

다 개체 시스템의 협동 행동제어기

* 김용백, 장홍민, 김대준, 최영규, 김성신
부산대학교 전기공학과

Cooperative Action Controller of Multi-Agent System

* Yong-Back Kim, Hong-Min Jang, Dae-Jun Kim, Young-Kiu Choi, Sungshin Kim
Dept. of Electrical Eng. Pusan National Univ.

Abstract - This paper presents a cooperative action controller of a multi-agent system. To achieve an object .i.e. win a game , it is necessary that a robot has its own roles, actions and work with each other. The presented incorporated action controller consists of the role selection, action selection and execution layer. In the first layer, a fuzzy logic controller is used. Each robot selects its own action and makes its own path trajectory in the second layer. In the third layer, each robot performs their own action based on the velocity information which is sent from main computer. Finally, simulation shows that each robot selects proper roles and incorporates actions by the proposed controller.

1. 서 론

로봇축구는 다 개체 시스템의 테스트 베드(test bed)로서 현재 많은 연구가 진행중이다[1,2]. 특성상 이동장애물이 존재하는 동적인 환경에서 여러 대의 로봇(다 개체)이 협동을 통해 주어진 임무를 수행한다. 그러므로 주어진 임무를 달성하기 위해서는 각각의 로봇들이 독자적인 행동을 하면서 동시에 적절한 협동 작업을 하도록 제어 구조를 설계하는 것이 필수적이다.

본 논문에서는 로봇축구에서 각각의 로봇이 독자적인 행동과 협동행동을 통해 주어진 임무를 수행하도록 제어기를 설계한다. 사용한 행동제어기는 역할, 행동, 실행 계층으로 구성된 계층구조 제어기를 사용한다. 전체적인 로봇축구 시스템의 제어구조는 그림 1과 같다.

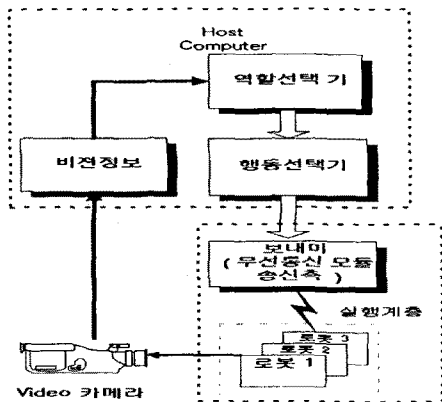


그림 1. 전체적인 로봇축구의 제어구조
Fig. 1. Control structure of the soccer robot system

비전 정보를 통해 Host computer에서 전체적인 상황을 분석하여 역할 선택기에서 각각의 로봇에게 역할을 부여한다. 행동 선택기에서는 각 로봇의 역할에 맞춰 행동을 부여하며 실행계층에서는 각 로봇의 속도 지령치를 추종하도록 각 로봇을 제어한다.

기존의 행동선택은 지역방어의 개념에 의해 공의 위치에 따라 공격과 수비의 역할을 구분하였다[1,3]. 이 경우 지역방어는 로봇이 상대로봇에 의해 움직이지 못하거나 고장 난 경우 그 지역에 공이 있으면 치명적인 단점이 있으며 이를 극복하기 위한 별도의 알고리즘이 필요하다. 또한 지역의 경계에 공이 있을 경우 서로 방해하는 갈등의 문제가 발생한다[3].

본 논문에서는 이와 같은 지역 방어의 개념이 아닌 로봇의 기회도를 분석하여 우선권을 지정함으로써 로봇의 역할 바꾸기와 로봇간의 갈등을 극복하고 협동행동을 수행하도록 제어기를 설계한다.

그리고 제안된 제어기를 통해 동적인 외부환경 속에서 주어진 임무를 수행하기 위해 협동행동이 선택되어짐을 시뮬레이션을 통해 검증을 한다.

2. 협동 행동 제어기

본 논문에서는 협동작업을 통해 주어진 목적을 달성하기 위하여 역할, 행동, 실행 계층으로 구성된 계층적 제어기를 사용한다. 계층적 제어구조는 시스템의 신뢰도와 작업완성도를 개선시킬 수 있으며 전체적인 제어구조의 설계가 용이하다[1].

역할계층은 비전 정보로부터 상황모드를 분석한다. 각 상황모드에서 로봇의 기회도를 퍼지 제어기로 분석하여 이 기회도에 따라 로봇의 역할을 선택하도록 한다. 행동계층은 역할계층에서 선택된 역할에 맞춰 적합한 행동을 선택하도록 구성되며 선택된 행동에 맞춰 경로 계획을 하고 각 로봇의 속도지령을 출력으로 내보낸다. 실행계층은 행동계층의 속도지령을 무선통신을 통해 각 로봇에게 전달하게 되며 로봇은 속도지령을 추종하도록 PID제어를 통해 DC모터를 제어한다.

2.1 역할계층

역할 계층은 비전 시스템의 정보로부터 상황모드를 분석한다. 상황모드는 경기 시작 시 사용자에게 의해 지정된 상황과 경기 중 발생하는 비상상황으로 나뉜다.

상황모드

- * 사용자 정의 모드 : 시작시 일정시간 동안 사전에 정의된 역할, 행동 수행
- 경기시작(공격), 경기시작(수비), 프리볼, 프리킥(공격), 프리킥(수비)
- * 경기 중 발생 모드
- 비상 모드 : 고장 발생 -> 극복
- 정상 모드

상황모드에 따라 각각의 로봇에게 공격과 수비 골키퍼 협조의 역할을 구분한다. 사용자 정의모드에서는 경기 시작 후 일정시간동안 사용자가 정의한 행동을 수행하며 이후 정상모드로 변환한다. 경기 진행 중 로봇의 고장 발생 시 비상모드로 변환된다. 우선 순위에 따라 동작 가능한 로봇의 역할을 부여하며 고장난 로봇은 고장 극복 알고리즘을 수행한다. 정상모드에서는 로봇의 기회도에 따라 우선 순위가 높은 역할부터 배정한다.

역할에는 골키퍼, 공격, 수비, 협조의 역할이 있으며 이 역할에는 우선 순위가 있다. 기본적으로 골키퍼가 우선 순위가 가장 높으며 다음으로 영역별로 우선 순위가 달라진다. 즉 우리진영에서는 수비가 우선 순위가 높으며 협조의 순서이며 상대 진영에서는 공격이 우선 순위가 높으며 협조의 순서이다.

가장 먼저 골키퍼의 역할이 지정되며 나머지는 fuzzy 제어를 통해 두 로봇의 기회도를 비교하여 기회도가 높은 로봇이 진영에 따라 다음 우선 순위의 역할이 지정된다.

2.2 Fuzzy 제어기와 학습

로봇의 기회도는 fuzzy 제어를 통해 구해지며 골키퍼를 제외한 두 로봇의 우선 선택할 수 있는 기회를 나타낸다. 유리한 기회를 가지고 있는 로봇이 먼저 우선 순위가 높은 역할을 선택하게 된다.

fuzzy 제어기는 공에 대한 소유도(공과 로봇의 거리)와 득점 기회도(현재 로봇과 공이 이루는 각도와 골 대와의 상대적인 각)를 입력으로 하여 기회도를 출력으로 내보내게 된다.

본 논문에서는 Zero-order Sugeno fuzzy model을 사용하였으며 2 input 1 output으로 구성되어 있다 [4]. 전건부는 Gaussian 멤버십 함수를 사용하였으며 후건부는 singleton(constant)을 사용하였다.

전건부의 Gaussian 멤버십 함수는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$G(x) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{x}_i}{\sigma_i} \right)^2} \quad (1)$$

퍼지시스템 입력의 소속함수는 그림 (2)와 같다.

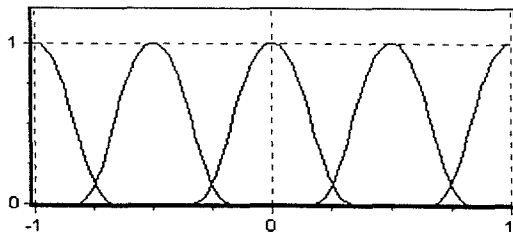


그림 2. 퍼지 시스템 입력의 소속 함수

Fig. 2. Fuzzy membership function of the system Input

defuzzification은 무게중심법을 사용하였으며 식 (2)와 같다

$$f(x) = \frac{\sum_{l=0}^M \bar{y}^l \left(\prod_{i=1}^n U_i(x_i) \right)}{\sum_{l=0}^M \left(\prod_{i=1}^n U_i(x_i) \right)} \quad (2)$$

본 논문에서 사용한 퍼지 추론 규칙은 식 (3)과 같다.

$$\text{Rule } l: \text{ If } x_1 \text{ is } A_1^l, \text{ and } x_2 \text{ is } A_2^l \text{ then } y \text{ is } \bar{y}^l \quad (3)$$

표 (1)은 제어기에 사용된 득점기회도와 소유도에 따른 전체 25개의 퍼지 제어규칙을 나타낸다.

표 1. 제어기에 사용한 퍼지 규칙

		득점기회도(입력1)				
		NB	N	Z	P	PB
소유도 (입력2)	NB	NB	NB	N	NS	Z
	N	NB	N	NS	Z	PS
	Z	N	NS	Z	PS	P
	P	NS	Z	PS	P	PB
	PB	Z	PS	P	PB	PB

여기서 NB:Negative Big,N:Negative,NS:Negative Small,Z:Zero,PS:Positive Small,P:Positive, PB:Positive Big이다

위와 같은 sugeno fuzzy model에서는 사용자의 지식에 의해 설정된 rule이 실제 상황에 정확하게 적용되는 것은 아니며 실제 상황에서의 발생 오차에 대해 학습을 통해 수정할 수 있다.

학습은 Back propagation(B.P.) 알고리즘을 통해 수행되며 후건부의 singleton값, 그림 (2)의 전건부 멤버십 함수의 center 값과 width값을 변화시킬 수 있다. 즉 B.P 알고리즘을 통해 식 (5)의 평가함수를 최소화하도록 \bar{y}_i (식 2), σ_i , \bar{x}_i (식 1)을 학습시킬 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} [f(x^p) - d^p]^2 \quad (7)$$

여기서 $f(x^p)$: p번째 데이터의 출력값, d^p : p번째 데이터의 요구되는 출력값이다.

학습규칙은 식 (6)~(8)과 같다.

$$\bar{y}^l(k+1) = \bar{y}^l(k) - \alpha \frac{f-d}{b} z^l \quad (6)$$

$$\bar{x}_i^l(k+1) = \bar{x}_i^l(k) - \alpha(f-d) \frac{(\bar{y}^l - f)}{b} \times z^l \times 2 \frac{(x_i - \bar{x}_i^l)}{(\sigma_i^l)^2} \quad (7)$$

$$\sigma_i^l(k+1) = \sigma_i^l(k) - \alpha(f-d) \frac{(\bar{y}^l - f)}{b} z^l \frac{2(x_i - \bar{x}_i^l)^2}{(\sigma_i^l)^3} \quad (8)$$

$$\text{여기서 } z^l = \prod_{i=1}^n e^{-\left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2}, a = \sum_{l=1}^M \bar{y}^l z^l.$$

$$b = \sum_{l=1}^M z^l, f = \frac{a}{b}$$

3. 행동계층

행동계층은 역할 계층으로부터 정해진 역할에 따라 로봇의 행동을 결정한다.

기본적으로 역할에 따라 취할 수 있는 행동은 정의되어 있으며 표 2와 같다.

표 2. 역할에 따른 기본 행동

역할	행동
골키퍼	Home_Goalie, Inter_Goalie, Block_Goalie
공격	Attack, Shoot, Home_Attack
협조	Sweep_ball, Pass_ball, Wait
수비	Intercept, Inter_defence, Home_defence

공격, 수비역할에 대한 행동은 공에 대한 로봇의 상대적인 위치정보를 통해 지정하며 그림 3과 같이 분류를 한다.

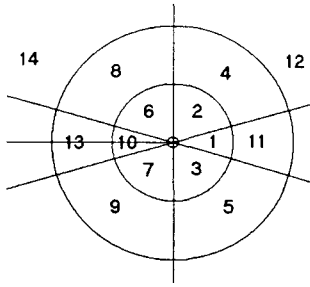


그림 3. Target circle
Fig. 3. Target circle

공에 대한 상대적인 로봇의 위치정보로부터 로봇의 행동을 선택하게 되며 우선도가 높은 로봇부터 먼저 행동을 선정하게 된다.

3.1 경로계획

로봇의 행동에 따른 경로계획은 동심원 도법을 이용한 경로계획을 한다[2]. 그림 4와 같이 최종방향과 위치를 가지도록 로봇의 현재의 위치에서 경로를 계획하며 현재 로봇의 위치와 방향각 그리고 최종위치와 방향에 따라 4가지의 경우에 따른 경로계획을 실행한다.

- 1) 현재로봇의 방향각과 최종방향각이 허용값 이하인 경우 : 직선경로를 생성하며 최단거리로 이동
- 2) 로봇이 최소회전반경 외부에 위치한 경우: 원과 접하는 접선의 궤적을 따라 이동
- 3) 로봇이 최소회전반경 상에 위치한 경우: 원 궤적을 따라 이동
- 4) 로봇이 최소회전반경 내부에 위치한 경우: 최소회전반경을 이탈하도록 이동

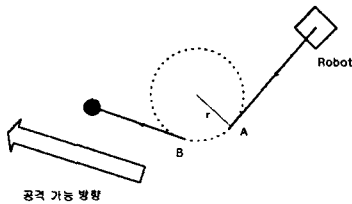


그림 4. 경로 계획
Fig. 4. Path Plan

그림 4는 2)의 경우에 해당하며 최소회전반경(r)에 해당하는 원의 접점 A와 B를 경유해 공격 가능 방향으로 이동하게 된다.

여기에 로봇의 장애물 회피 알고리즘을 추가한다. 협조 역할을 맡은 로봇은 푼키퍼 로봇과 다른 로봇의 경로와 충돌하지 않도록 경로를 설계한다.

3.2 실행계층

실행계층은 역할계층과 행동계층으로부터 정해진 역할과 행동에 따라 로봇의 속도를 무선통신을 통해 각각의 로봇에게 전달하게 되며 각 로봇은 속도지령을 추종하도록 모터제어를 수행한다.

4. 모의실험

위와 같이 구성된 제어기의 성능을 평가하기 위해 모의실험을 실시한다.

모의실험은 상대로봇과 우리로봇이 모두 존재하는 상황에서 실시하며 sampling time은 실제 축구경기에서 비전의 정보처리 시간인 33ms로 하였으며 각 로봇의 최대속도는 1.5m/s로 설정하였다. 상대 로봇은 지역방어에 의한 행동선택이 이뤄지도록 제어기를 구성하였다.

4.1 기회도

모의실험을 통해 모든 로봇이 정상적으로 동작하는 상황에서 푼키퍼를 제외한 두 로봇 중 우선 순위가 높은 로봇을 그림 5에서 보여준다.

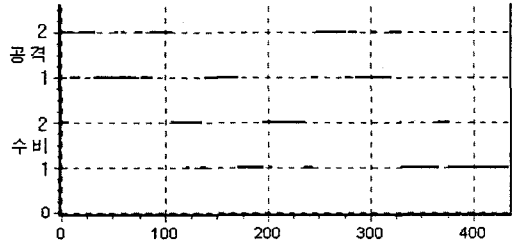


그림 5. 기회도에 따른 로봇의 우선 순위
Fig. 5. preferential right of robot which is defened on it's opportunity

공격은 공이 상대진영에 있는 경우이며 수비는 공이 우리 진영에 있는 경우로서 이때 로봇 1,2의 기회도에 따라 우선 순위를 배정한다. 100sampling time에서 공이 상대 진영에 있으며 로봇2가 기회도가 높기 때문에 우선 순위가 높음을 알 수 있다. 따라서 로봇2가 공격의 역할을 선택하고 로봇1이 협조의 역할을 선택하여 공격하게 된다. 상대편에 의해 공이 우리 진영으로 넘어 오면 기회도(공의 소유도와 득점기회도)가 높은 로봇2가 수비의 역할을 선택하고 로봇1은 협조의 역할을 선택하게 됨을 볼 수 있다.

그러나 문제는 순간적인 기회도의 변화에 대해 민감하게 동작함으로써 역할 변화가 자주 이뤄지는 경우가 발생하여 로봇이 머뭇거리는 듯한 행동을 하게 된다. 이것은 역할 변화에 제한을 둬으로써 억제할 수 있다.

5. 결 론

이상으로 본 논문에서 제안한 협동 행동제어기를 살펴보았다. 기존의 지역방어에 의한 역할 분담이 아닌 로봇의 기회도에 따라 역할을 분담함으로써 지역방어에 의한 문제점을 극복할 수 있었으며 우선도의 변화에 따라 자연스럽게 역할의 변화가 이뤄졌다.

(참 고 문 헌)

- [1] 심현식의, "비전 기반 축구로봇 시스템을 위한 혼합형 제어구조의 역할 계층 설계," 제 1회 로봇축구공학 워크샵 논문집, p3~p22, 1998
- [2] 이병주의, "로봇 축구 시스템과 게임 전략," 제 1회 로봇 축구공학 워크샵 논문집, p77~p128, 1998
- [3] J.-H.Kim,H.-S.Shim,H.-S.Kim,M.-J.Jung,I.-H. Choi and K.-O.Kim, "A Cooperative MultiAgent System and Its Real Time Application To Robot Soccer," *Prov. of the IEEE Int. Conf. on Rob. and Auto.*, Albuquerque, New Mexico, April 1997
- [4] J.-S. R. Jang, C.-T.Sun and E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice-Hall, 1997