

유전 프로그래밍을 이용한 청소 로봇의 이동 패턴 계획

권순조, 이종현, 안창욱*

성균관대학교 컴퓨터공학과

e-mail: prena@skku.edu, ljh08375@skku.edu, cwan@skku.edu

Designing for the Pattern of Cleaning Robot based on Genetic Programming

Soon-Joe Gwon, Jong-Hyun Lee, Chang Wook Ahn*

Dept of Computer Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

최근 주요 홈서비스 로봇 중 하나인 청소 로봇에 대한 수요가 증가하면서 주어진 공간을 효율적으로 처리하기 위한 높은 커버리지 성능이 주목받고 있다. 이에 따라 로봇의 커버리지 성능을 높이기 위하여 청소 로봇의 자율적인 행동을 통해 지도를 작성하고 이를 활용한 경로를 생성하여 로봇의 행동에 반영하였다. 하지만, 저가형 청소 로봇은 낮은 성능의 처리 성능을 가지고 있기 때문에 불가능하다. 이에 본 논문에서는 단순한 행동 기능만을 가지고 있는 청소 로봇의 이동 패턴을 유전 프로그래밍을 이용하여 최적의 행동 계획을 설계하는 기법을 제안한다. 또한 실험을 통해 제안 기법을 통해 생성된 이동 패턴이 기존 기법에 비해 높은 행동 효율성을 보장함을 확인 하였다.

1. 서론

홈서비스 로봇이란 이전까지 사람들이 직접 수행하던 작업을 대신 수행하는 로봇을 뜻한다. 청소용 로봇, 경비용 로봇, 공공복지용 로봇, 교육용 로봇 등이 개발되고 있다. 특히 청소 로봇의 경우 홈서비스 로봇의 대부분을 차지하고 있으며 이에 따라 각 기업은 청소 로봇의 성능을 높이기 위해 다양한 노력을 하고 있다 [1].

청소 로봇의 성능은 모든 공간을 빈틈없이 탐색하는 (커버리지) 능력과 이에 걸리는 시간으로 평가된다. 기존 연구에서는 로봇 청소기의 커버리지 성능의 향상을 위해 전면 카메라의 화면을 영상처리 하여 이용하거나 기타 센서 (초음파, 위치 인식 등) 를 이용하였다. 즉, 장애물의 위치와 청소 로봇과의 거리를 계산한 후 청소할 공간의 지도를 작성하고 그것을 이용하여 청소 로봇의 커버리지 계획을 만들었다 [2]. 하지만 저가형 청소 로봇은 고성능의 센서나 처리장치를 가지고 있지 않기 때문에 지도 작성 중에 오차가 생기거나 복잡한 연산을 처리하지 못하는 단점을 가진다 [3]. 따라서 직선으로 이동하다 장애물을 만나면 회전하는 랜덤 알고리즘이 널리 사용되었다 [4]. 하지만 기존 랜덤 알고리즘을 사용할 경우 공간이 커질 때마다 청소되지 않는 구역이 발생하여 행동 효율성이 낮아진다 [5].

이러한 관점에 본 논문은 유전 프로그래밍을 이용하여 저가형 청소 로봇이 가지고 있는 저성능의 센서와 처리장치를 사용하여 안정된 청소 로봇의 이동 패턴을 계획하는 새로운 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 유전 프로그래밍에 대한 소개와 3장에서는 제안 기법에 대해 소개한다. 4장에서는 실험 구성과 결과분석, 끝으로 5장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

2. 유전 프로그래밍

유전 프로그래밍은 진화 알고리즘의 방식 중 하나로써 해를 진화시켜 가면서 최적의 해를 도출해 내는 문제 해결 기법이다. 유전 알고리즘에서는 바이너리 데이터를 유전자로 사용한다면 유전 프로그래밍은 트리 형태의 구조를 사용한다는 차이점이 있다. 우선 초기 세대의 해를 설정한다. 해당 세대의 트리가 얼마나 조건에 부합한 지 적합도를 계산한다. 그 후 적합도에 따라서 어떤 유전자를 사용할 것인지를 선택하고 선택된 유전자들을 이용하여 자손을 만든다. 또한, 일정 확률로 돌연변이가 일어나도록 하게 한다. 그 후 새로운 세대의 유전자를 이용하여 앞의 과정을 반복하며 점차적으로 최적의 해에 가까워지게 된다. [6, 7].

3. 제안 기법

3.1. 이동 패턴 생성

본 논문에서는 유전 프로그래밍을 이용하여 청소할 공간의 구조를 모르는 상태에서도 효율적인 움직임을 보여주는 청소 로봇의 이동 패턴을 생성하는 기법을 제안한다.

또한, 앞서 언급하였듯이 본 논문에서 생성하고자 하는 최적화된 이동 패턴은 청소 로봇에 범용적으로 적용될 수 있도록 설계되었기 때문에 유전 프로그래밍의 개인 개체를 생성하는 데 사용된 학습 데이터는 일반적인 가정의 구조와 유사한 맵으로 설정하였다.

유전 프로그래밍을 이용하여 이동 패턴을 계획하는 방법은 다음과 같다. 첫째로 초기 트리를 무작위로 생성한다. 트리 생성 시 최대 트리 깊이가 설정되며 각 노드에는 청소 로봇의 가능한 움직임이 설정된다.

다음 단계로 생성된 각 트리의 적합도를 평가한다. 적합도 평가는 (1)에 정의된 적합도 함수를 사용하였다. (1)에서 볼 수 있듯이 제안 기법은 탐색 시간(S_t)과 탐색 영역(S_a)을 적합도 평가 지표로 사용하였다. 먼저 탐색 시간(S_t)은 주어진 모든 영역 탐색에 소요되는 시간을 나타낸 것이다. 반면 탐색 영역(S_a)은 탐색 시간 내에 청소 로봇이 탐색한 영역의 수를 나타내며 모든 탐색 영역은 주어진 최대 시간 내에 탐색한 영역의 수로 평가 한다.

$$t) = 0.8 * S_t + 0.2 * S_a \quad (1)$$

트리의 적합도는 모든 영역 탐색에 소요되는 시간으로 평가하였다. 또한, 주어진 시간 내에 모든 영역 탐색에 실패하였을 경우 탐색 된 영역의 수로 평가하였다. 다음 단계로 주어진 트리 중 높은 적합도를 갖는 트리를 선택하는 선택과정을 거친다. 그 후 교차, 변이를 실행하여 트리를 진화시켜가며 일정 세대만큼 반복한다.

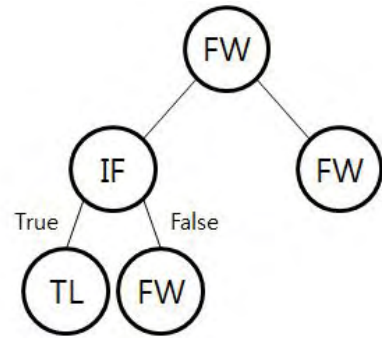
3.2. 행동 패턴 구현

청소 로봇의 이동 패턴은 유전 프로그래밍의 결과로 주어진 트리를 전위순회(preorder) 하여 도출된 이동 패턴을 수행한다. 또한, 본 논문에서는 이동 패턴을 수행하는 청소 로봇은 주어진 패턴을 계속적으로 반복하도록 설정하였다.

표 1은 유전 프로그래밍에서 트리 구성 시 노드를 구성할 수 있는 청소 로봇의 행동을 나타내고 있다. 만약 주어진 로봇의 행동이 'FW (앞으로 이동)' 이어도 이동 위치에 장애물이 있는 경우 이동하지 않는다. 또한, 트리의 노드가 'IF (망의 장애물 감지)' 인 경우 장애물이 감지되면 왼쪽의 노드를 수행하며, 감지되지 않았을 경우 오른쪽의 노드를 수행한다.

<표 1> 청소 로봇의 가능한 움직임

행동	설명
TL	왼쪽으로 회전
TR	오른쪽으로 회전
FW	앞으로 이동
IF	앞의 장애물 감지



(그림 1) 트리의 예시

예를 들어 청소 로봇의 이동 패턴이 그림 1과 같이 주어졌을 때 청소 로봇은 앞으로 이동 후 장애물이 감지될 경우 왼쪽으로 회전 (TL), 감지되지 않았을 경우 앞으로 이동 (FW) 한다. 그 후 앞으로 이동하고 이 행동을 계속 반복하게 된다.

4. 실험 및 결과 분석

4.1 실험 구성

본 논문에서는 실제 가정집과 유사한 3가지 맵을 학습 데이터로 유전 프로그래밍의 적합도 평가에 사용하였다. 이와 더불어 앞선 학습 데이터 맵과 다른 새로운 실험 데이터 맵을 생성하여 유전 프로그래밍을 통한 최적의 이동 패턴을 나타내는 트리의 유용성을 검증하는 데 사용하였다. 그림 2와 3은 본 실험에서 사용된 맵을 나타낸 것이다.



(그림 2) 학습 데이터로 사용한 맵



(그림 3) 실험 데이터로 사용한 맵

모든 실험에서 유전 프로그래밍 초기화 시에 ramped half and half 기법 [8]을 이용하여 최대 깊이를 5로 설정하였다. 표 2는 실험에서 적용된 환경 변수를 나타낸 것이다. 본 논문에서 사용된 모든 실험 데이터는 100번 반복하여 평균값을 나타낸다.

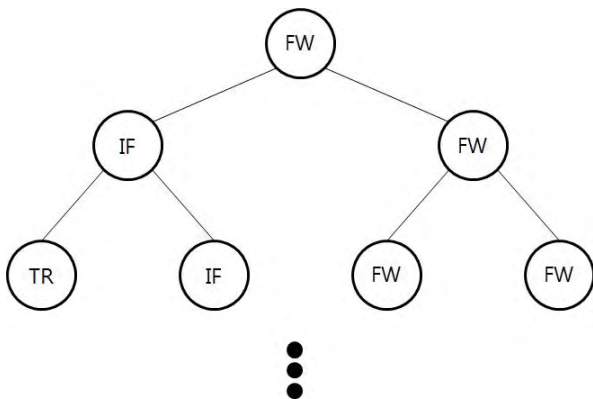
<표 2> 유전 프로그래밍 환경 변수

환경변수	설정 값
트리 최대 깊이	8
인구 수	20,000
세대 수	1,500
선택 기법	토너먼트 선택 기법
교차 확률	0.8
변이 확률	0.05

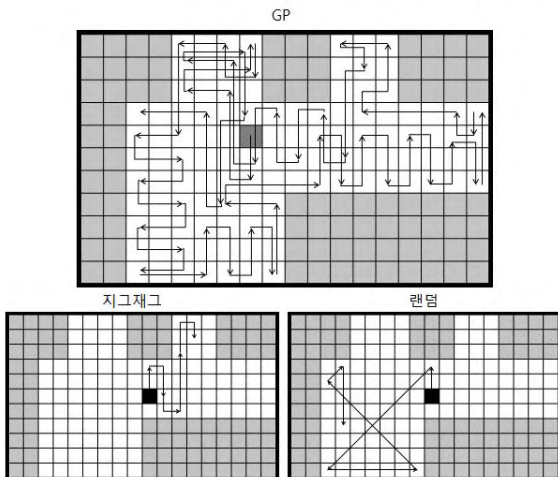
4.2 결과 분석

본 논문에서는 유전 프로그래밍으로 생성된 이동 패턴의 유용성 확인을 위해 다음 두 가지 비교 대상 알고리즘을 설정하였다. 랜덤 방식의 알고리즘, 지그재그 방식의 알고리즘. 각각의 알고리즘을 청소 로봇에 적용했을 때 수행 횟수마다 탐색하는 총 영역의 수를 비교하였다.

그림 4는 유전 프로그래밍을 통해 도출된 이동 패턴의 예를 나타내고 있다. 이 패턴과 다른 알고리즘을 테스트 맵에 적용했을 때의 이동 경로는 그림 5와 같다.



(그림 4) 청소 로봇의 이동 패턴 예시

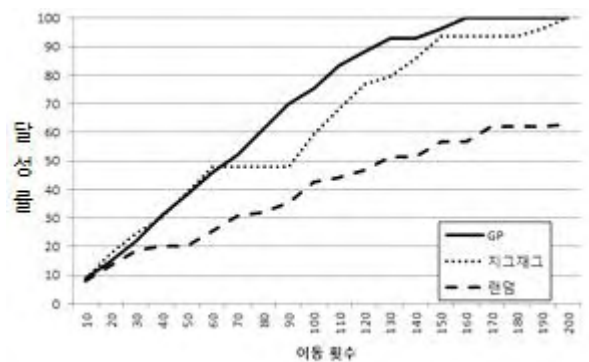


(그림 5) 각 알고리즘의 이동 경로의 예시

먼저 지그재그 알고리즘의 경우 로봇의 시작 위치가 청소 효율에 가장 큰 영향을 주었다. 그 예로 로봇이 중앙에서 청소를 시작할 경우 이미 청소된 공간을 반복하여 청소하는 경우가 많았고 경우에 따라 같은 공간만을 반복하여 청소하는 경우도 발생하였다.

랜덤 알고리즘의 경우 공간의 중앙 부분을 중복하여 청소하는 비율이 높았으며 구석진 부분은 청소되지 않아 모든 공간을 청소하는 데 오랜 시간이 소요되었다.

반면, 유전 프로그래밍을 이용한 이동 패턴을 분석한 결과 그림 5에서 보는 것과 같이 중복으로 청소하는 구역을 최소화시킨 모습을 보여주어 효율적인 움직임을 보여주었다.



(그림 6) 각 알고리즘의 생성 이동 패턴의 효율 비교

그림 6은 주어진 모든 영역을 청소하는데 있어 소요된 시간을 나타내고 있다. 그림 6에서 보듯이 유전 프로그래밍을 적용한 이동 패턴의 소요 시간이 가장 적음을 알 수 있다. 이는 지그재그 알고리즘보다 29% 더 높은 시간 효율성을 나타내며 랜덤 알고리즘의 경우 모든 영역을 탐색하는데 세 가지 알고리즘 중 가장 많은 시간이 소요되었다. 이를 통해 유전 프로그래밍을 사용한 방법이 다른 알고리즘을 사용한 방법보다 우수함을 검증하였다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 유전 프로그래밍을 이용하여 청소 로봇의 이동 패턴을 계획하였고, 여러 임의의 맵에서 학습된 이동 패턴은 다른 맵에서도 높은 운행 효율성을 보였다. 유전 프로그래밍을 이용하여 계획된 청소 로봇의 이동 패턴이 모든 영역을 탐색하는 데 걸린 시간은 이미 시중에 있는 청소 로봇의 알고리즘보다 적었다. 이는 미리 학습된 데이터와 비슷한 구조를 가진 실험 데이터에서도 좋은 성능을 보여준다는 뜻으로 유전 프로그래밍을 이용한 이동 패턴이 다른 알고리즘보다 우수하다는 것을 보여준다.

본 논문에서는 청소기의 행동을 네 가지로 제한하였지만, 기타 센서들을 이용하여 조건에 따라 다른 행동도 추가한다면 더 효율적인 이동 패턴을 보여줄 것으로 예상된다.

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로
한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(NRF-2012R1A2A2A01013735)

참고문헌

- [1] 김병수, “지능형 서비스 로봇 - 산업 활성화”, TTA Journal, Vol. 101, pp. 48-52, 2005
- [2] 신용우, 최승윤, 정태충, “청소로봇을 위한 지능형 온라인 경로계획 알고리즘 개발”, 정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용, Vol. 49, No. 10, pp. 592-599, 2013
- [3] 김병수, “지능형 서비스 로봇 기술현황”, 소음진동, Vol. 14, No. 3, pp. 23-30, 2004
- [4] Forlizzi, Jodi, and Carl DiSalvo. "Service robots in the domestic environment: a study of the roomba vacuum in the home." Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction. ACM, pp. 258-265, 2006.
- [5] Ribes, Marcel Tresanchez. "Optimization of Floor Cleaning Coverage Performance of a Random Path-Planning Mobile Robot.", 2007
- [6] John H. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence", MIT Press, 1992
- [7] Koza J R, and Riccardo Poll, "Genetic Programming, Search Methodologies", pp. 127-164. 2005
- [8] Luke, Sean, and Liviu Panait. "A survey and comparison of tree generation algorithms." Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2001), pp. 81-88, 2001.