

mGA를 이용한 축구로봇의 속도 제어

김 정찬*, 주 영훈*, 박 진배**
*군산대학교 전자정보공학부, **연세대학교 전기전자공학과

Speed Control of Soccer Robot using messy Genetic Algorithm

Jung-Chan Kim*, Young-Hoon Joo*, Jin-Bea Park**

*School of Electronic & Information Eng. Kunsan National Univ.

**Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

Abstract - 본 논문에서는 mGA를 이용해 축구로봇의 속도를 제어하는 새로운 방법을 제안하였다. 축구 로봇의 목표를 최소 시간내에 도착하기 위해 속도제어에 크게 영향을 미치는 거리 오차와 각도 오차 등의 비율을 나타내는 각종 파라미터가 포함되어 있는 제어 함수를 제시하고, 이들 파라미터들을 mGA를 이용하여 최적의 값들을 탐색함으로써 변화되는 환경 속에서도 로봇의 목적지에 최소 시간내에 이동하도록 속도제어 전략을 제안한다.

1. 서 론

로봇 축구란 사람이 아닌 로봇이 미리 정해진 경기 규칙에 따라 축구를 하는 것이다. 여러 대의 로봇이 서로 협동을 하면서 경기를 하는 것이기에 다개체 시스템이라 하는데, 다개체 시스템에는 MiroSot, RoboSot, HoraSot 등이 있다[1]. 다개체 시스템의 대표적인 예인 로봇축구는 다수의 로봇, 비전 시스템부, 통신부, 주컴퓨터부 등으로 구성된다. 이들 시스템은 축구를 하기 위한 지능이 어느 곳에 구현 되는가에 따라, 로봇 중심 시스템, 비전 중심 시스템 등으로 나눌 수 있다. 로봇 중심 시스템은 로봇 축구 수행에 필요한 지능의 대부분이 로봇에서 구현되는 방식이다. 이 방식은 비전 중심 시스템의 처리속도가 곧 전체 시스템의 처리 속도가 되므로 로봇의 순간대처 능력이 곧 비전 시스템 및 주컴퓨터의 성능에 좌우된다. 이 방식은 분산처리 협동을 위한 개체간의 통신, 자율이동로봇 구현 등이 요구된다. 한편 비전 중심 시스템은 원격 지능형 축구 로봇 시스템과 지능 내재형 로봇 축구 시스템으로 나눌 수 있다. 이와 같은 시스템의 경우, 로봇의 구조는 간단하지만 로봇 자체에는 센서가 포함되지 않아 정확한 제어를 위해서는 주컴퓨터의 계산능력이 뛰어나야 한다. 일반적으로 로봇축구에 사용되어진 여러 제어를 위해서 로봇축구에 내장된 제어를 사용하게 되는데 이 방식은 제어가 외부의 주컴퓨터에 있는 것이다. 그러므로 정확한 제어를 위해서는 빠른 샘플링 시간이 요구되므로 영상처리, 제어 알고리즘, 통신 등의 처리시간이 빨라야 한다. 이는 로봇축구에 고성능의 영상 시스템 및 주컴퓨터의 필요성을 나타낸다.

본 논문에서 사용된 시스템은 비전 중심 시스템이며 앞서 말한바와 같이 비전 중심 시스템은 로봇축구, 영상시스템, 통신 장비, 주컴퓨터로 이루어진다. 영상시스템은 기본적으로 경기장내의 로봇들의 좌표를 파악하기 위해므로 각 로봇의 색을 달리하여 색정보를 이용하여 로봇의 Color CCD카메라와 영상신호를 처리하기 위한 비전보드로 이루어진다. 본 논문에서는 정확한 파라미터값을 환경적 변화에 따른 신속하게 값을 추출하기 위해 mGA(messy Genetic Algorithm)를 사용하였다.

유전 알고리즘은 재생, 교차, 돌연변이와 같은 유전 연산자를 사용하여 개체군의 스트링을 처리하는 최적화 방법이다. 최적공간의 해들은 각 위치에서 선택이 알파벳처럼 정의된 고정된 길이, 고정된 위치에 맞게 스트링을 암호화한다. 유전알고리즘은 특히 많은 국소 최적해를 갖는 비선형시스템의 전체 최적해를 구하는데 많이 이용되어 왔다. 그러나, 풀고자하는 해의 집합인 염색체는 세대가 바뀌어도 고정된 길이를 갖는 단점을 갖는다. 최근에 이러한 단점을 보완하기 위해서 메시 유전알고리즘(messy Genetic Algorithm, mGA)를 사용하여 더욱 효과적인 염색체를 구성하는 방법이 제안되고 있다[4]. mGA는 탐색과정 중 다루기 어려운 빌딩 블록(building block)과 스키마(schema)이론에 관련된 최적화 방법을 이용한 형태에 의해 서로 결합한다. 또한 mGA에서는 가변 스트링을 사용하므로 더욱 순응적인 표현이 가능하다. 유전 알고리즘에서 사용되는 돌연변이 연산자와 교차 연산자 대신 다루기 쉬운 자르기와 붙이기 연산자를 사용하여 개체들을 진화시킨다. 이는 가변 스트링을 사용하며 동일한 위치에서 교차점을 가질 필요가 없다.

본 논문에서는 축구로봇의 가장 기본적인 움직임을 만들어 내는 속도 제어 부분에 관하여 논의한다. 제어부분은 목표를 달성하기 위해 거리 오차와 각도 오차에 따라 양쪽 바퀴에 독립적인 속도를 전송하여 원하는 움직임을 만들어 내는 속도 제어 부분과 몇가지 속도 제어 함수를 조합하여 구성되어진 구동 제어부분으로 구성되어 있으며, 이는 로봇축구의 개인기(드리블, 킥, 태클 등)에 해당한다. 본 논문은 실제 로봇축구 경기에 있어 승패에 열쇠가 되는 자세제어에 사용되는 몇가지 속도 제어 파라미터들을 mGA를 이용하여 탐색함으로써 변화되는 환경속에서 로봇들의 목적에 따라 신속하게 이동하는 속도 제어 전략을 제안한다.

2. 축구로봇 제어

2.1 축구로봇의 위치제어

축구로봇을 목표점까지의 이동은 비전으로부터 입력된 각 로봇들의 좌표와 각도를 바탕으로 DC모터의 속도를 변화시켜줌으로써 이루어진다. 각 로봇의 개인기(드리블, 킥, 태클)는 비전으로부터 입력되어진 값들로부터 속도를 적절하게 제어함으로써 이루어진다. 로봇시스템의 하위레벨인 양쪽모터의 속도를 제어함은 로봇경기의 승패에 크게 영향을 미치게 된다. 로봇을 원하는 위치로 이동시키는 함수는 다음과 같다.

$$V_L = K_d \cdot d_e - K_a \cdot \theta_e \quad (1)$$

$$V_R = K_d \cdot d_e + K_a \cdot \theta_e \quad (2)$$

2.2 속도 제어

식 (1), (2)는 K_d 와 K_a 값에 의해서 사구간이 존재하게 된다. 이에 $K_d \cdot d_e$ 부분을 사구간이 존재하지 않도록 v_c 라는 값으로 재구성하였다.

$$v_R = v_c + K_a \cdot \theta_e \quad (3)$$

$$v_L = v_c - K_a \cdot \theta_e \quad (4)$$

로봇에 쓰이는 기본적인 속도 함수는 위 식과 같으며 각도오차에 곱해지는 파라미터 K_a 의 값은 사용자가 환경변화에 따라서 실험을 통해서 임의적으로 값을 주어지기 때문에 시간이 많이 걸릴뿐만 아니라 정확한 제어를 하는데에 한계가 있다. 이를 위해서 퍼지 로직을 이용한 방법 [1], 단위 벡터장을 이용한 방법, [3], Limit Cycle방법 [1]이 있으나 이 또한 파라미터값을 오랜 시간동안 실험을 통해서 최적화 시켜야 하므로 환경적 변화속에서 대체 해를 찾기가 어렵다. 이런점을 보완하기 위해서 본 논문은 거리 오차를 로봇의 속도에 반영하는 비율을 결정하는 파라미터 (K_D), 각도 오차를 각 로봇의 모터 속도에 반영하는 비율을 결정하는 파라미터 (K_A), 거리 오차와 각도 오차를 동시에 고려하여 이동시 오차 각을 쉽게 수정하기 위한 파라미터 (K_T)를 사용하여 정확한 속도 제어와 경로 제어를 할 수 있도록 하였다. 이 세가지 파라미터를 mGA를 이용하여 탐색함으로써 변화된 환경에서도 빠른 대체 파라미터를 찾을 수 있도록 하였다.

2.3 속도 제어 함수 설계

본 논문에서 사용한 측구로봇의 속도 제어 함수는 기본적으로 위치를 이동을 위한 함수이다. 즉 거리 오차에 따라 로봇의 이동 속도를 결정하는 K_D 파라미터와 각도 오차에 따라 각 모터에 입력되는 값들의 차를 두어 얼마나 신속히 각도 수정을 할 것인가를 결정하는 K_A 파라미터 그리고 이동 도중 감속에 의한 선형적인 각도 수정을 위한 K_T 파라미터로 구성되어 있다. 이 파라미터들을 어떤 값으로 설정하는가에 따라 로봇은 다양한 경로 패턴을 만들 수 있다.

거리 오차에 따라 속도를 제어하는 함수 형태는 다음과 같다.

$$v_c = \frac{1}{1 + \exp(-a(x-c))} \quad (5)$$

Sigmoidal 함수형태인 식 (5)은 사구역을 피하고 로봇의 속도제어를 하기위한 함수형태이다. 본 논문에서는 거리 오차에 의한 이동 속도를 결정하기 위하여 K_D 파라미터에 의해서 재구성 하였다.

$$v = \left(\frac{2.0}{1.0 + \exp(-3d_e^2/K_D)} - 1.0 \right) \quad (6)$$

식 (6)의 d_e 는 거리 오차를 나타내며, K_D 는 속도의 감속 곡률을 결정하는 상수로서 이 값이 클수록 속도 곡선은 거리 오차에 따라 더욱 완만한 감속을 하게 된다. v 값은 0에서 1값으로 제한되어 있으며 실제 로봇

의 구동시에는 v_{max} 를 곱함으로써 이동시의 속도 스케일이 된다.

$$f(t) = \exp\left(-\frac{\theta_e^2}{K_T}\right) \quad (7)$$

로봇의 이동 중에 각도 오차에 따른 속도 제어를 손쉽게 하기 위해서 파라미터 (K_T)를 가지는 가우시안 (Gaussian) 분포 함수 [2] 형태 식 (7)을 식 (6)에 곱해 주었다. 이는 각도 오차가 작을수록 속도가 증가하게 되며, 각도가 오차가 클 경우 속도를 낮추어 각도 오차를 쉽게 제어할수 있도록 해준다.

식 (6)과 (7)를 곱하면 이동 속도 분포가 나오는데, 거리 오차와 각도 오차에 의한 속도 분포를 동시에 만족시킬수 있는 식 (8)과 같은 속도 제어 함수를 사용하였다.

$$v = \left(\left(\frac{2.0}{1.0 + \exp(-3d_e^2/K_D)} - 1.0 \right) \times \exp\left(-\frac{\theta_e^2}{K_T}\right) \right) \quad (8)$$

이렇게 구성되어진 속도 제어 함수는 K_D 와 K_T 를 사용하여 원하는 동작을 구현할수 있으며, K_A 에 의한 다양한 경로를 제어할수 있다. 식 (9) (10)은 DC모터의 최대속도 V_{max} 를 함수에 곱함으로써 실제 로봇제어에 필요한 속도를 스케일하였다.

$$v_L = V_{max} \left(\left(\frac{2.0}{1.0 + \exp(-3d_e^2/K_D)} - 1.0 \right) \times \exp\left(-\frac{\theta_e^2}{K_T}\right) \right) + K_A \theta_e \quad (9)$$

$$v_R = V_{max} \left(\left(\frac{2.0}{1.0 + \exp(-3d_e^2/K_D)} - 1.0 \right) \times \exp\left(-\frac{\theta_e^2}{K_T}\right) \right) - K_A \theta_e \quad (10)$$

이 두식은 로봇의 좌·우 모터의 속도를 나타내는 식이다.

본 논문에서 제안한 속도 함수는 세 값으로 구성된 파라미터 쌍 하나로 한 개의 경로를 제어하는 것이 가능하므로 실험을 통하여 요구되는 경로를 만들어 내는 것이 훨씬 수월하다. 하지만, 여러 가지 비선형적인 환경적 요소와 역학적인 요소들로 인해 실험을 통하여 파라미터 값들을 조절해 갈 수밖에 없으며 변화된 새로운 환경에서는 다른 파라미터 쌍을 찾아내야 한다. 실제 경기에서도 이런 문제들을 접하게 되지만 적절한 움직임에 수렴하는 파라미터 조합 해를 찾는 시간이 오래 걸리고 특히 주변의 해들을 고려하지 못할 경우 해를 구별해 내기가 어렵기 때문에 mGA(messy Genetic Algorithm)을 적용하여 변화된 환경 속에서 최적화된 파라미터 쌍을 가능한 짧은 시간에 탐색하는 알고리즘을 사용하였다 [6].

3. mGA를 이용한 K_D , K_A , K_T 값 탐색

mGA는 적절한 파라미터 쌍을 탐색하기 위해서는 우선 각각의 파라미터 값들을 정수형태의 값들로 코딩해야 한다. 이를 위해서 초기값을 [0 1]사이의 임의의 값들로 구성되어 있다.

초기 개체군(population)은 임의로 생성한 1~30개의 개체들로 구성하였으며, 적합도 한 점에서 출발하여 목표점과의 거리 오차가 3cm (V_{max} 값을 고려한 거리오

차) 이내, 각도 오차 0°의 자세로 안정되게 정지한 상태까지 걸리는 시간을 기준시간(실제 걸리는 시간을 기준)에서 랜 수의 역수를 0에서 1까지의 값으로 스케일링하였다(2).

$$f(\Pi_a, \Pi_s) = \lambda \frac{1}{1 + \Pi_a} + (1 - \lambda) \frac{1}{1 + \Pi_s} \quad (11)$$

일반적으로 mGA(messy Genetic Algorithm)에서는 식 (11)과 같이 최대값을 갖는 적합도 값을 사용하며, 변환된 형태로 적합도 함수와 결합하여 사용하였다(6).

그리고 선택 방법에 있어서는 주어진 환경 속에서 최적 해를 찾는데 실패했다 하더라도 원하는 움직임을 어느 정도 만족시킬 수 있는 대체 해를 보존하기 위해 엘리트 보존을 적용하였으며, 아무리 안정된 해라고 하더라도 역학적으로 복잡한 실세계 구조 속에서 구현된 움직임으로 적합도를 평가받기 때문에, 비전시스템의 프레임 손실, DC 모터의 비선형 특성, 이동 방향에 따른 관성의 변화, 바닥의 굴곡 등에 의해서 적절한 해가 불안정한 결과를 보일 수도 있으므로 선택 방법에 있어서 엘리트 보존 선택을 적용하되 엘리트 개체 수를 2개로 설정하였다. mGA 연산자인 자르기(cut) 확률, 붙이기(splice) 확률은 자르기율(p_c) = 0.4, 붙이기율(p_s) = 0.1로 설정하였다(5).

4. 실험 및 결과

기본적으로 본 실험은 축구로봇의 좌·우 모터 최대속도를 125로 제한하여 식 (12)과 (13)에 의해서 파라미터 K_D , K_T , K_A 를 구하였다.

$$v_L = 125 \left(\frac{2.0}{1.0 + \exp(-3d_c^2/K_D)} - 1.0 \right) \times \exp\left(-\frac{\theta_c^2}{K_T}\right) + K_A \theta_c \quad (12)$$

$$v_R = 125 \left(\frac{2.0}{1.0 + \exp(-3d_c^2/K_D)} - 1.0 \right) \times \exp\left(-\frac{\theta_c^2}{K_T}\right) - K_A \theta_c \quad (13)$$

그림 1은 파라미터 K_D , K_T , K_A 를 구하기 위하여 mGA를 적용하여 진화하면서 얻어진 세대별 최대 적합도를 나타낸 것이다.

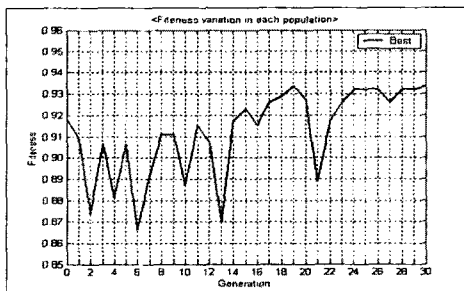


그림 1. 세대별 개체군의 최대 적합도 변화

그림 1을 보면 24세대까지 비교적 낮은 적합도를 가지며 상당히 불안정한 파라미터를 가진 개체들이 엘리트로 선택되어지다 곧 도태되어 버린다. 그러나 24세대 이후에는 최대적합도가 높으면서 최대 적합도 변화가 안정되어 가는 것을 볼 수 있다. 하지만 그림에서 보면 본 논문에서 종료 조건으로 쓴 값에 19세대에서 만족되는

개체가 발생된다. 이때의 값들은 각각 K_D : 191, K_T : 305, K_A : 0.349 이다. 이 경우 로봇의 주행시간은(5,320ms)이고, 적합도는 0.933333이었다.

이를 바탕으로 하여 파라미터 K_D , K_T , K_A 의 값을 각각 달리하여 시뮬레이션한 결과 K_A 의 값이 다른 값에 비해 상대적으로 크면 전체적인 경로가 진동하는 경우를 보인다. K_D , K_T 값이 상대적으로 클 때는 같이 목표점에 가까워지면 속도가 급격히 감속하며, 목표점에 수렴하지 못한다. mGA를 통해 구해진 엘리트 개체를 시뮬레이션한 결과는 그림 2와 같다.

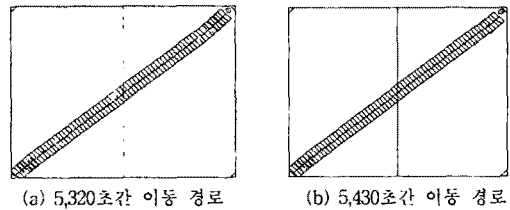


그림 2. 엘리트 개체에 의한 로봇 경로

5. 결 론

이전에 속도 제어 함수에서 사용된 파라미터 값들을 구하는 데는 여러번의 경험적 반복속에서만 구할 수 있었다. 본 논문에서 사용한 방식은 실세계에서 직접적으로 사용할 수 있으며 이전에 로봇축구에 사용했던 값들보다 훨씬 안정적이며 목표점에 빠른 시간내에 수렴함을 볼 수 있다. mGA(messy Genetic Algorithm)는 세대에 따라서 가변하는 엄색체의 길이를 갖는 장점을 가지고 있다. 즉 가변스트럼을 사용하여 더욱 순응적으로 표현이 가능하다. 이를 이용하여 실수형으로 표현되는 로봇축구의 파라미터 값들을 정확히 구할 수 있다. 그러나 변화된 환경속에서 각각의 값들을 구하기 위해서는 경험적 바탕으로 최고값들을 구해야기 때문에 시간적으로 국한되어 있는 로봇축구에 적용하는 것은 과제로 남아있다. 본 논문의 시뮬레이션은 동일한 환경하에 빠른 시간내에 파라미터 값을 찾을 수 있다는 장점을 살려 실제 로봇축구 경기에서 적용이 가능하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김종환 외 8인, 로봇축구공학, 브레인 코리아, 2002
- [2] K.B. Sim, J.Y. Kim, and H.Y. Kim, "Speed Control Strategy of Soccer Robot Using GA", Vol. 11, No. 3, pp. 275-281, 2002
- [3] J.H. Kim, K.C. Kim, Y.J. Kim, and P. Vadakkepat, "Path Planning and Role Selection Mechanism of Soccer Robot", IEER Proc. Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 3215-3221, 1998
- [4] M. Chowdhury and Y. Li, "Messy Genetic Algorithm Based New Learning Method for Structurally Optimized Neurofuzzy Controllers", Proc. IEEE Int. Conf. on Industrial Tech., Dec. 1996.
- [5] K. Deb and D.E. Goldberg, "mGA in C: A Messy Genetic Algorithm in C", IlliGAL Report No. 91008, Sep. 1991
- [6] 주영훈, 이연우, 박진배, "mGA의 혼합된 구조를 사용한 퍼지 모델 동정", 대한전기학회 논문지, Vol. 49D, No. 8, pp. 423-431, 2000, 8.