
퍼지 인공 면역망 시스템을 이용한 자율이동로봇 시스템

이동제* · 최영규**

Autonomous Mobile Robot System based on a Fuzzy Artificial Immune System

Dong-je Lee* · Young-kiu Choi**

요 약

본 논문은 초음파 센서에 의해 인식된 정보를 항체와 항원으로 모델링 된 퍼지 인공 면역망에 의한 하위 행위기와 상위 행동 선택기로 설계된 자율이동로봇 시스템에 관한 연구이다. 외부 환경과 행동 패턴의 관계는 매우 많은 조합이 가능하다. 이러한 복잡한 관계 속에서 행동의 우선 순위를 어떻게 결정하는가 하는 문제가 가장 중요하다. 이런 복잡한 결정을 위해 본 논문에서는 퍼지 인공 면역망 알고리즘을 제시하고, 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 제안된 자율이동로봇의 행위 선택기의 유용성을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper addresses the low-level behavior of fuzzy control and the high-level behavior selector for Autonomous Mobile Robots (AMRs) based on a Fuzzy Artificial Immune Network. The sensing information that comes from ultrasonic sensors is the antigen it, and stimulates antibodies. There are many possible combinations of actions between action-patterns and external situations. The question is how to handle the situations to decide the proper action. We propose a fuzzy artificial immune network to solve the above problem. and the computer simulation for an AMR action selector shows the usefulness of the proposed action selector.

키워드

Immune network, Fuzzy Logic, Action Selector, Autonomous Mobile Robot

I. 서 론

AMR의 주행 알고리즘으로 주행 영역 전체의 정보를 바탕으로 최적의 경로를 계획하는 **global path planning** 과 주변 환경의 정보만으로 주행하는 **local path planning** 이 있다. 하지만 전체 정보를 가지고 있다고 하더라도 실제 환경에서는 환경 변화가 항상 발생 할 수 있으므로 높은 자율성을 가진 경로 계획으로 지역 경로 계획은 필수적이다.

지역 경로 계획 알고리즘으로 **Potential field[1]**, **fuzzy**

system[2,3], **neural network[4]**을 이용한 경로 계획 등이 제안 되었다. 퍼지 시스템을 이용한 경우 전문가 지식을 이용하여 퍼지 규칙을 생성할 수 있는 장점이 있다.

하지만 입력이 많을 경우 퍼지 규칙 설정에 어려움이 따르고 **neural network**을 이용 경우 학습된 이외의 장소에서 목표점에 도달하지 못하고 장애물과 충돌하는 문제점이 지적되었다.

최근 로봇의 주변 환경에 대한 적응성 높은 반응을 얻기 위해 행위기반(**behavior-based**) 경로계획에 대한 관심

* (주)다사로봇
** 부산대학교 전자전기통신공학부

이 높아지고 있다. 기존의 행위기반 경로 계획 방법으로 계층적 퍼지 시스템(hierarchical fuzzy system)으로 전체 3단계의 계층으로 나누고 삽입된 pre-prediction module 과 fuzzy balancer 를 이용하여 이동하는 장애물을 회피 하였다[5]. 이 방법은 계층적 구조로써 144개의 rule을 44 개의 rule로 감소 시켰으나 여전히 복잡한 구조를 가지고 있다. 또한 인간의 면역체계를 모방하여 인공 면역망을 이용한 행위기반 경로 계획 방법이 있다[6]. 이 방법은 장애물 회피와 목표점 도달 행위에 대해 인공면역망을 구성하고 두 행위기 출력을 일정한 가중치로 결합하여 구성되는 방법이다. 하지만 AMR의 동작이 연속적이지 못하며 고정된 결합계수로 인해 장애물의 형태에 따른 적합한 행위기 선택이 어렵다.

본 논문에서는 제안한 행위기반 경로 계획 방법으로 18개의 Rule로 구성된 하위 퍼지 제어기와 3개의 항체로 구성된 인공 면역망 상위 행동선택기를 사용한다. 하위 행동기는 간단한 구조로 Rule 구성이 용이하며 상위 행동 선택기는 퍼지 인공 면역망으로 센싱 거리와 같은 수학적 표현이 어려운 정량적 값들을 fuzzifier 하여 항체를 간단한 언어적 표현하여 구성 후 다양한 장애물 형태에 적용하여 안정성 있고 유연한 경로 계획 특성을 시뮬레이션을 통해 보인다

II. 인간의 인공면역망

그림 1과 같이 항체(antibody)는 “Y” 형상을 가지고 있고, 항체는 고유 정보를 가진 paratope와 ideotope를 가지고 있다. 항체의 paratope와 항원(antigen)의 epitope는 열쇠와 자물쇠의 관계처럼 서로 일치할 경우 항체에 의해 항원은 억제된다. 또한 N. K. Jerne의 가설에 의해 새로운 인공면역망이 제안되어졌다[7].

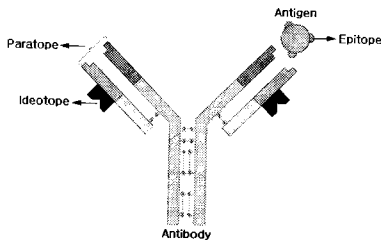


그림 1. 항원과 항체의 구조
Fig. 1. Structure of antibody and antigen

III. 자율이동로봇 행동 선택기 전체 구조

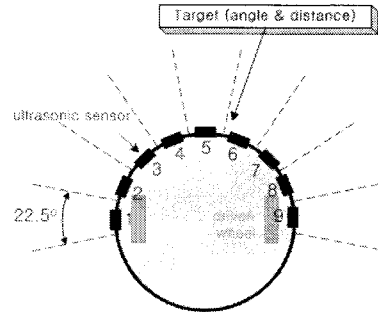


그림 2. 자율이동로봇의 외부환경 인식 센서
Fig. 2. Unknown environments sensing of AMR

외부 환경 인식을 위하여 9개의 초음파 센서에 의해 자율이동로봇은 외부 환경을 인식한다. 9개의 초음파 센서는 좌측, 앞, 우측 방향의 3개의 그룹으로 나뉜다. 그림 2에서 보인다.

하위 퍼지 행위기는 좌수법, 목표물 추종, 장애물 회피로 구성된다. 상위 행동 선택기의 입력 신호는 좌측, 전방, 우측의 장애물 인식 횟수와 목표물 접근 비율, 목표물 접근 트렌드 비율, 목표물과의 거리로 이루어진다.

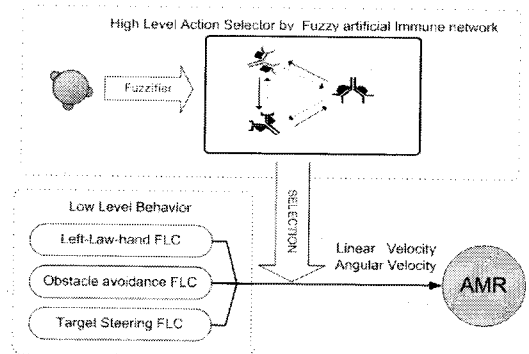


그림 3. 전체 행동 선택기
Fig. 3. Entire action control scheme

IV. 하위 행위기

4.1 퍼지 입력 멤버쉽 함수

멤버쉽 함수의 단위는 거리는 시뮬레이션 화면의 pixel 단위이고, 각도는 degree 이다.

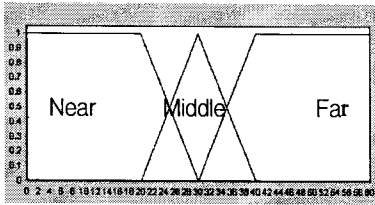


그림 4. 장애물 거리 입력에 대한 멤버십 함수
Fig. 4. Membership functions of obstacle distance input

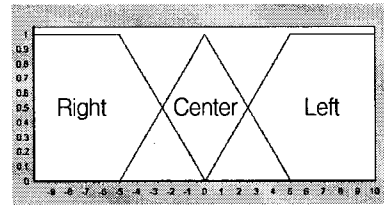


그림 8. 각속도 출력에 대한 멤버십 함수
Fig. 8. Membership functions of angular velocity output

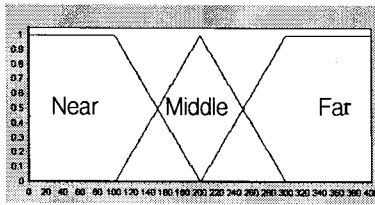


그림 5. 목표물 거리 입력에 대한 멤버십 함수
Fig. 5. Membership functions of target distance input

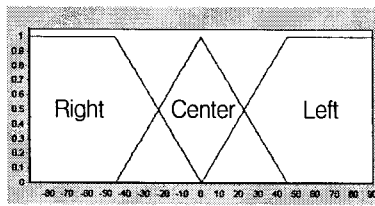


그림 6. 장애물과 목표물 방향 입력에 대한 멤버십 함수
Fig. 6. Membership functions of obstacle & target direction input

4.2 퍼지 출력 멤버십 함수

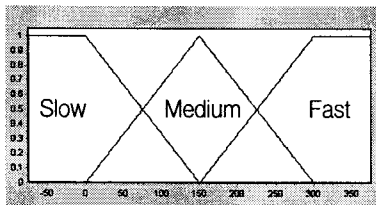


그림 7. 선속도 출력에 대한 멤버십 함수
Fig. 7. Membership functions of linear velocity output

4.3 좌수법 하위 퍼지 행위기

장애물 회피에 대한 행위기 규칙은 장애물의 거리와 방향 입력에 대해서만 구성한다. 선속도와 각속도 출력 규칙은 표 1과 표 2에 각각 나타낸다.

표 1. 선속도에 대한 규칙
Table 1. Rules of linear velocity

Direction \ Distance	Right	Center	Left
Near	Medium	Slow	Medium
Middle	Medium	Medium	Medium
Far	Fast	Fast	Fast

표 2. 각속도에 대한 규칙
Table 2. Rules of angular velocity

Direction \ Distance	Right	Center	Left
Near	Left	Right	Right
Middle	Center	Right	Center
Far	Left	Left	Left

4.4 장애물 회피 하위 퍼지 행위기

장애물 회피 및 target tacking behavior로 rule은 장애물 및 목표물의 거리와 방향 입력에 대해서 구성한다. 선속도와 각속도 출력 규칙은 표 3과 표 4에 각각 나타낸다.

표 3. 선속도 규칙
Table 3. Rules of linear velocity

Direction \ Distance	Right	Center			Left
		Target direction			
		Right	Center	Left	
Near	Slow	Slow	Slow	Slow	Slow
Middle	Med	Med	Med	Med	Med
Far	Fast	Fast	Fast	Fast	Fast

표 4. 각속도 규칙
Table 4. Rules of angular velocity

Direction Distance	Right	Center			Left
		Target direction			
		Right	Center	Left	
Near	Left	Left	Left	Right	Right
Middle	Left	Right	Center	Left	Right
Far	Left	Right	Center	Left	Right

4.5 목표물 추종 하위 퍼지 행위기

선속도와 각속도 출력 rule은 표 5와 표 6에 각각 나타낸다.

표 5. 선속도 규칙
Table 5. Rules of linear velocity

Direction Distance	Right	Center	Left
Near	Fast	Fast	Fast
Middle	Med	Fast	Med
Far	Med	Med	Med

표 6. 각속도 규칙
Table 6. Rules of angular velocity

Direction Distance	Right	Center	Left
Near	Right	Center	Left
Middle	Right	Center	Left
Far	Right	Center	Left

V. 상위 행동 선택기

항원과 항체의 기본 구성은 표 7과 같다. 장애물 정보에 대한 입력은 최근 10회의 샘플링 시간 동안의 인식된 횟수이며 0 ~ 10의 값을 가진다. 목표물 정보에 대한 입력 중 current approach는 이전 목표물의 위치에서 현재 위치의 차를 나타낸다. Approach trend는 current approach 값을 최근 10회 샘플링 시간 동안 누적한 값이다. Distance는 현재 위치에서 목표물 사이의 거리 값을 나타낸다.

표 7. 항원과 항체의 구조 정의

Table 7. The definition of an antigen and antibody structure.

Obstacle Detected Count			Target		
Right	Front	Left	Current Approach	Approach Trend	Current Distance

5.1 인공 면역망의 입력 멤버십 함수

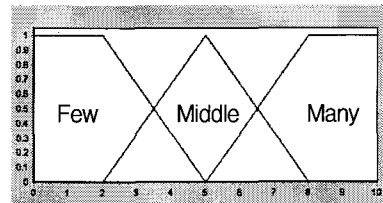


그림 9. 장애물 인식 횟수 입력 멤버십 함수
Fig. 9. Membership functions of obstacle count input

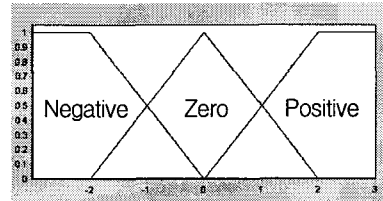


그림 10. 목표물 접근 입력 멤버십 함수
Fig. 10. Membership functions of CA input

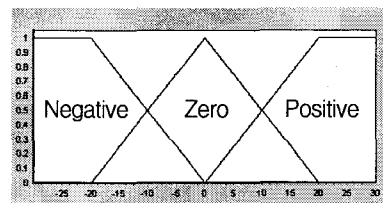


그림 11. 목표물 접근 누적 입력 멤버십 함수
Fig. 11. Membership functions of AT input

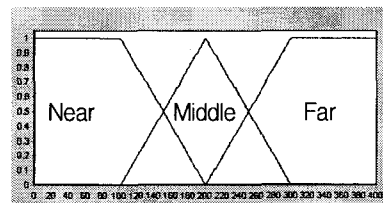


그림 12. 목표물과의 거리 입력 멤버십 함수
Fig. 12. Membership functions of CD input

5.2 퍼지 인공 면역망의 구조

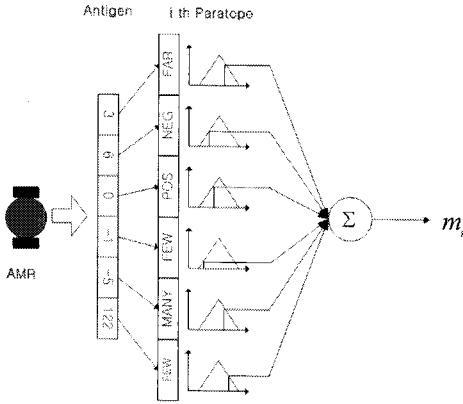


그림 13. 항원 입력 데이터에 의한 퍼지화
Fig. 13. Fuzzifier for antigen input data

퍼지 인공 면역망 행동 선택기의 구조는 그림 4와 같이 외부 입력 값의 퍼지화에 대해 i 번째 항체의 농도 계산식의 m 값이 출력된다. paratope의 구성은 표 8와 같다.

표 8. Paratope 설정값
Table 8. The setting of the paratope

	Rule of Paratope					
LHL	Many	Many	Many	Neg	Neg	Far
OB	Few	Many	Few	#	Pos	Far
TS	Few	Few	Few	Pos	#	Near

LHL : Left-Hand-Law behavior

OB : Obstacle Avoidance behavior

TS : Target Steering behavior (# : Don't Care)

항체와 항원 사이의 자극과 억제 지수는 표 9와 같다.

표 9. 활성화 억제 행렬값
Table 9. The setting of stimulation & suppression matrix

	LHL	OB	TS
LHL	0	1	-1
OB	1	0	-1
TS	-1	-1	0

5.3 항체 농도식

초기 농도치를 0.1로 설정한 후, 항원의 변화 대한 농도 값이 한계값(0.8)에 도달할 경우 이전 행위에서 새로운 행

위로 변화시킨다. I 번째 항체 농도식은 식 (1)과 (2)와 같다.

$$\frac{da(k)_i}{dt} = \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N w_{i,j} \cdot a(k-1)_j}{N} + m_i \right\} \cdot a(k-1)_i \quad (1)$$

$$a(k)_i = 1 / \exp \left\{ 0.5 - \left(a(k-1)_i + \frac{da(k)_i}{dt} \right) \right\} \quad (2)$$

VI. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 결과

6.1 시뮬레이션 환경

자율이동로봇의 주변 환경은 장애물과 목표물로 이루어진다. 이동로봇의 반경은 10[pixel]이고 최대 속도는 3 [pixel/sampling time]이다. 주변 센싱 거리는 로봇 반경의 6배로 가정한다.

6.2 IF-Then 규칙에 의한 행동 선택기 결과

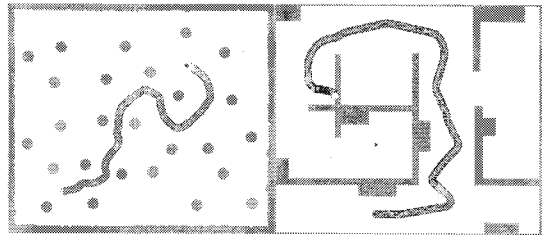


그림 14. 목표물 추종성 특성을 가지는 if-then 규칙의 행동 선택기 결과

Fig. 14. Result of the action selector by if-then rule with target tracking property

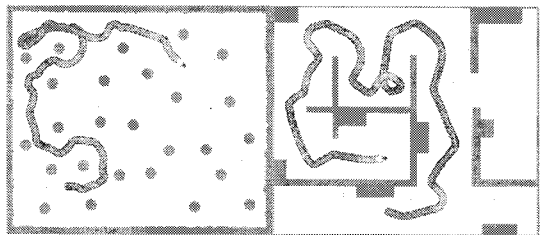


그림 15. 좌수법 특성을 가지는 if-then 규칙의 행동 선택기 결과

Fig. 15. Result of the action selector by if-then rule with left-hand-law property

그림 5와 그림 6에서 if-then 규칙에 의한 행동 선택기를 보여준다. 그림 5의 경우 목표물 추종성에 중점을 가진 규칙을 가지고 있고 그림 6의 경우 장애물 회피성 규칙을 가지고 있다. 두 알고리즘이 다른 외부 환경에 대해 단점과 장점을 보여준다.

6.3 퍼지 인공 면역망에 의한 행동 선택기

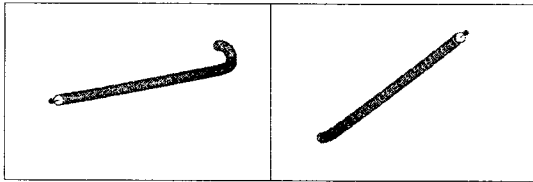


그림 16. 장애물이 없는 환경에서의 퍼지 인공 면역망 행동 선택기의 결과
 Fig. 16. Result of the proposed algorithm in the environment without obstacle

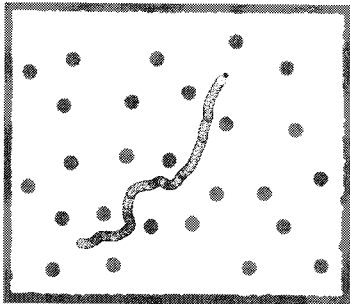


그림 17. 원형 장애물 환경에서의 퍼지 인공 면역망 행동 선택기의 결과
 Fig. 17. Result of the proposed algorithm in the environment with circular obstacles

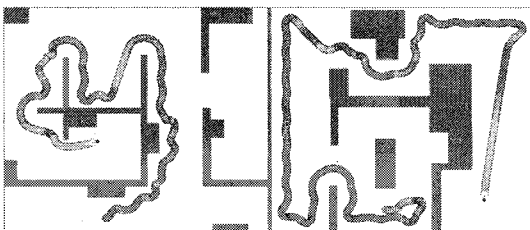


그림 18. 실내 환경에서의 퍼지 인공 면역망 행동 선택기의 결과
 Fig. 18. Result of the proposed algorithm in the indoor environment

그림 7과 같이 장애물이 없는 환경에서 자율이동로봇

은 목표물을 추종하는 성능을 뚜렷이 나타내며, 그림 8과 같이 원형 장애물의 경우 적절한 회피와 목표물 추종 성능을 보인다. 또한 그림 9와 같은 실내 환경에서는 초기에는 좌수법 행동기의 형태를 보이고 목표물에 가까이 다가간 후 목표물 추종성을 보인다.

VII. 결 론

본 논문에서 퍼지 인공 면역망으로 자율이동로봇 수행을 위한 행동 선택기를 설계하였다. 제안된 알고리즘은 if-then 규칙에 비해 다양한 환경에 적응적인 성능을 나타낸다. 게다가 내부의 항체의 값은 퍼지 알고리즘을 이용한 언어적 변수로 알고리즘을 변경하여 기존의 설정하기 어려운 실수값을 설정해야하는 부분이 개선하였다. 그 결과 숙련자의 경험을 언어적 표현으로 항체의 구조에 나타낼 수 있고, 제안된 퍼지 인공 면역망 알고리즘은 기존의 인공 면역망 보다 편리하고 유용함을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] O. Khatib, "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 500-505, 1985.
- [2] H. R. Beom and H. S. Cho, "A sensor-based obstacle avoidance controller for a mobile robot using fuzzy logic and neural network," *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 1470-1475, 1992.
- [3] A. Ramirez-Serrano and M. Boumedine, "Real-time navigation in unknown environments using fuzzy logic and ultrasonic sensing," *Proc. IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 26-30, 1996.
- [4] K. P. Prabir and K. Asim, "Mobile robot navigation using a neural net," *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1503-1508, 1996.
- [5] T. Aoki, M. Matsuno, T. Suzuki and S. Okuma, "Motion

planning for multiple obstacles avoidance of autonomous mobile robot using hierarchical fuzzy rules," *Proc. IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 265-271, 1994.

- [6] Akio Ishiguro, Toshiyuki Kondo and Yuji Watanabe, "An immunological approach to dynamic behavior arbitration for autonomous mobile robots," *Proc. International Symposium on Artificial Life and Robotics*, pp. 132-137, 1996.
- [7] N. K. Jerne, "The immune system," *Scientific American*, vol. 229, no. 1, pp. 52-60, 1973.

저자소개

이 동 제(Dong-je Lee)



1975년 2월 28일 생
1998년 부산대학교 전기공학과 졸업
2000년 부산대 대학원 전기공학과 졸업
(석사)

2003년 동대학원 전기공학 박사 수료 현재 (주)다사로봇 연구원

최 영 규(Young-kiu Choi)



1957년 6월 18일 생
1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업.
1982년 한국과학기술원 전기 및 전자
공학과 졸업(석사)

1987년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공박)
1990~1991년 CALTECH Visiting Scholar
1998~1999년 Univ. of Southwestern Louisiana Visiting
Professor.

현재 부산대 공대 전자전기통신공학부 교수