

유전자 알고리즘을 이용한 축구로봇의 속도 제어 전략

Speed Control Strategy of Soccer Robot using Genetic Algorithms

심귀보 · 김지윤 · 김현영

Kwee-Bo Sim, Jee-Youn Kim, and Hyun-Young Kim

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

본 논문에서는 축구 로봇의 원하는 속도와 이동 패턴을 만들어 내기 위하여 속도 제어에 크게 영향을 미치는 거리 오차와 각도 오차 등의 반영 비율을 나타내는 각종 파라미터가 포함된 속도 제어 함수를 제안하고, 이들 파라미터들을 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 값들을 탐색함으로써 변화된 환경 속에서도 로봇을 목적에 따라 신속하게 이동하게 하는 속도 제어 전략을 제안한다.

Abstract

In this paper, in order to make a desired velocity and moving pattern of soccer robot, we propose the speed control function with several parameters which represent the reflection ratio of distance and angle error etc. These parameter influence on the determining the speed and moving path of soccer robot. And we propose the searching method for these parameters by using genetic algorithms. As a result of finding the optimal parameter, we can move the robot more quickly in accordance with objective under variable environment.

Key Words : 로봇 축구, 속도 제어, 비전 시스템, 유전자 알고리즘

1. 서 론

로봇 축구란 말 그대로 사람이 아닌 로봇이 축구 경기를 하는 것이다. 다개체 시스템인 대표적인 예인 로봇 축구는 MiroSot, NaroSot, RoboSot, Khepera, HoroSot 등 각기 다른 종류가 있다[1]. 이 중 MiroSot 종류의 경우, 기본적으로 3대의 로봇, 비전 시스템, 통신장비, 1대의 주컴퓨터로 이루어진다. 이들 시스템은 시스템을 구성하는 방법에 따라 로봇기반 축구로봇 시스템과 비전기반 로봇축구 시스템으로 나눌 수 있다. 로봇기반 시스템은 카메라를 통해 들어 온 영상신호를 주컴퓨터에서 처리하여 공과 로봇들의 위치 정보만을 무선 송신기로 로봇에 보내고, 로봇은 이 위치정보를 이용해서 자율적으로 움직이는 방식이다. 주컴퓨터의 역할은 로봇들과 공의 위치 정보 획득을 위한 영상처리와 이 처리된 결과를 로봇에게 보내는 간단한 일을 하게 되며, 비전 시스템은 단순히 로봇의 외부 센서로 간주된다. 로봇이 어떤 일을 수행해야 할지는 로봇 스스로가 판단하여야 한다. 이를 위해서는 로봇이 지능적이어야 한다. 이 방식은 자율이동 로봇의 구현, 분산 인공 지능제어, 협동을 위한 개체들간의 통신 등이 요구되며, 현재 한창 연구되고 있는 분야이다. 한편 비전기반 시스템은 로봇의 주요 구성부

가 구동부와 주컴퓨터와의 통신부로 이루어진다. 각 로봇의 역할이나 로봇이 움직여 가야 할 곳 등의 모든 계산이 주컴퓨터에서 처리되고, 이 결과가 무선 송신기를 통해 로봇에 전달되어 로봇이 움직이게 된다. 즉 주컴퓨터가 계산된 로봇들의 왼쪽과 오른쪽 바퀴 속도 정보를 연속적으로 로봇에 보내어 로봇을 움직이게 한다. 이와 같은 시스템의 경우, 로봇의 구조는 간단하지만 로봇 자체에는 센서 등이 내장되어 있지 않아 정확한 제어를 위해서는 고속 영상처리 시스템 및 주컴퓨터의 뛰어난 계산능력, 고속통신 등이 요구된다.

본 논문에서는 후자인 비전기반 시스템을 대상으로 한다. 앞서서도 언급했지만, 로봇축구 시스템은 크게 CCD 카메라로부터 들어오는 영상 신호를 라벨링하고 잡음을 제거하여 각 물체의 좌표를 입력받는 비전처리 부분과 비전으로부터 입력받은 좌표를 이용하여 원하는 목표를 수행하기 위해 신속하고 정확한 동작을 만들어내는 속도제어 부분, 그리고 시시각각 동적으로 변하는 상황을 판단하여 어떤 동작을 취할지를 판단하는 전략 부분으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 로봇의 가장 기본적인 움직임을 만들어 내는 속도 제어 부분에 관하여 논의한다. 제어 부분은 크게 목표를 달성하기 위해 거리오차와 각도 오차에 따라 각각의 바퀴에 독립적인 속도를 전송하여 원하는 움직임을 만들어 내는 속도 제어 부분과 몇 가지 속도 제어 함수를 조합하여 구성되어진 행동 제어 부분으로 구성되어 있으며 이것은 실제 축구 경기에 있어서 드리블(dribble), 킥(kick), 태클(tackle) 등과 같은 개인기에 해당한다. 이때 로봇은 가장 하위 레벨의 움직임을 얼마나 신속하게 이동하면서 정확한 자세를 유지하

접수일자: 2002년 3월 2일

완료일자: 2002년 5월 31일

감사의글: 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구비(과제번호: 2000-2-30300-003-3)지원과 과학기술부의 뇌신경정보학연구사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

느냐 하는 것은 상위 레벨의 모든 움직임에 영향을 주며 게임에 있어서 승패를 좌우하는 열쇠가 된다. 따라서 본 논문에서는 거리 오차와 각도 오차의 반영 비율을 나타내는 각종 파라미터가 포함된 속도 제어 함수를 제안하고 이들 파라미터들을 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 값들을 탐색함으로써 변화된 환경 속에서도 로봇을 목적에 따라 신속하게 이동하게 하는 속도제어 전략을 제안한다.

2. 축구로봇의 속도 제어 전략

2.1 속도 제어 알고리즘

축구 로봇을 원하는 지점까지 이동시키는 알고리즘은 비전으로부터 입력된 각 물체의 좌표와 각도들을 바탕으로 목표지점까지의 거리 오차와 각도 오차를 줄여가도록 각 바퀴의 DC모터 속도를 변화시켜주는 것이다. 공에 근접했을 때의 속도를 로봇의 중심 속도라 하면 이러한 움직임을 바탕으로 공 근처에서의 중심 속도를 크게 해주면 킥 동작이 이루어지며 다음 동작으로 적절한 가속도를 가지고 이동하게 되면 드리블 또한 가능하게 되므로 Move 함수를 잘 설계하는 것은 전체적인 게임에 있어서 공격력의 향상에 결정적인 영향을 미치게 된다. 잘 알려진 가장 기본적인 Move 함수는 다음과 같이 구성된다.

$$v_R = v_C + K_a \theta_e \quad (1)$$

$$v_L = v_C - K_a \theta_e \quad (2)$$

여기서 v_C 는 거리 오차에 따른 로봇의 이동 속도, θ_e 는 각도 오차, K_a 는 각도 오차에 따라 양 바퀴의 속도 차이를 크게 만들어 주는 상수 파라미터로써 각도 오차에 대한 민감도를 각각 나타낸다. 그러나 이러한 방식은 각 상황에 따라 K_a 값을 실험을 통하여 정확히 설정하여야 하며 항상 같은 비율로 각도 오차를 수정하므로 유연한 움직임을 만들어 내는 데 제한이 있게 된다. 특히 거리에 따라 각도 오차에 대한 반응 비율이 달라져야 가·감속을 통한 효율적인 목표점 수렴이 가능하므로 실험으로 거리에 따라 다른 K_a 값을 구하여 사용해야 정교한 움직임을 얻을 수 있게 된다. 이 외에도 벡터장 방법[2], 비 선형 함수의 리미트 사이클(limit cycle)을 이용한 방법[3], 퍼지제어기를 이용하는 방법[1], 강화학습을 이용한 방법[1] 등이 있는데 대부분이 다양한 움직임을 만족시키기 위하여 그만큼 많은 상수들을 오랜 시간동안 실험을 통하여 최적화 시켜야 하므로 변화된 다른 경기장 환경에서 필요한 대체 해를 찾기가 매우 어렵다. 이런 점에 착안하여 본 논문에서는 속도 함수에 거리 오차를 이동 속도에 반영하는 정도를 제어하는 파라미터(D), 각도 오차를 회전 속도에 반영하는 정도를 제어하는 파라미터(K), 거리 오차와 각도 오차를 동시에 고려하여 이동 중에도 오차 각을 쉽게 수정할 수 있도록 속도를 감속시켜주는 정도를 제어하는 파라미터(A)를 사용하여, 이 세 가지 파라미터 값만으로 다양한 속도와 경로 패턴을 만들 수 있도록 하였으며 적절한 D, K, A 세 가지 파라미터 조합을 유전자 알고리즘을 이용하여 탐색함으로써 국소 해를 피하면서 변화된 환경에서도 빠른 대체 파라미터 조합을 찾을 수 있도록 하였다.

2.2 속도 제어 함수의 설계

본 논문에서 사용한 축구로봇의 속도 제어 함수는 크게 두 가지로 나누어진다. 첫 번째는 공격과 방어를 위해 유리한 위치로 신속하게 이동하면서도 정확한 킥과 드리블을 위한 유연한 감속 제어를 목표로 설계된 DecelMove 함수, 공을 놓치지 않으면서도 어느 정도의 방향을 수정할 수 있는 가속 제어를 위해 고안된 AccelMove 함수, 그리고 원하는 반경의 원을 그리면서 회전하도록 설계된 Circle 함수가 있다. 즉 감속 직선 주행, 가속 직선 주행 그리고 곡선 주행의 이 세 가지 이동 함수들로 구성되어 있는데 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 실제 모델 속에서 실험하는데 사용되어질 DecelMove 함수에 대해서 논의한다.

DecelMove 함수는 기본적으로 위치 이동을 위한 함수이다. 이 함수는 거리 오차에 따라 로봇의 이동 속도를 얼마나 크게 해 줄 것인가를 결정하는 D 파라미터와 각도 오차에 따라 양 바퀴에 속도 차를 줌으로써 얼마나 빨리 각도를 수정하게 할 것인가를 결정하는 K 파라미터 그리고 이동 속도 항에 곱해져서 각도 오차에 따라 이동 속도를 줄여주어 이동 중에도 유연하게 각도를 수정하기 위한 A 파라미터로 구성되어 있다. 이 파라미터들을 어떤 값으로 설정하는가에 따라 로봇은 다양한 경로 패턴을 만들 수 있다.

먼저 거리 오차에 따라 속도를 조절하는 항을 살펴보면 식 (3)과 같다.

$$v = 1.0 - \exp\left(-\frac{D_e}{D}\right) \quad (3)$$

식 (3)의 D_e 는 거리 오차를 나타내며, D 는 속도의 감속 곡률을 결정하는 상수로써 이 값이 크면 클수록 속도 곡선은 거리 오차에 따라 더욱 완만한 감속을 하게 된다. v 값은 0에서 1사이의 값으로 정규화 되어 있으므로 실제 적용 시에는 이동 중 요구되는 최고 속도를 곱하여 스케일(scale)하면 된다.

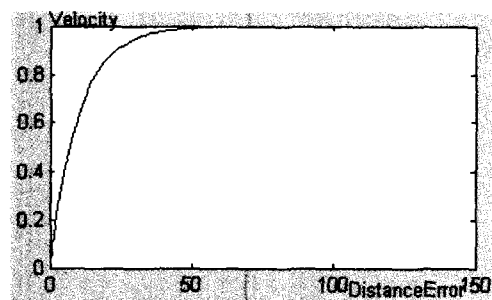


그림 1. 거리오차에 따른 속도 곡선
Fig. 1. Velocity cover with distance error

그림 1에서 알 수 있듯이 지수함수를 이용함으로써 일정 거리오차까지는 최고 속도를 유지 하다가 부드러운 감속을 할 수 있다는 장점이 있으나, 이 함수의 단점은 속도 곡선과 시간에 대한 미분의 관계를 가지는 가속도 곡선과 jerk 곡선을 생각해보면 거리 오차가 0일 때 불연속 점을 만듦으로써 드리블과 같은 정교한 제어를 필요로 하는 동작으로 이어질 때 충격을 주게 되고 이로 인하여 공을 빠뜨리는 경우를 발생시킨다.

이런 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 식 (4)와 그림 2와 같은 가우시안(Gaussian) 분포 함수를 이용하였다.

$$v = 1.0 - \exp\left(-\frac{D_e^2}{D}\right) \quad (4)$$

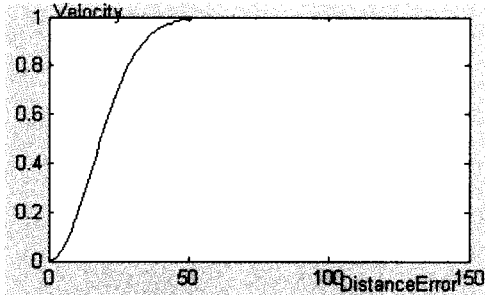


그림 2. Gaussian 분포를 이용한 속도 곡선
Fig. 2. Velocity cover using Gaussian distribution

다음으로 로봇의 이동 중에 각도 오차에 따라 속도를 조절하는 부분을 살펴보면 각도 오차가 작을수록 가능한 최고 속도를 내며 각도 오차가 크면 속도를 낮추어 주어 각도 오차를 쉽게 줄일 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 속도 함수에 식 (5)와 그림 3과 같은 분포를 가지는 함수를 곱해 주었다.

$$f(\theta) = \exp\left(-\frac{\theta_e^2}{A}\right) \quad (5)$$

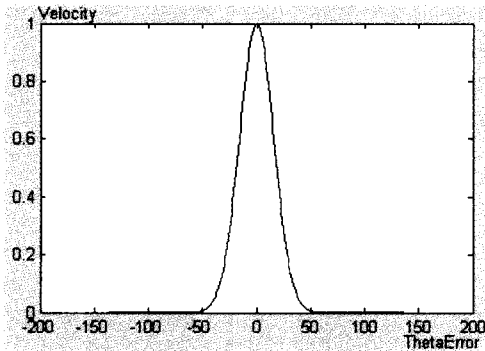


그림 3. 각도 오차에 따른 속도 곡선
Fig. 3. Velocity cover with angular error

그림 3에서 알 수 있듯이 이 식은 각도 오차가 0일 때 최대 값 1이 되고, 각도 오차가 커질수록 0의 값을 가지게 되어 각도에 따라 중심 속도를 감속 시켜주는 역할을 하게 된다. 따라서 식 (4)와 (5)를 곱하면 원하는 이동 속도 분포가 나오는데, 본 논문에서는 그림 2와 그림 3의 두 가지 속도 분포를 동시에 만족시킬 수 있는 식 (6)과 같은 속도 제어 함수를 사용하였으며, 이때 속도 분포는 그림 4와 같다. 그림 4는 실제 로봇 축구경기장에서 생길 수 있는 거리 오차 범위(+150~-150)와 각도 오차 범위(+180° ~ -180°)내에서 전체적인 제어 속도 분포를 나타낸 것이다.

$$v_L = \left(1.0 - e^{-\frac{D_e^2}{D}}\right) \times \left(e^{-\frac{\theta_e^2}{A}}\right) \quad (6)$$

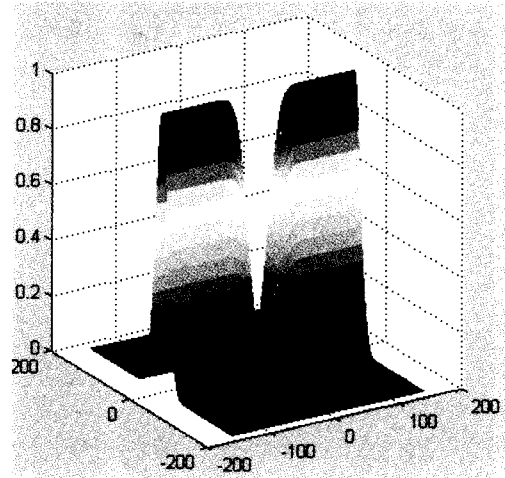


그림 4. 거리와 각도 오차에 따른 속도 분포
Fig. 4. Velocity distribution with distance and angular error

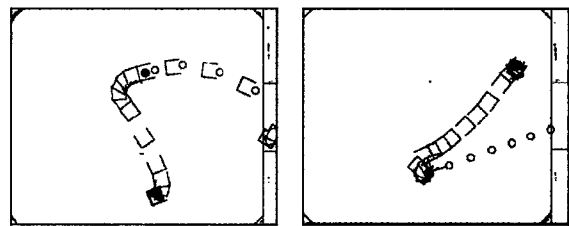
이렇게 구성된 DecelMove 함수에 원하는 동작을 실험하면서 각 상황에 맞는 파라미터 D 와 A , 그리고 두 바퀴의 속도 차를 만들어서 방향을 수정하게 하는 파라미터 K 를 적절하게 조절해 주면 다양한 경로 패턴을 제어할 수 있다. 다음의 두 식은 로봇의 좌·우 모터의 속도를 나타내는 식이다.

$$v_L = V_{\max} \left(1.0 - e^{-\frac{D_e^2}{D}}\right) \times \left(e^{-\frac{\theta_e^2}{A}}\right) + K\theta_e \quad (7)$$

$$v_R = V_{\max} \left(1.0 - e^{-\frac{D_e^2}{D}}\right) \times \left(e^{-\frac{\theta_e^2}{A}}\right) - K\theta_e \quad (8)$$

식에서 V_{\max} 는 좌·우 모터가 낼 수 있는 최대속도이고, D_e 는 거리오차, θ_e 는 각도오차를 각각 나타낸다.

이렇게 설계된 속도 함수를 이용하여 실제 축구로봇의 여러 가지 움직임을 구현해 보았다. 그림 5는 이 속도 함수를 적용하여 드리블하여 킥(dribble kick)하는 모습(그림 5a)과 턴하여 킥(turning kick)하는 모습(그림 5b)이다. 종래의 속도 제어 함수에 비해 개선된 점은 다양한 경로 패턴이 요구되어질 때 각각의 패턴에 대해 한



(a) Dribble and kick (b) Turning and kick

그림 5. 실제 경기장에서 로봇이 드리블과 킥하는 모습
Fig. 5. Dribble and kick in the real field

쌍의 파라미터 값만이 요구되어진다는 것이다. 다시 말하면 위에서 언급한 이전의 속도 함수는 곡선 경로가 요구되어질 때 오랜 실험을 통해 거리 오차에 따라 다른 K 값을 일일이 구해야만 원하는 곡선 경로가 나올 수 있다. 또 다른 경로에 대해서도 오랜 실험 기간을 필요로 한다.

그러나 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, 각도 오차와 거리 오차를 줄여 가는 속도 제어 방식을 이용하므로 여러 가지 비선형적인 환경적 요소와 역학적인 요소들로 인해 실험을 통하여 이 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 국소 해를 구별해 내기가 어려우므로 유전자 알고리즘을 적용하여 변화된 환경 속에서 최적화된 파라미터 쌍을 가능한 짧은 시간에 탐색하는 알고리즘을 도입하였다.

3. 유전자 알고리즘에 의한 최적해 탐색

가장 하위레벨에 속하는 이동 함수는 임의의 지점까지 가장 짧은 시간 내에 도달하면서도 다음 명령을 위해 안정된 자세를 유지하여야 하므로 2장에서 유도한 속도 함수를 이용하여 로봇을 지정된 두 좌표로 이동을 시키면서 목표지점에 도달한 후 다음 행동을 하기 위해 정해진 각도에 맞추어 정지하기까지의 시간을 제어 적합도의 기준으로 이용하였다. 처음에는 원하는 경로와 이동경로 사이의 거리 편차까지 고려하였으나 위의 두 가지 조건만으로도 정확한 직선 경로와 안정된 파라미터 쌍을 찾을 수 있었다. 우선 각 파라미터 값에 따른 몇 가지 로봇의 이동 패턴을 보면 그림 6과 같다.

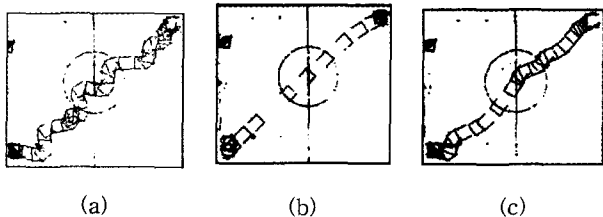


그림 6. 파라미터 D, K, A 값에 따른 로봇의 경로패턴
Fig. 6. Moving pattern of robot with D, K, A value

그림 6(a)는 로봇이 8,143ms 동안 수행한 경로패턴으로 D 파라미터 값보다 K 파라미터 값이 상대적으로 너무 커서 전체적인 경로가 진동하는 경우를 보이고 있으며, 그림 6(b)는 로봇이 4,251ms 동안 수행한 경로패턴으로 D 값이 너무 커서 목표점에 바로 수렴하지 못하고 지나치는 경우이며, 그림 6(c)는 로봇이 5,954ms 동안 수행한 경로패턴으로 A 값이 너무 커서 진행 중에 조금만 오차 각이 커져도 감속을 하는 경향을 보이며 D 값에 비해 K 값이 상대적으로 너무 작아서 진동하는 것을 볼 수 있다. 이 실험으로 알 수 있는 바와 같이 D, K, A 파라미

터는 로봇의 경로를 결정하는데 있어서 측정된 오차 값이 각 바뀌 속도에 얼마나 영향을 줄지를 결정해주는 파라미터임을 알 수 있다. 이처럼 원하는 경로의 패턴을 주어진 환경 속에서 가장 잘 만들어 내는 파라미터 쌍을 탐색하기 위해 다음과 같이 유전자 알고리즘을 설계하였다^[1].

3.1 유전자 알고리즘의 설계

유전자 알고리즘으로 적절한 파라미터 쌍을 탐색하기 위해서는 우선 각각의 파라미터 값들을 2진 비트로 코딩(coding)해야 하는데 이때 최적 해에 성공적으로 수렴하기 위해서는 파라미터의 영역과 구간 간격을 잘 설정해야 한다. 본 논문에서는 이전의 실험에서 얻은 경험치를 바탕으로 각 파라미터의 정의역을 다음과 같이 정했다.

- (1) D 파라미터 : [0 1,600]의 범위를 32구간으로 나누어 코딩(5 bits로 표현 가능, 각 구간 간격 : 50)
- (2) A 파라미터 : [35 515]의 범위를 32구간으로 나누어 코딩(5 bits로 표현 가능, 각 구간 간격 : 15)
- (3) K 파라미터 : [0.05 0.37]의 범위를 32구간으로 나누어 코딩(5 bits로 표현 가능, 각 구간 간격 : 0.01)

이렇게 하면, D, K, A 를 총 15 bits의 이진 스트링으로 염색체(chromosome)를 하나의 개체(individual)로 표현이 가능하다.

예를 들어 어떤 개체가 010110011010010의 염색체를 가진다면 표현형(phenotype)으로 디코딩(decoding)한 경우

- (a) $D = 0+50 \times (01011)_2 = 50 \times 11 = 550$
- (b) $A = 35+15 \times (00110)_2 = 35+15 \times 6 = 125$
- (c) $K = 0.05+0.01 \times (10010)_2 = 0.05+0.01 \times 18 = 0.23$ 이다.

초기 개체군(population)은 임의(random)로 생성한 10~20개의 개체들로 구성하였으며, 적합도(fitness)는 한 점에서 출발하여 목표점과의 거리 오차가 3cm 이내, 각도 오차 0° 의 자세로 안정되게 정지한 상태까지 걸리는 시간을 기준시간(15초)에서 뺀 수의 역수를 0에서 1까지의 값으로 스케일링하였다.

또 실제로 로봇을 움직이다 보면 같은 파라미터 쌍을 가지고도 다른 경로 패턴을 보이는 파라미터 쌍이 존재하는데 이와 같은 불안정한 해를 피하기 위하여 종료 조건으로 각 세대의 개체군 중 최고의 적합도를 가지는 개체가 0.79이상이고 2세대 이상 이 상태를 유지하면서 두 세대의 적합도 편차가 0.02이내인 개체가 나타나면 이를 적합한 개체로 판정하여 종료하도록 구성하였다.

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.

유전 연산자인 교배(crossover)와 돌연변이(mutation)율은 교배율(p_c) = 0.6, 돌연 변이율(p_m) = 0.033으로 설정하였으며, 교차 방법은 적절한 파라미터 값들임에도 불구하고 파라미터의 쌍이 적절하지 못할 경우가 많으

로 각 파라미터 세그먼트(segment)를 기준으로 하여 2점 교차를 하였다.

4. 실험 결과

본 실험에서는 3장에서 설계한 유전자 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 첫 번째로 MiroSot 로봇축구 경기의 정식 경기장에서 실험한 결과를 보이고, 두 번째로 굴곡이 심하고 바닥의 마찰력이 큰 자체 제작한 경기장에서 실험한 결과를 보임으로써 변화된 환경에서도 적절한 대체 파라미터 쌍이 구해짐을 입증한다.

4.1 정식 경기장에서의 실험

그림 7은 본 실험에서 사용한 비전기반 로봇축구 시스템의 구성도이다. 이 시스템에서의 로봇은 그림 8과 같이 모터 구동부, 간단한 제어를 할 수 있는 마이크로 컨트롤러부, 주컴퓨터로부터의 명령을 수신하는 통신부, 그리고 전원부로 구성되어 있고, 로봇축구 수행에 필요한 모든 판단(지능)과 연산은 주컴퓨터에서 구현되고 처리되어 로봇에게 전달하는 방법이다. 이 방법은 로봇 자체에는 센서가 내장되어 있지 않으므로 정확한 제어를 위해서는 주컴퓨터의 계산능력이 뛰어나야 한다. 이러한 시스템은 전형적인 중앙집중 시스템의 방식이라고 할 수 있으므로 중앙 집중식의 장단점을 그대로 가지고 있다.

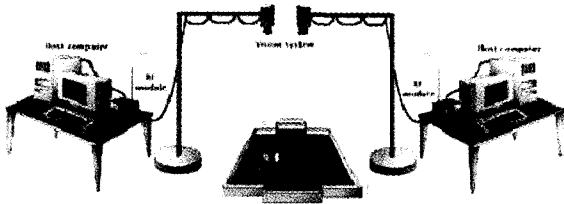


그림 7. 비전기반 로봇축구 시스템
Fig. 7. Vision based robot soccer system

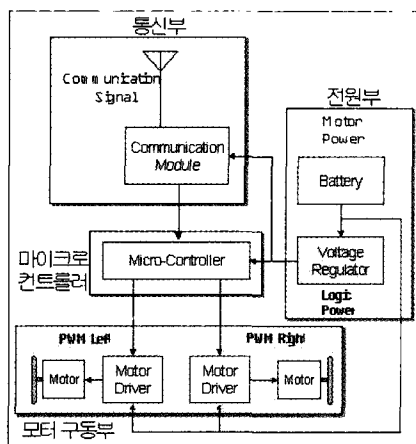


그림 8. 비전기반 시스템에서의 축구로봇의 구성도
Fig. 8. Soccer robot in the vision based system

본 실험에서 사용한 로봇은 (주)유진로보틱스에서 시판하는 축구로봇(모델명 : YSR-A)을 사용하였다. 실제 경기에서 축구로봇의 좌·우 모터 속도는 (7)과 (8)식으

로 주어지고, 상황에 맞도록 좌·우 모터의 속도를 제어 하면서 로봇을 움직이게 하거나 공을 드리블하게 된다. YSR-A 축구로봇의 모터 최대속도가 좌·우 모두 125로 되어있기 때문에 이들 식에 대입하면 다음과 같다.

$$v_L = 125 \left(1.0 - e^{-\frac{D}{D}}\right) \times \left(e^{-\frac{\theta_e}{A}}\right) + K\theta_e$$

$$v_R = 125 \left(1.0 - e^{-\frac{D}{D}}\right) \times \left(e^{-\frac{\theta_e}{A}}\right) - K\theta_e$$

다음의 표 3은 파라미터 D, K, A 를 구하기 위하여 3장의 유전자 알고리즘을 적용하여 진화하면서 얻어진 세대별 평균 적합도와 최대 적합도를 나타낸 것이고, 이를 그래프로 나타내면 그림 9와 같다.

그림 9의 최대 적합도 변화를 보면 12세대까지는 비교적 적합도는 높으나 상당히 불안정한 파라미터 조합을 가진 개체들이 엘리트로 선택되다가 곧 도태되어 버리고, 종료 조건을 만족시키는 해에 수렴하는 세대로 갈수록 최대 적합도 변화가 안정되어 가는 것을 볼 수 있다. 종료 조건을 만족시킨 최적 해에 해당하는 파라미터를 살펴보면 13세대에서 종료 조건을 만족시키는 개체가 발생되었고, 이때 얻어진 파라미터 D, K, A 는 각각 $D : 650, A : 395, K : 0.20$ 이다. 이 경우 로봇의 주행시간은 2,721ms이고, 적합도는 0.814133이었다. 뿐만 아니라 이후에도 실험을 계속하여 추이를 지켜본 결과 이때 나타난 엘리트 개체가 7세대 동안 최고의 적합도를 유지하고 있어 불안정한 실세계 모델에서의 실험임에도 불구하고 상당히 안정되어 있으면서도 높은 적합도를 가진 파라미터 해가 탐색되었음을 알 수 있다.

표 1. 각 세대별 개체군의 평균 적합도와 최대 적합도
Table 1. Average and maximum fitness value of population in each generation

세대 수	평균적합도	최대적합도	세대 수	평균적합도	최대적합도
0	0.594800	0.705133	10	0.613007	0.748467
1	0.656333	0.784133	11	0.653913	0.751733
2	0.583767	0.749867	12	0.713847	0.800733
3	0.636067	0.785133	13	0.732587	0.818533
4	0.554167	0.727533	14	0.717113	0.814133
5	0.581687	0.795333	15	0.711960	0.816600
6	0.606440	0.760800	16	0.710513	0.795133
7	0.591880	0.717467	17	0.700140	0.823067
8	0.659660	0.761067	18	0.694287	0.809733
9	0.597473	0.762867	19	0.702567	0.818600

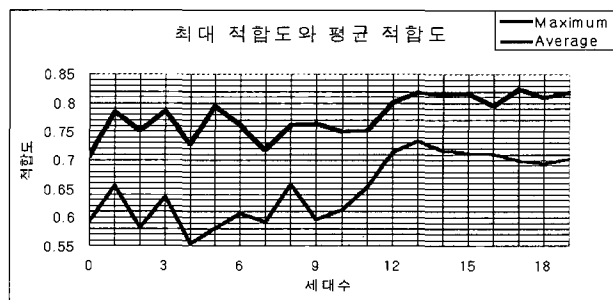


그림 9. 각 세대별 개체군의 적합도 변화
Fig. 9. Fitness variation in each population

다음의 그림 10은 진화가 완료된 엘리트 개체에 의해서 만들어진 D, K, A 파라미터에 의해서 수행한 로봇의 이동 패턴을 나타낸 것이다.

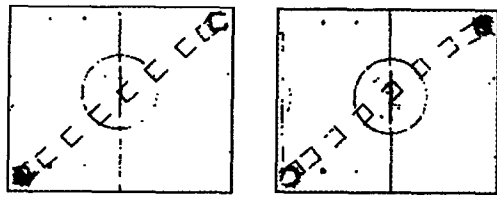


그림 10. 엘리트 개체에 의한 로봇의 이동 패턴
Fig. 10. Moving pattern of robot with elite individual

4.2 자체 제작한 경기장에서의 실험

변화된 경기장에서도 제안한 방식의 유효성을 입증하기 위해서 연구실에서 자체 제작한 경기장에서 실험을 반복하였다. 이 실험에서는 개체 수가 20개, K 값의 분해능을 [0.05 0.298]로 세분화한 것 이외는 앞의 실험과 모든 조건이 동일하다.

다음의 표 2는 파라미터 D, K, A 를 구하기 위하여 유전자 알고리즘을 적용하여 진화하면서 얻어진 세대별 평균 적합도와 최대 적합도를 나타낸 것이고, 이를 그래프로 나타낸 것이 그림 11이다.

표 2. 각 세대별 개체군의 평균 적합도와 최대 적합도
Table 2. Average and maximum fitness value of population in each generation

세대수	평균적합도	최대적합도	세대수	평균적합도	최대적합도
0	0.628927	0.749533	9	0.641227	0.762933
1	0.605217	0.772000	10	0.656140	0.793200
2	0.622677	0.773000	11	0.677407	0.750667
3	0.627197	0.751800	12	0.652483	0.784600
4	0.645927	0.749667	13	0.688110	0.806667
5	0.649723	0.770800	14	0.671943	0.807533
6	0.613267	0.786533	15	0.670980	0.807867
7	0.659983	0.807467	16	0.695043	0.807600
8	0.656350	0.794667	17	0.701823	0.806667

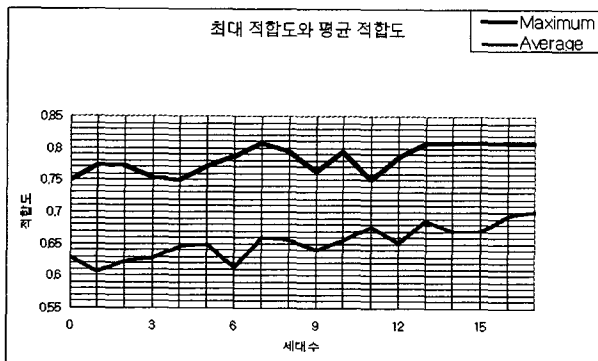


그림 11. 각 세대별 개체군의 적합도 변화
Fig. 11. Fitness variation in each population

그림 11에서도 알 수 있듯이 14세대에서 종료 조건을 만족시키는 개체가 발생하였고, 이때 얻어진 파라미터 D, K, A 는 각각 $D: 650, A: 410, K: 0.12$ 이다. 이 경우 로봇의 주행시간은 2,887ms이고 적합도는 0.807533이었다.

이 두 실험의 파라미터 값과 주행 시간 그리고 적합도와 주행 경로를 비교해 볼 때 본 논문에서 제안한 방법이 유효하다는 것을 알 수 있고, 실제 경기에서 적용 가능한 최적의 이동 패턴을 만들어 내는 준 최적해라고 판단 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서 제안한 방식을 실제 축구로봇으로 수 차례 실험해 본 결과 이전 로봇 축구대회에 참가 할 때 필자가 직접 파라미터 값들을 구했던 시간들에 비해 훨씬 짧은 시간에 파라미터 값들을 구할 수 있었으며 그 당시 구했던 파라미터들의 대부분이 국소해였음을 알 수 있었다. 특히 실험에서 찾은 파라미터 값들은 이전 로봇 축구대회에서 적용했던 파라미터 값들보다 훨씬 안정되어 있으면서도 더욱 빠른 시간에 목표점에 수렴함을 보여주었고, 모든 실험이 20세대 이전에 최적화된 해를 탐색해냄으로써 실제 경기에서 게임 시작 전에 주어지는 세팅 시간 내에 대체 해를 찾아 낼 수 있으므로 실제 로봇축구 경기에서의 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] 김종환, 로봇축구시스템, 대영사, 2000. 1.
- [2] 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.
- [3] Hassan K. Khalil, Nonlinear systems, Maxwell Macmillan International, 1992.
- [4] 심귀보, 인공생명의 방법론, 드림미디어, 2000. 10.
- [5] 임영도 이상부, 퍼지·신경망·유전 진화, 인솔미디어, 1999. 1.
- [6] 박성수 박혜영, C++로 구현한 유전자 알고리즘, 한울출판사, 2001. 1.

저 자 소 개



심귀보(Kwee-Bo Sim)

1984년 : 중앙대학교 전자공학과 공학사
1986년 : 동 대학원 전자공학과 공학석사
1990년 : The University of Tokyo
전자공학과 공학박사
2000년~현재 : 한국퍼지 및 지능시스템 학회 편집이사 및 논문지 편집 위원장

2001년~현재 : 대한전기학회 제어및시스템부문회 편집위원 및 학술이사

2002년~현재 : 제어자동화시스템공학회 이사
1991년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수

관심분야 : 인공지능, 진화연산, 지능로봇시스템, 뉴로-퍼지
및 소프트 컴퓨팅, 자율분산시스템, 로봇비전, 진
화하드웨어, 인공지능역계 등

Phone : +82-2-820-5319
Fax : +82-2-817-0553
E-mail : kbsim@cau.ac.kr



김지윤(Jee-Youn Kim)

2002년 : 중앙대학교 전자전기공학부
공학사

2002년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부
석사과정

관심분야 : 인공지능, 진화연산, 다개체
시스템, 로봇축구 등

Phone : +82-2-820-5319
Fax : +82-2-817-0553
E-mail : Jonathan@jupiter.cie.cau.ac.kr



김현영(Hyun-Young Kim)

2002년 : 중앙대학교 전자전기공학부
공학사

2002년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부
석사과정

관심분야 : 지능시스템, 지능로봇, 진화연산,
신경회로망

Phone : +82-2-820-5319
Fax : +82-2-817-0553
E-mail : brujita@jupiter.cie.cau.ac.kr