

스테레오 카메라를 이용한 자율 탁구 로봇 매니퓰레이터 설계

서성원, 최권석, 최도현, 이 강
한동대학교 전산전자공학부
e-mail : yk@handong.edu

Design of an Autonomous Table Tennis Robot Manipulator Using Stereo Camera

Seong-won Seo, Gwon-Seok Choe, Do-Hyeon Choi, Kang Yi
School of Computer Science and Electrical Engineering, Handong Global
University

요 약

본 논문은 스테레오 카메라를 이용하여 날아오는 탁구공을 인지하고 자율적으로 타격하는 로봇 팔 형태의 탁구로봇 시스템 구현을 목표로 한다. 스테레오 카메라로 입력받은 영상의 처리를 통해 탁구공을 3차원 좌표로 표현하고, 이를 슬라이더와 로봇 팔에 전달하면 로봇과 슬라이더가 해당 위치로 이동하게 된다. 실험 결과, 탁구 로봇이 탁구공을 80%의 정확도로 타격함을 확인하였다.

1. 서론

이번 논문에서는 2018년 8월에 개최된 GIST 창의융합 경진대회 탁구로봇 track 출전을 위해서 설계한 로봇 제어 시스템 설계에 관해 설명한다. 이 시스템의 설계 목표는 탁구공 서브 머신에서부터 날아온 공에 자율적으로 반응하여 공을 쳐서 탁구대의 반대편 구역으로 보내는 미션을 수행할 수 있는 자율 작동 시스템을 설계하는 것이다. 이 미션을 수행하기 위한 시스템은 영상처리 모듈, 로봇 팔, 그리고 로봇 팔 운반 하드웨어로 구성되어 있으며 각 모듈의 설계 과정과 각 모듈 간의 통합 과정은 후술할 내용과 같다.

2. 영상처리

2.1 탁구공 인식

탁구로봇을 구동시키기 위해서는 카메라를 통해 탁구공의 움직임을 인지하고 이를 기반으로 탁구공의 운동 방향을 예측하는 것이 필요하다.

탁구공 인식 부분에서는 탁구공이 주황색이라는 특성을 이용하여 HSV 색공간에서 특정 범위에 대해 데이터를 이진화한다. 다음으로 이진화 데이터에서 윤곽선을 추출하고 윤곽선으로 둘러싼 다각형의 무게중심을 탁구공의 중심 좌표로 표시하였다.

이 때, 시스템 구현에 사용한 ZED Camera는 스테레오 카메라로서 입력 받아온 두 영상의 차이를 통해 영상 내 물체의 깊이 값을 도출한다.



그림 1. 스테레오 카메라로 받아온 두 영상

광각에 따른 왜곡현상을 완화하기 위해 영상에 대한 calibration을 진행하였으며, 빛 번짐 현상으로 인한 depth 측정 오류는 카메라에 대한 노출값을 조절해 완화하였다.



그림 2. 탁구대와 각 축에 대한 표시

탁구공 인식부분을 통해 탁구공의 좌표는 탁구대의 중심을 원점으로 두었을 때, 실제 mm단위로 표시된다. 아래의 그림은 시간에 따른 탁구공의 높이를 그래프로 표현한 것

이다.

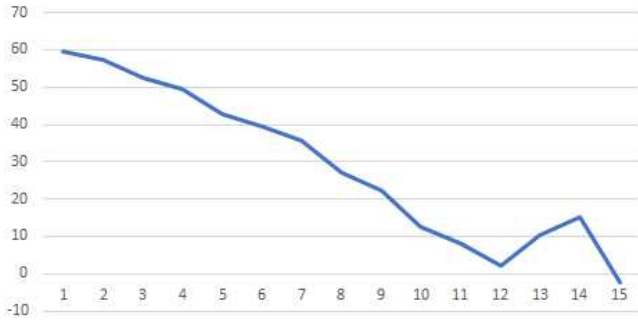


그림 3. 시간에 따른 탁구공의 높이

2.2 탁구공 운동 예측

탁구공은 매우 빠른 속도로 이동하기 때문에, 이를 실시간좌표로 모터에 전송하여 로봇을 구동하는 데에는 무리가 있다. 따라서 측정한 탁구공의 일부 좌표들을 이용하여 운동방정식을 만드는 것이 필요하다.

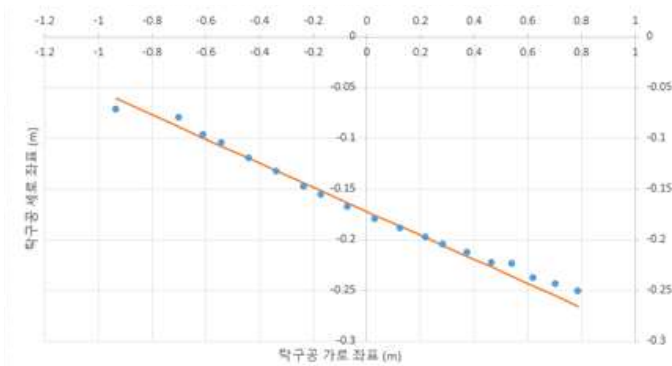


그림 4. 탁구공 좌표를 이용한 운동 방정식

XY 방향의 경우 최소자승법을 이용하여 데이터들 간의 오차를 최소화 하는 직선의 방정식을 구했으며, 탁구공의 높이(Z)의 경우 첫 번째 프레임과 두 번째 프레임에서 속도백터를 구하고, 이를 포물선 운동을 기술하는 역학공식에 대입하여 탁구공 높이 운동 방정식을 구했다.

3. 로봇 팔 제어

3.1 로봇 팔 설계

로봇 팔을 설계할 때 Trossen Robotics사의 PhantomX Pincher robot의 프레임에 활용하였다. 이 로봇은 원래 Robotis사의 AX-12A 모터 6개로 구성되어 있는 매니퓰레이터이나 편의상 말단부의 모터 하나를 제거하여 5축 로봇으로 바꿨고 AX-12A 보다 토크가 강한 AX-18A 모터를 이용해 수행해야 할 미션에 적합하도록 하였다. 또한 부하가 많이 걸리는 팔꿈치 부분의 AX-18A 모터는 토크가 더 강한 XM-430-W210-T 모터로 교체하였다. Robotis사에서 제공하는 모터 간 통신은 TTL 시리얼 통신 기반으로, 버전 1과 2가 있는데 AX계열의 모터는 버전 1을, XM계열 모터는 버전 2를 사용한다. 통신 프로토콜의 차이를 극복하여 사용하기 위해서 Roboplus 프로그램

를 이용해 통신 프로토콜과 baudrate 조정 작업을 수행하였다.

3.2 LABVIEW를 이용한 로봇 팔 구동

LABVIEW를 이용한 로봇 팔 구동 프로그램을 구현하였다. 먼저 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 탁구대 위에서 x, y, z축의 공간을 적용한다. 탁구공의 도착 지점을 (x_h , y_h , z_h)로 예측하였을 때, $-76.25\text{cm} < y_h < 76.25\text{cm}$ 이다. y_h 가 음수일 경우(영역 1)와 y_h 가 양수인 경우(영역 2)에 따라 로봇이 다른 동작을 수행하도록 한다. 다음 그림 5는 위에서 설명한 탁구공 운동과 도달 영역, 그리고 탁구로봇을 중심으로 한 x축과 y축에 대한 설명이다.

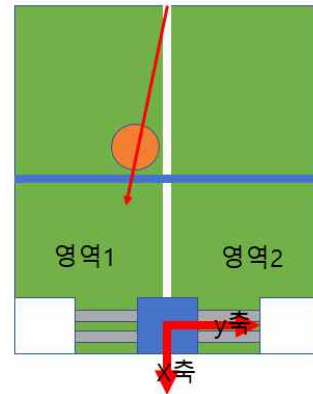


그림 5. 탁구공의 운동과 도달 영역 (위에서 본 모습)

로봇 팔의 운동 시작 위치는, 그림 5에서 보는 x축과 y축의 원점 기준으로, 영역 1로 탁구공 도달이 예측될 경우 (0.1m, -0.1m, 0.1m)로 설정해준다. 그렇다면 영역 1로 탁구공이 도달할 것이라고 예측이 되었을 때, 로봇 팔의 말단부는 로봇 팔 기준점 기준으로 (0.1m, -0.1m, 0.1m)인 지점으로 이동한다. 반대로 영역 2로 탁구공이 도달할 경우 로봇 팔의 말단부는 (0.1m, 0.1m, 0.1m)로 이동하여 탁구공 타격에 유리한 위치로 이동할 것이다. $-76.25\text{cm} < y_h < 76.25\text{cm}$ 이므로 로봇 팔의 말단부가 y_h 범위의 일부분에만 도달할 수 있으므로 본 논문에서 4.1에서 후술할 내용처럼 로봇 팔 운반 하드웨어를 설계하여, 로봇 팔의 말단부가 y축 방향으로 20cm의 범위 내에서만 운동할 수 있도록 해준다. 즉 y_h 를 20으로 나눴을 때 나머지에 해당하는 값이 실제로 탁구 로봇의 말단부가 이동해야 하는 목표 지점이며 이 값을 y_h' 이라 한다. 즉 실제 탁구공 도달 예측 좌표, 즉 로봇 말단부의 이동 목표 지점은 (x_h , y_h' , z_h)이다. 운동 시작 좌표와 끝 좌표를 알기 때문에, LABVIEW robotics module에서 cartesian trajectory를 실행하여 말단부의 이동을 구현한다. 이 때, LABVIEW에서 역기구학을 이용해 로봇 팔의 각 모터 회전값을 계산하여 각 모터에서 특정 회전값을 실행하여 결과적으로 다음과 같이 로봇이 동작하게 된다.

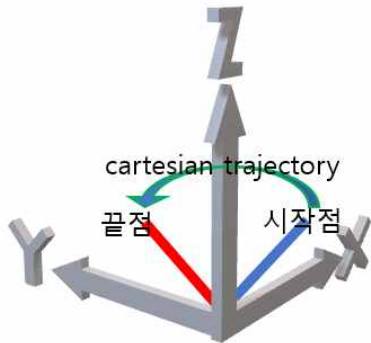


그림 6. LABVIEW를 통해 구현하는 동작

4. 로봇 팔 운반 하드웨어 설계

4.1 하드웨어 설계 필요성

탁구대 폭이 152.5cm에 달하는데 비해 로봇 팔의 길이는 31cm에 불과하므로, 로봇 팔 위치가 고정되어 있다면 그 말단부가 탁구대 폭 내의 일부분에만 도달할 수 있다. 따라서 로봇 팔을 탁구공 도달 지점 근처까지 운반할 수 있는 하드웨어 설계가 필요하다.

4.2 하드웨어 설계 과정

타이밍 풀리를 장착한 NEMA23 규격 모터를 아두이노와 TB6600 스텝모터 드라이버를 통해 제어한다. Fusion 360 프로그램을 이용해 스텝모터를 설치할 프레임과 로봇 팔을 받칠 지지대를 디자인하고 3DWOX 프로그램으로 Gcode파일을 생성하여 그 파일을 3D프린팅한다. 연마봉 두 개가 로봇 팔 지지대를 통과할 수 있게 지지대를 디자인하고 지지대에 볼부쉬를 부착하여 지지대가 타이밍 벨트의 움직임을 따라 연마봉 상에서 이동할 수 있도록 한다. 이 하드웨어를 슬라이더라 명명하였고 그 형태는 다음 그림과 같다.

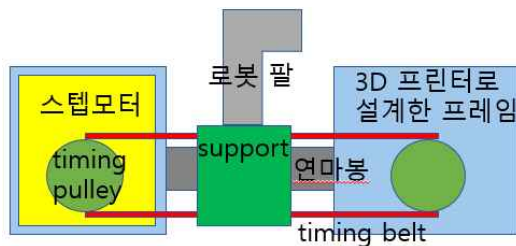


그림 7. 슬라이더 전체 구조

5. ROS를 이용한 통신 환경 구축

위의 과정들에서 각각의 코드들이 C++, LabView, Arduino 등 다양한 플랫폼에서 작성되어 있기 때문에 이들을 하나의 시스템으로 구성하기 위해서는 ROS를 사용할 필요성이 있다. 작성한 ROS Node들은 다음과 같다.



그림 8. ROS node 구성도

먼저, 영상처리에서 영상인식과 운동방정식 계산을 통해 탁구공이 도착할 예상위치로 슬라이더가 이동할 값과 로봇이 이동해야 할 값을 각각 전송한다.

로봇 팔 부분에서는 영상처리에서 전송해준 탁구공의 예상 도착좌표(X, Y, Z)를 역기구학을 통해 각각의 모터가 움직일 각도값으로 변환하여 주고, 이 값들은 Dynamixel Node로 전송하여 최종적으로 로봇과 슬라이더가 탁구공의 예상도착 위치로 이동하게 된다.

노드간의 통신 딜레이를 줄이기 위해 각각의 데이터 통신의 규격은 16bit 정수형으로 설정하였으며, 공유기를 사용하여 유선네트워크 환경에서 통신을 구축하였다.

6. 결론

탁구를 자동으로 할 수 있는 탁구로봇 설계에 초점을 두고 본 연구는 수행되었다. ROS환경에서 영상처리를 통해 얻은 탁구공의 3차원 좌표들을 가지고, 수평수직방향에 대해 최소사승법을, 높이에 대해서는 실제 물리운동모델을 활용하여 탁구공의 3차원 좌표를 예측하고, 이를 로봇과 슬라이더에 전달하여 각각 최적의 동작을 하는 시스템을 구현하였다.

실험 결과 탁구로봇 구동 시 날아오는 탁구공을 80%의 정확도로 맞히는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문의 연구는 과학 기술 정보 통신부와 정보 통신 기술 진흥 센터(IITP)의 소프트웨어중심대학 지원사업(2017-0-00130)의 지원을 받아 수행하였음.

참고문헌

- [1] Li, H., Wu, H., Lou, L., Kühnlenz, K., & Ravn, O. (2012). Ping-Pong Robotics with High-Speed Vision System. In 12th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV), 2012 (pp. 106 - 111). IEEE. DOI: 10.1109/ICARCV.2012.6485142
- [2] 04_Opt.pdf, Handong Global University CSEE (http://silam.handong.edu/young/Lecture/Lect18_2/ece30005/)
- [3] 탁구공이 되튀어 오를 때의 소리측정을 통한 낙하운동과 반발계수의 연구 지도(제56회 전국과학전람회 지도논문연구대회) 2010. 7.
- [4](<https://docs.stereolabs.com/overview/getting-started/introduction/>) ZED Camera Documentation
- [5] "stepper motor basics." Arduino forum. n.d. 수정,

2019년 4월 2일 접속,

<https://forum.arduino.cc/index.php?topic=284828.0>.

[6] "ROS tutorials." wiki.ros.org. n.d. 수정, 2019년 4월 10일 접속, <http://wiki.ros.org/ROS/Tutorials>.

[7] "stepping motor의 구동." stepping motor의 구동.

n.d. 수정, 2019년 4월 2일 접속,

<http://ace3.yc.ac.kr/mecha/stepping/6.html>.

[8] 안광일, 안재형. (2000). 모멘트 특성을 이용한 다중 객체 이미지 검색 시스템 구현. 멀티미디어학회논문지, 3(5), 454-460.