□ 특별기고 □

담당편집위원 : 고려대학교 전산학과 조충호 교수 Tel : (0415)60-1345, Fax : (0415)864-0014

생명론 패러다임에 기반한 정보처리

연세대학교 조성배*
ATR K. Shimohara

● 목 차 ●

1. 서 론
2. 생명론 패러다임
 2.1 인공생명 : 집단적 정보처리 패러다임
 2.2 생물의 적응(진화)전략을 모형화한 진화시스템
3. 소프트웨어 진화 : "진화하는 프로그램"
4. 하드웨어 진화 : "발생·성장·진화하는 전자회로"
5. 생명론 패러다임에 기반한 정보처리의 의의와 전망
 5.1 소프트웨어와 하드웨어를 통합한 새로운 방법론의 구축을 향하여
 5.2 자율성과 창조성이 풍부한 네트워크 에이젼트를 향하여
 5.3 진화 시스템으로서의 인공뇌를 향하여[2][3]
 5.4 인간의 "자기표현" 욕구를 충족·지원하는 커뮤니케이션 방식을 향하여
6. 맺는 말

1. 서 론

최근들어 인공생명(Artificial Life)이나 진화적 계산론(Evolutionary Computation) 등의 분야에서 진화와 발생(Emergence)을 기본으로 하는 새로운 정보처리 방식이 미국과 일본을 중심으로 활발히 연구되고 있다. 이것은 지금까지 개별적으로 제안된 두뇌의 가소성이나 개체의 발생, 적응과 진화 등 생체나 생물의 특성으로부터 파생된 모형들을 조합하거나 총동원함으로써 정보처리의 새로운 가능성을 모색하고자 하는 것이다. 어떻게 보면 대담하기도 하고 도발적이기까지 한 발상인데, 여기에서는 그와 같은 연구의 추세를 생명론 패러다임이라는 테두리 안에서 소개하고자 한다.

우선 생명론적인 정보처리로부터 도대체 어떠한 가능성이 새롭게 제시될 수 있을까. 개인적으로는 정보처리계 스스로가 자율적인 내부처리를 통해서 정보를 만들어 내는 방식의 실현이 가장 크게 기대되는데, 이것은 자율성과 창조성이 풍부한 기능을 실현 가능토록 해줄 것이다. 현재 컴퓨터는 우리들의 사고나 문장을 표현하고, 대화방식을 통해서 그것들을 효과적으로 종합하기 위해 없어서는 안될 것이 되었다. 컴퓨터는 자기를 표현하고 대화할 수 있는 "제2의 자기(Second Self)[1]"와 같은 존재라고 말해도 좋을 것이다. 하지만, 사전에 프로그램된 것 이외의 것은 아무것도 할 수 없으며, 컴퓨터 스스로가 정보를 만들어 내지 못하는 것도 사실이다.

이에 반해서 생명론 패러다임을 이용한 정보처리는 자율성과 창조성이 풍부한 정보처리계, 즉 "정보를 만들어 내는 컴퓨터"나 "살아있는 생물체와 같은 컴퓨터"의 창출을 그 목표로 한다[2][3]. 구체적으로는 자발적/상호의존적 변화를 생성하는 기구를 이용해서 프로그램이 스스로 변화되어 새로운 기능을 만들어 내는 소프트웨어의 진화, 그리고 이와 유사하게 하

*정 회 원

드웨어의 구조도 자율적으로 변화하면서 구성되는 하드웨어의 진화 방법론을 구축하고자 한다.

이 글에서는 생명론적인 정보처리의 사고방식 및 그와 같은 발상으로부터 가능한 새로운 "형태"의 정보처리 기능 창출을 목표로 하는 연구의 동향을, 그 의의와 전개의 가능성(가능하리라고 생각되는 전개방향으로)을 중심으로 기대되는 사항을 전망해 보고자 한다. 물론 그와 같은 사고방식이나 여기에서 소개하는 연구사례에 대한 전망은 모두 필자들의 소견에 의한 것으로 제한적이라는 점을 미리 밝히는 바이다.

2. 생명론 패러다임

최근에 미국과 일본을 중심으로 인공생명에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 생명론 패러다임이란 인공생명의 기본인 집단주의(Collectionism) 사고방식을 진화적 계산론의 사고방식과 결합시킨 개념적인 사고의 조합을 의미한다. 여기에서 진화적 계산론은 생물의 적응/진화전략을 컴퓨터 프로그래밍에 적용하고자 시도한 것이다.

2.1 인공생명 : 집단적 정보처리 패러다임

인공생명은 정보·계산이라는 관점에서 생명이나 생명체의 특징적인 현상들을 컴퓨터등의 인공적 매체에 합성하고자 하는 것이다. 이와 같이 함으로써, "우리가 알고 있는" 지구상의 생명을 이해하는 것 뿐만 아니라, "가능한 것"으로서의 생명의 원리를 탐색하고자 하는 것이 인공생명 본래의 목적이다[4]. 하지만 공학적인 입장에서는 생명이나 생명체가 보유하고 있는 자율성, 적응, 진화, 자기증식, 자기복제등의 우수한 특성을 인공 시스템으로 구현하고자 하는 것이다.

인공생명의 기본사상은 앞에서도 언급하였듯이 집단주의에 있으며, 이것은 상향식과 하향식 작용이 어우러진 쌍방향 기구를 사용한다. 상향적으로는 구성요소간의 국소적인 상호작용을 통해서 전체적인 질서와 행동이 형성되며, 형성된 전체적 질서와 행동은 하향적으로 구성요소의 행동이나 상호작용에 영향을 미쳐 변화를 일으킨다. 우선 시스템을 구성하는 요소들의 집단과 요소들이 상호 영향을 주는 작용을 고려해 보자. 환경으로부터 받은 자극과 정보에 일부 요소가 반응하고, 이것은 결국 그것들 간의 상호작용을 일으킨다. 그리고 그것들의 상호작용 결과, 어떤 종류의 "형태"(조직, 구조, 질서, 네트워크, 전체적인 상태등)가 출현한다. 이러한 "형태"는 더 나아가 다른 요소들의 반응을 불러일으켜 "형태"가 변화하게 된다. 인공생명은 이와 같은 작용으로 기능을 실현하거나 정보를 처리하고자 하는 것이다. 중요한 것은 요소가 언제까지나 고정되어 있지 않고, 발생/소멸, 증가/감소, 결합/분열하기도 하고, 그 자체의 성질이 변화하기도 한다는 점이다.

집단주의가 제창하는 집단적인 정보처리에서의 개념이동은 아래와 같이 정리할 수 있다.

•집중제어에서 병렬분산제어로

시스템으로서의 행동과 동작은 집중적인 제어에 의해서 실현되는 것이 아니라, 집단계를 구성하는 요소들간의 국소적인 상호작용에서 발생한다.

•최적설계에서 집단적 용장(redundant)설계로

각각이 최적설계된 필요최소한의 부품·요소에 의해서 계의 최적설계를 이루고자 하는 것이 아니라, 다소의 융장성을 갖는 많은 다양한 요소들로부터 집단적, 조직적인 행동으로서의 기능을 실현한다.

•고정에서 유동으로

자발적/상호의존적인 변화를 생성하는 기구를 이용해서 집단계를 구성하는 정보처리 요소의 종류나 수가 고정되지 않고 증가하며, 더 나아가 요소 자체도 대사 또는 세대교체(또는 이와 유사한 것)를 통해서 자율적으로 변화한다.

2.2 생물의 적응(진화) 전략을 모형화한 진화시스템

생명체를 수많은 요소들로부터 생성되어 유기적으로 기능하면서 환경에 적응해 가는 하나

의 시스템이라고 보면, 생명체의 생물적 적응 전략은 일반적으로 그림 1과 같이 그 개념을 표현하는 것이 가능하다. 다시 말해서, 우선 유전자형이라는 정보를 기본으로 하고 분열·증식이라고 하는 발생과정을 통하여 구조와 형태(표현형)를 형성하고, 두뇌와 같은 제어계의 가소성을 이용하여 개체로서의 기능과 행동을 만들어 낸다. 그러한 기능과 행동이 환경에 얼마나 적합한가에 따라서 자손을 남길 것인가(복제) 못할 것인가(죽음)가 결정된다(자연도태). 이후 복제를 통해서 새로운 유전자형이 생성되며, 이것으로 일세대의 순환이 완성된다. 여기에서 자연도태나 유전자 변이는 개체에 발생하는 작용이기는 하지만, 전체적으로는 집단 레벨의 진화적 과정이라 할 수 있다.

따라서 발생, 가소성, 자연도태, 유전자 변이와 같은 적응과정 또는 전략이 환경의 영향을 받는 것은 당연하다. 이것들의 적응전략은 그림 1에 나타난 것과 같이 시간축상에서 정리할 수 있다. 이것은 생물이 생화학적 실체이기 때문에 필연적으로 귀착되는 결과인가, 아니면 우연의 결과인가는 필자가 판단내리기 어려운 문제이다. 하지만, 이러한 적응전략은 이미 신경망이나 유전자 알고리즘등에서와 같이 모형화되어 정보처리에 널리 이용되고 있다. 적어도 정보·계산이라는 관점으로는 생물적인 시간축과 관계없이 정보처리의 기본수법으로서 그것들을 분리하거나 결합하여 사용하는 것이 가능하다. 다시 말해서, 생물의 발생, 성장, 발달, 분화, 진화등을 모형화해서 전자의 속도로 다양한 정보처리 구조나 처리양식을 시뮬레이션하고자 하는 것이다.

이상에서 소개한 것과 같이 생명론 패러다임에 기반한 정보처리는 생물적인 적응/진화전략을 모형화한 진화적 방법론과 융장성 및 다양성을 보유하면서 동적으로 변화하는 집단계를 이용해서 어떠한 정보처리가 새롭게 가능하게 될 것인가를 탐색하고자 하는 것이다. 유전자 알고리즘등과 같은 진화적 방법론도 물론 집단을 기본으로 하기는 하나, 공학적인 최적화 문제에 적용하는 것과 같이 어떤 해를 도출한다는 관점이 아니라 적응진화(변화)하는 시스템 구성에의 적용을 생각한다는 점을 특징으로 한다. 다음 절에서는 이의 구체적인 연구사례로서 소프트웨어의 진화와 하드웨어의 진화를 소개하고자 한다.

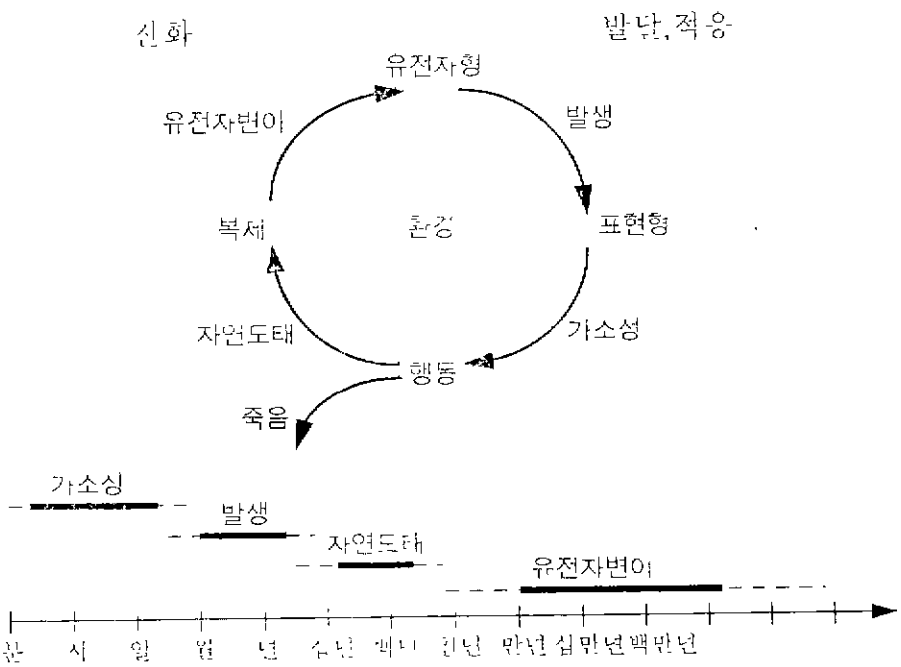


그림 1 생물적 적응전략의 일반적 개념

3. 소프트웨어 진화 : "진화하는 프로그램"

소프트웨어의 진화란 변화나 오류를 이용해서 컴퓨터 프로그램이 프로그램 자신을 고쳐 작성하여 구조를 변화시키고, 새로운 기능을 자율적으로 만들어 내는 것, 다시 말해서 기능하는 것으로서(또는 어떤 기능을 보유하면서) 복잡화·다양화하는 것을 의미한다.

이의 대표적인 예로는 T. Ray의 디지탈 생태계 티어라(Tierra)가 있다[5][6]. 그는 자기복제하는 하나의 프로그램을 전자생물로 작성하여 이로부터 복제시의 오류와 임의적인 오류를 돌연변이로 사용하면, 다종의 다양한 프로그램이 생겨나고 소멸하면서 프로그램들이 유한의 CPU 시간과 메모리 공간을 차지하기 위한 경합의 자연도태에 의해서 소프트웨어의 진화가 실현된다는 것을 입증하였다(그림 2 참조). 여기에서 자연도태라는 것은 인위적인 적응도를 이용한 인공도태가 아니라, 경합과 기생, 공생, 협조등 프로그램간의 상호작용에 의해 자기복제가 가능할 것인지 아닌지를 결정한다는 것을 의미한다. 이 밖의 특징으로는 다음과 같은 것을 열거할 수 있다.

- (티어라의 경우에는 효율적으로 자기복제하기 위한) 해로서 프로그램의 형태와 구조가 변화한다.
- 집단계를 구성하는 요소(이 경우에는 프로그램)들이 상호작용한다.
- 공통 자원으로서의 환경 그 자체도 동적으로 변화한다.

첫번째 항목에 대해서는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 확장시켜 그레프 구조나 트리 구조등의 구조적 표현을 유전정보로서 직접 다루는 유전자 프로그래밍(Genetic Programming)을 이용해서도 실현 가능하다[7][8].

또, K. Sims는 그의 인공진화(Artificial Evolution) 시뮬레이터에서 컴퓨터 상의 3차원 세계에 여러개의 블록으로 이루어진 가상생물을 만들어 냈는데, 이것의 유전정보는 방향 그래프로 표현되며 센서입력에 대해서 적절히 행동하도록 하였다[9][10]. 방향 그래프는 블록

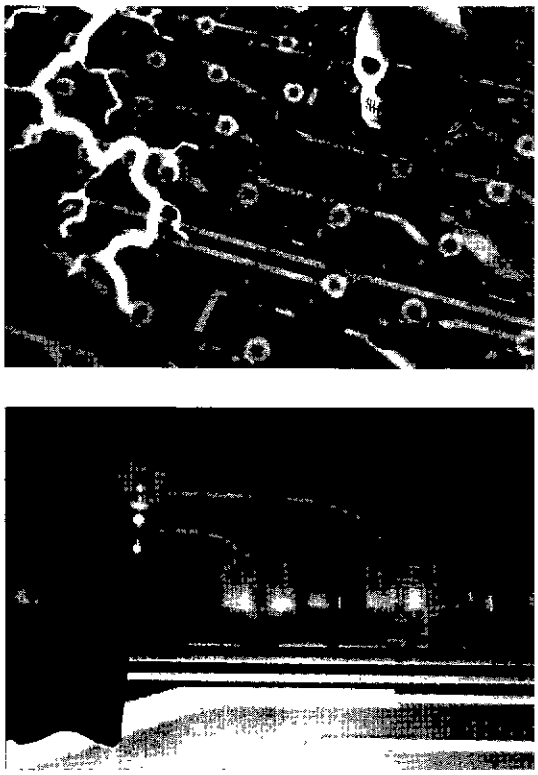


그림 2 티어라의 개념도 : (위) 해골은 프로그램을 제거하는 죽음의 신을, 번개는 새로운 프로그램의 가능성을 주는 돌연변이를 나타낸다.(아래) 스스로는 자기복제 불가능한 기생 프로그램이 주위의 프로그램으로부터 정보를 도용하여 자기복제 하는 모습[Images by Anti Gravity Workshop : courtesy of the Santa Fe Institute]

형태의 구성요소를 표현하는 노드와 노드간의 접속정보로부터 구성되며, 여러개의 블록으로부터 구성된 형상의 형성과 그것들의 제어를 위해서 신경망을 생성하도록 하였다. 이 신경망은 센서입력에 대해서 움직임을 생성하는 자극 반응계로서 기능한다. 그는 "걷는다", "헤엄친다"와 같은 과제에 대해서 진화적 프로세스를 적용하였는데, 결과적으로 "캠브리아 폭발"을 방불케하는 다종의 다채로운 모습의 형상과 행동을 나타내는 가상생물이 생겨났다(그림 3 참조). 이와 아울러 만들어진 생물들이 어떤 공통의 자원을 획득하기 위해 투쟁하여 승자는 생존과 복제가 허용되는 가상생물들간의 공진화의 예도 발견되었다.

또다른 예로서 H. Hemmi등은 하드웨어 기술언어(HDL : Hardware Description Lan-

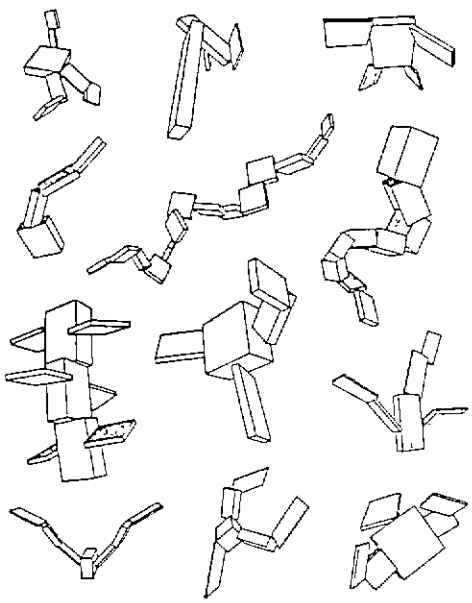


그림 3 "수영하는" 가상생물의 예[10]

guage) 프로그램의 자동생성을 위해서 유전자 프로그래밍에 의한 진화적 방법론을 도입하고 있는데, 이 연구의 본래 목적은 HDL을 이용한 하드웨어 진화 시스템을 구축하는 것이다[11][12][13]. 이것은 HDL 문법을 정의하는 규칙의 집합(BNF 표기)에 기반하여 문법적으로 올바른 프로그램을 발생시키는 것을 특징으로 한다.

이의 기본 아이디어는 수정란이 세포분열을 반복하여 성체를 형성하는 형태형성 과정에서 착안된 것으로, 컴퓨터 그래픽스 분야에서 식물의 성장을 모형화하기 위해 고안된 수법인 린덴마이어 시스템(Lindenmayer System)[14]을 이용하여 표현할 수 있는 것과 유사하다.

이 시스템은 HDL과 함께 개발이 진행되고 있는 CAD 시스템과 용이하게 결합될 수 있으며, 또 기술가능한 것이 풍부할 뿐만 아니라 작성된 프로그램이 이해하기 쉬운 고급언어로 되어 있는 경우에도 이용할 수 있는 진화적 기법이라는 점에서, HDL 이외의 일반적인 프로그래밍 언어에도 적용될 수 있으리라 기대된다.

4. 하드웨어 진화 : "발생 · 성장 · 진화하는 전자회로"

소프트웨어의 진화와 동일한 표현방식을 빌리면 하드웨어의 진화란 변화와 오류를 이용해서 전자회로로서의 하드웨어가 그 구조를 자율적으로 변화시키면서 구성되는 것, 그리고 당연히 구조와 함께 그 기능을 복잡화·다양화하는 것이 된다. 따라서, 표현형이 프로그램이 아니라 전자회로인 점을 제외하면 기본적으로 방법론적인 차이는 없다. 단지 회로소자나 디바이스 자체는 진화할 수 없더라도 셀룰라 오토마톤(Cellular Automaton)이나 FPGA(Field Programmable Gate Array)등과 같이 그들 사이의 결선이나 조합은 재구축될 수 있는 구조로 된 하드웨어를 전제로 한다. 물론 하드웨어의 진화라는 개념은 기본적으로 나노기술(Nano Technology)을 이용하여 소자의 구조 자체를 진화시키는 궁극적인 하드웨어 진화의 가능성도 포함하고 있기는 하지만, 여기에서는 좀더 실현성이 높은 연구사례를 소개하고자 한다.

하드웨어 진화의 기본적 아이디어는 그림 4와 같다. 정보군으로부터 각 정보에 의존한 구조를 갖는 하드웨어군을 생성하고, 실현된 기능과 성능에 대해서 하드웨어군을 평가·도태시킨후, 도태된 하드웨어에 대응하는 정보에 진화적인 조작을 가해서 차세대의 정보군을 생성함으로써 하드웨어군을 발생·성장·진화시킨다.

H. de Garis는 CAM-Brain(CAM : Cellular Automata Machine)이라고 불리는 연구에서, 상호 접속된 셀룰라 오토마톤을 구성요소로 하는 CAM 상에서 유전적인 정보에서부터 임의의 신경망을 발생·성장·진화시키는 시스

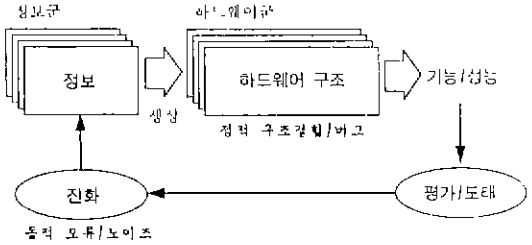


그림 4 하드웨어 진화의 기본적 순서도

템을 제안하고 있다[15][16]. 셀룰라 오토마톤은 주변 셀의 상태에 의존하여 스스로의 상태를 자동적으로 변화시키는 것이 가능하다. 이 시스템에 외부로부터 스트링 형태의 정보를 주게되면 신경세포가 축색돌기와 수상돌기에 해당하는 가지를 뻗치고, 그것들이 충돌하는 지점에 시냅스를 형성하게 되어, 신경망이 하드웨어로서 완성된다(그림 5 참조). 즉, 그와 같은 상태변이를 실행하는 규칙을 포함한 하드웨어 CAM에 대해서 연구하고 있다.

한편 FPGA에 대해서 T. Higuchi등은 FPGA의 아키텍쳐 비트열을 유전정보로 하여 GA를 적용시키는 방법을 제안하였으며, 정보군의 진화도 함께 포함하여 단일칩 상에서 실현가능한 FPGA의 개발을 목표로 하고 있다[17]. 또, 앞에서 소개한 H. Hemmi등도 FPGA를 전제로 하고 CAD 시스템과 결합시킨 종합적인 하드웨어 진화 시스템의 구축을 목표로 하고 있다. Hemmi등이 수정란에서부터 발생에 의해 형상을 형성하는 과정을 프로그램으로 모형화하고 있는 것에 반해서, P. Marchal등은 직접 하드웨어적으로 증식가능한 FPGA 아키텍쳐를 제안하고 있다[18].

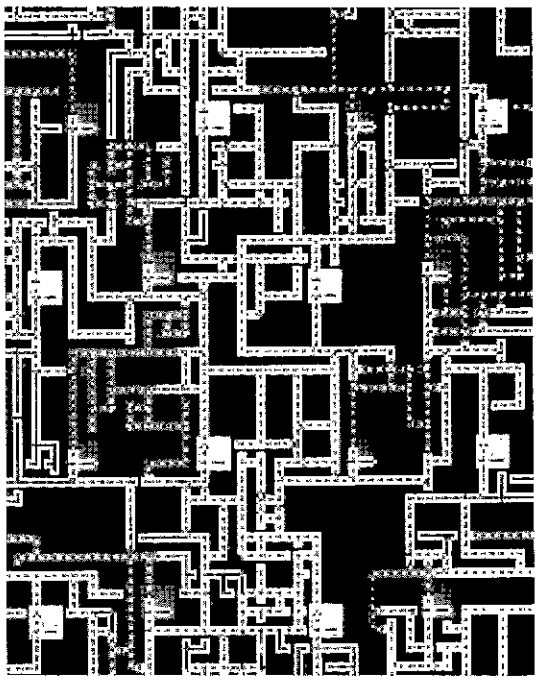


그림 5 신경망의 발생 및 성장 시뮬레이션 : 작은 사각형은 한개의 세포, 배경전체는 CAM 기반, 커다란 파란색/붉은색 사각형은 각각 제어성/흥분성 뉴우런. 뉴우런은 수상돌기(노란색)와 축색(녹색, 자주색)에 해당하는 가지를 뻗치며, 그것들이 만난 지점에 시냅스를 형성한다.

하드웨어의 진화에 관한 이와 같은 시도는 영국 Essex대학이나 미국 MIT에서도 연구가 진행되고 있으며, P. Marchal등이 소속된 스위스의 그룹이 중심이 되어 하드웨어 진화에 관한 심도깊은 워크샵이 매년 가을에 개최되고 있다.

5. 생명론 패러다임에 기반한 정보처리의 의의와 전망

여기에서는 생명론 패러다임에 기반한 정보처리의 의의와 앞으로 유망하리라 사려되는 전개방향을 몇가지 전망해 보고자 한다. 각각의 전개방향은 완전히 별개의 것처럼 보이지만 사실상은 상호 밀접하게 연관되어 있다.

5.1 소프트웨어와 하드웨어를 통합한 새로운 방법론의 구축을 향하여

하드웨어의 진화는 정보에 의존하여 하드웨어의 구조가 변화하면서 구축되도록 하고자 하는 것이다. 문제는 정보를 씨앗이라 하고 하드웨어 구조의 재구축이 가능한 디바이스 기반을 밭이라고 할때 씨앗에 따라서 밭에 적절한 하드웨어 구조를 만들어 나가는 것이 된다. 결국 하드웨어의 진화는 목적에 부합될 수 있도록 반복하여 변화시키면서 점차 품종을 개량해 나가는 것에 해당한다. 이러한 하드웨어의 진화는 아래와 같은 특징을 갖는다.

- 씨앗은 같더라도 밭이 다르면 완성되는 하드웨어 구조가 달라진다.
- 밭은 디바이스 기반으로서의 균일성을 요구받지 않는다. 즉, 밭 자체에 다소의 차이(디바이스의 구조결함이나 오류)가 있어도 된다.
- 역으로 밭에 적합한 씨앗을 찾아내어도 좋다. 다시 말해서 구조결함이나 오류는 정보의 변화로 흡수될 수 있다.
- 동적인 잡음이나 오류에 대해서도 동일하게 적용할 수 있다. 이러한 오류들은 오히

려 정보계가 변화(진화)하는 트릭으로 작용한다.

씨앗이라고 볼 수 있는 정보와 동일하게 밭에 해당하는 디바이스에 대해서도 융장성이 높은 집단계를 전제로 하기 때문에 대량의 하드웨어 자원이 필요하다. 여기에서 하드웨어 진화의 가능성에 대해 고찰해 보자.

현재 기술수준은 하드웨어(물질)계와 소프트웨어(정보)계로 명확하게 구분되며, 특히 하드웨어 분야에서 소프트웨어 분야에 대해서는, 품질과 성능을 보증할 수 있는 경계조건이 있다 (LSI 판매자는 균일성이 높게 동작을 보증할 수 있는 디바이스나 부품을 제공하고, 소프트웨어 판매자는 하드웨어와 동일한 원칙아래 프로그램에 의해서 달라지는 기능이나 서비스를 구현한다). 하드웨어 분야의 제조기술 발전은 미세화 기술을 현저하게 극한에 가까와 지도록 하고 있는데, 21세기 말까지는 10^{10}~10^{11}개의 소자를 평방 1인치내에 집적시킬 수 있게 될 것이라고 한다. 웨이퍼 스케일로 생각해 보면 거의 1조개의 소자가 집적가능하게 된다. 하지만, 그것을 가능하게 하는 제조기술은 테스트하는 것이 이미 커다란 골치거리가 되고 있다. 다시 말해서 현재 상태에서 재공하는 정도로 구조결함이나 오류가 발생하지 않도록 한다는 것은 극히 어렵게 될 것이 자명하다. 반도체 기술에 대약진을 기약하리라 기대되는 양자 디바이스등의 나노 전자공학이나 나노 기술에 있어서도 유사한 문제가 야기될 것이다.

따라서 하드웨어(물질)계와 소프트웨어(정보)계와의 관계에 발상의 전환을 요구하는 하드웨어 진화의 사고방식이 중요한 의미를 갖게 되는데, 이러한 방식은 쌍방에 커다란 발전을 가져다 줄 것이라 기대된다. 현재기술로는 구조결함이나 오류를 배제시킬 수 있는 비약적인 방법이 없는 듯하다. 하드웨어의 진화방식을 사용하는 경우에 문제는 대량의 하드웨어 자원을 필요로 한다는 것 뿐이다. 그와 같은 의미에서 하드웨어의 구조결함이나 동적인 오류를 허용하고 심지어 진화에 활용하고자까지 하는 생명론적 사고방식은 정보계와 물질계를 융합화·통합화하는 새로운 방법론으로 발전 가능하리라 기대된다.

5.2 자율성과 창조성이 풍부한 네트워크 에이전트를 향하여

21세기에 들어서 정보 수퍼하이웨이나 GII (Global Information Infrastructure)로 대변되는 정보 인프라와 사용자를 이어주는 컴퓨터와 네트워크 에이전트의 역할이 그 어느 때 보다도 크게 부각되고 있다.

커뮤니케이션의 의의는 자율적으로 정보를 생성/창조할 수 있는 존재(즉, 살아있는 물체)들이 상호간의 상상력과 창조력을 자극하여 내부세계의 폭을 넓히는데 있다고 한다. 지시한 것 이외의 정보를 수집한다든지 아이디어를 내놓는다든지 하는 자율성·창조성이 풍부한 컴퓨터가 가능하다면 사람들간의 경우와 마찬가지로 인간과 커뮤니케이션 가능하고 인간의 상상력과 창조력을 자극하여 내부세계의 폭을 넓혀주는 존재가 될 수 있을 것이다. 오히려 끊임없이 변화·성장하는 정보원으로서의 정보 인프라가 갖는 잠재력을 어느정도까지 꺼내어 활용할 수 있을 것인가의 의미에서, 자율성·창조성을 보유하는 컴퓨터와 에이전트는 필수적인 것이 될 것이다. 인간과의 커뮤니케이션에 의해서도 스스로 성장·진화할 뿐만 아니라, 그러한 컴퓨터들을 연결한 정보 인프라 상의 에이전트 사회에서의 커뮤니케이션에 의해서도 성장·진화하는 것이 가능할 것이다. 그와 같은 네트워크 에이전트는 생명론 패러다임에 기반한 정보처리가 가까운 장래에 적용될 수 있는 가장 유망한 분야가 될 것이다.

또한 T. Ray등은 타어라를 네트워크 버전으로 확장하여 인터넷등 지구 규모의 네트워크를 환경으로 하는 소프트웨어 진화의 실험을 계획하고 있다[19]. 수많은 사람들이 사용하고 있는 동적인 환경으로서의 인터넷은 간접적으로 디지탈 생물에 자연스러우면서도 변화와 복잡성이 풍부한 환경을 제공할 수 있다. 디지탈 생물은 인터넷 내에서 이동이 가능할 것인데, 보다 풍부한 CPU 시간과 메모리 공간을 찾아서 끊임없이 지구의 뒷편을 향해서 이동할 것이다. 이것은 완전히 반대로 끊임없이 지구의 앞편, 즉 처리능력을 필요로 하는 곳으로 모여드는 도움 에이전트의 존재 가능성을 시사한다. 모든 컴퓨터들이 광섬유로 연결되는 시대

를 상정한다면, 야간에 지구 뒷편의 처리를 이곳의 컴퓨터가 실행하는 것등은 오히려 당연한 것이라고 할 수 있으며, 그와 같은 것이 가능하게 되는 것이 지구규모의 정보 인프라가 갖는 커다란 의의일 것이다. 지구규모의 정보 인프라 시대를 향해서 지구규모의 자율적인 동적 처리능력을 배분 가능하도록 하는 한가지 방법으로의 전개가 기대된다.

5.3 진화 시스템으로서의 인공뇌를 향하여[2][3]

생체의 두뇌에는 탄생 전후부터 유소년기에 걸쳐서 신경세포가 대량으로 생겨난다. 하지만 불가사의하게도 이들중 대부분은 사전에 프로그램되어 죽어 없어진다. 그래도 백수십억개 정도의 신경세포가 살아남는다. 남은 신경세포는 수상돌기와 축색의 길이를 늘리고, 축색이 시냅스를 거쳐서 수상돌기에 접속되는 것으로 신경망을 형성한다. 그러나, 신경세포는 이와 같은 발생과 성장을 거치면서 계속해서 줄어간다. 유아기의 두뇌가 유연성과 창조성이 풍부한 것은 하드웨어의 구조가 성장과정에서 유연하기 때문이라고 생각된다. 축색과 수상돌기 사이를 연결하는 시냅스의 가소성은 학습과 경험을 가능하게 한다. 그러나, 두뇌는 생체와 함께 죽게 되고, 두뇌(즉, 인간)가 아무리 학습과 경험을 쌓는다 하여도 자손에게는 유전자밖에 물려주지 못한다. 유전을 통해서 수만세대에 걸쳐 이와 같은 발생·성장·학습을 반복하면서 두뇌는 진화해 왔다.

하드웨어의 진화와 소프트웨어의 진화에 대한 사고방식은 진화 시스템으로서의 인공뇌를 창출할 수 있도록 할 것으로 기대된다. 인공뇌에는 여러가지 잇점이 있을 수 있다. 첫째는, 유연성이 요구되는 경우에 전체로든 부분으로든 몇번이라도 유아기로 되돌아가서 신경세포를 증가시켜 네트워크를 구조부터 바꾸는 것이 가능하다. 생체의 두뇌는 이것을 유지시키기 위해서 생체에 적합한 크기에 한정되어 있지만 인공뇌는 한정될 필요가 없다. 그리고 가장 커다란 잇점은 인공뇌는 죽지않아도 된다는 점이다. 따라서, 학습과 경험의 결과를 그대로 유지하면서 새로운 부분을 첨가하는 방식으로 진화되는 것도 가능할 것이다. 다시 말해서, 두뇌의 진화과정으로서 설명되는 것처럼 어류의 뇌 외측에 파충류의 뇌, 그 외측에는 포유류의 뇌, 그리고 그 외측에 대뇌신피질이 발생한 것처럼 정보처리계를 축적하여 중층화시키는 것이 가능하다. 이와 아울러 그와 같은 인공적인 두뇌의 진화를 전자의 속도로, 여러가지 조건상에서 병렬적으로 시뮬레이션하는 것이 가능하다. 다종의 다양한 인공뇌를 증식, 진화시키는 것이 가능하게 되는 것이다.

다종의 다양한 인공뇌를 정보 인프라에 의해서 상호 네트워크화하는 것에 의해서 인공뇌의 사회를 만드는 것도 가능하게 될 것이다. M. Minsky의 "마음의 사회(Society of Mind)"[20]와 같이 네트워크화된 여러개의 인공뇌에 의해서 하나의 사회적 두뇌가 구축될지도 모른다. 이러한 내용은 아직 꿈같은 이야기에 불과하지만 인공뇌는 생체의 뇌가 생체이기 때문에 제약받게 되는 한계를 극복할 수 있는 커다란 가능성을 갖고 있다.

5.4 인간의 "자기표현" 욕구를 충족·지원하는 커뮤니케이션 방식을 향하여

인간은 "자기를 표현하고 싶다"는 욕구를 갖고 창조하는 것에 즐거움을 느끼며, 또 그것을 인정받는 것에서 즐거움을 느낀다. 특별한 기술이나 재능을 갖고 있지 않은 보통 사람이 극히 일상적인 인터페이스를 통해서 스스로의 내부상태에 의존한 영상표현이나 음악표현이 가능하게 된다면 어떨까. 그와 같은 것이 의외로 간단한 방법으로 가능하게 될 수도 있겠다는 예감을 갖게 해준 것이 대화형의 컴퓨터 그래픽스 아트와 인공생명을 조합시킨 C. Sommerer와 L. Mignonneau 등의 작품이다[21]. A-Volve라고 명명된 이 작품은 간단한 2차원 형상을 입력받아서 3차원화 시켜 수중 인공생물의 형태로 나타내는데, 이것들은 사람의 손움직임에 반응하기도 하고 다른 생물과 교배하여 자손을 남기기도 한다(그림 6 참조). 또 작품의 일부인 Plant Growing에서는 사람이 실제로 식물에 손을 가까이 하거나 직접 대거나 하면 스크린 상에 식물이 성장하도록 하였다(그림 7 참조). 컴퓨터 그래픽으로 창조된

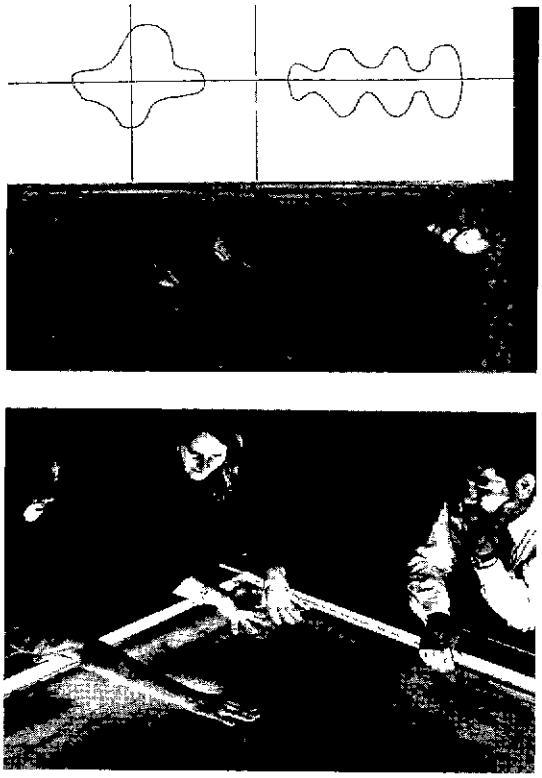


그림 6 A-Volve : (위) 2차원 형상의 입력화면과 이로부터 만들어진 인공생물의 예 (3차원 표시). (아래) 수중에 투영된 인공생물은 사람의 손움직임에 반응하는데, 헤엄치거나 서로 잡아먹거나 성장하거나 또는 교배하여 새로운 형태의 생물을 만들어낸다.

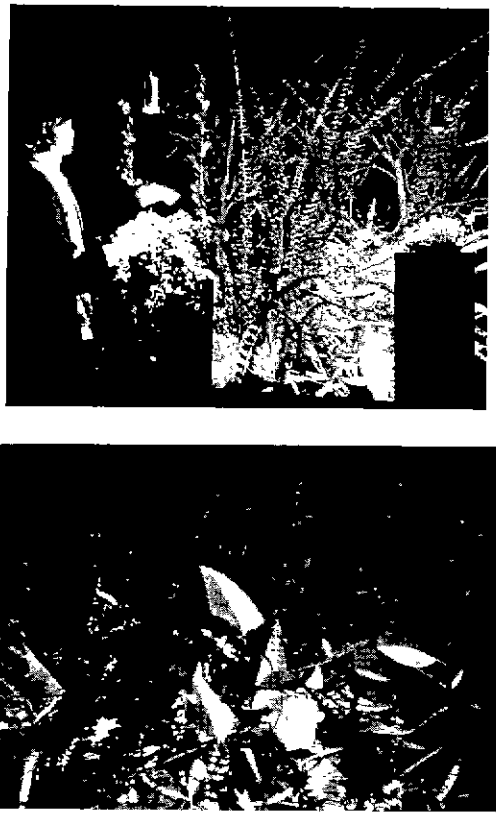


그림 7 Interactive Plant Growing : (위) 스크린 앞에 놓인 실제 식물에 손을 가까이 하거나 만지거나 하면 스크린 상의 식물이 성장한다. (아래) 성장한 식물의 예

이러한 식물이나 생물은 예술가의 감성에 기반하여 컴퓨터가 만들어 낸 것이다. 이것은 작품으로서도 예술가의 능력에 따라 훌륭한 영상으로 태어난다. 그러나 무엇이 어떻게 만들어질 것인가는 어떤 시점에서 사용하는 사람의 상태에 의존한다는 의미에서 인간의 자기표현 지원시스템이라고 부르는 것이 가능할 것이다.

이러한 것들은 극히 상식적인 일상의 인터페이스로 시스템과 컴퓨터가 만들어 내는 자율성과 창조성을 사용가능하도록 하는 커뮤니케이션의 한 형태라고 할 수 있다. 극히 평범한 사람들이 가벼운 마음으로 즐겁게 영상이나 음악을 만들어 내고, 그것을 주변 사람들과 교환하는 사회 공동체에 뿌리를 둔 커뮤니케이션의 세계가 출현하게 될 것이다. 예술성이 풍부한 질 높은 영상과 음악으로 자기만의 표현을 지원하고 사회 공동체 사이에서의 커뮤니케이션을 활성화함으로써, 현재 널리 유행하고 있는 멀티미디어 네트워크의 의의와 나아갈 방향을 제시할 수 있을 것이다.

6. 맺는 말

이 글에서는 인공생명의 집단주의와 진화적 방법론을 융합시킨 개념적 결합체로서 생명론 패러다임의 사고방식을 소개하였다. 생물의 적응전략을 모형화하여 그것들을 집단계로 고려하고, 더 나아가 최적화로서 뿐만이 아니라 집단계가 갖는 융장성을 살려서 무엇이 가능할 것인가를 생각해 보고자 하였다. 그와 같은 생명론 패러다임에 기반한 정보처리의 가장 커다란 특징은 자율성과 창조성이라고 하는 기능의 실현이 소프트웨어/하드웨어 쌍방에서 가능하게 된다는 점이다. 이와 같은 시점에서 연구사

례를 소개하고 앞으로의 전개방향을 대담한 시각으로 전망해 보았다.

참고문헌

[1] S. Turkle, *The Second Self-Computers and Human Spirit*. Simon and Schuster, 360p., New York, 1984.

[2] K. Shimohara, "Evolutionary systems for brain communications-Towards an artificial brain," Brooks and Maes (Eds.), *Artificial Life IV*, MIT Press, pp. 3-7, 1994.

[3] 下原勝憲, 脳コミュニケーションの進化－進化システムとしての人工脳を目指して, 柴田崇徳・福田敏男編著 "人工生命の近未來", 時事通信社, pp. 43-68, 1994.

[4] C.G. langton, C. Tayler, J.D. Farmer, S. Rasmussen, (Eds.), *Artificial Life II*, Addison Wesley. 854 p., Redwood City, 1992.

[5] T. Ray, "An approach to the synthesis of life," In C.G. Langton, C. Tayler, J.D. Farmer, S. Rasmussen (Eds.), *Artificial Life II*, Addison Wesley, pp. 371-408. 1992.

[6] S.-B. Cho and T. Lay, "An Evolutionary Approach to Program Transformation and Synthesis", International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, Vol.5, No.2, pp.179-192, 1995.

[7] J. Koza. *Genetic Programming*, MIT Press, 819 p., Cambridge. 1992.

[8] J. Koza, *Genetic Programming II*, MIT Press, 819 p., Cambridge, 1994.

[9] K. Sims, "Evolving virtual creatures," Proc. *of SIGRAPH'94*, pp. 15-22, 1994.

[10] K. Sims, "Evolving 3D morphology and behavior by competition," Brooks and Maes (Eds.), *Artificial Life IV*, MIT Press, pp. 28-39, 1994.

[11] H. Hemmi, J. Mizoguchi and K. Shimohara, "Development and evolution of hardware behavior," Brooks and Maes (Eds.), *Artificial Life IV*, MIT Press, pp. 371-376, 1994.

[12] J. Mizoguchi, H. Hemmi and K. Shimohara, "Production genetic algorithms for automated hardware design through an evolutionary *process*," *Proc. of IEEE Conf. on Evolutionary Computation*, vol. II, pp. 661-664, 1994.

[13] 邊見 均, 溝口潤一, 下原勝憲, "HDLプログラムの自動生成と生物のかたちづくり," 第6回自律 分散システム シンポジウム, 計測自動制御學會, pp. 201-204, 1995.

[14] P. Prusinkiewicz and A. Lindenmayer, *The Algorithmic Beauty of Plants*. Springer-Verlag, 228 p., New York, 1990.

[15] 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 celluar automata machine," *New Generation Computing*, OHMSHA. LTD and Springer-Verlag, 12, pp. 215-221, 1994.

[16] フーゴ デガリス, 邊見 均, "CAM-brain：進化する人工脳," *Computer Today*. vol. 2, no. 7. pp. 62-66, 1994.

[17] T. Higuchi et al., "Evolvable hardware-genetic based generation of electric circuitry at gate and hardware description language(HDL) levels," *ETL Technical Report*, 93-4, 1993.

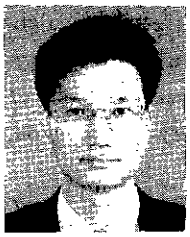
[18] P. Marchal, "Embryological development on silicon," Brooks and Maes (Eds.), *Artificial Life IV*, MIT Press, pp. 365-370, 1994.

[19] T. Ray, "A proposal to create a network-wide biodiversity reserve for digital organisms," *ATR Technical Report*, TR-H-133, 1995.

[20] M. Minsky, *Society of Mind*, Simon & Schuster Inc., New York, 1986.

[21] C. Sommerer and L. Mignonneau, "A-volve & interactive plant growing," 作品紹介用のリーフレット, 1994.

조 성 배



1988 연세대학교 전산과학과(학사)
1990 한국과학기술원 전산학과(석사)
1993 한국과학기술원 전산학과(박사)
1993 1995 ATR 인간정보통신연구소 객원연구원
1991 현재 한국과학기술원 인공지능연구센터 참여연구원
1995 현재 연세대학교 소프트웨어응용연구소 연구원
1995 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 조교수

관심 분야 : 신경망, 패턴인식, 지능정보처리

Katsunori Shimohara

1976 구주대학(九州大學) 공학부 정보공학과(학사)
1978 구주대학원 공학연구과(석사, 정보공학전공)
1978 일본전신전화공사(NTT) 전기통신연구소 입소
1986 1987 MIT 미디어연구소 객원연구원
1987 1992 NTT 휴먼인터페이스연구소 주간연구원
1992 1993 ATR 시청각기구연구소 인지기구연구실장
1993 현재 ATR 인간정보통신연구소 제6연구실장
1995 현재 NTT 휴먼인터페이스연구소 영상처리연구부 영상언어연구그룹 책임자

관심 분야 : 뇌 커뮤니케이션을 위한 진화시스템

● '96 컴퓨터시스템 동계 학술대회 ●

- 일 자 : 미정(1996년 2월 예정)
- 장 소 : 추후결정
- 내 용 : 연구 발표 및 토의 등
- 주 관 : 컴퓨터시스템연구회
- 문 의 : 중앙대 컴퓨터공학과 김성준 교수
  T. 02-820-5307