

인공생명 기반 지능형로봇 기술

한국전자통신연구원 문애경·김 현·함호상

1. 서론

지능형로봇 기술은 생활환경 변화 및 삶의 질 향상에 필수적이며 정보 기술(IT)과 생명공학 기술(BT) 이상의 산업 규모와 고부가가치를 창출할 차세대 핵심 기술이다. 로봇을 지능화하려는 시도는 인공지능 분야에서부터 시작되었다. 인공지능이란 지능형 시스템을 만들기 위한 방법론으로 기호나 논리에 의하여 지능을 기술한다. 인공지능의 경우 기대와 달리 한정된 곳에서만 지능화를 실현하였을 뿐 실제로 학습하며 변화하는 환경에 적응하는 진정한 의미의 지능화에는 도달하지 못하였다. 그 이유는 논리 및 기호 표현에 의존하여 조건이 완벽하고 정보가 완전하게 주어지는 환경을 위한 지능형 시스템 개발은 가능하지만 불확실성이 존재하는 현실 환경에 대한 처리가 부족하기 때문이다[1]. 21세기의 로봇은 개인화되고 활동영역이 광범위한 것으로 예측된다. 따라서 기존의 인공지능 기반 방식만 가지고는 복잡 다양한 로봇의 환경을 모델링하고 제어하기 어렵다.

본 고에서는 생물 행동의 본질을 이해하고 생명체의 유용한 성질을 공학에 이용하고자 하는 인공생명의 관점에서 지능형로봇 기술을 설명한다. 즉, 생명체들은 진화나 학습을 통해 복잡하고 동적인 자연계에 적응하고 자율행위를 보인다는 인공생명 이론을 지능형로봇에 적용하여 기존 인공지능 방법론을 보완하고자 한다.

인공생명은 자연계의 생물로부터 얻는 여러 가지 특성에 대하여 체계를 세우기 위하여 시작된 학문이다[2,3]. 1980년대 후반 Langton에 의해 인공생명이라는 용어가 언급된 이후, 진화와 창발(emergence)을 기본으로 하는 인공생명은 정보처리의 새로운 패러다임으로 등장하였다. 인공생명은 생명의 기원, 생

명 현상의 본질, 생명체 진화 등 아직까지 과학이 해결하지 못한 중요한 문제들에 대한 해결책을 제시해 주기 때문에 컴퓨터, 과학, 생물학, 물리학 등 모든 영역에서 활용이 가능하다[4]. 하지만 기존의 인공생명 연구는 연구 주제, 연구 방법론의 다양성으로 인하여 대부분 시뮬레이션을 통한 생명체 본질 연구에 주로 활용되었다. 즉, 생물학적인 측면에서 컴퓨터와 같은 인공매체에 생명의 기본법칙을 적용해 생물학적 현상을 재구축해 보며 실제 생명체의 성질이나 메커니즘을 설명하고자 하였다. 그러나 공학적인 측면에서는 생명 그 자체에 초점을 맞추고자 하는 것이 아니라 오히려 생명의 특징을 가지는 인공물 창조에 초점을 맞추고 있다[1]. 따라서 인공생명체화는 생명체의 특징을 이해하고, 소프트웨어 혹은 하드웨어 인공매체에 생명체와 유사한 기능을 갖는 시스템을 구축해 생명체가 가지는 특성을 부여하고, 이를 통하여 새로운 서비스를 창출하고자 하는 노력으로 정의할 수 있다.

인공생명의 가장 핵심 단어는 창발로서, 창발은 저수준의 단순한 기계들을 단순한 방식으로 결합시킨 결과 고수준의 복잡한 기능이 자율적으로 발생하는 현상을 의미한다. 일반적으로 인공생명 시스템들은 다수의 단순하고 기본적인 개체로 구성되어 있으며 이들은 진화, 학습 그리고 다른 개체와의 상호작용에 의해 창발적인 자율행위를 보인다. 이러한 관점에서 인공생명 기술은 주어진 문제의 수행에 있어서 과거의 지식이나 현재의 감성상태를 기반으로 동적으로 대처할 수 있는 능력을 갖는 자율행위 시스템 기술로 정의할 수 있다.

인공생명 기술을 적용한 예로는 Terzopoulos가 구현한 가상해양세계(artificial fish)가 있다. Terzopoulos는 가상해양세계를 구현하는 과정에서 인공 물고기의 행동 구현에 인공생명 기술을 활용하였다[5]. 구현된 인

공 물고기들은 움직임(motor), 지각(perception), 행위(behavior) 기능을 갖고 자율적으로 장애물 회피와 같은 기본적인 행위와 짝 짝기와 같은 보다 복잡한 행위를 만들어 낸다. Pozan 대학의 3차원 인공생명 시뮬레이터[6]인 Framsticks는 공진화, 진화연산, 최적화 등 인공생명 이론을 시험해 보기 위해 개발되었다. Framsticks는 단순한 기능을 가진 여러 개의 막대기(stick)로 구성되고, 3가지 감각기관(촉감, 후각, 평형감각)과 붉은 색 근육을 가지고 자율적으로 목적에 따른 행위를 시도한다(그림 1 참조). 자율행위를 표현하기 위해 사용된 인공생명 기술로는 영화에 활용된 Reynold의 Boids 알고리즘, Swarm-bot에 사용된 Swarm Intelligence[7], 지능형로봇을 위한 진화/학습 기법 등이 있다. 본 고에서는 인공생명의 주요 기술과 이것이 지능형로봇 시스템을 구축하는 데 어떻게 적용될 수 있는지를 설명하고 주요 연구 사례들을 살펴본다.



그림 1 Framsticks의 전체 모습과 에너지를 찾는 모습

2. 인공생명 기술

오래전부터 인간들은 주어진 문제를 해결하고자 할 때 자연에서부터 그 해결책을 찾은 사례가 많다. 새가 나는 모습을 보고 비행기를 개발하였으며, 박쥐의 음파탐지 기능을 모방해 레이더를 개발하였다. 또한 배나 잠수함은 물고기 모양을 보고 유선형으로 설계하였다. 이러한 것들은 생물의 외부적인 특징을 모방하여 공학적으로 응용한 경우이다. 인공생명에서는 이와 같은 외형적인 특징 뿐만 아니라 생명체의 동작원리, 알고리즘, 내재적 규칙, 행동원리, 방법론 등을 모두 연구 대상으로 삼는다[1]. 본 절에서는 인공생명의 주요 기술인 생물형태 모델링 및 진화와 학습의 적용기술을 설명한다. 또한 기존 인공생명 학자들이 제안한 것은 아니지만 생명체를 이해하고 공존한다는 측면에서 최근 각광받고 있는 감성 기술을 인공생명 기술의 한 부분으로 설명한다.

2.1 생물형태 모델링 기술

생물형태 모델링 기술은 생명체의 발생 및 동작원리에 초점을 둔 기술이다. 생명체의 발생에 관련된 셀룰라 오토마타, 생명체의 행동양식을 모방한 포섭구조(subsumption architecture), 다수의 단순하고 기본적인 개체들의 상호작용을 통해 집단행동 특성을 나타내는 Boids와 Swarm Intelligence, 그리고 세포 발달을 모델링한 L-System 등이 생물형태 모델링 기술에 포함된다.

2.1.1 셀룰라 오토마타

셀룰라 오토마타는 이산적인 동역학 시스템(discrete dynamic system)으로 공간, 시간, 시스템의 상태가 모두 이산적인 시스템이며 상호작용 규칙에 따라 동작한다. 즉, 바둑판과 같은 다수의 셀들로 구성된 셀룰라 오토마타는, 인접한 다른 셀에 영향을 받아 다음 상태로 변화한다. 1940년대 von Neumann은 인공생명의 등장배경이 된 자기복제 이론을 제안하고 자기복제를 컴퓨터상에서 실현하기 위한 방법으로 셀룰라 오토마타를 사용하였다. Conway는 2차원 셀룰라 오토마타를 이용하여 생명게임(game of life)을 개발하였다. 생명게임은 셀들이 출생과 사망의 규칙을 통해 연속적으로 변화하는 시뮬레이션 게임이다. 규칙들은 단순하지만 간단한 초기 패턴으로부터 개체가 움직이거나, 자신을 복제해 나가는 등의 복잡한 생명 형태가 나타나는 현상을 보인다.

2.1.2 포섭구조

Brooks는 곤충의 행동양식은 의식이 없는 상태에서 자발적으로 나타난다는 점에 초점을 둔 포섭구조를 제안하였다. 현실 세계로부터 입력을 받으면 현실 세계와 연관을 끊고 내부적으로 연산을 처리한 다음 출력하는 기존 인공지능 방법론과 달리, 포섭구조는 낮은 단계에서는 현실 세계와 직접 반응하여 출력하고 높은 단계에서는 좀 더 복잡한 일을 담당하는 구조를 갖는다. 제안된 방식은 기능을 병렬적으로 모듈화하여 정보처리 시 병목현상이 발생하지 않고 단순한 작업은 낮은 단계에서 처리가 가능하므로 처리 시간이 짧다는 장점을 갖는다. Brooks는 포섭구조를 바탕으로 한 휴머노이드로봇 Cog[8]를 개발하였다.

2.1.3 Boids

Reynolds가 제안한 Boids는 인공생명의 가장 큰

특징인 창발을 표현한 대표적인 예로 다음과 같이 3가지의 단순한 행동규칙을 갖는다. (1) 다른 Boids와 충돌하지 않는다. (2) 주변의 다른 Boids와 같은 방향을 유지한다. (3) 주변의 다른 Boids의 평균 위치를 향해 움직인다. Reynolds는 이와 같은 3가지 행동규칙을 통하여 무리짓기 행동이 창발할 수 있음을 보였다. Boids는 동물, 새, 물고기 등의 집단행동을 모델링하기 사용되었으며(그림 2 참조), 라이온 킹 등의 영화에서 동물들의 집단행동을 표현하는데 활용되었다.

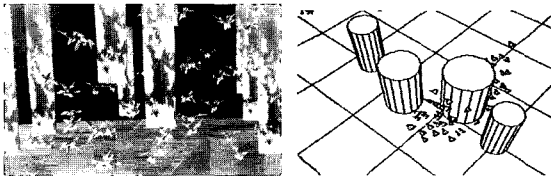


그림 2 Reynolds의 Boids

2.1.4 L-System

L-System은 Lindenmayer가 세포발달을 모델링하기 위해 개발한 기법으로 문법형식의 치환규칙을 통해 자연계와 유사한 형태의 물체를 모델링한다. 컴퓨터 그래픽에서 식물 등을 모델링하는 데 주로 사용되었다(그림 3 참조). 생물학 분야에서는 세포 분화 패턴과 형태 형성, 로봇 공학에서는 구조적 패턴 인식과 음성인식, 컴퓨터 과학 분야에서는 프로그래밍 언어의 의미론 등 다양한 분야에서 연구되고 있다[9].

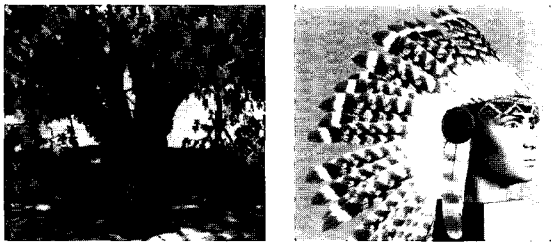


그림 3 L-System을 사용한 컴퓨터 그래픽

2.1.5 Swarm Intelligence

Swarm Intelligence는 지역정보를 바탕으로 상호작용하는 개체들이 군집행동을 통해 일관되고 유용한 군지능을 창발하는 현상으로 개미의 먹이 탐색, 물고기의 이동, 새의 이동, 벌의 육아 등 그 예가 있다[7]. 최근 자율이동 로봇의 Swarm Intelligence 형

성 연구가 진행되고 있다. 단순한 행동을 하는 여러대의 자율이동 로봇들은 협조행동을 통해 복잡한 문제를 해결하기 위해서 주위 및 다른 개체와의 관계를 통해 군지능을 형성하고 적절한 행동을 결정한다. 이것은 마치 기능이 단순한 곤충들이 주위 상황을 인지하고 바로 행동에 대응시켜 먹이를 옮기거나 무리를 지어 이동하는 집단적인 행동을 보여주고 있는 것과 같다. Ant-ViBRA는 Swarm Intelligence를 이용하여 최소 시간을 갖는 작업 일정을 만들기 위해 개발된 시스템이다[10].

2.2 적응 기술

적응은 생물이 제대로 살아남아서 기능을 다하기까지 필요한 기술로 진화와 학습이 있다. 진화는 개체군(population) 수준에서의 적응으로 돌연변이와 교배, 선택 등의 과정을 통한 적자생존 기술이고 학습은 개체 수준에서의 적응으로 환경과의 상호작용을 통한 행동변화 기술이다.

2.2.1 진화 기술

진화에 필요한 기술로는 진화 알고리즘과 공진화가 있다. 진화 알고리즘에는 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 유전자 프로그램(genetic programming), 진화 전략(evolution strategy), 진화 프로그램(evolutionary programming)이 있다. 이들은 공통적으로 다음과 같은 특징을 갖는다. 진화 알고리즘은 개체군에 기반을 둔 탐색을 수행하며 개체들의 적합도를 측정하고 최적 개체를 선택하기 위한 방법과 기존의 개체군을 변형하여 새로운 세대를 생성하기 위한 유전자를 갖는다. 일반적으로 적합도가 높은 개체는 적합도가 낮은 개체에 비해 다음 세대에 선택되어 살아남거나 자손을 생산할 확률이 더 높다. 진화 알고리즘은 보통 원하는 수준의 적합도를 가진 개체가 나타날 때까지 세대교체를 반복한다. 공진화는 두 개 이상의 개체군이 상호작용을 하면서 진화하는 알고리즘이다. 공진화에는 경쟁적 공진화와 협조적 공진화가 있다. 경쟁적 공진화는 피식자(pre)와 포식자(predator)의 관계와 같이 서로 다른 개체군 간의 경쟁에 의해 진화하는 방식이고 협조적 공진화는 두 개체군이 서로 보완하며 협조해 나가는 방식이다. 진화는 인공생명 모델에서 핵심적인 역할을 제공하는 것으로 대표적인 예로 Ray가 개발한 디지털 유기체

Tierra가 있다. Tierra는 컴퓨터 내에 가상 환경을 만들어 자기복제하는 기계어 코드들이 에너지원인 CPU 시간을 놓고 경쟁하도록 만들었다[11]. 그 결과 스스로 복제할 능력을 갖추지 못한 기생충이 탄생해 숙주를 감염시키고 시간이 지나 면역 기능을 갖춘 숙주가 등장하는 등의 진화 현상을 보였다.

2.2.2 학습 기술

학습은 일생동안 개체의 생활에서 발생할 수 있는 과정으로 생명체의 생존에 필수적인 요소로 신경망과 강화학습(reinforcement learning)이 있다. 생명체의 행동을 결정하는 정보처리 메커니즘은 크게 유전계(genetic system), 뇌신경계(brain-nervous system), 면역계(immune system), 내분비계(endocrine system)의 네 가지로 분류할 수 있다. 신경망은 생명체의 뇌신경계를 모방한 학습 시스템으로 다양한 분야에 적용되고 있다. 신경망에 의한 학습은 패턴인식이나 비선형 매핑, 로봇 제어 등에 사용되고 진화 알고리즘과 병행하여 이용하는 경우가 많다[9]. 강화학습은 잘한 행동에 대해 칭찬받고 잘못된 행동에 대해 벌을 받은 경험을 통해 자신의 지식을 키워나가는 시행착오에 의한 학습 방법이다. 예로 들면 로봇은 어떤 상태에서 가능한 행동들 중 하나를 선택하고 이 행동결과에 따른 포상(reward)을 받으면 현재 상태, 행동정보 등을 기록 학습한다. 따라서 학습이 잘된 로봇이라면 최종 목적을 효과적으로 이루기 위해 포상을 최대로 주는 행동을 매번 선택할 것이다. 강화학습에 주로 사용되는 방법에는 TD 기법, Q-Learning, ERL(Evolutionary Reinforcement Learning), 퍼지 추론 강화학습 등이 있다.

2.3 감성 기술

감성 기술은 컴퓨터에게 인간의 감성을 인지하고 학습과 적응을 통하여 인간의 감성을 처리할 수 있는 감성지능 능력을 부여하는 것으로, 인간과 컴퓨터의 효율적인 상호작용을 목적으로 한다. 여러 감성들을 컴퓨터가 인식하고 감성 신호의 피드백에 따라 각각의 상황에 맞는 적절한 행동을 자율적으로 수행한다는 측면에서 감성 기술은 인공지능의 주요 기술 중 하나로 볼 수 있다. 감성이나 감성의 지속적인 상태인 기분을 측정하기 위해서는 감성 신호 측정 기술이 필요하다. 감성 신호는 호르몬의 레벨, 신경 전달 속도 및 신경 시스템의 활동 상태 등을 측정하고 이를

계량화하여 나타내는 것이 바람직하지만 현재의 기술로는 구현하기 어렵다. 가능한 방법으로는 인간의 감성 시스템의 관찰로부터 얻은 감성이나 기분이 갖는 속성들을 바탕으로 컴퓨팅 모델을 만드는 것이다[12]. 또한 웨어러블 컴퓨터에다 착용자의 감성 신호 및 패턴을 인식할 수 있는 센서와 도구들을 장착하여 착용자의 감성 상태를 인식할 수 있고 심장박동수, 피부반응 상태를 감지하여 감성 인식률을 높일 수 있다[13]. MIT의 미디어 연구실에서는 인간의 감성 상태를 측정하기 위해 다양한 웨어러블 컴퓨터들을 개발하였다[14].

감성을 인식하기 위해서는 감성 신호 측정 기술 이외에 표정, 동작, 억양 등을 수집할 수 있는 시청각 능력이 필요하다. 감성을 인지하는 과정에서 시각이 차지하는 비율은 약 70% 이상으로 환경변화에 적합한 얼굴인식 방법과 표정 변화에 따른 인간의 감성 인식 연구가 활발히 진행되고 있다[15]. 표정으로부터 내적 감성 상태를 추정하는 시스템을 개발하기 위해서는 영상영역과 심리영역을 연결하는 해석 체계가 필요하다. 이러한 해석 체계를 만들기 위해서는 먼저 다양한 표정자료를 수집하여, 사람들이 각 표정에 대해 어떤 심리적 해석을 내리며 그러한 해석의 원리가 되는 영상의 구성적 특징들이 무엇인가를 조사해야 한다. 얼굴 및 표정인식에 대한 관심이 높아지면서 표정인식 기법과 모형 개발에는 큰 발전이 있었지만 이와 같이 종합적으로 시도한 예는 드물다[16]. 표정은 주어진 얼굴에 포함된 특징 요소들의 변형을 통하여 나타난다. 얼굴의 특징 요소들은 표정을 결정하는 데에 서로 다른 비중을 지니며, 하나의 특징 요소도 표정에 따라 상대적인 중요도가 달라질 수 있다. 예를 들면 유쾌한 표정을 나타낼 때에는 입의 양끝 부분이 결정적이고 불쾌한 표정에는 양 눈썹 사이의 주름이 결정적이다. 기존의 표정인식 기술은 지형적 특징요소 기반 방법, 형판정합 기반 방법, 주성분 분석 방법, Gabor Wavelet 기반 방법 등이 있다. 이외에도 신경망, 유전자 알고리즘을 이용한 표정인식 연구 방법들이 최근 진행되고 있다.

음성의 개인정보는 음성의 질, 높이, 강도, 속도, 템포, 억양, 악센트, 어휘의 사용 등에 따라 다르게 나타난다. 이들은 각종 물리적 특징들이 복잡한 상호작용을 거쳐 나타나는데, 성대의 길이, 성대 특성 등과 같은 조음 기관의 개인적 차이와 말하는 습성 등에 영향을 받는다. 또 각 개인의 가장 중요한 청각 정보

인 음성의 질과 높이는 스펙트럼 포락선과 기본 주파수(피치)에 의존한다[17]. 현재까지 화자의 감성을 반영하는 요소로서 발음 속도, 피치 평균, 피치 변화 범위, 발음 세기, 음질, 피치의 변화, 발음법 등의 파라미터가 감성인식 및 합성에 주로 사용되어 오고 있다. 음성 파라미터는 음성 신호의 단구간에서 구한 피치와 에너지 값으로부터 피치 평균, 피치 표준편차, 피치 최대 값, 에너지 평균, 에너지 표준편차 등의 통계적 정보를 산출하여 감성 인식을 위해 사용된다. MFCC(Mel Frequency Cepstrum Coefficient) 파라미터는 음소의 특성을 나타낸다. 같은 음소라도 포함된 감성에 따라 음소의 형태가 다르다는 점에서 감성인식에 사용될 수 있다. 이러한 파라미터를 바탕으로 감성인식을 수행하기 위한 방법으로는 MLB(Maximum Likelihood Bayes), KR(Kernel Regression), KNN(K-Nearest Neighbor) 분류기 등 기본적인 패턴인식 기법이 있다. 그 외에 감성인식률을 높이기 위하여 피치와 에너지의 운율 파라미터를 사용하고 HMM(Hidden Markov Model)을 이용한 학습을 진행하는 방법 등이 있다 [18].

3. 인공생명 기반 지능형로봇 기술

인공생명이 추구하는 지능형로봇은 생명체의 유용한 특징을 갖는 로봇이다. 인공생명 기반 지능형로봇이 갖는 특징은 다음과 같다[1]. (1) 주어진 문제의 수행에 있어서 사전에 짜여진 완벽한 계획보다는 예측하지 못한 문제가 발생하였을 경우 진화 및 학습을 통해 자율적으로 행동할 수 있는 적응 능력이 있다. 이를 위하여 로봇 설계자는 완벽한 사전 계획보다는 로봇 스스로가 문제를 해결할 수 있는 구조를 만들어 주는 것이 필요하다. (2) 개체 간 또는 환경과의 상호작용에 의해 창발적인 행동이 나타난다. 창발적인 행동이란 여러 개의 단순한 행동을 하는 개체가 주위환경과 상호작용을 함으로써 각각의 개체에서는 존재하지 않는 새롭고 복잡한 행동을 보이는 것을 의미한다. 기존의 인공지능 방법론에 의해서 설계가 어려운 매우 복잡한 시스템에서는 창발적인 행동이 유일한 방법이다. 창발적인 행동은 바람직하지 않은 방향으로 진행될 수도 있으나 적자생존 법칙이 존재하는 한 우수한 창발적인 행동만이 다음 세대에 전해질 수 있다. 이러한 관점에서 본 장에서는 2장에서 논의한 주

요 인공생명 기술을 기반으로 하는 지능형로봇 기술에 대해서 설명한다.

3.1 셀룰라 오토마타 기반 로봇 두뇌 기술

로봇 두뇌를 구현하기 위한 방법에는 데이터 표현 기반 방법과 생명체 정보처리 기반 방법의 두 가지가 있다. 전자는 인지과정을 명시적으로 기호로 표현하고, 프로그램 형태로 정의하는 인공지능 방법론이다. 반면 후자는 자체적인 진화와 개발과정을 통해서 뇌의 기능을 설명하는 것으로 인공생명 방법론이다. 대부분의 경우 뇌의 활동은 서로 다른 영역들의 상호작용에 기인하기 때문에 뇌의 일부를 추출하여 특정 기능을 부여하는 것은 어렵고, 뇌는 오랜 시간 진화를 거쳐서 현재의 복잡한 구조를 형성하였다는 점에서 진화적 방식을 채택하는 인공생명적인 접근방식이 주목을 받고 있다[19]. 이러한 관점에서 일본 ATR에서는 CAM-Brain이라는 인공두뇌를 개발하고 있다.

CAM-Brain은 인공생명의 생물형태 모델링 기법인 셀룰라 오토마타에 기반을 둔 신경망을 만들고 유전자알고리즘으로 진화시켜 나가는 모형이다. CAM-Brain은 RAM 메모리 공간으로 구성되고 각각의 CoDi(Collect and Distribute) 셀룰라 오토마타 셀들이 진화한 후 RAM 공간에 통합된다[19]. 셀들을 빠른 속도로 성장, 진화시키고 이를 통합하기 때문에 수만 개의 모듈로 이루어진 인공두뇌의 상태를 실시간에 변경시킬 수 있다는 장점을 갖는다.

3.2 적응하는 로봇 기술

적응하는 로봇은 환경변화에 적응하기 위해 스스로 진화하고 학습하는 로봇이다. 본 절에서는 소프트웨어 측면과 하드웨어 측면으로 나누어서 로봇 적응 기술을 설명한다. 소프트웨어적 적응 기술은 로봇의 지능을 향상시키는 기술을 의미하고 하드웨어적 적응 기술은 회로의 기능 및 구조를 사전에 정의하지 않고 환경에 적응하는 진화형 하드웨어 기술을 의미한다.

3.2.1 소프트웨어적 적응 기술

로봇의 지능을 향상시키는 소프트웨어 적응 기술은 진화와 학습의 두 가지 방법을 모두 이용한다. 로봇의 지능을 진화하는 방법은 크게 off-line 진화와 on-line 진화로 나누어진다. off-line 진화는 컴퓨터

속에 실제와 유사한 환경을 만들어 놓고 여기에서 진화를 수행한 후 가장 우수한 것을 로봇에게 이식시키는 방법이다. 이것은 가상환경의 진화라는 단점을 갖지만 진화 시간이 짧게 걸리기 때문에 로봇의 행동 방식이나 알고리즘 등 고도의 지능을 진화시키는 데는 효과적이다. on-line 진화는 실제로 평가하면서 진화시키는 방식이다. 이것은 개체 하나하나의 평가 시간이 매우 오래 걸리는 단점을 갖지만 실제상황을 고려했다는 점에서 진정한 로봇의 지능 진화라고 볼 수 있다. 따라서 일반적인 경우 로봇 개발에 있어서 환경과 밀접한 수준의 지능은 on-line 진화를 수행하고 환경에 덜 민감한 수준의 지능은 off-line으로 수행한다. Koza는 로봇의 행동을 유전자 프로그램을 사용하여 진화시켰다. 또한 여러 대의 로봇이 협조하여 타자를 운반하기 위하여 유전자프로그램이 사용되었다[20].

진화와 다른 방식으로 로봇의 지능을 향상시키는 방법은 학습이다. 학습이란 원하는 목표를 향해 자기 자신을 조금씩 개선해 나가는 것을 말하는 on-line으로 로봇의 행동을 개선시킬 수 있다. 학습은 원하는 정답이 주어지는가의 여부에 따라 교사학습과 비교사학습으로 나누어진다. 로봇의 행동은 원하는 목표를 달성하는 제어기의 최종 결과를 미리 알 수 없는 경우가 대부분이기 때문에 비교사학습의 일종인 강화학습이 주로 사용된다. 강화학습은 행동의 옳고 그름만을 판단할 수 있다. MIT 미디어 연구실에서는 강화학습하는 캐릭터 Doebi[21] 등을 개발하였다(그림 4 참조). 가상 손을 통해 Doebi의 행동에 포상을 주어 어떤 상태에서 가능한 행동들 중 포상을 최대로 받은 행동을 선택하게 한다.



그림 4 학습하는 적응 캐릭터 Doebi

3.2.2 하드웨어적 적응 기술

하드웨어적 적응 기술은 회로의 기능과 구조를 사전 계획하여 설계하는 일반적인 하드웨어 기술과 달리 환경에 적응하는 진화형 하드웨어(Evolvible Hardware: EHW)를 개발하는 기술이다. EHW는 적합도 평가 방법에 따라 intrinsic EHW와 extrinsic EHW로 구분할 수 있으며, 구성 하드웨어와 진화연산의 수행 위치에 따라 on-line과 off-line으로 구분할 수 있다[22]. Extrinsic EHW는 각 세대의 하드웨어 구성을 시뮬레이션하고 그 적응도를 평가함으로써 진화시 회로 재구성이 필요없는 방법이다. 대표적인 연구로는 Stanford 대학의 Kozark 수행한 SPICE 환경에서의 회로 합성 실험이 있다. 이 방법은 적응도 구현은 용이하지만, 시뮬레이션에서의 동작과 실제 구현되었을 때의 동작이 일치하지 않거나 최적의 동작을 나타내지 않는 경우가 발생할 수 있다는 단점을 갖는다. 반면, intrinsic EHW는 진화과정에서 하드웨어가 핵심적인 역할을 제공하는 경우로서 하드웨어에서 구현된 회로를 직접 동작시켜 적응도를 평가하므로 진화가 진행되는 동시에 현장 적용이 가능하다.

영국의 Thompson은 intrinsic EHW 구현하기 위하여 진화대상인 플랫폼과 별개인 범용 컴퓨터나 다른 하드웨어에서 진화 알고리즘을 수행하는 재구성 가능한 하드웨어인 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용했다. 즉, FPGA 상에서 진화하고 합성된 회로의 입출력을 분석하여 적응도를 평가했다. 국내의 슈퍼지능 기술연구소에서도 FPGA를 이용한 슈퍼지능칩을 개발 중이다. FPGA는 제공된 비트스트링 명령에 의해 내부의 회로구조가 결정된다. 이를 이용해 작게는 게이트 레벨 진화에서 크게는 FPGA 구조 결정 비트스트링을 유전자 알고리즘의 염색체로 이용해 진화시킨다. 이 염색체는 FPGA의 회로구조를 결정하고 환경으로부터 평가를 받는다. 이 평가 결과를 토대로 교배와 돌연변이를 수행하면서 경쟁력 있는 다음세대 개체군을 선택한다. 세대를 반복하면서 환경에 최적으로 적응된 하드웨어 구조가 생성된다. 이를 모듈 단위로 확대하면 진화를 통해 기능모듈 사이의 결선이나 배치 등을 결정하는 계층적 진화 시스템을 구성할 수 있다. 개발되는 슈퍼지능칩은 생명체의 정보처리 방식을 기능적으로 모방하는 지능형 정보처리

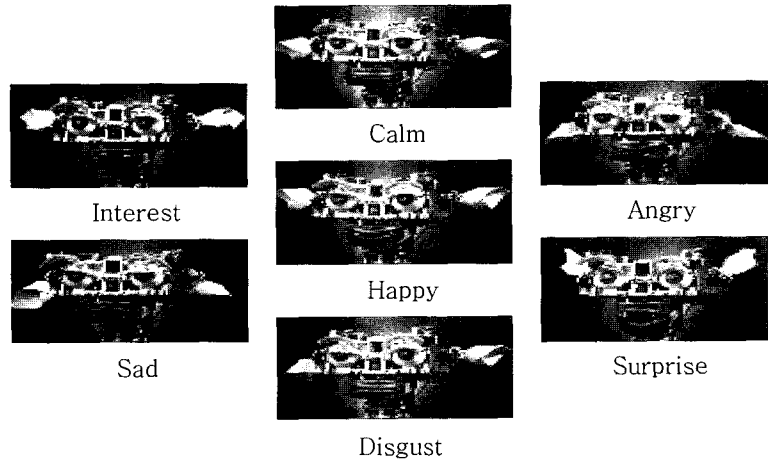


그림 5 MIT 키스멧의 감성 표현

장치를 통해 주변환경을 인식하고 적응, 학습하는 기능을 갖는다.

3.3 감성을 갖는 로봇 기술

로봇이 감성을 표현하기 위해서는 외부 세계로부터 인지된 정보를 바탕으로 감성 추론하는 기술이 필요하다. 감성 추론 기술은 감성을 인식하고 감성 발생 상황에 관한 추론을 통해 감성 상태를 예측하고 표현하는 것이다. 이를 위해 Illinois 대학에서는 1980년대 후반부터 감성에 대한 연구를 수행하면서 OCC(Ortony, Clore, Collins) 모델을 정립하였고 Northwestern 대학에서는 OCC 모델을 기초로 하여 감성을 정의하고 감성 추론기(affective reasoner)에 대한 연구를 진행하였다[23,24]. MIT에서는 키스멧(kismet)과 같은 사회적(social) 로봇을 개발하기 위한 감성 모델을 제안했다[25].

3.3.1 OCC 모델

OCC 모델은 심리학과 관련을 가지며 Ortony, Collins, Clore 세 사람의 감성 평가 모델이다. 이는 사람이 표현 가능한 모든 감성을 기술하려고 시도하는 대신, 비슷한 원인에 의한 결과로 생성되어 구별되는 감성 군집을 감성 유형(emotion type)이라 정의한다. 예를 들면, 고뇌는 사건의 원인과 정도의 차이에 따라 슬픔(sad), 복받치는 감정(distraught), 사랑의 아픔(lovesick) 등과 같은 감성을 포함한다. 감성 유형을 평가하는 세 가지 요소는 사건, 개체, 에이전트

이다. 사건은 에이전트의 목표에 관련된 행위를 의미하며, 개체는 서로 동등한 자격으로 존재하는 서로 다른 개체들을 의미하며, 에이전트는 실제 감성의 주체로 사건과 개체에 따라 감성 유형을 갖는다. 이러한 세 가지 요소에 따라 감성 유형은 세 가지 분류로 나누어지고 최종적으로 28가지 감성 유형으로 나누어진다. 감성을 평가하는 과정은 에이전트의 목표와 관련된 사건의 만족도, 에이전트 혹은 다른 에이전트의 행위에 대한 승인 정도, 에이전트의 태도에서 관련된 대상을 좋아하는지 여부에 관한 평가로 이루어진다. 이러한 과정으로 OCC 모델은 감성의 생성과 감성의 강도를 계산할 수 있고, 주어진 상황의 해석에 따라 특정 감성을 생성할 수 있게 된다. OCC 모델에서 정의한 대표적인 감성은 즐거움(joy), 고뇌(distress), 희망(hope), 두려움(fear), 자부심(pride), 수치심(shame), 감탄(admiration), 치욕(reproach), 분노(anger), 감사(gratitude), 만족(gratification), 그리고 후회(remorse) 등이다.

3.3.2 감성 추론기

감성 추론기는 멀티 에이전트 시스템에서 에이전트간의 상호작용으로 발생하는 이벤트에 따라 감성 추론을 수행한다. 이벤트가 발생하면 이와 관련된 감성 유발 상황을 이끌어 내어 에이전트의 초기 감성과 결합하여 새로운 감성을 만들어 낸다. 에이전트의 감성 추론은 발생된 이벤트의 해석 과정에서 이루어진다. 즉, 목표가 무엇인지, 목표를 수행하기 전 예상한

것에 대한 확인, 표준행동, 학습 등에 따라 추론된다. 각 에이전트는 자신의 관점에서 다른 에이전트에 대한 내부 모델을 가지고 있으며, 각 상황을 자신의 독특한 방법에 따라 해석한 후 24가지의 감성 중 한 가지 이상을 갖는다. 즉, 에이전트의 개성을 나타내는 GSP(Goal, Standard, Preference)에 따라 해석된 상황에 대하여 평가를 내린 후 이에 따라 감성을 추론한다.

3.3.3 사회적 로봇의 감성 모델

사회적 로봇은 인간과 상호작용하면서 행동과 감성을 표현하고 사람의 모습과 닮은 로봇이다. 사회적 로봇의 대표적인 예로는 MIT에서 개발한 키스멧이 있다. 키스멧은 터키어의 '행운'을 의미하는 말에서 이름 붙여진 감성 지능형로봇으로 함께 있는 사람의 말과 행동에 따라 표정과 움직임이 달라지는 등 인간과 상호작용할 수 있도록 프로그램 되어 있다. 인간의 눈, 뇌에 해당하는 물체의 추적 인지할 수 있는 시각 모듈을 갖는 키스멧은 안구에 들어가 있는 CCD 카메라와 소형 무선 마이크 등으로 주위의 상황을 인식한다.

키스멧과 같은 사회적 로봇의 행동 동기 부여는 사전에 정의된 욕구와 욕구를 만족시키기 위해 언제 어떻게 행동했는지에 의해 영향을 받는다. 또한 인식된 주변 상황과 자신의 욕구를 바탕으로 감성을 추론한다. 뿐만 아니라 이들 로봇은 인간과 사회적으로 관계를 가지고 궁극적으로 인간으로부터 배우고자 하는 본성을 갖는다. 키스멧의 행동 동기 부여를 위한 Drive 모델은 저항할 수 없는 상태(overwhelmed regime)와 자극이 없는 상태(under-stimulated regime)가 아닌 인간과 상호작용이 원활한 상태를 Positive Valance 상태로 표시한다. 키스멧은 이러한 모델을 바탕으로 감성을 추론하고 눈썹, 눈꺼풀, 안구, 입술, 귀 등 인간과 같은 얼굴 모양을 사용하여 기쁨과 슬픔, 놀라움, 웃음 등 매우 많은 표정을 보여 준다(그림 5 참조).

4. 주요 연구 사례

4.1 생물형태 모델링 기반 로봇

생물형태 모델링 기술은 생명체의 발생 및 동작원리에 초점을 둔 기술이다. 본 절에서는 생명체 발생

에 관련된 기술인 셀룰라 오토마타 기반 CAM-Brain을 이용한 애완용로봇 Robokoneko와 다수의 단순하고 기본적인 개체들의 상호작용으로 집단행동 특성을 표현하는 Swarm Intelligence를 이용한 Swarm-bot을 설명한다. 그림 6은 Robokoneko와 Swarm-bot을 나타낸다.

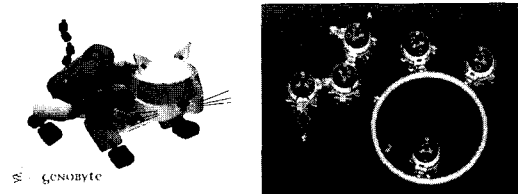


그림 6 셀룰라 오토마타 기반 Robokoneko와 Swarm Intelligence 기반 Swarm-bot

4.1.1 Robokoneko

Robokoneko는 셀룰라 오토마타를 기반 로봇 두뇌 기술인 CAM-Brain을 이용하여 개발된 애완용 고양이 로봇이다[26]. 사이버 애완동물 또는 로봇 애완동물 등으로 다양하게 불리고 있는 이 로봇은 단순한 장난감이 아닌 인공생명 기술이 접목된 매우 정교한 두뇌를 가진 생명체라는 점에서 의미를 가지며 개발자들도 인공생명 관점에서 모든 주변장치나 감각장치를 개발했다. 그러므로 Robokoneko는 주인을 알아보고, 스스로 알아서 전원을 충전하고, 사람의 신호에 즉각적으로 반응하며 이름을 부르면 그 방향을 탐지하여 쫓아오는 등의 기능을 갖는다.

4.1.2. Swarm-bot

Dorigo를 중심으로 진행 중인 Swarm-bot 프로젝트는 Swarm Intelligence를 응용하기 위한 연구이다 [27,28]. Swarm-bot의 가장 중요한 점은 자가조립화(self-assembling) 및 자기조직화(self-organizing) 특성을 갖는 하나이상의 로봇 군단(colony)을 형성하는 것이다[27]. 로봇 군단의 기본 개체는 30에서 35개의 작은 장치들로 구성된 S-bot이다. 그림 6은 6개의 S-bot이 협동 작업하는 Swarm-bot을 형성한 모습을 나타낸다. 각각의 S-bot은 완전한 자율이동로봇으로 자율적인 항해(navigation), 주위 환경 인지, 물건을 잡는 기능 등을 가지고 다른 개체와 통신하고 물리적으로 합쳐 Swarm-bot을 형성한다.

4.2 적응하는 로봇

영국 Sussex 대학, 스위스 Lausanne 대학 등에서 주로 연구하는 적응하는 로봇은 고정된 지능 소프트웨어를 장착하는 것이 아니라 학습하고 진화를 통해 스스로 지능을 향상시키는 로봇을 의미한다. 본 절에서는 대표적인 적응하는 로봇인 Cog와 Khepera를 설명한다. Cog는 적응하는 로봇의 모델을 제시하였으며 Khepera는 진화 알고리즘을 통해 최적의 명령을 스스로 학습한다.

4.2.1 COG

MIT의 Brooks가 개발한 휴먼 로봇 Gog(그림 7 참조)는 학습을 통해 적응하는 모델을 제시했다. Gog는 중앙통제 프로그램 대신 수많은 벌이나 개미가 모여 하나의 Swarm Intelligence와 같은 군지능을 형성하듯 독립된 마이크로 프로세서들이 네트워크를 형성하고 주변 환경을 인식한다. 주어진 작업을 수행하도록 미리 프로그램 되어 있는 것이 아니라, 강화학습을 통해 시행착오를 거치면서 정보를 배우기 때문에 처음에는 서툴지만 실패를 거듭하며 지능을 개선해 나간다. Gog가 보다 정교한 행동을 습득하려면 몇 해를 더 기다려야 하지만, 스스로 지능을 향상시키는 로봇이라는 점에서 의미를 갖는다.

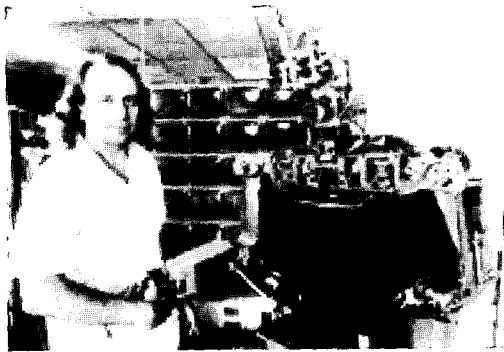


그림 7 Brooks와 휴머노이드로봇 Cog

4.2.2 Khepera

스위스 Lausanne의 EPFL에서 개발한 Khepera는 비교적 단순하지만 센서를 통해 주변의 정보를 인식하고 다른 개체와 협조하는 자율이동로봇이다. Khepera는 환경에 적응하기 위하여 진화 알고리즘을 이용하였다. 목적지를 향해 각자 이동하지만, 어

떤 한 Khepera가 목적지를 향하는 가장 빠른 길을 찾았다면 이 정보는 이웃 Khepera에게 전해지고, 이웃 Khepera는 행동을 규정하던 이전의 명령과 새로운 정보를 비교해 좀더 나은 정보를 선택한다. 이렇게 진화된 새로운 명령은 시스템 내에 살아남아 또 다른 Khepera에게로 전파된다. 결과적으로 무리 전체는 목적지를 향하는 통일된 행동을 보여준다. 현재 K-System은 Khepera II를 판매중이다.

4.3 감성을 갖는 로봇

감성을 갖는 로봇은 사용자와 근접해 있으면서 지속적인 상호작용으로 사용자에게 적응하는 다분히 복합적인 제품으로서 이전의 산업용로봇이나 단순 가전과는 상당히 다른 의미를 가지며 다소 복잡하다고 할 수 있다. 또한 제품의 개념에서부터 인간과 로봇 간에 감성이 상호작용될 수 있도록 디자인, 전자, 기계의 모든 측면에서 인간을 고려해야 한다[29].

4.3.1 아이보(AIBO)

인공지능을 뜻하는 AI와 로봇의 BO를 뽑아 만든 합성어로 이름 지어진 아이보는 1999년 5월 소니에서 발표한 세계최초의 본격적인 감성지능형 완구로봇이다[30](그림 8 참조). 아이보는 애완동물을 대체하는 개념으로 시작되었으며 현재 다양한 옵션과 지속적인 제품 개발에 의해 인간과 친구가 될 수 있는 하나의 새로운 개체로서의 의미를 갖는다. 감성적인 측면에서는 기쁨, 슬픔, 성냄, 놀람, 공포, 혐오 등의 6개의 감성과 성애욕, 탐색욕, 운동욕, 충전욕 등의 4개의 본능이 구현되어 외부의 자극과 자신의 행동으로 인하여 감성과 본능 수치가 항상 변화한다. 칭찬이나 귀여움을 받거나 좋아하는 공놀이를 할 때 기쁨의 수치는 높아지고, 보살핌을 못 받으면 슬픔의 수치가 높아진다. 이 로봇은 인간에게 어떠한 일을 해주는 로봇이라기보다는 하나의 인공생명체로서 정체성을 가지는 것으로 가치가 있다. 성장 유형(유년기, 소년기, 청년기, 성년기)이 입력되어 있어 성장단계와 양육 방법에 따라 행동유형이 자주 변화한다. 즉, 획일적으로 프로그램된 로봇이 아니라 인간과의 상호작용을 통해 성격이 다양하게 변화하는 어느 수준의 독립적인 개체로서의 지능을 구현한 것이다. 따라서 로봇의 행동양식은 로봇을 사용하는 사용자마다 차이가 나게 되어 있으므로 기존의 완구와는 다른 상

호작용에서 특징화 되어 하나의 살아있는 생명체와 비슷하다고 할 수 있을 것이다.



그림 8 소니의 완구로봇 아이보

4.3.2 SDR-4X

SDR-4X는 소니가 2002년 3월 중순 발표한 감성 지능형 엔터테인먼트 로봇이다. 올해는 SDR-4X II를 발표하였다. 이 로봇은 인식 가능한 단어 수가 5만~6만개 정도이며 사람의 얼굴도 10명 정도까지는 인식 가능하며 자신을 부르는 사람에게 간단한 대답도 할 수 있고 노래도 부를 수 있다. 특히 악보나 가사를 입력하여 음성합성에 의한 비브라토(vibrato)를 포함한 가성을 생성, 감성이나 동작에 맞춘 노래 부르기 등 엔터테인먼트 기능을 갖는다.

4.3.3 국내 감성을 갖는 로봇

유진로보틱스는 2002년 원격지의 교사와 아동들 무선 인터넷으로 연결하는 교육용로봇 폐가수스를 발표하였다. 세살 아이 정도의 크기인 이 로봇은 가정에서 어린이가 질문을 할 경우 바로 교육센터에서 대기 중인 선생님과 연결시켜 주기 때문에 항상 가정 교사를 집에 두는 교육 효과를 제공한다. 또 음성인식으로 학습자를 찾을 뿐 아니라 장애물인식, 문턱 넘기도 가능하고 팔과 머리, 표정을 이용한 감성 표현이 가능하다. KAIST에서 개발한 아미는 바퀴 형태를 갖는 로봇으로서 인간의 외모에 의사소통이 가능하고 시각인식 및 감성 표현 능력을 갖추었다. 이 로봇은 음성 기술을 이용, 사람의 말을 알아듣고 음성 합성 기술을 통해 사람과 대화를 나눌 수도 있는 특징을 갖는다. 여기에 인공 시각 시스템을 이용해 물체인식 및 목표물 추적과 함께 카메라 2대로 실시간 거리 측정을 할 수 있으며 팔과 손끝에 내장된 압력 센서를 통해 물건을 집어서 운반하는 능력이 있다. 또한 가슴에 부착된 LCD 스크린을 통해 로봇 내부의 상태 및 기쁨, 슬픔 등 감성을 표현한다. 2002년 아미의 여자친구로 아미엣을 발표하였다.

5. 결론

인공생명은 생명체의 특징을 이해하고, 생명체와 유사한 기능을 갖는 시스템을 구축하는 기술로 저수준의 단순한 기계들을 결합시킨 결과 고수준의 복잡한 기능이 자율적으로 발생하는 창발현상을 갖는다. 본 고에서는 기존의 논리 및 기호 표현에 의존하는 인공지능 기술의 한계를 보완하기 위하여 인공생명에 기반을 둔 지능형로봇 기술을 분석하였다. 기존의 인공생명의 특성을 활용한 예로는 Terzopoulos가 구현한 가상해양세계, 3차원 인공생명 시뮬레이터 Framsticks, 군지능 로봇 Swarm-bot 등이 있다. 이들은 기본적인 행위를 통해서 복잡한 움직임을 자율적으로 만들어내는 창발적인 성질을 갖는다. 또한 휴머노이드로봇 Cog는 직접 시행착오를 거치면서 정보를 배우기 때문에 처음에는 서툴지만 스스로 지능을 향상시켜 현재는 기어다니는 어린 아기 정도의 지능까지 발전했다고 한다. 따라서 정교한 행동을 습득하려면 오랜 시간이 걸리고 발전 속도도 느리지만 인간과 같은 방식으로 스스로 판단 행동하는 진정한 의미의 지능형로봇으로 발전하게 될 것으로 예상된다. 대략 50년 후에는 "아톰"과 비슷한 로봇이 등장 하리라는 기대감에서 올해 2003년을 아톰 탄생해로 정했다고 한다. 마찬가지로 현재는 대부분의 인공생명 이론을 컴퓨터 그래픽과 같이 소프트웨어로 실현하고 있지만, 여러 가지 분야에서 인공생명 기술의 중요성이 인식되고 다양한 실험 결과로부터 가능성이 입증되고 있으므로 가까운 장래에는 스스로 진화하는 인공생명 기반 지능형로봇이 출현할 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] 심귀보, 이동욱, "인공생명 로봇", 정보과학회지, 제17권, 제5호, pp. 36-48, 1999
- [2] C. Langton, Artificial Life, Addison-Wesley, 1990
- [3] C. Adami, Introduction to Artificial Life, TELOS(The Electronic Library of Science), 1998
- [4] S. Levy, "Artificial Life," 1992
- [5] D. Terzopoulos, X. Tu and R. Grzesczuk, "Artificial Fishes: Autonomous Locomotion,

- Perception, Behavior, and Learning in a Simulated World," *Artificial Life I*, 1994
- [6] <http://www.frans.alife.pl>
- [7] P. Tarasewich, P. McMullen, "Swarm Intelligence: Power in Numbers," *CACM*, Vol. 45, No. 8, pp. 62-67, 2002
- [8] R. Brooks, C. Breazeal, M. Marjanovic, B. Scassellati and M. Williamson, "The Cog Project: Building a Humanoid Robot," *Computation for Metaphors, Analogy and Agents*, LNCS(1562), Springer-Verlag, pp. 52-87, 1999
- [9] 성시중, "인공생명의 이해", *정보과학회지*, 제17권, 제5호, 1999, pp. 27-35
- [10] R. Bianchi, A. Costa, "Ant-ViBRA: A Swarm Intelligence Approach to Learn Task Coordination," *Proc. SBIA*, pp. 195-204, 2002
- [11] T. Ray, "Evolution of Complexity: Tissue Differentiation in Network Tierra," *ATR Journal*, No. 40, pp. 12-13, 2000
- [12] 강행봉, "감정 기반 컴퓨팅", *전자공학회지*, 제28권, 제12호, 2001.
- [13] R. Picard, *Affective Computing*, MIT Press, 2000
- [14] http://affect.media.mit.edu/AC_research/projects/affective_jewelry.html
- [15] 주영훈, 이상윤, 심귀보, "Eigenface를 이용한 인간의 감정인식 시스템", *퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, 제13권, 제2호, pp. 216-221, 2003
- [16] 반세범, 정찬섭, "얼굴 특징점의 지각적 위계구조에 기초한 표정인식 신경망 모형", *한국 인지과학회 논문지*, 제12권, 제1호, pp. 77-89, 2001
- [17] 정현열, "음성을 이용한 화자인식 시스템 기술의 현황과 전망", *정보과학회지*, 제19권, 제7호, pp. 32-44, 2001
- [18] 김성일, 정현열, "은닉마르코프 모델을 이용한 음성에서의 감정인식", *신호처리 시스템학회 논문지*, 제3권, 제3호, pp. 21-26, 2002
- [19] H. Faris and 조성배, "CAM-Brain: ATR의 인공두뇌 프로젝트", *정보과학회지*, 제17권, 제5호, pp. 20-26, 1999
- [20] D. Cho and B. Zhang, "Genetic Programming-Based Alife Techniques for Evolving Collective Robotic Intelligence," *Proc. Symp. Artificial Life and Robotics*, Vol. 1, pp. 236-239, 1999
- [21] B. Blumberg, M. Downie, Y. Ivanov, M. Berlin, M.P. Johnson, B. Tomlinson, "Integrated Learning for Interactive Synthetic Characters," *Proc. SIGGRAPH*, 2002.
- [22] 이종호, "진화형 하드웨어: 원리와 활용", *대한전자공학회지*, 제27권, 제7호, pp. 724-732, 2000
- [23] C. Elliott, J. Rickel and J. Lester, "Lifelike Pedagogical Agents and Affective Computing: An Exploratory Synthesis," *Artificial Intelligence Today*, pp. 195-211, 1999
- [24] A. Ortony, A. Clore and G. Collins, *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge University Press, 1988
- [25] C. Breazeal (2003), "Emotion and Sociable Humanoid Robots," *International Journal of Human Computer Studies*, 59, pp. 119-155, 2003
- [26] <http://www.genobyte.com/robokoneko.html>
- [27] <http://www.swarm-bots.org/>
- [28] G. Pettinaro, I. Kwee, L. Gambardella, F. Mondada, D. Floreano, S. Nolfi, J. Deneubourg and M. Dorigo, "SWARM Robotics: A Different Approach to Service Robotics," *Proc. Symp. Robotics*, 2002
- [29] 권오상, "감성로봇 현황과 추세", *전자공학회지*, 제28권, 제12호, pp. 18-25, 2001,
- [30] <http://www.sony.net/Products/aibo/aiboflash.html>

문 애 경



1992 영남대학교 전산공학과(학사)
1997 영남대학교 컴퓨터공학과(석사)
2000 영남대학교 컴퓨터공학과(박사)
2000. 4~현재 한국전자통신연구원 인터
넷컴퓨팅연구부 선임연구원
관심분야 : Distributed/Parallel Data-
base, Distributed System, Mes-
saging, Group Communication 등
E-mail : akmoon@etri.re.kr

김 현



1984 한양대학교 기계설계학과(학사)
1987 한양대학교 기계설계학과(석사)
1997 한양대학교 기계설계학과(박사)
1998~1999 한양대학교 산업공학과 겸
임교수
1990~현재 한국전자통신연구원 분산협
업기술연구팀장, 책임연구원
관심분야 : Concurrent Engineering,
Virtual Engineering, Distrib-
uted Collaborative Design, En-
gineering Knowledge Man-
agement, Intelligent System
E-mail : hyunkim@etri.re.kr

함 호 상



1977 고려대학교 산업공학과(학사)
1983 고려대학교 산업공학과(석사)
1985 고려대학교 산업공학과(박사)
1982~1996 한국과학기술연구원 시스템
공학연구부 선임연구원
1998~현재 한국전자통신연구원 컴퓨터
소프트웨어연구소 책임연구원
2003. 6~현재 한국전자통신연구원 인터
넷컴퓨팅연구부 부장
E-mail : hsham@etri.re.kr