

자율 이동 로봇의 행동 학습을 위한 포섭 구조의 공진화

Co-Evolution of Subsumption Architecture for Behavior Learning of Autonomous Mobile Robot

김현영, 허광승, 이동욱, 심귀보

중앙대학교 전자전기공학부

Hyun-Young Kim, Kwang-Seung Heo, Dong-Wook Lee, Kwee-Bo Sim

School of Electrical and Electronic Engineering, Chung-Ang University

E-mail : kbsim@cau.ac.kr

ABSTRACT

본 논문에서는 자율 이동 로봇의 학습을 위해 신경망과 진화 알고리즘을 이용한 방법을 제안한다. 이것은 자연계의 생물이 진화와 학습을 통해 환경에 적응해 나가는 방식과 유사하다. 또한 본 논문에서는 행동기반 제어 방법인 포섭구조를 이용해 로봇의 행동을 제어하는 방법을 제안한다. 포섭 구조는 행동 규칙을 병렬적으로 모듈화 하여 낮은 레벨에서는 기본적인 행동을 담당하고, 높은 레벨에서는 좀 더 복잡한 행동을 담당하는 구조로 되어있다. 따라서 각 행동 레벨이 협조를 함으로써 복잡한 임무를 수행할 수 있다. 포섭 구조에서 각 레벨의 제어기는 신경망으로 구성하며 각 행동 레벨이 서로 영향을 주고받으며 진화함으로써 주어진 임무를 달성하도록 한다. 제안된 방법은 자율 이동 로봇인 Khepera 로봇을 이용해 실제 환경에서 구현함으로써 그 유효성을 입증한다.

Key words : 공진화 알고리즘, 포섭구조, 신경망, Khepera 로봇

1. 서 론

자율 이동 로봇은 여러 종류의 센서에 의하여 장애물이나 목표물과 같은 주위의 환경을 인식하고 스스로 다음 행동을 결정하여 동작함으로써 주어진 임무를 수행하는 지능적인 시스템이다. 그러나 하나의 로봇 시스템이 환경을 인식하고 행동을 결정하기까지의 과정은 결코 쉽지 않다. 이는 자연계에서 일어나는 현상을 살펴보면 이해가 된다. 생물이 환경에 반응하고 올바르게 행동하기 위한 과정은 개체와 환경과의 공진화의 결과이기 때문이다. 다시 말해 개체와 환경의 진화는 독자적으로 일어나는 것이 아니라 상호관계에 의해 일어나는 것이기 때문이다.

따라서 자율 이동 로봇에 관한 연구의 목적은 외부 상황에 효과적으로 대처하기 위한 하나의 로봇 시스템을 설계하는 것이다. 최근 여

본 연구는 과학기술부의 뇌신경정보학연구사업(Braintech 21)의 '뇌정보처리 메커니즘에 기반한 인간행동 시스템연구'의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

러 대의 자율 이동 로봇을 이용한, 즉 로봇군의 협조 행동을 통해 복잡한 행동을 수행하는 것을 볼 수 있는데 이는 자연계에서 일어나는 곤충들의 창발적인 행동을 이용한 것이다[1]. 그에 반해 하나의 로봇이 하나의 목적을 위해 복잡한 여러 과정을 수행하는 것은 좀 더 상위 레벨의, 즉 곤충보다는 높은 지능을 가졌다고 볼 수 있는 고등 생물의 레벨에서 이루어지는 것이다.

곤충의 행동이 환경에 대한 신경계의 직관적인 반응으로써 일어나는데 반해 고등 생물의 경우는 대뇌에 의해 환경에 종합적으로 반응한다. 이와 같이 신경계 또는 뇌의 구조를 공학적으로 모델링한 것이 신경망이다. 신경망은 생물학적 뉴런을 유닛(unit)으로, 정보전달 역할을 하는 시냅스를 연결강도(weight)로 모델링한 것이다.

기존의 AI 방법에서 여러 복잡한 행동을 수행할 경우에는 순차적으로 진행되기 때문에 정보의 병목 현상이 나타날 수 있다. 그러나 Brooks에 의해 제안된 포섭구조[2]는 곤충이 현실 세계의 환경과 상호 작용하면서 보여주는 다양한 형태의 동물 행동학을 로봇공학에 적용한 것이다. 이는 행동 규칙을 병렬적으로 모듈

화하였기 때문에 정보의 병목 현상을 없애고 곤충과 같이 환경 세계에 즉각적으로 반응하기 때문에 행동형 로봇에 적용되는 사례가 많다.

본 논문에서는 포섭 구조를 기본 틀로 하여 각 레벨의 제어기는 신경망으로 구성하며 각 행동 레벨이 서로 영향을 주고받으며 공진화함으로써 주어진 임무를 달성하도록 자율 이동 로봇인 Khepera 로봇 [3]에 적용해 실제 환경에서 구현하고자 한다.

공진화에는 피식자와 포식자의 관계와 같이 서로 다른 개체군간의 경쟁에 의하여 진화하는 경쟁적 공진화 방법과 두 개체군이 서로를 보완하며 함께 진화해 나가는 협조적 공진화가 있다 [4-6]. 또한 스키마 공진화는 부개체의 개체가 나타내는 스키마가 주 개체군에 기생함으로써 주 개체군내의 스키마 인스턴스를 증가시키는 과정이다 [7]. 본 논문에서는 포섭 구조의 각 제어기를 협조적 공진화를 사용하여 진화시키고자 한다.

본 논문에서 다루고자 하는 내용은, 2장에서는 행동 기반 로봇인 Khepera 로봇에 대해서 알아보고, 신경망 제어기와 포섭 구조에 대해 알아본다. 3장에서는 공진화의 개념과 2장에서 알아본 기본적인 개념들을 바탕으로 한 협조적 공진화 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 공진화에 의한 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 결론과 연구 방향에 대해 언급한다.

II. 행동 기반 로봇

2.1 Khepera 로봇

행동기반 로봇인 Khepera로봇은 simulation에서 test되는 trajectory planning, obstacle avoidance, sensor 입력의 pre-processing등을 실제 환경에 적용시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 자유롭게 프로그래밍과 실험이 가능한 Khepera 로봇을 사용한다. Khepera 로봇은 8개의 IR-sensor를 가지고 주변의 장애물을 감지할 수 있으며 두개의 바퀴를 제어함으로써 자유롭게 이동할 수 있다. 한편 하드웨어 구조가 모듈의 형태로 되어 있어서 추가적인 기능의 turret을 Khepera 로봇의 base에 꽂아서 gripper, vision, communication 등의 기능을 추가할 수 있다.

본 연구에서는 Khepera 로봇의 base에 부착되어 있는 8개의 IR-sensor와 vision turret을 이용하여 obstacle avoiding 및 target searching의 기능을 수행한다.

2.2 신경망 제어기

자율 이동 로봇의 바퀴를 제어하는 한 방법으로 Braitenberg Vehicle Algorithm이 있다 [8]. Braitenberg Vehicle의 기본적인 법칙은

자율 이동 로봇에 부착된 센서로 물체를 감지하고 센서와 같은 쪽에 있는 모터의 속도를 증가시키는 형태로 활성화하면 afraid 행동을 하게 되고, 센서 반대편에 있는 모터를 활성화시키면 aggressive 행동을 하게 된다.

2.3 포섭 구조

자율 이동 로봇이 환경의 변화를 인지하고 이를 센서 입력으로 받아들여 처리하는 데는 많은 입력을 처리하는 제어 시스템이 필요하다. 이러한 로봇의 제어 시스템을 만들기 위한 기존의 방법은 그림 1에 나타난 것과 같이 로봇의 기능적인 모듈로 나누는 것이다. 그림 1에서 모듈별로 나뉘어진 부분은 기능 유닛 단위라고 보면 된다 [2]. 하지만 기존의 방법에서는 많은 입력이 있을 경우에는 정보에 의한 병목 현상이 일어날 수 있기 때문에 제안된 방법이 포섭 구조이다. 하지만 기존의 방법에서는 많은 입력이 있을 경우에는 정보에 의한 병목 현상이 일어날 수 있기 때문에 제안된 방법이 포섭 구조이다.

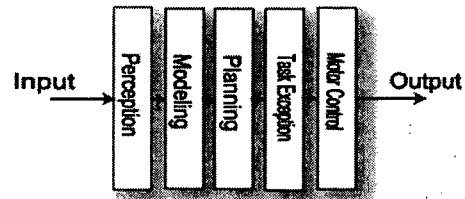


그림 1. 기존 AI 방법

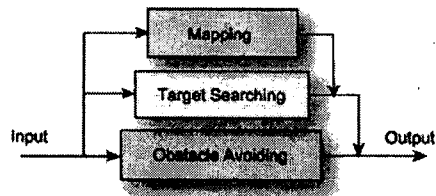


그림 2. 포섭 구조

Brooks에 의해 제안된 포섭 구조 [2]는 그림 2에서와 같이 행동 규칙을 병렬적으로 모듈화하였기 때문에 기존의 방법에서 나타난 것과 같은 정보의 병목 현상이 일어나지 않는다. 포섭 구조의 기본적인 개념은 곤충이 환경과 상호작용하면서 보여주는 다양한 행동을 로봇공학에 접목했다는 것이다. 곤충이 현실 세계의 환경에서 복잡한 행동을 하는 이유는 한 행동의 결과가 다음 행동을 차례로 유발하고, 서로 다른 단순 행동이 상호 작용한 결과로 복잡한 행동이 출력된다는 창발적인 행동 때문이다. 결국 포섭 구조에서는 복잡한 행동은 복잡한 환경의 투영이지 복잡한 제어의 결과가 아니라는 것이 기본 생각이다.

본 논문에서는 포섭 구조를 이용하여 장애물 회피와 목표탐색을 구현하고 공진화를 이용하여 이들을 진화 시키고자 한다.

III. 공진화 알고리즘

3.1 공진화의 개념

자연계의 진화 과정은 종종 하나의 개체군에서 개체가 고정된 환경에 적응하는 것으로 묘사된다. 그러나 이러한 묘사는 실제 상황에 대한 일차의 근사화에 불과하다. 실제로 진화는 많은 다른 개체군 또는 변화하는 환경과의 상호작용에 의한 결과이다. 즉 모든 자연계의 생물들은 다른 요소들과 서로 영향을 주고받으며 공진화 하는 것이다.

유전자 알고리즘은 자연계의 진화 현상을 모델링한 계산 알고리즘이다. 이것은 알고리즘의 단순성과 우수한 효과로 주어진 환경에서의 최적화의 문제에 많이 이용되고 있다. 그러나 이를 위하여 유전자 알고리즘은 어떠한 주어진 문제를 정확히 반영하며, 하나의 수치로서 개체의 상대적인 가치를 평가할 수 있는 적합도 함수가 필요하다. 이 적합도 함수의 결정에 따라 유전자 알고리즘의 성능이 좌우된다. 이러한 관점에서 공진화의 방법은 적합도 함수의 명시에 의한 성능의 제한을 막을 수 있는 해결책으로 기대된다. 공진화 방법에서 한 개체군의 적합도는 다른 개체군이 진화에 의하여 영향을 받는다. 즉, 두 개 또는 그 이상이 개체군이 그들의 적합도를 통하여 서로 영향을 받으며 상호작용 한다. 이로 인하여 유전자 알고리즘은 비효율적인 적합도 함수 설정에 의한 문제점을 극복하고 전역적인 최적의 해를 찾을 수 있도록 하는 작용을 한다.

공진화의 방법은 피식자(pre)와 포식자(predator)의 관계와 같이 서로 다른 개체군 간의 경쟁에 의하여 진화하는 경쟁적 공진화 [4,5] 방법과 두 개체군이 서로를 보완하며 함께 진화해 나가는 협조적 공진화가 있다 [6]. 또 숙주(host)와 기생체(parasite)의 관계와 같이 많은 수의 기생개체가 하나의 숙주를 통해서 공진화 하는 방법도 있다 [7].

3.2 협조적 공진화 알고리즘

공진화는 두 개 이상의 개체군이 함께 진화하는 것을 의미하는데 본 논문에서는 그림 3과 같이 obstacle avoiding level과 target searching level에서의 두 개의 개체군이 진화하는 경우에 대해서 고려한다. 본 논문에서 사용한 공진화 알고리즘은 다음과 같다.

[Step 1] : 진화하려는 두 개의 개체군을 정의한다. 두 개체군은 협조적인 공진화를 하므로 우선적인 순위는 상황에 따라 다르다. 편의상 장애물 회피 개체군은 1개체군, 목표 찾기 개체군은 2개체군으로 분류한다. 변수는 다음과 같이 정의한다.

P_i : 1개체군의 i 번째 개체. 단, $i=0 \dots N$

N : 1개체군의 개체 수

S_j : 2개체군의 j 번째 개체. 단, $j=0 \dots M$

M : 2개체군의 개체 수

[Step 2] : 적합도 평가

1개체는 2개체군에서 L 개의 개체를 선택하고, 이에 대하여 상호 적합도를 구한 후 평균값을 취하여 이것을 자신의 적합도로 가지며 2개체도 선택된 횟수의 상호 적합도를 평균하여 자신의 적합도로 갖는다. 사용되는 변수는 다음과 같다.

$$f(P_i) = \frac{\sum_{j \in A} f(P_i, S_j)}{L} \quad (1)$$

$$f(S_j) = \frac{\sum_{i \in B} f(P_i, S_j)}{K_j} \quad (2)$$

위의 식(1)과 (2)에서 $f(P_i)$ 는 P_i 의 적합도, $f(S_j)$ 는 S_j 의 적합도, $f(P_i, S_j)$ 는 1개체와 2개체의 상호 관계에 의한 적합도, A 는 1개체가 선택한 2개체들의 인덱스 집합, L 는 1개체의 평가 횟수, B 는 2개체를 선택한 1개체들의 인덱스 집합, K_j 는 2개체가 선택된 횟수를 각각 나타낸다.

[Step 3] : 각각의 개체군에 대하여 일반적인 유전자 알고리즘과 같은 선택, 교차, 돌연변이의 과정을 거쳐 다음 세대의 개체군을 구성한다.

[Step 4] : 일정한 세대가 지나거나 만족한 결과가 나올 때까지 Step 2와 3을 반복한다.

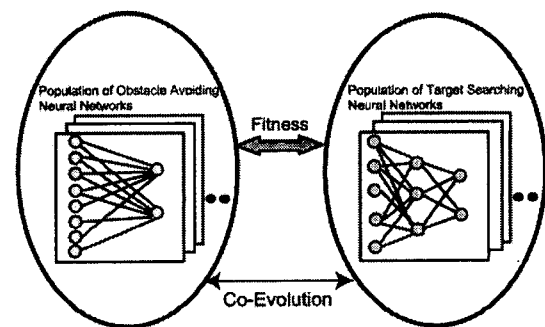


그림 3. 포섭구조의 obstacle avoiding level과 target searching level의 협조적 공진화 구조

IV. 실험결과

4.1 문제 설정

본 논문에서는 그림 4에서와 같이 8개의 IR-sensor의 입력과 vision turret의 입력을 받아 obstacle avoiding과 target searching의

신경망을 포섭 구조의 형태로 구성하여 모터를 제어한다. 그림 4의 센서를 이용해 target searching을 하는 도중 obstacle을 만나면 이를 회피할 수 있어야 하는데 이를 효율적으로 행하기 위해서는 포섭 구조가 필요하다. 본 논문에서는 포섭 구조를 이용한 두 모듈의 공진화를 제안한다. Khepera 로봇은 구조 자체가 모듈화 되어있고 obstacle avoiding과 target searching을 병렬구조로 처리할 수 있으므로 적절히 활용될 수 있다.

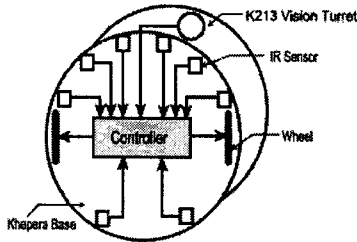


그림 4 IR-sensor와 vision 입력을 이용한 Khepera 로봇의 제어구조

그림 5는 본 논문에서 제안한 구조의 실험 시스템을 보여준다. 좌측 하단이 로봇의 출발점이고, 오른쪽 위쪽 검은 원통이 target으로 로봇은 vision을 이용해 이것을 찾고 중앙의 흰색 벽을 회피해야 한다.

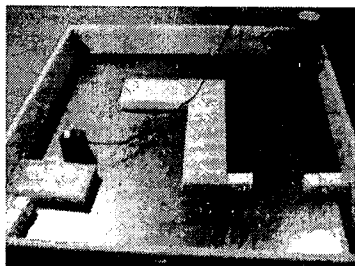


그림 5. Khepera 로봇의 obstacle avoiding과 target searching을 위한 실험 환경

4.2 파라미터 설정

실제 환경에서의 실험이므로 세대를 거치면서 나타나는 시간의 소요를 줄이기 위해서 각 개체군 N 과 M 을 각각 10개로 정하고 상대방 개체군의 선택 수 L 은 5개로 정하였다. 그리고 두 개체군의 개체사이의 상호작용에 의한 적합도 함수를 다음과 같이 나타내었다.

$$f(P_i, S_j) = \frac{1}{2} \left(\frac{C-o}{C} + \frac{L-d}{L} \right) \quad (3)$$

(3)식에서 o 는 obstacle과의 충돌 횟수, d 는 target까지 남은 거리, C 는 maximum 충돌 횟수, 그리고 L 은 target까지의 최대 직선거리를 각각 나타낸다.

V. 결 론

본 논문에서는 자율 이동 로봇이 신경망과 진화 알고리즘을 이용해 학습하고, 각 행동의 제어기를 포섭 구조를 이용하여 공진화하는 방법을 제안하였다.

1개체군의 obstacle avoiding과 2개체군의 target searching 각각을 신경망을 이용해 진화시키고 각 제어기는 포섭 구조를 이용하여 병렬적으로 모듈화하여 각 행동 레벨이 협조를 함으로써 복잡한 임무를 수행할 수 있도록 하였다. 제안된 방법은 이동 자율 로봇인 Khepera 로봇에 적용해서 유효한 행동을 얻을 수 있음을 확인했다.

VI. 참고문헌

- [1] 심귀보, "인공생명을 갖는 지능로봇시스템의 실현," *대한전자공학회지*, 제24권, 제3호, pp.70-82, 1997.
- [2] Rodney A. Brooks, "A Robust layered Control System for A Mobile Robot," *Cambrian Intelligence: The Early History of the New AI*, MIT Press, pp.3-26, 1999.
- [3] K-Team, Khepera User Manual
- [4] W. Daniel Hillis, "Co-evolving Parasites Improve Simulated Evolution as an Optimization procedure," *Artificial Life II*, pp. 313-324, Addison-Wesley, 1991.
- [5] 정치선, 이동욱, 전효병, 심귀보, "경쟁적 공진화법에 의한 신경망의 구조와 학습패턴이 진화," *전기공학회논문지*, 제36권, 제1호, pp.29-36, 1999, 1.
- [6] Hyo-Byung Jun and Kwee-Bo Sim, "Coevolutionary Algorithms for Realization of Intelligent Systems," *Journal of Advanced Computational Intelligence*, Vol.3, No.5, pp.418-426, 1999.
- [7] 전효병, 전효병, 이동욱, 심귀보, "스키마 공진화 알고리즘의 해석," *한국퍼지 및 지능시스템 학회 논문지*, 제9권, 제2호, pp.15-18, 1999, 11.
- [8] Bruce R. Koball, John H. Wharton, "A Test Vehicle For Braitenberg Control Structure," *Proceedings of Computer Society International Conference*, pp.394-398, 1988,