

유전자 프로그래밍을 이용한 지능센서의 진화 하드웨어 구현

석호식, 장병탁

서울대학교 컴퓨터공학부

{hsseok, btzhang}@scai.snu.ac.kr

Evolvable Hardware Implementation of Smart Sensors Using Genetic Programming

Ho-Sik Seok

Byoung-Tak Zhang

School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

요 약

본 논문에서는 유전자 프로그래밍을 이용하여 판단 기준을 탐색할 수 있는 자율 이동 로봇의 센서 해석회로를 진화 하드웨어상에 구현하였다. 자율 이동 로봇은 센서 정보를 통하여 환경 정보를 인지하고 자율성을 유지한다. 그러나 기존의 센서 체계는 첫째, 잡음의 영향을 심하게 받으며, 둘째 같은 환경에 대하여 동일한 종류의 센서라 할지라도 심한 편차가 존재하는 관측값을 출력한다는 문제점을 갖는다. 따라서 센서의 특성에 대한 고려없이 판단기준을 결정하면 로봇의 정확한 환경 인지를 보장할 수 없게 된다. 본 논문에서는 센서 입력값 해석 기준을 센서 특성에 맞추어 적응적으로 변화시키는 센서를 구현하여 입력 해석과정에서의 정확도를 향상하였다.

1. 서론

지난 기간 로봇틱스 분야에서 보여준 많은 발전에도 불구하고 현재 대부분의 로봇은 한정된 환경에서 사전에 정의된 몇몇 작업을 수행하는 것에 초점을 맞추고 있다. 이런 종류의 로봇은 작업환경 및 수행 작업이 사전에 치밀하게 설계될 것을 요구한다. 그러나 요구되는 지식 중 로봇의 동적 성격이나 센서의 특성과 같은 데이터는 사전에 획득하기가 어렵다. 요구되는 지식을 사전에 획득하였다 하더라도 이들을 결합하는 것에 상당히 많은 시간이 요구된다[1]. 이러한 문제점으로 인하여 자율로봇(autonomous robot)이라는 접근방법이 주목을 받고 있다. 자율 이동 로봇은 센서를 이용하여 외부 환경에 대한 정보를 획득하며 움직임을 통하여 일련의 사건에 대하여 영향력을 미친다. 그러나 기존의 센서 체계는 다음과 같은 문제점을 지니고 있다. 첫째 흥미 있는 영역을 구분하여 관측 데이터를 얻는 것이 불가능하다. 둘째, 센서의 관측 데이터는 잡음의 영향을 심하게 받으며 잡음의 분포는 알려져 있지 않은 경우가 많다[2]. 위와 같은 센서 체계의 문제점으로 인하여 센서 진화라는 개념이 주목받고 있다. 센서 진화란 계통적인 학습(phylogenetic learning)의 일종으로 인지의 기본 카테고리들이 선택되고 순화되는 일련의 과정을 의미한다[3]. 센서 진화에 대하여 센서 시스템의 구성을 변경하거나[4], 센서의 관측범위를 변경하는 연구[5]가

주로 이루어지고 있다. 그러나 센서 입력 해석 루틴의 진화를 허용하여 지능적으로 센서 입력을 해석하는 것도 흥미있는 분야이다. 센서 입력을 지능적으로 하는 경우 새로운 환경에 최적화된 센서 해석 루틴을 자동으로 구성할 수 있다는 장점이 있다[2]. 센서 입력의 진화적 해석은 주로 신경망을 이용하고 있다[2,6]. 본 논문에서는 유전자 프로그래밍(genetic programming)을 이용하여 센서 해석 루틴을 진화시키는 것을 목표로 하였다. 센서 해석 루틴은 진화 하드웨어(evolvable hardware)상에 구현되어 동적으로 하드웨어 구성을 변경하며 높은 해석 성능을 제공하고 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 진화 및 진화 하드웨어에 관하여 설명하며, 3장에서는 센서 데이터의 특징 및 구현된 센서에 대하여 설명한다. 4장은 진화 하드웨어 구현 및 실험에 대하여 설명하며 5장은 연구의 의의 및 앞으로의 연구에서 추가할 사항을 담고 있다.

2. 센서 진화, 진화 하드웨어

Brignell은 스마트 센서(smart sensor)의 필요성에 대하여 다음과 같이 주장하였다. 첫째 스마트 센서는 결합의 발생을 내부적으로 처리하여 외부적으로 동작의 계속을 보장할 수 있으며, 둘째 디지털 신호 처리의 발전으로 인하여 중앙처리장치에 추가의 부하를

요구하지 않고 센서내부에서의 데이터 처리를 할 수 있다면 환경 인식에 큰 도움이 된다[7]. 센서의 지능적 해석을 통하여 인식을 및 작업 수행 가능성을 높이는 것이 센서 진화의 목표라 할 수 있다. 모든 센서 입력을 관찰하는 것이 아니라 의미 있는 센서 입력을 선택하여 해석하려는 시도도 존재한다. Liesel[8]는 가상 환경 에이전트의 센서 민감도(sensor sensitivity)를 목표물의 스펙트럼에 맞추어 진화시키려는 시도를 하였다. 센서 진화는 결국 주어진 센서 체계의 최적화 시도라고 해석할 수 있다. Lichtensteiger[4]는 센서의 물리적 위치를 변경하여 최적화된 관찰 형태를 구성하는 실험을 하였다. Mark[9]는 PCA와 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 센서의 관측범위와 센서의 수를 최적화시키는 연구를 수행하였다. Balakrishnan[28]은 신경망을 이용하여 로봇 제어를 구성한 후 진화 알고리즘(Evolutionary Algorithm)을 이용하여 센서 위치 및 센서 관측범위의 최적화 결정을 수행하였다.

진화하드웨어는 진화 알고리즘에 의하여 하드웨어 설정이 제어되는 재구성 하드웨어의 일종이다. 진화 하드웨어는 주로 적응시스템, 결합 허용 시스템, 그리고 동적 재구성에 의한 설계 자동화 분야 등의 분야에 대하여 연구되고 있다. 적응 시스템은 환경 변화에 적응하여 하드웨어 구성을 최적화하는 하드웨어 시스템이다. 결합 허용 시스템은 결합이 발생한 블록의 기능을 다른 블록에 이동시킨 후 연결을 재설정하여 동작을 보장하는 접근방법이다. 진화 하드웨어를 회로 설계 자동화에 응용하려는 시도역시 활발하다[10].

3. 센서 정보의 진화 해석

실험의 대상이 된 센서는 케페라 로봇의 IR 센서이다. 케페라 로봇은 8개의 IR 센서를 이용하여 외부 환경을 인지하며, 각 센서는 0~1023까지의 범위를 갖는 관측값을 제공한다(그림 1참조). 그림 2는 케페라 로봇의 IR 센서 관측값을 도시한 것이다.

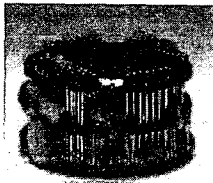


그림 1. 케페라 로봇

표 1에서 그림 2를 보다 자세히 설명한다. 표1에서 알 수 있듯 장애물과 로봇과의 거리를 추정하기 위하여 센서관측값을 이용할 경우 각 구간별로 센서 관측값이 겹치는 범위가 많기 때문에 센서의 관측값을 신뢰하기 어렵다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 유전자 프로그래밍을 이용하여 온라인상에서 판단 기준을 적응 변화시키는 센서를 구현하였다. 유전자 프로그래밍의 개체는 표2의 노드를 이용하여 구성된다. 단말노드는 루트노드부터 단말노드까지 경로를 따라 진행하였을 때 얻어지는 이진수의 출력단말을 구성한다. 함수노드는 *buffer* 및 *inverter gate*로 구성된다. 정의

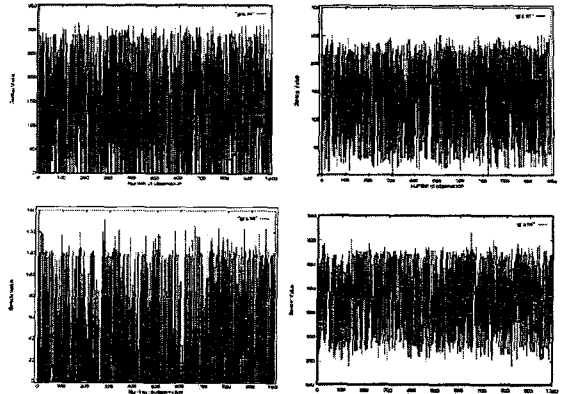


그림 2. 센서 관측 데이터

된 단말 노드 및 함수 노드를 이용하여 센서 관측값의

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
최대값	330	250	150	520
최소값	0	0	0	250

표 1. 장애물과의 거리에 따른 관측값의 변화

- 단말 노드 - 출력단말
- 함수노드 - *buf, inv gate*

표 2. 개체의 구성

- 개체수: 8
- 유전 연산: 돌연변이 및 교차연산
- 돌연변이 확률: 0.4
- 교차 확률: 0.1
- 종료정책: 한정된 세대수동안 진화 수행

표 3. 진화 연산 파라미터

판단 기준을 구성한다. 표3은 유전자 프로그래밍의 진화 연산 파라미터이다.

적합도 연산은 식 1과 같이 구성된다.

$$Fitness = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{f} \dots (1)$$

f_1, f_2, f_3 는 현재 설정된 센서 해석 범위에서 참으로 결정되는 다른 구간의 센서 데이터수이다. f 는 현재 설정된 센서 해석 범위에서 참으로 결정되는 현재 관측 구간의 센서 데이터수이다. 식1이 나타내는 것은 센서 데이터의 오류 해석대 정확한 해석의 비이다. 식1의 값이 0에 가까울수록 데이터 해석의 오류가 줄어든다.

4. 진화 하드웨어의 구현 및 실험

그림 3은 실험을 위하여 구현된 진화하드웨어의 내부 구성도를 보이고 있다. 화살표 1로 표현된 부분은 하드웨어상의 개체 및 개체의 데이터와 센서 데이터를 비교하기 위한 비교기로 구성되어 있다. 화살표 2로 표현된 부분은 현재 개체가 나타내는 구간에 적응된 데이터의 수를 세기 위한 카운터이다. 표 4는 센서 해석의 진화 과정을 보이고 있다. 표4에서 ★으로 표시된

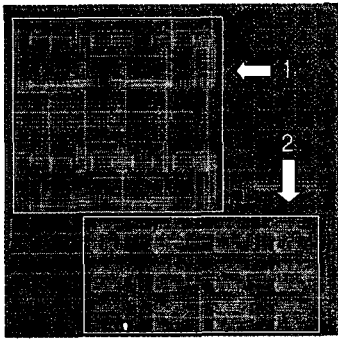


그림 3. 하드웨어의 구성

부분은 하드웨어상에서 수행되는 루틴을 의미한다.

```

Initialization of Chromosomes
while(!termination criterion){
    {
        ★ Hardware representation of individual
        Parallel test of current sensor data
        counting of number of hit sensor data
    }
    Fitness calculation by equation (1)
    Mutation, Crossover and Reproduction}
    
```

표 4. 진화 과정

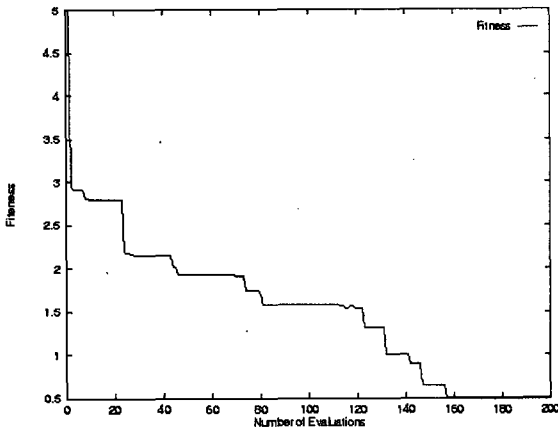


그림 4. 실험결과

그림 4에 실험 결과가 나와있다. 실험은 장애물과의 로봇과의 거리를 네 개 구간으로 분할한 후, 목표 구간의 센서 데이터를 최대화 하는 동시에, 다른 구간의 센서 데이터를 참으로 결정하는 오류의 수를 최소화하는 구간 결정을 목표로 하였다. 실험 결과 적합도 0.5050을 갖는 개체를 155세대만에 찾을 수 있었다. 목표구간의 센서데이터를 최대화 포함하는 구간을 설정한 후 식(1)에 의하여 계산한 결과는 1.2458로 다른 구간의 데이터를 참으로 결정할 오류 가능성을 60%줄일 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 관측값 해석을 적응적으로 수행할 수 있는 센서의 해석 회로를 진화 하드웨어상에 구현하였다. 실험 결과 센서 해석 회로의 진화를 통하여 관측값 해석과정의 오류를 의미있게 줄일 수 있음을 확인하였다. 센서 진화는 본 논문의 실험과 같이 센서 데이터의 해석 구간을 동적으로 변화시키는 분야에 적용될 수도 있지만, 더욱 가능성이 큰 분야는 센서의 결함 발생시 다른 센서의 데이터를 통한 장애물의 존재 유추, 환경 변화에 따른 해석 기준의 동적 적응등이다. 추후 연구에서는 환경 변화에 따른 센서 데이터의 변화 적응, 센서의 특성 차이에 의한 데이터차 적응 실험등을 통하여 센서 해석의 정확도를 보다 향상시킬 수 있는 회로의 진화 시도가 필요하다.

감사의 글: 본 연구는 과학재단 핵심전문 연구(과제 번호 981-0920-107-2)에 의하여 지원되었음.

참고 문헌

- [1] S. Thrun, An Approach to Learning Mobile Robot Navigation, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 15, pp. 310-309, 1996.
- [2] S. Thrun, Learning Metric-topological Maps for Indoor Mobile Robot Navigation, *Artificial Intelligence*, Vol. 99, Issue 1, pp. 21-71, 1998
- [3] P. Cariani, Epistemic Autonomy through Adaptive Sensing, *Proc. of the 1998 IEEE ISIC/CIRA/ISAS Joing Conference*, pp.718-723, 1998.
- [4] L. Lichtensteiger and P. Eggenberger, Evolving the Morphology of a Compound Eye on a Robot, *Proc. of the Third European Workshop on Advanced Mobile Robots*, pp. 127-134, 1999.
- [5] K. Balakrishnan and V. Honavar, On Sensor Evolution in Robotics, *Proc. of Genetic Programming GP-96*, pp. 455-460, 1996.
- [6] S. Nolfi, Using Emergent Modularity to Develop Control Systems for Mobile Robots, *Adaptive Behavior*, Vol. 5, No. 3/4, pp. 343-363, 1997.
- [7] J. E. Brignell, The Evolution of Smart Sensors-ASICs the Next Step, *IEEE Colloquium on ASICs for Measurement Systems*, pp. 5/1-5/4.
- [8] A. Liese, D. Polani, and T. Uthmann, On the Development of Spectral Properties of Visual Agent Receptors through Evolution, *Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference-GECCO 2000*, pp. 857-864, 2000.
- [9] A. Mark, D. Polani, and T. Uthmann, A Framework for Sensor Evolution in a Population of Braitenberg Vehicle-like Agents, *Proc. of Artificial Life VI*, pp. 428-432, 1998.
- [10] H.-S. Seok, K.-J. Lee, B.-T. Zhang, D.-W. Lee and K.-B. Sim, Genetic Programming of Process Decomposition Strategies for Evolvable Hardware, *Proc. of The Second NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware*, pp. 25-34, 2000.