

유전자 알고리즘을 이용한 자율주행로봇의 진화에 관한 연구

유재영*, 이종호
인하대학교 전기공학과

Evolution of autonomous mobile robot using genetic algorithms

Jaeyoung Yoo*, Chongho Lee
Dept. of Electrical Eng. Inha university

Abstract - In this paper, the concept of evolvable hardware and evolutionary robotics are introduced and constructing the mobile robot controller without human operator is suggested. The robot controller is evolved to avoid obstacles by genetic learning which determines the weights between sensor inputs and motor outputs. Genetic algorithms which is executed in a computer(PC) searches the best weights by interacting with robot performance under its environment. The experiment is done by real mobile robot Khepera and a simple GA.

고리즘을 이용하여 최적화 함으로서 진화하는 방법에 의하여 구성이 되는 하드웨어를 말한다. 이에 더하여 내부구조만이 아닌 어떤 시스템의 행동양상이 진화하는 행동을 보이는 경우에도 진화형 하드웨어의 범주에 속한다고 보는 넓게 보는 관점도 있다.

장점으로는 사람이 직접 설계하는 수고를 덜 수 있음은 물론 기존의 방법을 사용한 것보다 뛰어난 성능을 가지는 하드웨어의 구성이 가능할 수 있다. 따라서 구성하려는 하드웨어의 기능은 알지만 내부 회로구성이나 회로 설계에 관한 사전지식을 모르는 경우에 적합하다고 할 수 있다. 또한 이에 더하여 회로에 결함이 발생하거나 예상치 못한 동작이 요구되는 경우에 적합한 방법이라고 할 수 있다.[1]

현재는 회로설계 분야에서 주로 많은 연구가 행해지고 있으며 또 하나의 주된 적용분야가 바로 로봇 컨트롤러(robot controller)이다. 즉 로봇의 컨트롤러를 진화형 하드웨어로 설계함으로써 주위 환경에 적응하여 동작하는 로봇의 구현이 가능할 것이다.

이에 본 논문은 진화형 로봇(evolutionary robot)의 개념 및 연구방향에 대하여 살펴보고 진화기법을 이용한 로봇 컨트롤러 설계의 시뮬레이션을 하였다.

1. 서 론

2.1.1 진화형 로보틱스(evolutionary robotics)

하드웨어의 진화라는 새로운 분야가 주목을 받으면서, 진화알고리즘을 이용한 하드웨어의 진화에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 또한 이의 적용대상으로서 로봇의 진화에 관한 연구도 진행되고 있는바, 이렇게 됨으로서 사람의 도움이 없이 로봇 컨트롤러의 구성을 한다면, 예기치 못한 상황에 대한 대처방안을 로봇에 탑재되는 진화형 하드웨어가 스스로 마련케 할 수 있다. 또한 컨트롤러 자체를 사람이 직접 설계하지 않아도 최적의 제어를 할 수 있는 제어기의 설계가 가능하다.

진화형 로봇은 인텔리전트 로봇의 구현을 염두로 하여 1990년대 초에 소개되었으며 보다 복잡한 행동양상을 보이는 시스템 합성의 자율성을 목적으로 하며 로봇 시스템 내부구조는 물론 로봇이 진화적인 행동을 하는 경우를 포함하는 넓은 개념이다.[4]

초기 진화형 로봇의 연구는 컴퓨터 시뮬레이션을 위주로 연구가 진행되었으며, 현재 많은 이들이 시뮬레이션을 위주로 하여 연구중이지만 직접 로봇을 사용하여 연구하는 이들도 있다. 하지만 아직은 사람이 직접 설계한 로봇의 기능보다 우수하지는 못한 실정이다.

현재 진화형 로봇에서 주된 관심사로 되는 부분은 다음과 같다.[4,5]

이와 같은 문제에 있어서 실시간 적용의 경우 진화에 장시간이 소요되는 단점이 있어, 현재는 유전자 알고리즘(genetic algorithms)의 유전자형(chromosome)의 길이를 최소로 하여 진화시간을 줄인다는가, 유전자 프로그래밍(genetic programming)을 이용하여 컨트롤러 프로그램을 연구하고 있다. 또한 이와는 별도로 독립하여 조작 가능한(stand-alone)형태, 즉 혼자 생각하고, 행동하는 로봇에 관하여 다양하게 연구가 진행되고 있다.[2,3]

본 논문에서는 주행 로봇인 Khepera의 제어를 위하여 유전자 알고리즘을 사용하여, 로봇 센서와 모터간의 가중치를 온라인(on-line)으로 결정함으로써 상황에 적절한 로봇 컨트롤러를 구성하고, 이를 적용하여 주행 및 장애물 회피에의 실험을 하였다.

- (1) 실제의 로봇을 이용한 진화형 로봇 실험
- (2) 로봇 시뮬레이션에서의 실제 로봇의 정확한 모델링
- (3) 진화 알고리즘의 적합도 함수의 설정
- (4) 유전자 알고리즘에서의 진화의 대상이 되는 유전자형의 선택 대상
- (5) 진화에 요구되는 시간과 진화가 요구되는 구조 및 행동의 복잡성과의 관계

2. 본 론

2.1 진화형 하드웨어(Evolvable Hardware)

이상의 문제점 및 해결과제에 대하여 많은 연구가 행해지고 있다. 하지만 위의 모든 문제가 해결된다고 해서 완전 독립적인 활동을 하는 로봇이 탄생하지는 않는다. 즉, 적합도 함수와 유전자형의 설정은 사람의 도움이 반드시 필요하다는 것이다.

진화형 하드웨어(evolvable hardware)라 함은 FPGA(Field Programmable Gate Array) 또는 PLD(Programmable Logic Device) 등의 재구성형 하드웨어를 기반으로 이들 하드웨어의 구조를 결정하는 비트 스트링(Configuration Bit String)을 유전자 알

따라서 완전한 자율성을 추구하기 위해서는 적합도 함수, 즉 진화의 방향을 스스로 결정할 수 있는 시스템

을 구축해야 할 것이다.

2.2 진화형 로봇 컨트롤러 구현 실험

본 실험은 진화형 로봇의 구현을 목표로 하여 수행하였으며, Braitenberg 알고리즘을 기초로 하여 mobile 로봇인 Khepera robot의 컨트롤러 구성을 실험 목표로 하였다. 진화알고리즘으로는 단순 유전자 알고리즘(simple GA)을 사용하였다.

실험목표인 컨트롤러는 로봇의 구동 프로그램 내부의 센서와 모터의 연결부의 가중치(weight)의 값으로 하였으며 이들의 값을 환경에 적응하는 형태의 값을 갖도록 유전자 알고리즘의 적합도 함수(Fitness function)를 구성하였다.

2.2.1 캐페라 로봇(Khepera robot)

본 실험에서는 자율이동로봇 실험에 많이 사용되고 있는 캐페라(Khepera) 로봇을 사용하였다. 이 로봇은 직경이 55mm, 높이가 30mm 정도의 소형이며 2개의 직류모터와 8개의 적외선 센서가 부착되어 있다. 이 로봇의 장점으로는 소형으로서 특별한 장치가 필요 없이 책상 위에서 바로 실험을 할 수 있다는 것이다. 모터는 양방향으로 가능하며 속도는 초당 1mm에서 1m까지의 가변이 가능하다. 센서는 적외선 센서인 능동센서와 빛을 감지하는 수동센서가 있다.

본 실험에서는 유전자 알고리즘을 사용하여 적외선 센서와 모터간의 연결 강도(가중치, weight)를 주된 실험 대상으로 하였다.

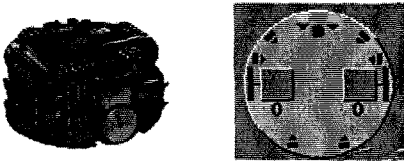


그림 1. 캐페라 로봇(Khepera robot)

2.2.2 유전자 알고리즘의 구성

유전자 알고리즘은 자연계의 생물학에 기초를 둔 병렬 탐색알고리즘으로서 모든 생물은 주어진 환경 속에서 적응한 적자만이 살아남아서 다음세대로 진화한다는 다윈(Darwin)의 적자생존(survival of fittest)의 이론을 도입한 것이다.

탐색 및 최적화에 많이 적용되는 유전자 알고리즘은 어떠한 풀고자하는 문제에 대한 해의 후보를 일정한 형태로 수 개를 만들어 놓은 후 유전자 연산자를 이용하여 최적의 해를 구하게 된다. 유전자 연산자와 이 실험에서 사용한 파라미터 값을 알아보면 다음과 같다.

(1) 선택(selection)

선택이란 해의 후보들 중에서 다음세대로 진화할 해의 후보 2개체를 선택하는 과정으로서 본 실험에서는 최적자 보존방법을 채택하여 한 세대에서 최적의 값을 지는 개체는 교배, 변이 없이 바로 다음세대로 변이 되도록 구성하였다.

(2) 교배(Crossover)

교배는 선택되어진 두 개의 개체를 1point, 2point 또는 uniform의 방법으로 교차를 하여 다음 세대의 새로운 개체를 만드는 과정이다. 본 실험에서는 교배율을 0.1로 하여 실험하였다.

(3) 변이(Mutation)

변이는 돌연변이라고도 하며 교배과정을 거친 해의 후보의 임의의 비트에 변이를 가함으로써 해가 지역 최소

점에 수렴하는 것을 방지하기 위함이다. 본 실험에서는 변이율을 0.5로 하여 실험하였다.

본 실험에서 20개의 개체수를 사용하였으며, 적합도 함수는 주기적인 센서와 속도를 측정하여 주행 및 장애물 회피를 목표로 하도록 구성하였으며 다음과 같다.

$$F = \sum v(1 - sensor)$$

여기서 v 는 평균속도를 나타내며, sensor는 센서 입력을 나타낸다.

2.2.3 실험 방법

실험 환경은 로봇과 PC를 사용하였으며 PC에서 유전자 알고리즘 부분을 수행하였고 수행된 결과를 로봇을 이용하여 확인하였으며, 이 둘의 연결은 RS232C serial port를 사용하였다.

진화의 대상이 되는 크로모솜(chromosome)의 구성은 센서와 모터간의 결선으로 하였는데, 하나의 센서와 하나의 모터간의 결선을 4비트(bit)로 하여, 센서가 8개이므로 전체 32비트로 하였다. 4비트 중에서 첫 번째 비트는 부호를 나타내는 부호 비트로서, 나머지 3비트는 데이터 비트로 사용하였다. 모든 결선은 16개이지만 좌,우 대칭이므로 한 쪽만을 염색체로 구성하였다.

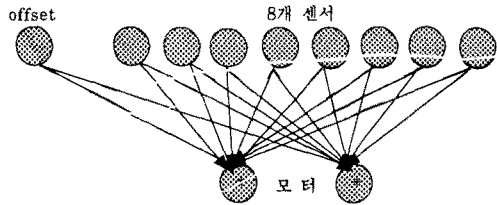


그림 2. 신경회로망 구조의 네트워크 구성

그림에서 offset은 모터의 기본 속도를 말한다. 하나의 가중치를 4비트가 아닌 더욱 더 세부적으로 분할할 경우 더욱더 복잡한 기능의 로봇 구현을 할 수 있다. 다만, 진화에 따르는 해의 후보들의 증가와 함께 크로모솜의 길이가 길어짐으로서 진화에 소모되는 시간이 길어질 우려가 있다. 전체적인 실험의 구조도는 다음과 같다.

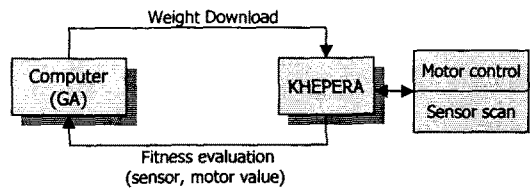


그림 3. 진화형 로봇구현 실험 구조도

전체 실험방법은 위의 그림과 같이 초기 임의의 값(random)을 다운로드함하여 로봇을 동작시키고 동작시키는 과정에서 센서와 모터속도를 측정하여 적합도를 계산하였다. 이와 같은 과정을 반복하여 세대를 거듭함에 따른 로봇의 동작변화를 조사하였다.

2.2.4 실험 결과

실험은 다음의 그림과 같은 맵을 이용으로 하여 진행되었다. 임의의 장애물을 두었으며 장애물과 장애물 사이에는 로봇이 통과할 수 있는 공간을 두었다. 하지만 장애물을 고정하지 아니하고 움직일 수 있는 장애물을

사용하여 장애물로 인한 모터에의 영향이 최소화 되도록 하였다.

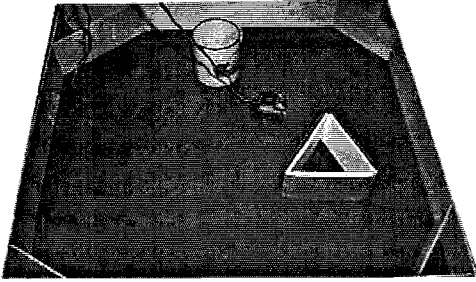


그림4. 실험장치의 구성

컴퓨터와 로봇을 RS-232C 씨리얼 포트(Serial port) 사용하여 연결하였고, Serial line의 통신속도를 염두하여 센서 및 모터속도의 샘플링 시간에 여유를 두었다.

전체 실험시간은 약 1세대를 기준으로 할 때, 하나의 크로모솜을 25초간 동작시켰고, 또한 20개의 개체수를 사용했으므로 1세대에 500초, 즉 8분이 넘는 시간이 소요되었다. 10 세대를 진화시킨 결과의 각 세대의 최고값을 가지는 적합도 값을 다음과 같다. 수평축은 세대수를, 수직축은 적합도 값을 나타낸다.

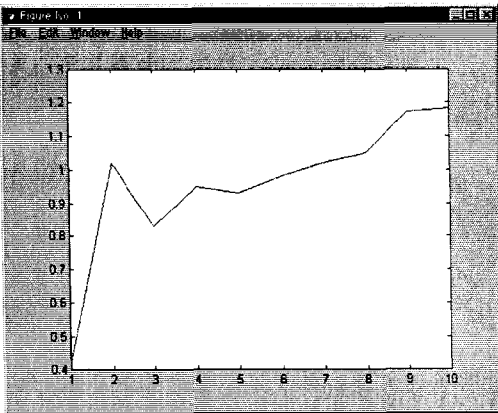


그림5. 시뮬레이션 결과

그래프에서 보면 알 수 있듯이 전체적인 성능은 점차 나아지는 것을 볼 수 있으며, 10세대 진화에 소요되는 시간은 80분이 소요되었다. 여러 실험을 한 결과는 다음과 같다.

- (1) 초기값이 큰 영향을 끼친다. 여기서 초기값이란 최초의 로봇위치와 초기 가중치를 말한다.
- (2) 같은 크로모솜을 사용하여도 환경이 다른 경우는 적합도가 달라진다. 즉 로봇의 구조는 같지만 환경에 따라 행동이 달라진다는 것이다.
- (3) 적합도 함수(Fitness evaluation function)의 선택의 중요성인데, 진화의 방향을 결정하는 만큼 신중한 결정이 필요하다.
- (4) 로봇구성이외의 환경적 요소, 즉 이 실험에서는 빛의 영향이 큰 것으로 밝혀졌다. 즉 외부 빛의 밝기에 따라서 로봇의 센서 측정값이 달라져, 장애물과 같은 거리에 위치하여도 빛의 양이 다르면 센서 측정값의 차이가 있었다.

3. 결 론

최근의 진화형 로봇연구 분야는 시뮬레이션만이 아닌 시뮬레이션과 실제의 로봇을 병합한 형태의 구현을 시도하고 있다. 이에 맞추어 본 논문에서는 실제의 로봇을 이용하여 진화형 로봇 제어기의 구현실험을 하였다.

결과를 보면 진화에 장시간이 소요되는 단점이 있어 아직은 사람이 논리적으로 또는 학습 알고리즘에 의하여 설계한 로봇에 비하여 효용성이 낮다고 할 수 있다. 하지만 최적의 값을 구할 수 있다는 점과 로봇 내부구조를 모르는 경우에도 컨트롤러를 구성할 수 있다는 장점이 있다. 또한 기존의 인공지능(AI)로는 해결하지 못한 문제의 해결에 사용하거나, 또는 기존의 방법과 함께 적용할 수도 있을 것이다.

비록 초기단계이지만 인공지능은 생물체의 적응능력을 로봇에 적용함으로써 자율로봇의 구성에 부분적으로 또는 전체적으로 큰 기여를 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] T.Higuchi, T.Niwa, T.Tanaka, H.Iba, H.de Garis, and T.Furuya "Evolving Hardware with Genetic Learning", Proc. of Simulation of Adaptive Behaviour, p.417-p.424, 1992
- [2] Ryoichi Odagiri, Wei Yu, Tatsuya Asai, and Kazuyuki Murase, "Analysis of the Scenery Perceived by a Real Mobile Robot Khepera", Evolvable Systems : From Biology to Hardware, p.295~p.302, 1998.
- [3] Dario Floreano, Francesco Mondada "Evolution of Homing Navigation in a Real Mobile Robot", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 26, p.396-p.407, 1996
- [4] Maja Mataric and Dave Cliff, "Challenges in evolving controllers for Physical Robots", Special issues of Robotics and autonomous systems, 19, No1, p67~p83, 1996
- [5] I.Harvey, P.Husbands, D.Cliff, "Issues in evolutionary Robotics". Proc of the SAB92, 1993