

슛 적정성에 퍼지 논리를 고려한 로봇축구 전략 및 전술

The Robot Soccer Strategy and Tactic by Fuzzy Logic on Shoot Propriety

이정준*, 주문갑**, 이원창**, 강근택**

* 부경대학교 전자공학과

** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

Jeongjun Lee*, Moon G. Joo**, Wonchang Lee**, Geuntaek Kang**

* Dept. of Electronic Engineering, Pukyong National University

** Division of Electronic, Computer and Telecommunication Engineering, Pukyong National University

E-mail : gtkang@pknu.ac.kr

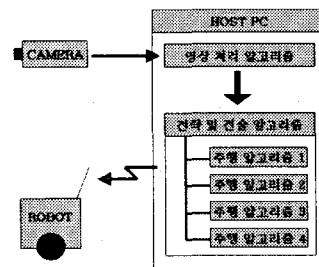
요 약

본 논문에서는 퍼지 로직을 이용하여 로봇의 여러 환경변수에 따라 로봇들의 행동을 적절히 선택하는 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 로봇 행동의 퍼지 적정성을 고려한 로봇축구 전략 및 전술 알고리즘은 환경 변수에 따라 로봇 행동의 적절성을 퍼지 로직을 통하여 얻어내게 하였으며, 이를 이용함으로써 다수 로봇의 상호작용도 고려할 수 있게 하였다.

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 작업이 요구된다. 이러한 작업들은 퍼지 논리, 유전자 알고리즘 및 신경망 이론 등을 적용한 많은 연구가 제안되어 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 활용하였으며, 다양한 종목 중에서 가장 널리 사용되는 시스템인 Middle League MiroSot[1] 환경을 택하였다.

MiroSot 로봇 축구 시스템의 Host PC가 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 알고리즘[3]이 앞으로 퍼지 논리를 적용할 부분이 되겠다.



<그림 1. Host 컴퓨터 알고리즘 다이어그램>

전략 및 전술 알고리즘으로 잘 알려진 Modular Q-학습 알고리즘[4]은 학습을 통해 전략 및 전술 알고리즘을 만들어가는 이점이 있지

만, Q 값들이 적절한 값으로 수렴을 하기 위해서는 개체의 수많은 경험과 반복과정이 필요하다. 그뿐만 아니라 주어진 일에 참여하는 개체의 수가 증가 할수록 상태수가 지수 함수적으로 증가하고, 로봇 행동(Robot action)을 협력 하기 위해 다시 중재자 모듈[4]이라는 별도의 알고리즘을 필요로 한다. 이를 극복하기 위해 본 논문 이전에 제시한 퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술[5]은 중재자 모듈과 전략을 하나로 구현하기는 했으나, 오로지 로봇 두 대의 상호작용만을 고려함으로써 그 활용성에 제약이 있었다.

이러한 제약을 극복하기 위하여 본 논문에서는 환경 변수에 따라 로봇 행동의 적절성을 퍼지 로직을 통하여 언어내게 하였으며, 이를 이용함으로써 다수 로봇의 상호작용도 고려할 수 있게 하였다.

2. 주행 알고리즘

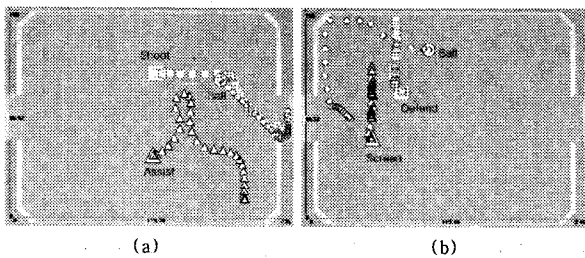
주행 알고리즘이란 축구 로봇이 주변 환경 정보를 받아들여 자신이 이동해야 할 경로를 생성하고 생성된 경로를 따라 이동하도록 제어하는 일련의 행동으로, 축구 로봇의 항법(Navigation)이라 할 수 있다.

본 논문에서 사용되어지는 주행 알고리즘으로는 Shoot, Assist, Defend 및 Screen이 있다.

2.1 공격 로봇의 주행 알고리즘

Shoot 알고리즘은 그림 2.(a)의 □로봇과 같이 공에 접근 하여 상대방 골대로 공을 몰아가는 경로를 생성한다. 이를 위해서 본 논문은 Limit-cycle Navigation[6]을 택하였다. Limit-cycle Navigation은 이전에 많이 사용되어진 벡터장법[7]에 비하여 모든 영역의 위치에서 원하는 원으로 로봇을 움직이게 하는 필드를 간단한 식으로 표현할 수 있는 이점이 있다.

Assist 알고리즘은 그림 2.(a)의 △로봇과 같이 공과 대칭이 되는 영역에서 Shoot 동작을 하는 로봇의 경로를 방해하지 않으면서, 흐르는 공이나 불규칙하게 튕 공을 Shoot으로 연결하기 위한 위치로 이동하는 알고리즘이다.



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

2.3 수비 로봇의 주행 알고리즘

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

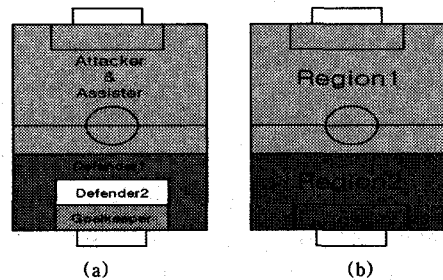
Screen 알고리즘은 그림 2.(b)의 △로봇과 같이 골키퍼를 보조하는 행동을 취한다.

3. 로봇 행동의 퍼지 적정성을 고려한 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

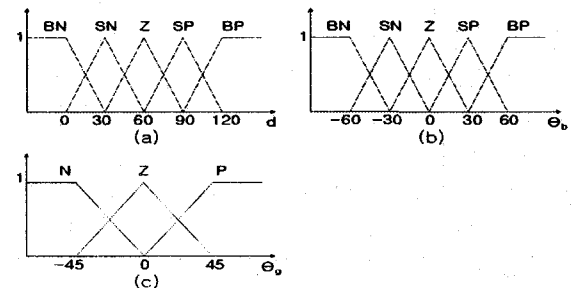
로봇 축구의 기본 전략으로는 그림 3.(a)와 같이 골키퍼를 제외한 4대의 로봇이 자신만의 영역을 갖는 지역방어 전략을 택하였으며, 공의 위치에 따라 공격과 수비 전략을 구사하기 위하여 그림 3.(b)와 같은 Region을 두었다.



<그림 3. 로봇의 영역 (a) 로봇의 고유 영역 (b) 공격 수비 전략을 위한 Region>

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 제한한다. 이 언어 지도들은 각각의 로봇 상태변수들을 퍼지 제어기에서 사용하는 불명확한 값(Fuzzy value)으로 변환하는 역할을 하며, 퍼지화(Fuzzyfication) 방법으로는 가장 많이 사용되는 이동변 삼각형 방법을 택하였다.



<그림 4. 소속 함수 (a) d에 대한 소속 함수 (b) Θ_0 에 대한 소속 함수 (c) Θ_g 에 대한 소속 함수>

퍼지 모델의 첫 번째 입력 및 두 번째 입력 d 와 θ_b 는 다음과 같이 정의 한다.

$$d = \sqrt{(B_x - P_x)^2 + (B_y - P_y)^2}$$

$$\theta_b = \tan^{-1}((B_x - P_x), (B_y - P_y))$$

여기서 d는 고려되어지는 로봇과 공과의 거리차 를, θ_b 는 각도차를 말하며, B_x, B_y 및 P_x, P_y 는 각각 공과 로봇의 2차원 평면 x, y 절대 좌표를 말한다.

세 번째 입력 θ_g 는 다음과 같이 정의한다.

$$\theta_g = \tan^{-1}((G_x - P_x), (G_y - P_y))$$

여기서 θ_g 는 고려되어지는 로봇과 골대와의 각도차를 말하며, G_x, G_y 는 상대편 골대의 중앙 x, y 절대 좌표를 말한다.

퍼지화(Fuzzification)한 입력을 통하여 얻는 출력은 그림 3.(b)의 Region에 따라 다른 출력 규칙을 적용하는데, 이는 공격 영역과 수비 영역에서 고려되어지는 환경변수의 차이에서 비롯된다. 만약 고려하는 영역이 Region 1이라면 환경 변수로 위에서 정의한 d, θ_b , θ_g 를 모두 고려하고, Reigion 2라면 수비에 더욱 치중하기 위하여 골대와의 각도 θ_g 를 제외한 d, θ_b 만을 고려한다.

3.3 Region 1의 퍼지 논리

본문 3.2에서 제시한 총 75개의 입력 변수에 대한 소속 함수의 조합에 대하여 Region 1에서는 다음의 식(1)로 아래 표와 같은 출력 규칙들을 정의한다. 출력 규칙의 상수 값들은 로봇의 상태 변수에 따른 $\mu_{\text{적정성}}$ (Propriety of shoot)이 되며 관리자(Supervisor)의 다수의 경험과 실험에 의해 만들어 진다.

R^i : If d^i is A^i and θ_b^i is B^i and θ_g^i is C^i ,
Then Propriety_of_Shoot is Ω^i (1)

θ_0 이 N인 경우의 출력 규칙 :

θ_0	BN	SN	Z	SP	BP
BN	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
SN	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
Z	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
SP	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0
BP	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0

θ_0 이 Z인 경우의 출력 규칙 :

θ_0	BN	SN	Z	SP	BP
BN	4.0	4.5	5.0	4.5	4.0
SN	3.5	4.0	4.5	4.0	3.5
Z	2.5	3.0	3.5	3.0	2.5
SP	1.0	1.5	2.0	1.5	1.0
BP	-1.0	-0.5	0.0	-0.5	-1.0

θ_0 이 P인 경우의 출력 규칙 :

θ_0	BN	SN	Z	SP	BP
BN	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
SN	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
Z	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
SP	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
BP	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0

3.4 Region 2의 퍼지 논리

Region 2는 수비 영역 이므로 골대와의 각도를 고려하지 않는 d와 θ_b 만으로 아래의 식(2)를 통하여 아래 표와 같은 출력 규칙을 정의한다.

R^i : If d^i is A^i and θ_b^i is B^i ,
Then Propriety_of_Shoot is Ω^i (2)

θ_0	BN	SN	Z	SP	BP
BN	4.0	4.5	5.0	4.5	4.0
SN	3.5	4.0	4.5	4.0	3.5
Z	2.5	3.0	3.5	3.0	2.5
SP	1.0	1.5	2.0	1.5	1.0
BP	-1.0	-0.5	0.0	-0.5	-1.0

3.5 행동 결정

3.3, 3.4 절의 출력 규칙에 따라 여러 개의 퍼지 제어 규칙으로부터 퍼지 값을 추론하기 위해서는 의사 결정 논리(Decision making logic)가 필요하다. 본 논문에서는 다음 식과 같이 product 연산을 사용하기로 한다.

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

퍼지 추론기로부터 출력된 여러 개의 비 정확한 값(Fuzzy value)들을 모아 정확한 값(Crisp value)으로 변형시키는 비퍼지화(Defuzzification) 방법으로는 다음 식과 같이 Center-average 방법을 사용 하였다.

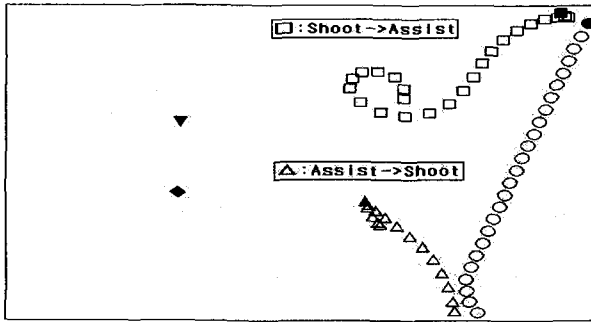
$$(\text{Propriety_of_Shoot}) = \frac{\sum_i \mu^i \times \Omega^i}{\sum_i \mu^i}$$

이렇게 얻어진 퍼지 추론 값은 현재 환경 변수에 대하여 고려되어지는 로봇의 $\mu_{\text{적정성}}$ (Propriety of shoot)으로 이 값이 높을 수록 $\mu_{\text{적정성}}$ 을 하기에 적절한 로봇임을 알 수 있다. 뿐만 아니라 그 값의 크기 순서에 따라 Shoot, Assist, Defend, Screen 주행 알고리즘을 선택함으로써 다수 로봇의 역할 교환을 구현 할 수 있다.

3.6 시뮬레이션

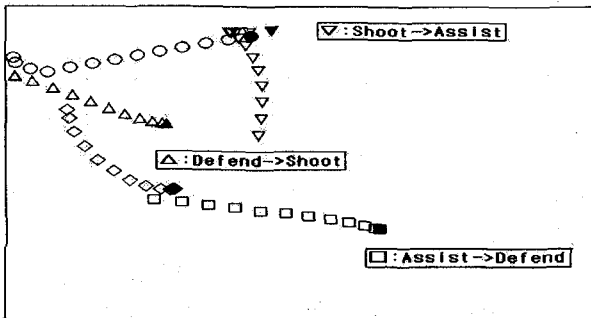
Region에 따른 퍼지 룰의 결과를 Middle League SimuroSot[2]으로 확인하여 보았다.

그림 5는 그림 3.(b)에서 정의한 Region 1 영역에서의 역할 전환을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. Shoot을 실행하던 □로봇은 공이 벽과 부딪혀 불규칙하게 튕 관계로 $\mu_{\text{적정성}}$ (Propriety of shoot)이 작아져 결국 Assist로 바뀌었다. 이에 반해 △로봇은 Assist를 실행하다 $\mu_{\text{적정성}}$ (Propriety of shoot)이 높아져서 Shoot으로 역할을 교환하였다. ▽과 ◇로봇은 공과의 거리가 멀어 상태변수의 변화가 크지 않은 관계로 역할이 바뀌지 않았다.



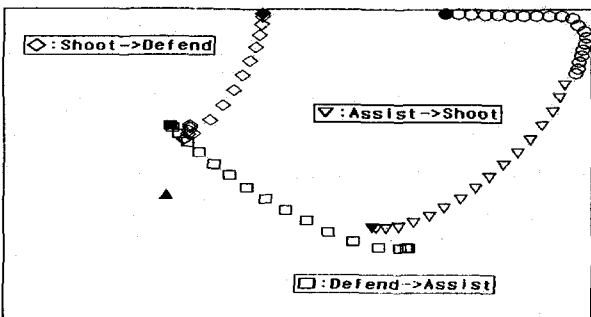
<그림 5. Region 1에서의 역할 교환 결과>

그림 6은 그림 3.(b)에서 정의한 Region 2 영역에서의 역할 전환을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. ▽로봇이 슈트를 실행하다 공이 Region 2에 들어가게 되고, 슈트_적정성이 더 높은 △로봇이 Shoot을 대신고 있다. 또한 공과 거리가 멀어진 □로봇은 슈트_적정성이 많이 작아져서 Defend로 역할을 교환 하였다.



<그림 6. Region 2에서의 역할 교환 결과>

그림 7은 그림 3.(b)에서 정의한 Region 1에서 4대의 로봇이 복합적인 역할 교환이 이루어지는 것을 보여준다. ◇로봇은 원래 Shoot을 하던 로봇이었으나 벽에 걸려 움직이지 못하여 슈트_적정성이 작아져 Defend로 역할 교환이 이루어졌다. 이에 반해 ▽로봇은 Assist를 실행하다 슈트_적정성이 높아져 Shoot을 실행 하고 있다. 또한 □로봇은 Defend를 실행하다 Assist로 역할이 바뀌었다. 마지막으로 △로봇은 공과 가장 먼 곳에 있으므로 슈트_적정성의 큰 변화가 없어 역할이 교환되지 않았다.



<그림 7. Region 1에서의 복합적인 역할 교환 결과>

4. 결론 및 향후과제

지금까지 우리는 로봇 행동의 퍼지 적정성을 고려한 로봇축구 전략 및 전술 알고리즘을 알아보았다. 이전에 제시하였던 퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술[5]에서 부족했던 다수의 로봇 역할 교환도 슈트_적정성(Propriety of shoot)이라는 퍼지 적정성을 고려함으로써 해결할 수 있었다. 이러한 퍼지 적정성은 환경 변수를 변경 함으로써 다른 분야에서도 로봇간의 역할 교환을 위해 사용되어질 수 있다고 판단된다.

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 제어를 만들기 어렵다. 그러므로 결과 관계식의 연구 및 적응 퍼지 제어를 적용하여 상황에 적응도가 있는 알고리즘 설계가 앞으로 요구된다.

5. 참고문헌

- [1] 김종환 저, 로봇 축구 시스템, 대영사, 2000.
- [2] 김종환 외 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] 이정준, 지동민, 주문갑, 이원창, 강근택, " 퍼지 로직을 적용한 로봇축구 전략 및 전술", 한국 퍼지 및 지능시스템 학회 '2004 추계 학술 발표 논문집, Vol. 14, No. 2, pp. 3-6, 2004.
- [6] Dong-Han Kim and Jong-Hwan Kim, "Limit-cycle Navigation Method for Soccer Robot," International Conference on Artificial Intelligence, Las Vegas, June 25-28, 2001.
- [7] 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.