼 모듈의 집단이 평가되어야 한다. 더 나은 성능을 내는 모듈들이 다음 세대를 위해 선택되고, 그것들이 교차되고 돌연변이되어 다음 세대를 형성하는 모듈의 집단이 생성된다. 교차와 돌연변이는 CBM 하드웨어의 핵심부에서 고속으로 실행된다. 이 단계 중에 각 자손 염색체가 나노초이내에 하드웨어로 생성된다. 단지 선택 알고리즘은 호스트 컴퓨터에서 소프트웨어로 실행되는데 CBM과는 PCI 인터페이스로 연결된다.

3.2.5. 모듈 연결 메모리

하나의 인공두뇌로 기능하기 위해서 다수의 진화된 모듈이 필요한 실행모드를 지원하기 위해서 모듈 연결 메모리가 제공된다. 각 모듈은 최대 180개의 다른 모듈로부터 입력을 받을 수 있다. 각 모듈에 의해 참조된 이러한 원시 모듈의 리스트는 호스트 컴퓨터에 의해서 CBM 상호-참조 메모리(3M비트)내에 저장된다. 이 리스트는 EDIF 형식의 모듈 연결 리스트를 사용하여 CBM 소프트웨어로 컴파일된다. 이 리스트는 사용자가 설계한 모듈 연결도를 반영한다. 모듈 연결의 길이는 96 셀이다. 각각의 32,768 모듈에 대하여 시그널 메모리는 세 개의 96-비트 출력 스파이크 열을 저장한다.

실행모드 중에 각 모듈이 CA 하드웨어 핵심부내에 배열될 때 모듈 연결 메모리의 리스트에 따라서 신호 입력베퍼도 최대 180 스파이크 열로 적재된다. 32,768 모듈로 이루어진 최대의 인공두뇌에서 CBM 변경속도는 초당 288-비트 길이의 스파이크 열을 전달하는 정도가 된다. 288-비트 길이의 스파이크 열은 12바이트의 신호 정보를 전달할 수 있는 정도이다.

각 뉴우런은 최대 5개의 스파이크 열을 받기 때문에, 뉴우런에 의해서 처리되는 스파이크 열은 1억880개에 달한다. 따라서 모든 뉴우런의 최대 정보처리 속도는 초당 2.25G바이트이다. 다중 수상돌기 가지에서 처리되는 추가적인 스파이크 열은 대체로 전체 셀공간의 50%가 수상돌기 셀로 채워진다고 할 때, 수상돌기 셀들의 정보생산성은 초당 6.8G바이트가 된다.

3.2.6. 외부 인터페이스

CBM 아키텍쳐는 시그널 메모리뿐만 아니라 외부 CBM 인터페이스를 통해서도 스파이크 열을 보내거나 받을 수 있다. 모든 모듈은 최대 188개의 스파이크 열을 입력받고, 로봇이나 음성처리 시스템과 같은 외부장치로 최대 3개의 스파이크 열을 출력할 수 있다. 16,384개의 모듈로 이루어진 두뇌에서 정보전송률은 모듈당 4.5Kbytes/s에 이르고 전체 시스템에서는 74Mbytes/s가 된다. 모듈 수가 적은 작은 두뇌의 경우에는 좀 더 높은 전송률을 구현할 수 있다.

4. 애완용 로봇, “Robokoneko”

CAM-Brain에 기반한 인공두뇌의 가능성을 보이기 위해서 “Robokoneko”라고 불리는 애완용 로봇고양이를 제어하는 문제에 적용하고자 한다. 아직까지 두뇌구축과정이 개념정립 단계에 있기 때문에 우리가 개발하고 있는 인공두뇌에 의해서 제어되는 무엇인가를 보여주어야 했는데, 가급적이면 일반인도 쉽게 이해할 수 있는 것으로 결정하였다. 만일 애완용 로봇이 여러 가지 재미있는 행동을 한다면 확실히 많은 사람이 관심을 가질 것이다.

이 로봇은 길이가 약 25cm로서 거의 실제 고양이와 크기가 같다. 몸통은 크게 두부분으로 나뉘어 2 자유도의 관절로 연결되어 있다. 뒷다리는 무릎과 발목부분에 1 자유도를 갖고, 엉덩이에 2 자유도를 갖도록 하였다. 앞다리는 무릎에 1 자유도, 엉덩이에 2 자유도를 갖도록 하였다. 1 자유도당 하나의 모터를 장착하면 다리에 대해 모두 14개의 모터가 필요하다. 또한 2개의 모터가 등과 앞몸통 사이의 연결에

필요하고, 목부분에 3개, 입부분에 1개, 꼬리에 2개, 카메라 줌잉을 위해 1개가 필요하여, 전체적으로는 23개의 모터가 구비된다.

이 고양이의 움직임을 제어할 수 있도록 모듈을 진화시키기 위해서 각 모터의 상태를 제어 모듈에 피드백시키는 것이 좋을 것이다. 각 모듈은 최대 188개의 입력을 받을 수 있기 때문에 23개 모터의 상태를 입력받는데는 아무런 문제가 없을 것이다.

속도가 느릴 것이기 때문에 움직임을 제어하는 모듈들은 기계적인 로봇을 사용하여 직접 진화되지는 않을 것이다. 기계적인 작동에 근거한 적합도 측정은 우리 목적에는 비현실적이다. 그대신에 “Working Model-3D”라고 하는 상용 시뮬레이션 소프트웨어 패키지를 사용하여 고양이의 움직임을 시뮬레이션할 것이다. 이 소프트웨어는 시뮬레이션된 고양이의 모터를 제어하기 위한 모듈을 진화시킬 수 있도록 입력을 제공해 준다. 이러한 소프트웨어를 사용하는 것은 CAM-Brain 프로젝트의 기본 아이디어인, 하드웨어 진화의 원칙에는 어느 정도 위반하는 것이지만, 이 정도의 타협은 필요악이 아닌가 생각한다. 실제로 움직임 제어와 관련된 모듈의 수는 전체적으로 볼 때 그리 크지 않을 것이다. 3,200개의 모듈들 대부분은 패턴 인식이나 시각, 청각, 추론 등에 할당될 것이다. 어쨌든 애완용 로봇을 만들어 나가면서 인공두뇌의 가능성을 효과적으로 입증할 예정이다.

5. 향후과제 및 토의

이 글에서는 ATR 연구소에서 진행하고 있는 인공두뇌(CAM-Brain) 프로젝트에 대해서 새로 구축된 CAM-Brain 머신(CBM)을 중심으로 살펴보았다. CBM은 초당 1,500억개의 CA 셀들을 변경하여 약 1초에 하나의 CA기반 신경망 모듈을 진화시킬 수 있다. 이 정도의 속도라면 현실적으로 수만개의 전화된 신경망 모듈을 인간이 정의한 인공두뇌 구조에 맞도록 결합시킬 수 있을 것이기 때문에, “두뇌 구축(Brain Building)”이라고 하는 새로운 연구분야를 만들 수 있으리라 기대한다.

여기에서는 CBM으로 구현된 신경망 모델의 하나인 CoDi-1비트 모델에 대해서 자세히 설명하였다. 일단 CBM을 사용하여 커다란 신경 시스템을 수만개의 모듈로 구축할 수 있게 되면 “Robokoneko”라고 불리는 애완용 고양이 로봇의 행동을 제어하는 인공두뇌를 설계하여 구축할 수 있을 것이다. 아직 이 프로젝트에서 남아있는 과제는 CBM을 사용하여 CoDi-1비트 모듈이 얼마나 진화 가능한지에 대해 철저하게 테스트하여, 어떤 것이 진화 가능하고 불가능한지에 대한 가이드라인을 세우고 많은 수의 모듈들을 결합하여 실제 Robokoneko의 두뇌를 만드는 일이다.

CBM은 또한 많은 다중 모듈 테스트를 하기에 충분하게 빨라야 한다. 다중 모듈 시스템은 진화되고 RAM에서 결합된 후 기능유닛으로 테스트될 수 있다. 일단 시스템이 성공적으로 구축되면 보다 큰 시스템의 일부분으로 사용될 수 있다. 모듈을 어떤 식으로 결합하여 전체 신경망 시스템을 구축할 지는 여러 가지 방식으로 결정될 수 있지만 현재는 생물학적인 연구결과에 기반하여 사람이 결정한다[5]. 대충 계산해 보면 CBM을 이용하여 신경망 모듈을 진화시키는 “진화공학자”가 모듈 하나의 적합도 함수, 즉 모듈의 입력신호, 목표 출력신호, 다른 모듈들과의 입출력 등의 명세를 생각해내는데 30분정도가 소요된다면, 4명이 2년내에 32,000개의 모듈로 이루어진 인공두뇌를 설계할 수 있을 것이다. 만일 좀더 커다란 인공두뇌를 2년내에 구축하고자 한다면 120명이 필요할 것이다. 물론 그와 같이 대규모의 팀이 필요하다면 상위수준의 “두뇌건축가”도 필요할 것이다. 이와 같이 계층적인 팀은 반드시 지리적으로 한 곳에 있을 필요없이 인터넷을 통해 관리될 수도 있을 것이다. 실제 ATR연구소의 CAM-Brain 팀도 세계적으로 퍼져있는 연구 협력자들과 매일 인터넷 폰을 통해 협력하고 있다.

인공두뇌가 성공적으로 작동하게 되어 재미 있는 애완용 로봇이나 간단한 가정용 청소로봇 등이 만들어진다면, 새로운 인공두뇌에 기반한 컴퓨터 산업이 가능하게 될 것이다.

참고문헌

- [1] H. de Garis, "An artificial brain: ATR's CAM-Brain project aims to build/evolve an artificial brain with a million neural net modules inside a trillion cell cellular automata machine," *New Generation Computing Journal*, vol. 12, no. 2. 1994.
- [2] M. Korkin, H. de Garis, F. Gers, and H. hemmi, "CBM (CAM-Brain Machine): A hardware tool which evolves a neural net module in a fraction of a second and runs a million neuron artificial brain in real time," In J.R. Koza, et al., editors, *Proc. of Genetic Programming 1997*, 1997.
- [3] F. Gers, H. de Garis, and M. Korkin, "CoDi-1 Bit: A simplified cellular automata based neuron model," *Proc. AE97, Artificial Evolution Conference*, 1997.
- [4] F. Rieke, D. Warland, R. Steveninck, and W. Bialek, *Spikes: Exploring the Neural Code*, MIT Press/Bradford Books, Cambridge, MA, 1997.
- [5] H. de Garis, S.-B. Cho, M. Korkin, and A. Agar, "Designing an artificial

brain with 10,000 evolved neural net modules: Initial thoughts," *Proc. Workshop of IJCAI'97*, 1997.



Hugo de Garis

1970 호주 Melbourne University
응용수학 및 이론물리학 학사
1991~현재 미국 George Mason University CMLI
선행연구원
1992 벨기에 Brussels University
인공지능학 박사, 일본 ETL
연구소 STA Postdoc Fellow
1993~현재 일본 ATR 인간정보
통신연구소 책임연구원
E-mail: degaris@hip.atr.co.jp



조 성 배

1988 연세대학교 전산과학과(학사)
1990 한국과학기술원 전산학과
(硕사)
1993 한국과학기술원 전산학과
(박사)
1993~1995 일본 ATR 인간정보통신
연구소 책임연구원
1995~현재 연세대학교 컴퓨터
과학과 부교수
1998 호주 University of New
South Wales 초청연구원
관심분야: 신경망, 패턴인식, 인공
생명
E-mail: sbcho @ candy.yonsei.ac.
kr