

신경회로망을 이용한 로봇축구 시스템의 행동결정 및 행동실행 방법

*이경태, **김학일, *김준우
 *전기 공학과, **자동화 공학과
 인하대학교

An Action Decision and Execution Method of Robotic Soccer System based on Neural Networks

*Lee, Kyoung-tae **Kim, Hakil *Kim, Choon-Woo
 *Dept. of Electrical Eng., **Dept. of Automation Eng.
 Inha University

Abstract - Robotic soccer is multi-agent system playing soccer game under given rule. This system consists of three mobile robots, vision sensor, action decision module, action execution module and communication module. This paper presents new action decision method using multi-layer neural networks.

1. 서 론

지금까지의 로봇에 대한 연구와 개발은 대부분 용접로봇, 자동차 조립 로봇, 무인운송 로봇 등 산업에 관련된 분이나 전시장 안내 로봇 등의 서비스 분야와 같이 일하는 로봇을 위주로 이루어져 왔으나, 미로를 찾아가는 마이크로 마우스, 탁구나 배구를 할 수 있는 로봇 팔, 축구 경기를 하는 이동로봇, 악기를 연주하는 로봇, 동물 모양의 로봇과 같은 스포츠와 엔터테인먼트 분야의 로봇도 계속 등장하고 있어 일반인들도 로봇에 많은 관심을 가지게 되었다. 로봇축구 시스템 역시 스포츠 경기를 모방함으로써 과학기술인 뿐만 아니라 일반인들의 관심을 모으고 있다.

로봇축구 시스템을 개발하는데는 공과 로봇의 위치를 인식하기 위한 디지털 영상처리 기술, 효과적으로 경기를 수행할 수 있는 이동로봇의 설계 기술, 로봇을 빠르고 정확하게 움직이도록 하는 제어 기술, 호스트와 로봇 간의 자료 교환을 위한 통신 기술, 주어진 환경에서 어떻게 행동해야 할 것인가를 결정하는 행동결정 기법 등이 필요하다.

로봇축구 시스템에서 로봇이 주어진 상황에서 어떤 행동을 취할 것인지를 결정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 로봇축구 시스템의 환경은 동적이고 미래의 상태를 예측하기 어려울 뿐만 아니라 상대 팀 로봇은 우리 팀 로봇의 행동을 방해하기 때문에, 주어진 상황에서 우리 팀 로봇의 적절한 행동을 결정하기가 매우 어렵다. 따라서 인공지능, 신경회로망, 퍼지로직, 인공생명 등의 지능적 기법을 이용한 행동 결정 방법이 연구되고 있다 [1][2][3][4].

본 논문에서는 FIRA(Federation of International Robot-soccer Association)의 MIROSOT(Micro Robot Soccer Tournament)[5]를 위해 Remote brainless vision-based soccer robot system[6]의 구조로 개발한 로봇축구 시스템을 소개하고, 다층신경회로망을 이용하여 설계한 행동결정부와 행동실행부를 설명한 다음 실험을 통해 성능을 평가한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

시스템은 경기를 수행하는 공간인 경기장, 경기를 수행하는 로봇, 로봇과 공의 위치 계산을 위한 영상처리 시스템, 로봇과 공의 위치 데이터로부터 로봇의 행동을 결정하고 제어하는 호스트 컴퓨터, 로봇과 호스트 사이의 통신을 위한 무선 통신부로 이루어져 있다.

2.1.1 로봇

로봇은 양 옆에 서로 평행하게 부착된 두 개의 구동바퀴를 회전시켜 이동한다. 따라서 양쪽 바퀴의 속력을 다르게 하여 방향을 조종할 수 있다. 개발된 시스템에서의 로봇 제어는 16비트 마이크로프로세서 80C196KC를 이용하였고, 메모리와 엔코더 카운터를 선택하기 위한 어드레스 디코딩 회로는 GAL(Gate Array Logic)을 사용하여 회로를 최소화하였다. 로봇을 구동하기 위해 소형 직류모터에 21:1 감속기어를 연결하였고, 속력을 측정하기 위해 모터축에 분해능 16pulse/rev인 엔코더를 연결하여 회전수를 측정한다. 모터의 속력은 PI제어기를 이용하여 제어하였고, PI제어기의 출력을 PWM(Pulse Width Modulation)신호로 변환하여 모터에 공급하였다. PI제어는 실험을 통해 결정하였는데, 제어가능한 최대 속력은 120m/s이다.

호스트 컴퓨터에서 무선으로 전송하는 데이터를 받기 위해 무선통신모듈을 사용하였다. 무선통신모듈은 반송 주파수가 418MHz인 FM전파를 수신하여 TTL 레벨의 디지털 신호로 출력한다. 이 출력을 80C196KC의シリ얼 포트에 입력한다.

전원은 1.2V, 600mAh인 니카드(NiCd)전지 6개를 직렬로 연결하여 7.2V, 600mAh를 구성하여 한 시간 이상 구동할 수 있다. 모터에는 7.2V를 직접 공급하였고 디지털 회로에는 정전압레귤레이터를 이용하여 5V로 전압으로 낮추어 공급하였다.

로봇의 몸체는 에폭시, 듀랄루민, 알루미늄 등 견고한 재료를 사용하여 경기 중 빈번히 발생하는 충돌을 견딜 수 있도록 하였고, 마찰이 큰 소재를 타이어로 사용하여 바퀴의 미끄러짐을 최소화하였다.

2.1.2 영상처리부

경기장 위에 설치된 컬러 CCD 카메라는 경기장 윗면을 활용한 영상을 영상처리 보드에 입력하고, 영상처리 보드는 경기장 위에 있는 물체(공, 로봇)의 위치와 방향을 계산하여 호스트 컴퓨터로 전송한다.

영상처리 보드는 Newton Research Labs사의

Cognachrome Vision System을 사용한다. 이 보드는 NTSC 신호를 입력 받아 물체의 추적하여 물체의 위치, 넓이, 장축의 방향 등의 정보를 실시간으로 찾아낼 수 있는 추적기능을 가지고 있다[7]. 추적기능을 이용하기 위해서는 추적할 물체의 색을 학습시켜야 하는데, 세 개의 추적 채널에 각각 오렌지색, 노란색, 파란색을 학습 시켜 공과 로봇을 인식하고 추적할 수 있게 하였다. 추적 결과데이터(물체의 위치, 방향)는 영상처리 보드의 RS232C 포트를 통해 38400bps의 속도로 호스트 컴퓨터에 전달된다.

호스트 컴퓨터의 영상후처리부에 입력된 위치 정보는 센티미터 단위의 실세계 좌표계로 변환한 다음, 속력을 계산하여 방향 정보와 함께 행동결정부, 행동실행부에 제공한다.

2.2 행동결정 방법

한 팀은 세 대의 로봇으로 구성되는데, 한 대는 골키퍼를 맡고 나머지 두 대가 공격과 수비를 맡는다. 골키퍼 로봇은 행동결정부를 거치지 않고 골대 사이에서 좌우로만 이동하며 공을 막는다. 따라서 행동결정부는 로봇 두 대의 행동만을 결정한다. 행동결정 순서는 다음과 같다.

- 1) 경기의 상태를 판별한다.
- 2) 각 로봇이 현재 상태에서 실행할 수 있는 행동들을 실행했을 때, 각각의 행동이 성공할 수 있는 가능성 을 계산한다.
- 3) 행동성공 가능성 중 최대값을 계산한다.
- 4) 최대 행동 가능성을 갖는 로봇에 해당 행동을 할당 한다.
- 5) 행동을 할당받지 못한 로봇에게 “이동”을 할당하되 목적지는 공이 있는 진영의 중심으로 한다.

2.2.1 경기의 상태 판별

행동결정을 효율적으로 하기 위해 경기의 상태를 판별하는데, 경기 상태의 종류와 각 상태에서 행동할 수 있는 행동은 표 1과 같이 정의하였다. 상태를 판별하는 기준은 공의 위치와 공의 소유팀인데, 공에 마지막으로 행동을 가한 로봇이 속한 팀을 공의 소유팀이라고 정의하였다.

표 1. 경기의 상태 분류

상태	우리공격	상대반격	상대공격	우리반격
공위치	상대진영	상대진영	우리진영	우리진영
공소유팀	우리팀	상대팀	상대팀	우리팀
선택할 수 있는 행동	ST, PS, DR	KA, PS	KA	PS, DR

(ST:슛, PS:패스, DR:드리블, KA:차내기)

2.2.2 행동성공 가능성

행동성공 가능성은 로봇이 현재 상태에서 어떤 행동을 실행하였을 때 성공할 수 있는 가능성은 0과 1사이의 숫자로 나타낸 것으로, 다중신경회로망을 이용하여 계산한다. 각 상태마다 별도의 신경회로망을 구성하는데, 모든 신경회로망은 공통적으로 2층의 은닉층을 가지고 있고, 뉴런의 전달함수는 식(1)과 같은 시그모이드 함수이다.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (1)$$

입력과 출력은 각 신경회로망마다 다른데, 입력은 로봇을 기준으로 현재 상황을 나타낼 수 있는 변수로 각

물체의 위치, 방향, 속도, 로봇의 방향과 로봇이 공을 향한 방향의 차이, 상대 로봇의 방해정도 등을 포함한다. 각 신경회로망마다 23, 11, 8, 11 개의 입력변수를 가지고 있으며, 출력은 각 상태에서 선택할 수 있는 행동의 행동성공 가능성이다. 신경회로망의 출력은 식(2)를 반복 적용하여 계산할 수 있다.

$$o_i^j = f\left(\sum_{k=1}^{n-1} w_{ik}^j o_k^{j-1} + b_j^i\right) \quad (2)$$

식(2)에서, o_i^j 는 i 층의 j 번쩨 뉴런의 출력, w_{ik}^j 는 $i-1$ 층의 k 번째 노드에서 i 층의 j 번쩨 층으로 연결되는 시냅스의 연결강도, b_j^i 는 i 층의 j 번쩨 뉴런의 바이어스, n 는 i 번쩨 층의 뉴런 수를 나타낸다.

신경회로망은 사람의 판단을 학습시켜 사용한다. 학습데이터는 경기 비디오 테이프를 참고하여 로봇과 공을 배치한 다음 상태를 판별하여 해당 신경회로망의 입력을 계산하였고, 출력은 사람의 판단에 따라 0.1에서 0.9사이의 값을 지정하였다. 우리공격 상태에서 171개, 상대 반격 상태에서 100개, 상대공격 상태에서 101개, 우리 반격 상태에서 105개의 학습데이터를 수집하였고, 학습률을 0.01, 목표오차를 0.001, 반복회수를 10000으로 하여 오차역전과 알고리듬(back propagation)[8]을 이용하여 학습시켰다.

2.3 행동실행 방법

행동실행부에서는 행동결정부에서 선택한 행동을 실행하기 위해 로봇을 제어한다. 로봇이 실행할 수 있는 행동은 이동, 슛, 패스, 드리블, 차내기이다.

이동은 목적지까지 직진하는 행동으로 다른 모든 행동은 이동으로 이루어져 있다. 먼저 전방에 장애물이 있는지 검사하여 장애물이 있으면 행동을 마친다. 만약, 행동을 마치면, 다음 영상 데이터가 입력되었을 때 실행할 행동이 없기 때문에 행동결정부를 호출하여 새로운 행동을 선택하게 된다. 새로운 행동은 전방의 장애물을 고려하여 결정된다. 장애물이 없을 경우에는 로봇에서 본 목적지의 방향을 계산하여 그 값이 80도 보다 크거나 로봇이 정지 중일 경우에는 제자리에서 목적지 방향으로 회전할 수 있도록 바퀴의 속력을 지정한다. 그렇지 않을 경우에는 목적지를 향해 직진을 하는데, 양쪽 바퀴의 속도를 가감하여 방향을 보정한다. 출발할 때는 가속을 도착할 때는 감속을 하여 정확하게 목적지에 도달할 수 있

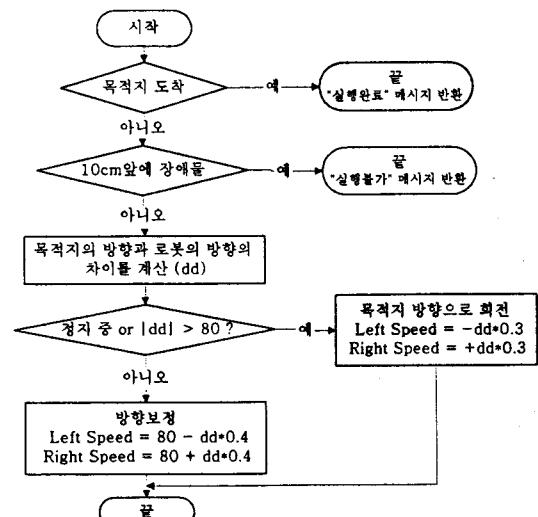


그림 1. “이동”的 실행 방법

도록 한다. 그림 1은 이동을 실행하는 순서를 나타낸다. 숫은 먼저 상대팀 골에 공을 넣는 행동으로 공과 로봇을 잇는 직선을 구한다. 그 직선이 상대 팀의 골대 사이를 지나면 공의 위치를 목적지로 하여 이동을 실행하고, 그렇지 않을 경우에는 공과 상대팀 골의 중심을 잇는 직선 상에서 공의 후방 20cm 지점으로 이동한 다음 공을 향해 이동을 실행한다.

패스는 공을 우리 팀의 다른 로봇에게 전달하는 행동으로 공과 로봇을 잇는 직선을 구한 다음 그 직선과 우리팀의 다른 로봇 사이의 거리가 40cm 보다 크면 실행 불가로 판단한다. 그렇지 않을 경우에는 공을 목적지로 하여 이동을 실행함으로써 공을 찬다.

드리블은 로봇이 공을 포함한 상태에서 목적지까지 이동하는 행동으로 로봇의 앞면을 공을 물기 쉽도록 오목하게 설계하여 단순한 제어만으로 드리블을 구현할 수 있었다. 공과 목적지를 잇는 직선을 구하여 그 직선과 로봇의 거리가 4cm 보다 작을 경우에는 공을 향해 이동하는데, 로봇이 공의 속력에 맞추어 로봇의 속력을 조절한다. 그렇지 않을 경우에는 공과 목적지를 잇는 직선 상에서 공의 후방 10cm 지점으로 로봇을 이동시킨 다음 공을 향해 이동한다.

차내기는 상대방의 공을 빼앗기 위해 특정한 목적지 없이 공을 차는 동작이다. 그렇지만 공이 우리팀 골 안으로 들어와 자책골이 되는 경우를 막기 위해 공과 로봇을 잇는 직선이 우리 팀 골대 사이를 지나는 경우에는 차내기를 실행하지 않는다.

2.4 실험 및 결과

행동결정부는 골키퍼 로봇의 행동을 결정하지 않기 때문에 우리팀 로봇 2대, 상대팀 로봇 2대만 이용하여 실험을 하였는데, 우리팀 로봇은 본 논문에서 설계한 행동결정부와 행동실행부에 의해 움직이고 상대팀 로봇은 움직이지 않는다.

실험은 먼저, 로봇과 공을 임의로 배치한 다음 우리팀 로봇이 골인을 하거나 다른 이유로 더 이상 경기를 진행 할 수 없을 때까지 경기를 진행시키면서 매 순간 경기장 위 물체의 위치와 행동 결정사항을 기록하였다. 그 다음에 실험 결과를 분석하면서 매 순간의 행동결정과 행동실행을 “상”, “하”로 평가하였다.

실험한 결과를 표 2에 나타내었다. 행동결정 평가와 행동실행 평가에는 “상”으로 평가한 회수 대 “하”로 평가한 회수로 나타내었다. 실험 결과, 행동결정부는 대부분 사람의 판단과 같은 판단을 하였지만, 행동실행부는 주어진 행동을 제대로 수행하지 못하는 경우가 비교적 많았다.

표 2. 행동결정 및 행동실행부에 대한 실험결과

실험	시간 (초)	행동결정 회수	행동결정 평가	행동실행 평가	골인 성공여부
1	2.4	3	2:1	3:0	성공
2	22.4	5	5:0	3:2	성공
3	18.2	5	4:1	2:2	실패
4	3.2	4	4:0	3:1	성공
5	5.7	4	4:0	4:0	성공

3. 결 론

본 논문에서는 Remote brainless vision-based soccer robot system[6] 방식으로 개발한 로봇축구 시스템에 대해 설명하고, 다층신경회로망을 이용한 행동결정부를 제안하였다. 제안한 방법은 경기의 상태를 공

의 위치와 공의 소유팀에 따라 우리공격 상태, 상대반격 상태, 상대공격 상태, 우리반격 상태로 나누고 각 상태마다 별도의 다층신경회로망을 이용하여 행동을 결정하였다. 경기 비디오 테이프를 참고하여 공과 로봇을 배치하고 별도의 프로그램을 이용하여 학습 데이터 계산하는 방법으로 학습 데이터를 수집한 다음, 오차역전파 알고리듬을 이용하여 다층신경회로망을 학습시켰다. 실험 결과 사람의 판단과 비슷한 판단을 한다는 것을 알 수 있었다.

80C196KC와 고성능 모터를 이용하여 빠른 로봇을 구현하였고, 영상처리 보드의 자동추적기능을 이용하여 실시간으로 물체의 위치를 추적할 수 있었으며, 호스트 컴퓨터에서는 윈도95 운영체계를 기반으로 Visual C++를 이용하여 제어프로그램을 작성하였다.

행동결정부가 더 정확한 판단을 하기 위해서는 인위적으로 로봇을 배치하는 방법이 아닌 실제 경기 데이터로부터 학습데이터를 수집하여 신경회로망을 학습시켜야 하고, 더 나아가서는 경기 중에 로봇 스스로 행동결정이 요구되는 상황을 판단하여 학습을 할 수 있는 연구가 필요하다. 행동실행부는 실험결과 주어진 행동을 수행하지 못하는 경우가 있는데, 로봇을 좀더 정밀하게 제어함으로써 해결할 수 있다.

로봇의 최적화된 속도제어를 위해 로봇의 차체에 대한 역학적인 모델링과 시뮬레이션이 필요하고, 호스트 컴퓨터의 부하를 줄이기 위해 로봇이 역할을 분담할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

로봇이 좀더 지능적이고 효율적으로 경기를 수행하기 위해서는 기존 로봇축구 팀들의 행동패턴을 분석하고 그에 대응하는 전략 알고리즘을 세우는 것이 중요하다.

(참 고 문 현)

- [1] Arkin R.C. and Balch T.R., "Cooperative Multiagent Robotic Systems," AI-based Mobile Robots: Case Studies of Successful Robot Systems, MIT Press, 1998
- [2] 김홍수, "로봇축구를 위한 다개체 시스템의 행동선택기 설계", 석사학위논문, 한국과학기술원, 1996
- [3] 정명진, 김홍수, 심현식, 김종환, "인공면역망에 근거한 다개체 시스템의 의사결정구조", 제어계측, 자동화, 로보틱스 연구회 합동 학술발표회 논문집, PP.298-302, 1997
- [4] 정일권, "Evolving Soccer-Playing Multi-Agents Using a Modified Genetic Algorithm", 제어계측, 자동화, 로보틱스 연구회 합동 학술발표회 논문집, 1997
- [5] MIROSOT, "The Laws of the Game," Micro-Robot World Cup Soccer Tournament, PP.10-18, 1997.
- [6] Jong-Hwan Kim, Hyun-Sik Shim, Myung-Jin Jung, Heung-Soo Kim and Prahlad Vadakkepat, "Cooperative Multi-Agent Robotic Systems: From the Robot-soccer Perspective," MIROSOT Proceedings, PP.3-13, 1997
- [7] Anne Wright, Randy Sargent, Carl Witty and Jeremy Brown, Cognachrome Vision System User's Guide, Newton Research Labs, 1996
- [8] John Hertz, Anders Krogh and Richard G. Palmer, Introduction to The Theory of Neural Computation, PP.115-156, Addison-Wesley Publishing Company, 1991