

로봇축구에서의 칼만필터를 이용한 공의 경로 추정

이진희*, 박태현*, 강근택**, 이원창**

*부경대학교 대학원 전자공학과

**부경대학교 전자·정보통신공학부

Prediction of Ball Trajectory in Robot Soccer Using Kalman Filter

Jinhee Lee*, Taehyun Park*, Geuntaek Kang**, Wonchang Lee**

*Dept. of Electronic Eng., Grad. School, Pukyong National University

**Faculty of Electronic Eng. Pukyong National University

Abstract Robot soccer is a challenging research area in which multiple robots collaborate in adversarial environment to achieve specific objectives. We designed and built the robotic agents for robot soccer, especially MIROSOT. We have been developing the appropriate vision algorithm, algorithm for ball tracking and prediction, algorithms for collaboration between the robots in an uncertain dynamic environment. In this work we focus on the development of ball tracking and prediction algorithm using Kalman filter. Robustness and feasibility of the proposed algorithm is demonstrated by simulation.

1. 서 론

로봇 축구(MIROSOT)(1)는 다 개체 시스템 적용의 좋은 사례이다. 로봇 축구는 다 개체 협력 시스템으로서 최근에 소개되어졌으며, 시뮬레이션에만 의존하던 알고리즘들을 실제로 시스템에 적용함으로써 우수한 알고리즘을 평가할 수 있는 환경을 제공하고 있다. 로봇이 상대편과 대치한 환경에서 협력을 통하여 더 나은 결과를 얻을 수 있도록 하기 위한 다개체 제어시스템이 필요하며 또한 승리를 하기 위해서는 하드웨어적인 측면과 전략적인 측면 모두를 고려하여야 한다. 로봇 축구에서는 실시간으로 움직이는 공과 로봇의 위치 및 방위 정보를 계산하기 위해서 영상처리 시스템이 필요하다. 또한 영상 처리를 바탕으로 보다 빠른 로봇의 행동, 정확한 제어와 로봇간 상호 협력이 요구된다.

본 논문에서는 로봇 축구 시스템에서 로봇의 행동의 기준이 되는 공의 위치를 보다 정확하고 신속하게 추정 및 예측하기 위한 알고리즘을 제시한다. 영상 처리 기반의 다개체 협력 시스템에서의 문제점을 해결하기 위해 칼만 필터를 제시하고 있으며, 적용하는 과정을 서술하고 있다. 또한 위치 추정과 예측 방법을 평가하기 위한 모의실험 결과를 통해 잡음 등에 강인함을 보여주고 있다.

2. 본 론

2.1 전체 시스템

축구 로봇시스템은 전체 시스템을 총괄하는 호스트 컴퓨터(Host Computer), 호스트의 명령을 수행하는 로봇, 카메라에서 받은 데이터를 처리를 하는 영상처리 시스템, 호스트 컴퓨터와 로봇간의 통신을 위한 통신 시스템으로 구성된다(2). 이러한 방식을 적용한 시스템은 로봇의 기본적인 동작을 제외한 나머지는 모두 호스트 컴퓨터에서 처리하며, 카메라에서 받은 이미지 데이터를 분석하여 물체에 대한 위치와 방향에 대한 정보를 바탕으로 다음 명령을 수행한다. 축구 로봇시스템은 이미지 데이터를 검출하는 방식에 따라 카메라를 유선으로 호스트 컴퓨터에 연결하는 방식과 무선으로 카메라를 로봇에 장착하는 방식이 있다. 그러나 용량이 큰 이미지 데이터를 무선으로 전송해야 하는 문제점과 로봇의 크기 때문에 대부분 전자의 방식을 채택하고 있다. 로봇축구 시스템에서는 공과 로봇의 위치 및 방위 정보를 영상정보를 통해서만 얻을 수 있기 때문에, 카메라에서 입력된 영상으로부터 우리가 추적하고자 하는 물체의 위치 정보를 획득하고 처리하는데 소모되는 시간과 측정 잡음에 의해 오차가 발생한다. 이러한 오차에 의해 호스트 컴퓨터에서 로봇에게 명령을 전달하는 순간의 대상물체에 대한 위치정보와 로봇이 그 명령을 수행할 때의 대상 물체의 위치정보가 불일치하게 된다. 결국, 로봇의 자세 제어, 경로 설정, 대상 물체를 추적하는데 있어서 영상 정보에만 의존하는 경우 영상처리의 오차 때문에 불안정 할 수 있으며, 로봇의 동작 속도에도 영향을 미칠 수 있다. 결국, 계산상의 처리시간과 기타 잡음 등의 데이터가 존재하는 경우에 있어서도 최적의 볼의 위치를 확정하기 위한 메커니즘이 필요하다. 이 메커니즘으로 칼만 필터(3)(4)를 사용한다.

2.2 경로 추적과 경로 예측

축구 로봇과 같은 다 개체 협력 시스템은 경기장에서 대상 물체를 감지 할 수 있는 능력이 부족하다. 이를 보완하기 위해서 로봇은 실제 축구 선수와 같이 공과 상대편 로봇의 미래의 위치를 예측할 수 있는 능력이 필요하다. 그러나 공의 위치를 예측하고 감지하는데 있어서는 잡음이 존재한다. 경로 예측에 있어 이러한 문제점을 해결하기 위해 잡음에 강하며, 시스템의 모델

이 정확하게 알려지지 않았을 때에도 시스템 상태를 정밀하게 측정할 수 있는 Kalman Filter(KF)를 사용하였다[4]. KF는 선형시스템을 위한 재환적인 측정기(recursive estimator)이며, 이것은 업데이트(update)와 프로파게이트(propagate)라는 두 단계의 반복적인 과정을 포함하고 있다. 그리고 현재 그 시스템 상태의 최상의 측정치와 오차 편차는 각각의 반복 과정에서 계산되어 진다. 업데이트 단계동안 현재의 관측치는 현재의 측정치를 재정의 하고 그 편차를 다시 계산한다. 프로파게이트 단계동안에는 그 시스템의 방정식을 사용하여 다음 단계에서의 시스템의 상태와 편차를 계산한다. 그 다음부터는 업데이트와 프로파게이트 과정을 반복해서 되풀이한다. 다음은 그 관계식이다 [4].

$$\hat{x}_k(-) = \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1}(+)$$

$$P_k(-) = \Phi_{k-1} P_{k-1}(+) \Phi_{k-1}^T + Q_{k-1}$$

$$\hat{x}_k(+) = \hat{x}_k(-) + \bar{K}_k [z_k - H_k \hat{x}_k(-)]$$

$$P_k(+) = [I - \bar{K}_k H_k] P_k(-)$$

$$\bar{K}_k = P_k(-) H_k^T [H_k P_k(-) H_k^T + R_k]^{-1}$$

공의 동적 특성 모델과 측정 모델은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \dot{x}_k \\ \dot{y}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} + \dot{x}_{k-1} \cdot \Delta t \\ y_{k-1} + \dot{y}_{k-1} \cdot \Delta t \\ \dot{x}_{k-1} \\ \dot{y}_{k-1} \end{bmatrix} + w_{k-1}$$

$$z_k = H_k x_k + v_k$$

x, y 는 공의 위치, \dot{x}, \dot{y} 는 x, y 방향의 속도이다. w_k 는 시스템 모델 잡음, v_k 는 측정 잡음이다. 위의 방정식은 간단한 공의 뉴턴 동력 방정식이며, Δt 는 샘플링 타임의 간격을 나타내고 있다. 또한, 예측 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_{k+n} = x_k + \dot{x}_k \cdot \Delta t$$

$$y_{k+n} = y_k + \dot{y}_k \cdot \Delta t$$

실제 경기에서 공과 로봇은 경기 시작과 동시에 항상 움직인다. 로봇의 행동은 공과 상대 로봇의 위치와 방위에 따라 순간적으로 변하게 되며, 공은 대부분 정지하기 전에 로봇에 의해 방위와 속도가 변하게 된다. 공이 정지할 수 있는 요인은 로봇 축구 경기장과의 마찰력 성분과 두 로봇이 공을 서로 감싸고 있을 때이다. 이러한 관점에서 공의 방정식과 예측 방정식은 적용 가능하며 보다 간단하고 계산상에서도 이득을 보장한다.

2.3 모의 실험 및 결과

실험 과정에서 관심의 대상이 공의 위치 추정이므로 공은 등속 운동으로 가정하였다. 그림 2는 측정 잡음만이 존재할 경우의 칼만 필터에 의한 공의 위치 추정이다. 샘플링 시간은 30msec이고 2초 동안의 위치 추정이다. 그림 3은 측정 잡음과 시스템 잡음이 모두 존재할 경우의 칼만 필터에 의한 공의 위치 추정이다. 샘플링 시간은 30msec이고 2초 동안의 위치 추정이다. 그림 4는 10초 동안의 측정 잡음만이 존재할 경우의 칼만 필터에 의한 공의 위치 추정이다. 샘플링 시간은 30msec이다. 그림 5는 10초 동안의 측정 잡음과 시스템 잡음이 모두 존재할 경우의 공의 위치 추정이다. 샘플링 시간은 30msec이다. 그림 6은 그림 5와 같은 환경에서의 x, y 각각의 오차를 나타내고 있다.

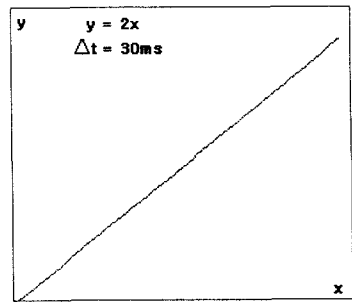


그림 1. 공의 실험 입력 궤적

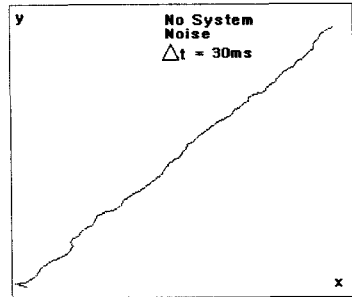


그림 2. 측정 잡음이 있는 경우 칼만 필터를 이용한 위치 추정

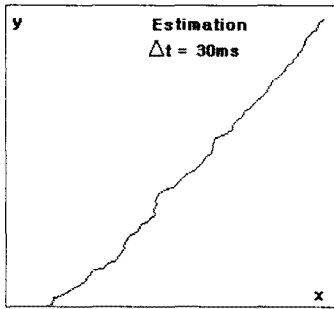


그림 3. 측정잡음, 시스템 모델 잡음이 있는 경우 칼만 필터에 의한 위치 추정

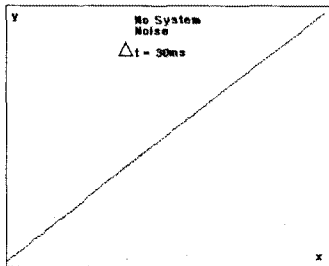


그림 4. 측정 잡음이 있을 경우 칼만 필터에 의한 위치 추정

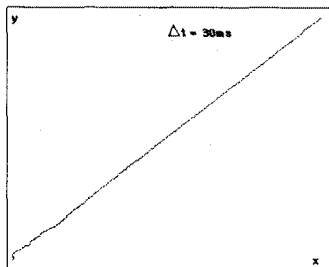


그림 5. 측정 잡음 및 시스템 모델 잡음이 있을 경우 칼만 필터를 이용한 위치 추정

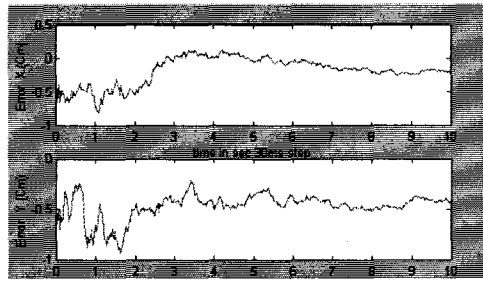


그림 7. (그림 1)과 (그림 5)에 대한 x, y 오차

론

로봇 축구 환경에서 공의 위치를 보다 신뢰성 있게 확정하기 위해 칼만 필터를 적용하였다. 시뮬레이션 결과 x, y 각각의 오차는 약 5mm 이내이다. 시스템 잡음과 측정상의 잡음이 존재한다고 하더라도 목표를 추정함에 있어서의 강인함을 확인할 수 있다. 칼만 필터에 의한 추정 및 예측은 공의 추정 및 예측뿐만 아니라 공을 획득한 로봇의 상대 방어 로봇에 대한 드리블 경로 및 슈팅 위치 예측에 적용할 수 있으며, 골키퍼의 방어능력을 향상시킬 수 있다.

(참고 문헌)

- [1] J. H. Kim, A Booklet on 'MIROSOT'96 (Micro-Robot World Cup Soccer Tournament), Published by MIROSOT Organizing Committee, April 1996.
- [2] J. H. Kim, H. S. Shim, H. S. Kim, M. J. Jung, L. H. Choi and J. O. Kim, "A Cooperative Multi-Agent System and Its Real Time Application to Robot Soccer," *Proc. of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Albuquerque, New Mexico, pp638-643, April 1997.
- [3] Kwun Han and Manuela Veloso, "Physical model based multi-objects tracking and prediction in robotsoccer," *Working Note of the AAAI 1997 Fall Symposium*, AAAI, MIT Press, 1997.
- [4] Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews, KALMAN FILTERING, Prentice Hall, 1993.

3. 결