

퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술

The Robot Soccer Strategy and Tactic Using Fuzzy Logic

이정준, 지동민, 주문갑, 이원창, 강근택*
부경대학교, 전자공학과

Jeongjun Lee, Dongmin Ji, Moon G. Joo, Wonchang Lee, Geuntaek Kang
Dept. of Electronic Engineering, Pukyong National University
E-mail : gtkang@pknu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 퍼지 로직을 이용하여 로봇과 공의 상태에 따른 로봇 행동의 선택 알고리즘을 제시한다. 전략 및 전술 알고리즘으로 많이 알려진 Modular Q-학습 알고리즘은 개체의 수에 따른 상태수를 지수 함수적으로 증가 시킬 뿐만 아니라, 로봇이 협력하기 위해 중재자 모듈이라는 별도의 알고리즘을 필요로 한다. 그러나 앞으로 제시하는 퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술 알고리즘은 퍼지 로직을 이용하여 로봇의 주행 알고리즘을 선택하는 과정과 로봇의 행동을 협력 하는 과정을 동시에 구현함으로써, 계산 양을 줄여 로봇 축구에 보다 적합하게 해준다.

1. 서론

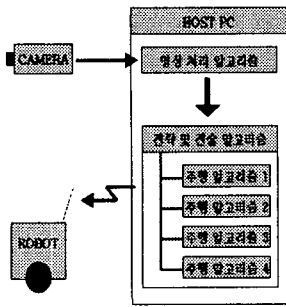
영상을 기반으로 한 자율 이동 로봇 시스템은 앞으로 항공 우주 분야, 공장 및 가정 자동화와 같이 우리 사회의 여러 분야에서 적극 활용될 전망이다. 자율 이동 로봇이 자율 이동을 하기 위해서는 영상 처리, 로봇의 위치 추정, 장애물 회피 및 경로 계획과 같은 많은 작업을 요구 하게 된다. 이러한 작업들은 퍼지 논리, 유전자 알고리즘 및 신경망 이론 등을 적용한 많은 연구가 제안 되어 왔다. 그러나 다양한 분야에서 이동 로봇들이 보다 적절하고 원활하게 활용되기 위해서는 로봇 하나하나의 행동 보다는 로봇들 간의 협력이 중요시 될 것이다. 본 논문은 이러한 이동 로봇들 간의 협력 체계를 구성하는 방법의 퍼지 논리를 제시하기 위하여 로봇축구 시스템을 활용하였다.

로봇축구 시스템은 로봇의 규격 및 그 운용 방법에 따라 HuroSot, kheperaSot, MiroSot, NaroSot, RoboSot, SimuroSot 등이 있다 [1]. 이 중에서 본 논문은 가장 널리 사용되는 시스템인 Middle League MiroSot 환경을 이용하였다. Middle League MiroSot은 7.5cm * 7.5cm * 7.5cm 규격 5대의 로봇으로 오렌지색 골프공을 상대편 골대에 더 많이 넣은 팀이 승리하는 경기이다.

MiroSot 로봇 축구 시스템의 Host 컴퓨터가 처리하는 알고리즘은 그림 1 과 같이 크게 영상 처리 알고리즘, 주행 알고리즘, 전략 및 전술 알고리즘으로 나눌 수 있다 [2]. 이중 로봇의 협력 체계에 가장 밀접한 관계가 있는 전략 및 전술 알고리즘이 앞으로 퍼지 논리를 적용할 부분이 되겠다 [3].

전략 및 전술 알고리즘으로 많이 알려진 Q-학습 알고리즘[2]은 알고리즘을 수행할수록 학습을 하기 때문에 결과 값이 좋아지는 이점이 있지만, Q 값들이 적절한 값으로 수렴을 하기 위해서는 개체의 수많은 경험과 반복과정이 필요하다. 그 뿐만 아니라 주어진 일에 참여하는 개체의 수가 증가 할수록 상태수가 지수 함수적으로 증가하기 때문에 실시간으로 데이터를 처리해야 하는 로봇 축구 시스템에서는 적합하지 않다. 이를 개선한 Modular Q-학습[4] 알고리즘은 계산 양을 다소 줄이기는 했으나, 로봇 행동(Robot action)을 협력 하기위해 다시 중재자모듈[2]이라는 별도의 알고리즘을 필요로 한다. 그러나 본 논문에서 새롭게 제시하는 퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술 알고리즘은 주행 알고리즘을 선택하는 과정과 로봇 행동(Robot action)을 협력 하는 과정을 퍼지 로직을 이용하여 동시에 구현함으로써

써, 계산 양을 줄여 로봇 축구에 보다 적합한 알고리즘을 제시하였다.



<그림 1. Host 컴퓨터 알고리즘 다이어그램>

2. 주행 알고리즘

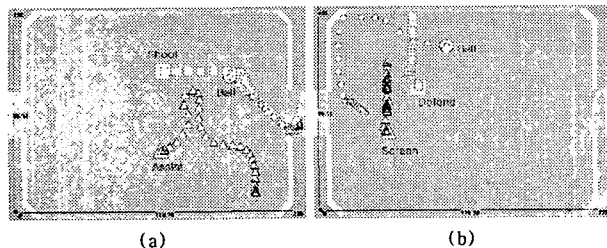
주행 알고리즘이란 축구 로봇이 주변 환경 정보를 받아들여 자신이 이동해야 할 경로를 생성하고 생성된 경로를 따라 이동하도록 제어하는 일련의 행동으로, 축구 로봇의 항법(navigation)이라 할 수 있다.

퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술에서 사용되어지는 주행 알고리즘은 Shoot, Assist, Defend 및 Screen이 있다.

2.1 공격 로봇의 알고리즘

Shoot 알고리즘은 그림 2.(a)의 □ 로봇과 같이 공에 접근하여 상대방 골대로 공을 몰아가는 경로를 생성한다. 이를 위해서 본 논문은 Limit-cycle Navigation[5]을 택하였다. Limit-cycle Navigation은 이전에 많이 사용되었던 벡터장법[6]에 비하여 모든 영역의 위치에서 원하는 원으로 로봇을 움직이게 하는 필드를 간단한 식으로 표현할 수 있다.

Assist 알고리즘은 그림 2.(a)의 △로봇과 같이 공과 대칭이 되는 영역에서 Shoot 동작을 할 수 있는 위치로 이동한다. 다른 공격수가 Shoot을 하고 있을 상황에 보다 좋은 위치로 이동하여 특정한 상황이 되면 Shoot을 시도 한다.



<그림 2. 주행 알고리즘 (a) Shoot과 Assist (b) Defend와 Screen>

2.3 수비 로봇의 알고리즘

Defend 알고리즘은 그림 2.(b)의 □ 로봇과 같이 공을 상대방 진영으로 몰아내기 위한 경로를

생성한다. 이는 Shoot 알고리즘에서 공의 목표 지점이 골대가 아니라 상대 진영이 된 것과 유사하다.

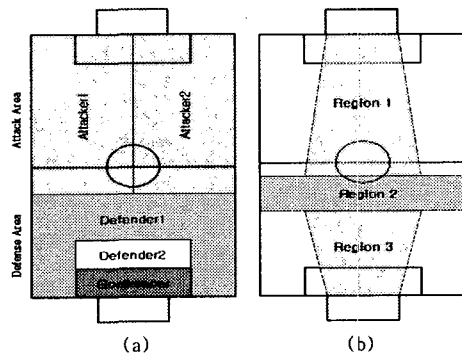
Screen 알고리즘은 그림 2.(b)의 △로봇과 같이 골키퍼를 보조하는 행동을 취한다. 이런 보조적인 움직임을 취하다 특정한 상황이 되면 Defense를 수행 하던 수비 로봇과 교체를 한다.

3. 퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술

본문 2에서 언급한 4가지의 주행 알고리즘을 가지고 본 절에서는 4대의 로봇이 서로 협력 체계를 갖는 퍼지 논리를 구현하도록 하겠다.

3.1 특정 영역

로봇 축구의 기본 전략으로는 그림 3.(a)와 같이 골키퍼를 제외한 4대의 로봇이 자신만의 영역을 갖는 지역방어 전략을 택하였으며, 자신의 영역을 넘어 도움을 주는 것과 같은 특정한 행동을 고려하기 위해서는 공이 그림 3.(b)와 같은 영역에 있어야만 한다. 그 이유는 로봇 축구는 실시간으로 데이터를 처리해야하는 환경이므로 자신의 영역에서 로봇이 움직일 경우는 굳이 계산 양을 늘릴 필요가 없기 때문이다.

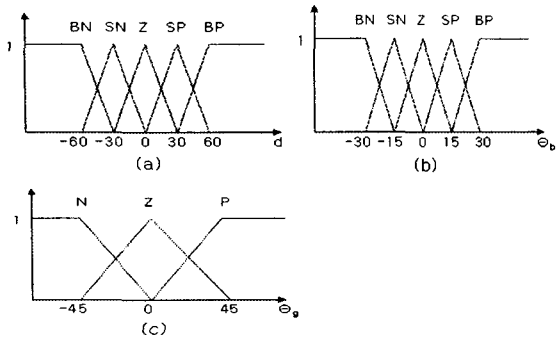


<그림 3. 로봇의 영역 (a) 로봇의 고유 영역 (b) 행동 교환을 위한 영역>

3.2 지식 베이스

퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술을 구현하기 위해 우선 그림 4와 같이 언어를 기반으로 하는 언어 지도(linguistic map)를 제안한다. 이 언어 지도들은 명확한 값(crisp value)을 퍼지 제어기에서 사용하는 불명확한 값(fuzzy value)으로 변환하는 역할을 하며, 퍼지화(Fuzzyfication) 방법으로는 가장 많이 사용되는 이등변 삼각형 방법을 택하였다.

퍼지 모델의 첫 번째 입력 및 두 번째 입력 d 와 θ_b 는 다음과 같이 정의 한다. 로봇 m 과 공과의 거리차를 d_m , 각도차를 θ_m 이라 정의하고



<그림 4. 소속 함수 (a) d에 대한 소속 함수 (b) θ_b 에 대한 소속 함수 (c) θ_g 에 대한 소속 함수>

로봇 n과 공과의 거리차를 d_n , 각도차를 θ_n 이라 정의하면, d와 θ_b 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d = d_m - d_n$$

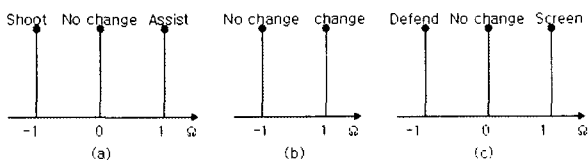
$$\theta_b = |\theta_m| - |\theta_n|$$

세 번째 입력 θ_g 는 다음과 같이 정의한다. 로봇 m과 골대와의 각도차를 θ_m' , 로봇 n과 골대와의 거리차를 θ_n' 로 정의 하면, θ_g 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_g = |\theta_m'| - |\theta_n'|$$

퍼지화(Fuzzyfication)한 입력을 통하여 얻는 출력은 그림 3.(b)의 Region에 따라 다른 결과 값을 가지는데 이는 공격 영역과 수비 영역에서 사용되는 주행 알고리즘이 다르기 때문이다.

만약 고려하는 영역이 Region 1이라면 고려되는 두 대의 로봇이 가지는 주행 알고리즘은 그림 5.(a)와 같이 Shoot, Assist 및 주행 알고리즘을 바꾸지 않는 No change가 되며, Region 2라면 그림 5.(b)와 같이 No change 와 change, Region 3 이라면 그림 5.(c)와 같이 Defense, Screen 및 No change가 된다. 출력의 값이 이분법 적인 값이므로 비교적 연산이 간단한 singleton 방식을 택하였다.



<그림 5. 출력 값의 소속 함수 (a) Region 1의 출력 값 소속 함수 (b) Region 2의 출력 값 소속 함수 (c) Region 3의 출력 값 소속 함수>

3.3 Region 1의 퍼지 논리

본문 3.2에서 제시한 총 75개의 입력 변수에 대한 소속 함수의 조합에 대하여 Region 1에서는 다음의 식(1)으로 아래 표와 같은 출력 규칙을 정의한다.

R^i : If d^i is A^i and θ_b^i is B^i and θ_g^i is C^i ,
Then Robot_action is $\Omega^i(1)$

θ_g 이 N인 경우의 출력 규칙 :

θ_b d	BN	SN	Z	SP	BP
BN	Shoot	Shoot	Shoot	Shoot	No change
SN	Shoot	Shoot	Shoot	No change	No change
Z	Shoot	Shoot	No change	No change	No change
SP	Shoot	No change	No change	No change	ASSIST
BP	No change	No change	No change	ASSIST	ASSIST

θ_g 이 Z인 경우의 출력 규칙 :

θ_b d	BN	SN	Z	SP	BP
BN	Shoot	Shoot	No change	No change	No change
SN	Shoot	No change	No change	No change	No change
Z	No change	No change	No change	No change	No change
SP	No change	No change	No change	No change	ASSIST
BP	No change	No change	No change	ASSIST	ASSIST

θ_g 이 P인 경우의 출력 규칙 :

θ_b d	BN	SN	Z	SP	BP
BN	Shoot	Shoot	No change	No change	No change
SN	Shoot	No change	No change	No change	ASSIST
Z	No change	No change	No change	ASSIST	ASSIST
SP	No change	No change	ASSIST	ASSIST	ASSIST
BP	No change	ASSIST	ASSIST	ASSIST	ASSIST

3.4 Region 2의 퍼지 논리

Region 2는 공격수와 수비수를 교환하기 위한 영역으로 식(1)을 이용하여 75개의 입력 변수에 대한 소속 함수의 조합에 대하여 공격수와 수비수를 전환하는 Change와 전환하지 않는 No Change 두 개의 출력을 가지며, 위의 표와 비슷한 결과 형식을 갖기 때문에 결과를 생략한다.

3.5 Region 3의 퍼지 논리

Region 3은 수비 영역 이므로 골대와의 각도를 고려하지 않는 d와 θ_b 만으로 아래의 식을 통하여 다음 표와 같은 출력 규칙을 정의한다.

R^i : If d^i is A^i and θ_b^i is B^i ,
Then Robot_action is Ω^i

θ_b d	BN	SN	Z	SP	BP
BN	Defense	Defense	Defense	No change	No change
SN	Defense	Defense	No change	No change	No change
Z	Defense	No change	No change	No change	Screen
SP	No change	No change	No change	Screen	Screen
BP	No change	No change	Screen	Screen	Screen

3.6 행동 결정

3.3, 3.4 및 3.5 절의 출력 규칙에 따라 여러 개의 퍼지 제어 규칙으로부터 퍼지 값을 추론하

기 위해서는 의사 결정 논리(decision making logic)가 필요하다. 본 논문에서는 다음 식과 같이 product[7] 연산을 사용하기로 한다.

$$\mu^i = \mu_d^i \times \mu_{\theta_s}^i \times \mu_{\theta_g}^i$$

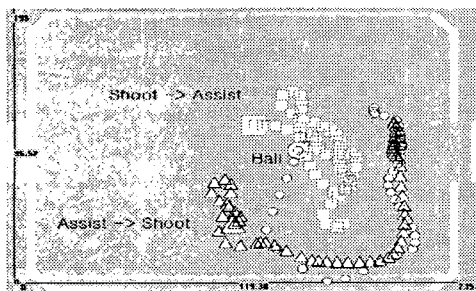
퍼지 추론기로부터 출력된 여러 개의 비정확한 값(fuzzy value)들을 모아 정확한 값(crisp value)으로 변형시키는 Defuzzification 방법으로는 다음 식과 같이 Center-average 방법을 사용 하였다.

$$(Robot_action) = \frac{\sum \mu^i \times \Omega^i}{\sum \mu^i}$$

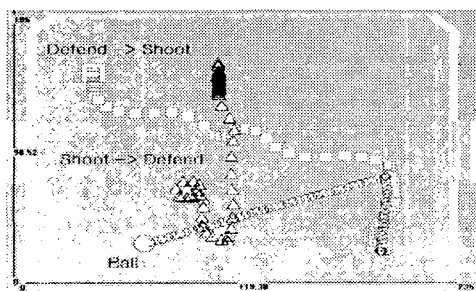
이렇게 얻어진 퍼지 추론 값은 그림 6에서 언급한 출력의 소속 집합에 가장 가까운 값의 주행 알고리즘으로 로봇의 행동을 정하게 되며, 고려되지 않는 나머지 로봇은 반대의 행동을 취하게 된다.

3.7 시뮬레이션

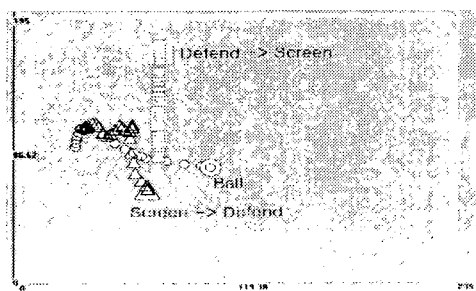
Region에 따른 퍼지 룰의 결과를 SimuroSot으로 확인하여 보았다.



<그림 6. Region 1 영역에서의 Shoot 로봇과 Assist로봇의 퍼지 논리 선택 결과>



<그림 7. Region 2 영역에서의 공격수 로봇과 수비수 로봇의 퍼지 논리 결정 결과>



<그림 8. Region 3 영역에서의 Defend 로봇과 Screen 로봇의 퍼지 논리 결정 결과>

4. 결론 및 향후과제

지금까지 우리는 퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술을 알아보았고, 시뮬레이션을 통해 Q-학습 알고리즘이 가지고 있던 계산 양과 증대 모듈의 필요성 문제를 해결 할 수 있다는 것을 보여주었다. 그러나 출력 규칙을 정하는데 있어서 특정한 결과 관계식을 만들기 어려워 사람의 직감에 의해 크게 좌우되기 쉽다. 뿐만 아니라 결과 관계식이 없으므로 적응도를 갖는 적응 퍼지 제어기를 만들기 어렵다. 그러므로 결과 관계식의 연구 및 적응 퍼지 제어기를 적용하여 상황에 적응도가 있는 알고리즘 설계가 요구된다.

5. 참고문헌

- [1] 김종환 저, 로봇 축구 시스템, 대영사, 2000.
- [2] 김종환 外 8인, 로봇축구공학, 브레인코리아, 2002.
- [3] J.H. Kim, K.-C. Kim, D.-H. Kim, Y.-J. Kim and P. Vadakkepat, "Path Planning and Role Selection Mechanism for Soccer Robots," IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, Belgium, pp. 3216-3221, May 1998.
- [4] K.-H. Park, Y.-J. Kim and J.-H. Kim, "Modular Q-learning based Multi-agent Cooperation for Robot Soccer", Robotics and Autonomous Systems, vol. 35, no. 2, pp. 109-122, May. 2001.
- [5] Dong-Han Kim and Jong-Hwan Kim, "Limit-cycle Navigation Mthod for Soccer Robot," International Conference on Artificial Intelligence, Las Vegas, June 25-28, 2001.
- [6] D.H. Kim, Y.-J. Kim, K.-C. Kim, J.-H. Kim and P. Vadakkepat, "Vector Field Based Path Planning and Petri-net Based Role Selection Mechanism with Q-learning for the Soccer Robot System," Intelligent Automation and Soft Computing, Vol. 6, No. 1, 2000.
- [7] Li-Xin Wang, A course in Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall PTR, 1997.