

소형 2족 보행 로봇의 지능형 동작의 구현

Implementation of an Intelligent Action of a Small Biped Robot

임 선 호, 조 정 산, 성 영 휘*, 이 수 영, 안 희 욱

(Seun ho Lim, Jung san Cho, Young Whee Sung, Soo-Yeong Yi, and Hee-Wook Ahn)

Abstract : A small biped robot system is designed and implemented. The robot system consists of a mechanical robot body, a control system, a sensor system, and a user interface system. The robot has 12 dofs for two legs, 6 dofs for two arms, 2 dofs for a neck, so it has total 20 dofs to have dexterous motion capability. The implemented robot has the capability of performing intelligent actions such as playing soccer, resisting external forces, and walking on a slope terrain. In this paper, we focus on the robot's capability of playing soccer. The robot uses a color CCD camera attached on its head as a sensor for playing soccer. To make the robot play soccer with only one camera, an algorithm, which consists of searching, localization, and motion planning, is proposed and experimented. The results show that the robot can play soccer successfully in the given environments.

Keywords : biped robot, humanoid robot, intelligent action, localization, motion planning

I. 서론

최근에 2족 보행 로봇은 새로운 로봇의 발전 분야로 자리 잡았다[1-4]. 인간 크기의 2족 보행 로봇들에 관한 연구와 더불어 소형 2족 보행 로봇에 관한 연구도 진행되고 있다[5-9]. 현재까지의 대부분의 소형 2족 보행 로봇들은 주로 보행의 안정성에 관한 연구가 주를 이루고 있지만, 규정되어 있지 않은 환경에서 주변 환경에 대한 인식을 기초로 특정한 동작을 수행할 수 있는 로봇의 지능형 동작에 관한 연구도 증가하고 있다. 본 논문에서는 2족 보행의 안정성과 지능형 동작을 연구하기 위한 플랫폼으로 개발된 소형 2족 보행 로봇 시스템인 KIBOT(Kumoh Intelligent Biped robOT)에 대한 간략한 소개와 로봇의 지능형 동작에 대하여 기술한다. 개발된 로봇은 가속도 센서, 힘센서(Force sensor), 칼라 CCD 카메라를 장착하고 있어서 임의의 외부 힘에 대하여 몸체의 평형을 유지하는 동작, 바닥면의 기울기 변화에 따른 평형 유지 동작, 임의의 경사면의 기울기를 스스로 판단하여 경사면을 오르거나 내리는 동작, 자율적인 축구 동작 등의 지능형 동작을 할 수 있다. 본 논문에서는 자율적인 축구 동작의 구현에 관하여 자세히 기술한다.

2장에서는 전체 로봇 시스템의 각 구성 요소들 및 로봇에 구현되어 있는 기본 보행 패턴에 대해 간략히 소개한다. 3장에서는 로봇 축구를 위한 카메라 캘리브레이션, 영상 처리 과정, 축구 알고리즘, 경로 계획, 탐색 알고리즘, 실험 및 결과에 관해 설명하고 4장에서는 결론에 대해 언급한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 6. 6., 채택확정 : 2004. 7. 18.

임선호, 조정산, 성영휘, 안희욱 : 금오공과대학교 전자공학부 (shlim@pixelplus.co.kr/choecrd@hanmail.net/ywssung@kumoh.ac.kr/wahn@kumoh.ac.kr)

이수영 : 전북대학교 전자정보공학부(suylee@chonbuk.ac.kr)

II. 전체 로봇 시스템

1. 전체 시스템

전체 로봇 시스템은 로봇 기구부와 로봇에게 동작 데이터를 무선으로 전송하는 호스트 컴퓨터, 그리고 호스트 컴퓨터로부터 수신된 데이터를 이용하여 로봇의 모터 구동 신호를 생성하는 제어부, 센서부 및 사용자 인터페이스부로 크게 나눌 수 있다. 로봇의 머리부에 장착된 칼라 CCD 카메라로부터 획득한 영상 정보는 무선으로 호스트 컴퓨터의 프레임 그래버로 전송되며 수집된 영상 정보의 처리가 수행된다. 또한 호스트 컴퓨터는 로봇의 이동 경로를 계획하고 그에 따른 동작 데이터를 생성하여 로봇에 장착된 주 제어기인 DSP 보드로 전송하는 역할도 수행한다. DSP를 사용한 주 제어기는 호스트 컴퓨터로부터 받은 동작 데이터를 매 20ms 마다 모터의 구동 펄스를 생성하는 역할을 하는 보조 제어기로 보낸다. FPGA를 사용한 보조 제어기는 20개의 모터에 각각 펄스폭변조(PWM) 신호를 만들어 동시에 전송함으로써 로봇을 구동한다.

2. 로봇 기구부 및 제어부

제작된 로봇은 전체 키가 41cm, 몸무게가 2600g이며, 한

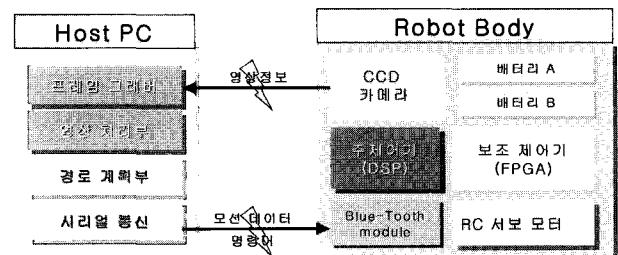


그림 1. 전체 로봇 시스템.

Fig. 1. The overall robot system.

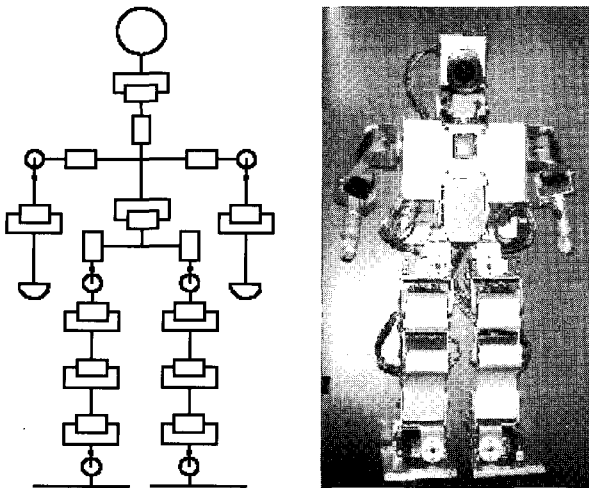


그림 2. 로봇의 관절구성과 외관.
Fig. 2. The joint configuration and the appearance of the robot.

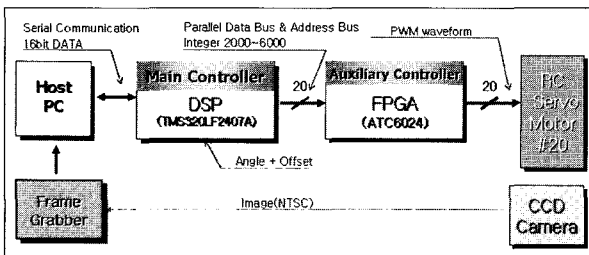


그림 3. 제어 시스템.
Fig. 3. The control system.

다리에 6 자유도와 한 팔에 3 자유도, 그리고 목에 2 자유도를 가져 총 20 자유도를 가지는 소형의 인간형 보행 로봇이다. 그림 2는 로봇의 관절 구성과 외관을 나타내고 있다. 각 다리는 6 자유도를 가지고 있어 기본적인 보행뿐만 아니라 다양한 보행 패턴을 구현할 수 있다.

그림 3에 제어 시스템을 도시하였다. 주 제어기로는 DSP (TMS320LF2407)를 사용하였다. 제작된 로봇은 전체 관절에 해당하는 20개의 RC 서보 모터를 구동해야 하는데, 모터를 구동하기 위한 펄스폭 변조 신호를 생성하기 위한 보조 제어기로 FPGA를 사용하였다. 주 제어기는 호스트 컴퓨터로부터 로봇의 동작 데이터를 받아서 저장한 후, 보조 제어기인 Flex 6000에 매 샘플링 시간마다 동작 데이터를 전송해 준다. 보조 제어기에서는 주 제어기에서 받은 동작 데이터를 실제 모터를 구동하는 펄스로 변조한다.

3. 호스트 컴퓨터

제작된 로봇은 원격 동작 모드와 자율 동작 모드로 동작이 가능한데, 원격 동작 모드에서는 사용자가 호스트 컴퓨터의 사용자 인터페이스 프로그램을 통하여 동작 데이터를 생성한 후에 로봇의 행동 패턴을 제어할 수 있다. 자율 동작 모드에서는 영상 처리부에서 수집된 영상 정보를 처리, 분석하고, 이동 경로 생성부에서 영상 처리 결과로 얻어진 3차원 거리 정보로부터 로봇의 이동 경로를 생성하고, 동작

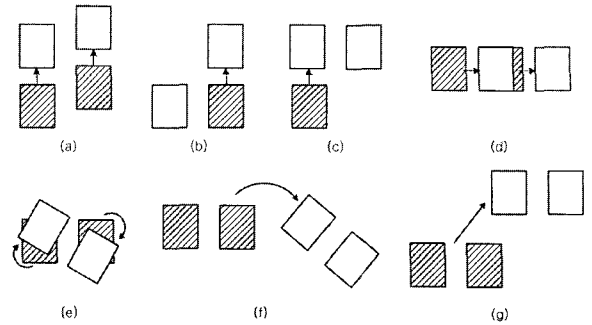


그림 4. 기본 보행 패턴들.
Fig. 4. The basic walking patterns.

표 1. 안정한 보행 파라미터.

Table 1. The walking parameters for stable walking patterns.

	주기	보폭 / 회전 각도
전-후진 보행	2sec	8.5cm
옆걸음	2sec	4cm
제자리 회전 보행	2sec	10°
이동 회전 보행	2sec	30°
대각 보행	2sec	4cm

생성부에서 로봇의 행동 패턴 데이터를 생성하며, 데이터 전송부에서 생성된 데이터를 로봇에게 무선으로 전송하여 로봇이 자율 동작하도록 구성되어 있다.

한편 로봇은 한 다리당 6개의 자유도를 가지고 있어 다양한 보행을 수행할 수 있다. 각각의 보행 패턴은 보행 주기, 샘플링 시간, 보폭, 보행 다리의 높이 등 여러 가지 보행 파라미터를 설정한 후, 사용자 인터페이스 프로그램의 보행 궤적 생성 기능을 이용하여 얻게 된다. 그림 4는 제작된 로봇에 구현되어 있는 기본 보행 패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 빗금 친 사각형은 보행전의 발바닥을, 무늬 없는 사각형은 보행 후의 발바닥을 나타낸 것으로 (a)~(c)는 3가지 형태의 전진 보행, (d)는 옆걸음, (e)는 제자리 회전 보행, (f)는 이동 회전 보행, (g)는 대각 보행을 나타낸다. 그림에 나타내지 않은 동작 중에는 축구를 하기 위한 슛 동작이 있다. 표 1은 각 보행에 대해서 로봇이 안정적으로 걸을 수 있는 파라미터들이다.

4. 센서 시스템

센서 시스템은 3가지 종류의 센서로 이루어져 있다. 양쪽 발바닥에 4개씩 총 8개의 힘 센서가 사용되었고, 몸체 중심에 1개의 2축 가속도 센서와 목에 1개의 칼라 CCD 카메라가 사용되었다.

칼라 CCD 카메라는 주변 환경에 대한 정보를 얻기 위해 사용된다. CCD 영상 데이터는 2.4Ghz 무선 전송기를 사용하여 원격지에 있는 호스트 컴퓨터의 영상 처리부에 전송된다. 영상 처리부는 무선 수신기와 프레임 그래버, 그리고 영

표 2. 비전 시스템의 규격.

Table 2. The specification of the vision system.

구분	구분	규격
그래버	프레임 그래버	Meteror II Standard
	그랩된 영상의 크기	640×480
카메라	CCD 센서	1/3" Interline CCD
	유효 픽셀 수	768×494
	CCD cell의 가로축의 크기	6.35 μm
	CCD cell의 세로축의 크기	7.40 μm
렌즈	Focal Length	6 mm

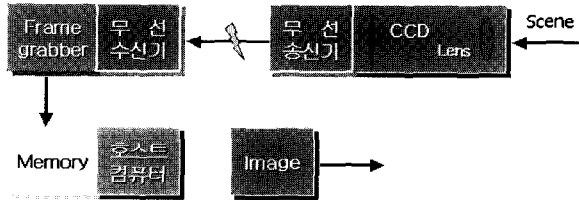


그림 5. 영상 데이터 획득 과정.

Fig. 5. The process of image data acquisition.

상처리 소프트웨어로 구성되어 있다. 영상 처리부에서는 CCD 영상 데이터로부터 몇 가지 유용한 특징을 추출하고 호스트 컴퓨터는 이를 바탕으로 로봇 행동을 계획하고 그에 대응하는 데이터를 블루투스 무선 통신 모듈을 사용하여 주 제어기에 보낸다. 표 2는 비전 시스템에 사용된 프레임 그래버, 카메라, 렌즈에 대한 규격을 나타내고, 그림 5는 영상 획득 과정을 나타낸 것이다.

III. 축구하기

1. 카메라 캘리브레이션

CCD 영상 데이터에는 항상 선형 및 비선형 왜곡이 존재하게 된다. 따라서 로봇 축구와 같이 관심 물체의 월드(world) 좌표값을 알아야 하는 응용에서는 카메라 캘리브레이션(calibration)을 수행함으로써 왜곡된 값을 보정해 주어야 한다. 카메라 캘리브레이션은 3차원 기준 좌표계와 2차원 영상 좌표계 사이의 맵핑(mapping)을 위한 카메라 파라미터들을 결정하는 과정이다[10]. 본 논문에서는 카메라 캘리브레이션을 위해 Bakstein이 제안한 방법을 사용하였다[11]. 개발된 로봇은 하나의 칼라 CCD 카메라를 사용하고 있는데 일반적으로, 하나의 영상으로부터 실 좌표계에서 물체의 3차원 좌표 값들을 복원하는 것은 어렵다. 하지만 로봇 축구와 같은 응용에서 물체에 대한 z 축의 값이 항상 0에 가까운 작은 값으로 가정할 수 있다. 이것은 관심 물체가 지면 위에 존재하므로 관심 영역 역시 지면이 되기 때문이다. 이런 경우, 공이나 골대의 바닥면과 같은 관심 물체에 대한 x와 y 좌표값을 얻을 수 있게 된다.

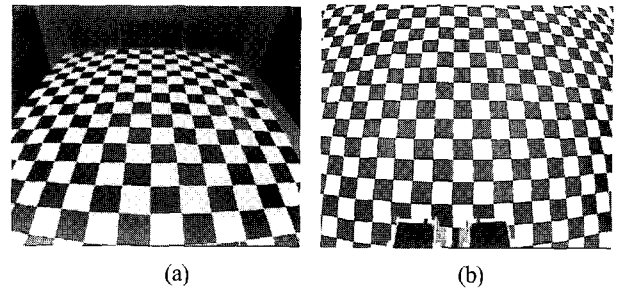


그림 6. 카메라 캘리브레이션 영상 (a) the global view (b) the local view.

Fig. 6. Camera calibration images (a) the global view (b) the local view.

제안된 2축 보행 로봇이 제한된 영역에서 축구 동작을 수행하기 위해서는 위치 인식 문제가 해결되어야 한다. 자기 위치 추정(Localization)을 위한 한 가지 방법으로 표식점(landmark)을 사용할 수 있는데, 본 연구에서는 골대의 양기둥과 지면이 접하는 두 지점을 자연적인 표식점으로 선정한다. 골대는 고정되어 있으므로 두 지점의 월드 좌표 값은 미리 알려져 있다고 가정할 수 있다.

로봇이 공의 근처로 이동하여 골대의 중심을 향해 공을 차 넣기 위해서는 두 가지 문제점이 있다. 하나는 카메라의 제한된 분해능 때문에 경기장 전체 영역에 대한 영상을 얻을 수 없다는 것이고, 또 하나는 공을 정확히 차기 위해서는 공의 위치에 대한 정확한 좌표 값을 얻어야 하는 것이다. 개발된 로봇에는 하나의 CCD 카메라만을 사용하고 있기 때문에 위에서 언급한 두 가지 문제를 해결하기 위해서 두 가지의 영상에 대해 카메라 캘리브레이션을 수행하도록 한다. 즉, 로봇은 경기장을 다른 각도로 바라보는 2가지 모드를 가지도록 한다. 하나는 골대와 공을 찾아 공의 근처로 이동하기 위해 최대한 넓은 영역을 보는 전역 보기(global view)이고, 다른 하나는 공을 정확히 차기 위해 로봇이 거의 수직으로 지면을 바라보았을 때의 좁은 영역을 보는 지역 보기(local view)이다. 그림 6의 (a)는 global view에서의 영상을 (b)는 local view에서의 영상을 보이고 있다.

global view 모드와 local view 모드에 대한 카메라 캘리브레이션은 matlab toolbox를 이용하여 수행하였다[11]. 그림 7은 global view 영상에 대한 캘리브레이션 수행 결과를 보여준다. local view에서는 보다 작은 영역에 대해서 캘리브레이션을 수행하므로 global view에서보다 오차가 작게 된다. 계산된 좌표 값과 실제 좌표 값과의 차이가 축구를 수행하기에 충분히 작음을 알 수 있다.

그림 8은 global view 모드에서 보인 골대의 위치들이고 골대의 위치와 방향을 찾기 위한 실험들을 수행한 결과를 표 3에 나타내었다. 그림 9에서는 local view 모드에서 본 공이 놓인 여러 위치들을 원으로 표시하였으며, 실제 측정값과 영상 처리를 통해 얻은 계산값을 표 4에 나타냈다. 측정값과 계산값의 오차를 살펴보면, 각도오차는 5° 이내 거리오차 2cm 이내로 로봇이 공을 차기에 충분할 정도로 오차가 작음을 알 수 있다.

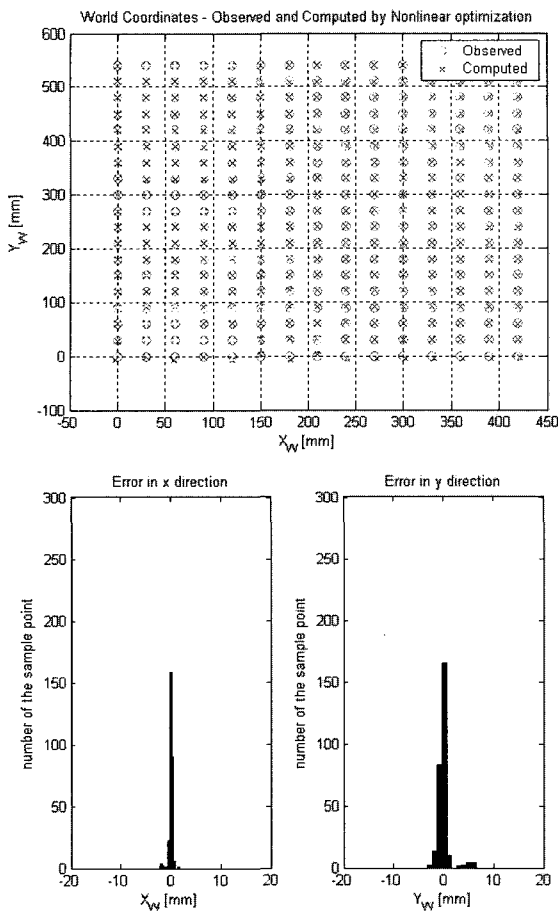


그림 7. global view 영상에 대한 캘리브레이션 결과 (a) 측정치와 계산치에 대한 좌표값들 (b) X와 Y 좌표계에서의 오차에 대한 히스토그램.

Fig. 7. Calibration results for the global view image (a) Coordinate values for the observed and computed (b) Histogram for the errors in X and Y coordinates.

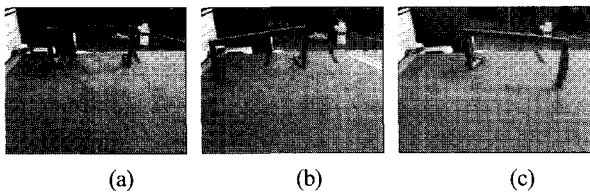


그림 8. global view 모드에서의 골대.

Fig. 8. The goal posts in the global view mode.

2. 영상 처리

그림 10은 본 연구에서 수행한 영상 처리 과정을 나타낸 것이다. 우선 카메라로부터 획득한 영상이 RGB 컬러 공간의 데이터 값이기 때문에 조명의 영향에 덜 민감한 HSI 컬러 공간으로 변환한다. 그리고 조명에 민감한 명암(Intensity) 부분을 제외하고 색상(Hue)과 채도(Saturation) 성분에 대하여 사용자가 설정한 스레시홀드(Threshold) 값에 의해 이진화 처리된다. 이진화된 영상을 라벨링 처리하여 1차 픽셀 정보로서 물체 중심의 좌표, 외접하는 사각형의 영역, 면적 등의 정보를 얻는다. 그리고 1차 픽셀 정보 중 하나인 외접

표 3. 골대 중심점에서 본 로봇에 대한 각도와 거리.

Table 3. Angles and distances of the robot viewed in the center of the goal posts.

위치	측정값		계산값	
	각도(°)	거리(Cm)	각도(°)	거리(Cm)
(a)	-3.82	75.17	-4.98	77.38
(b)	-18.75	71.25	-18.59	68.55
(c)	13.67	67.23	10.10	65.73

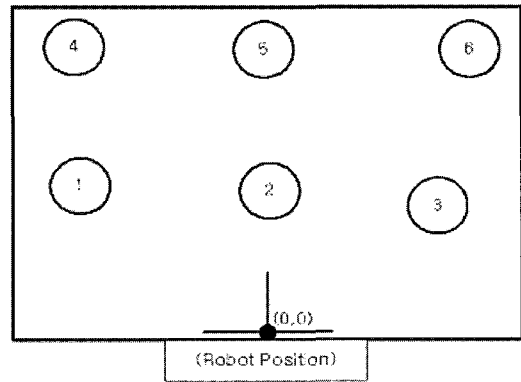


그림 9. local view 모드에서의 6가지의 공의 위치.

Fig. 9. Six positions of a ball in the local view mode.

표 4. 로봇 좌표계에서 본 공의 각도와 거리.

Table 4. Angles and distances viewed in the robot coordinates.

위치	측정값		계산값	
	각도(°)	거리(Cm)	각도(°)	거리(Cm)
1	-70.2	10.66	-68.1	9.23
2	-3.2	7.53	1.53	7.50
3	65.2	9.40	69.1	9.53
4	-39.9	14.65	-37.0	13.64
5	-6.0	12.22	-3.3	12.21
6	37.1	13.07	42.0	14.8

사각형 영역 내에서 에지 처리를 함으로써 새로운 이진 영상을 얻고, 다시 라벨링 과정을 거쳐 2차 픽셀 정보를 얻게 된다. 에지 성분이 반드시 검출되는 것은 아니기 때문에 에지 성분 검출 시에만 1차 픽셀 정보를 무시하고 2차 픽셀 정보를 저장한다.

3. 축구 알고리즘

영상 처리 과정이 끝나면 찾고자하는 물체의 거리 및 방향 정보를 얻을 수 있다. 호스트 컴퓨터에서는 이 정보와 로봇의 기본 보행 패턴을 조합하여 로봇의 이동 경로를 계획하게 된다. 제안된 알고리즘에서는 로봇이 임의의 위치에 놓여진 공에 접근하여 슈트를 하기까지 다음과 같이 총 3번의 영상 처리 과정과 경로 계획 과정을 수행하게 된다. (1) 초기에

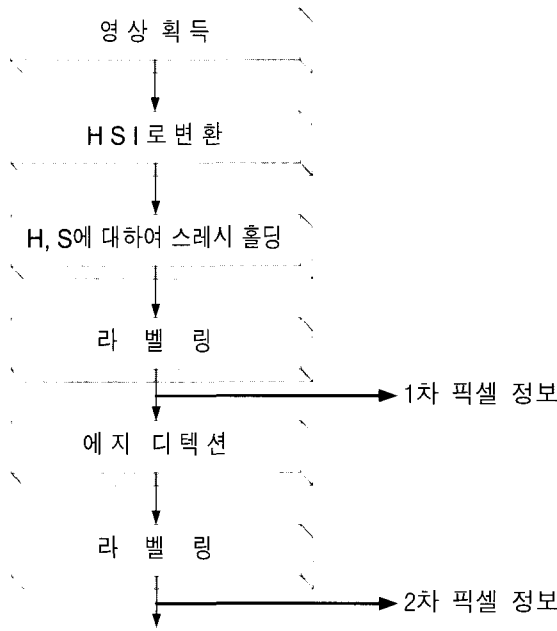


그림 10. 영상 처리 과정.
Fig. 10. The sequence of the image processing.

로봇과 공은 경기장 내에서 임의의 위치와 방향으로 놓여져 있으며, 로봇이 공과 골대를 찾기 위해 global view 자세에서 영상을 얻고 localization을 통하여 경기장 내에서의 공과 골대의 중심점, 로봇 자신의 위치와 방향에 대한 정보를 계산한다. 공과 골대를 찾지 못한 경우에는 목의 2 자유도를 이용하여 탐색 과정을 수행한다. (2) 호스트 컴퓨터는 공과 골대의 중심점의 값을 이용하여 로봇의 최초 이동 지점을 결정하고 로봇의 기본 보행 패턴들을 조합하여 최초 이동 지점까지 가기 위한 경로를 계획한다. (3) 로봇이 최초 이동 지점으로 이동한 뒤, global view 자세에서 골대의 영상을 얻어 최초 이동 후 발생한 위치 및 방향 오차를 보정하여 로봇이 골대의 중심을 향하도록 방향을 전환한다. (4) 로봇의 진행방향이 골대의 중심을 향한 상태에서, local view 자세를 취하고 영상을 획득하여 보다 정확한 공의 위치 정보를 얻는다. (5) 호스트 컴퓨터에서는 공의 위치 정보를 기반으로 공을 차기 위한 미세 구간의 경로 계획을 하고, 이에 따라 로봇은 공에 접근한 뒤 골대의 중심을 향하여 공을 차 넣는다. 축구하기의 전체 알고리즘을 그림 11에 도시하였다.

4. 경로 계획

공과 로봇이 임의의 위치에 놓여지고, 로봇이 다양한 기본 보행 패턴을 가지고 있기 때문에 다양한 경로 계획이 가능하다. 한편 로봇이 최초로 공의 근방의 특정한 위치로 이동하기 위한 경로 계획은 로봇의 1차 이동 후 나머지 경로 결정에도 영향을 준다. 본 논문에서는 몇 가지 경우의 경로 계획을 제시하고 경우에 따라서 로봇이 물체를 찾기 위한 탐색 과정을 통해 어떠한 위치에 공과 로봇이 위치하였을 때도 축구를 할 수 있도록 하였다. 다음은 축구를 하기위한 로봇의 이동과정을 설명한다.

1) 로봇의 1차 이동

로봇이 다양한 기본 보행 패턴을 가지고 있기 때문에 임

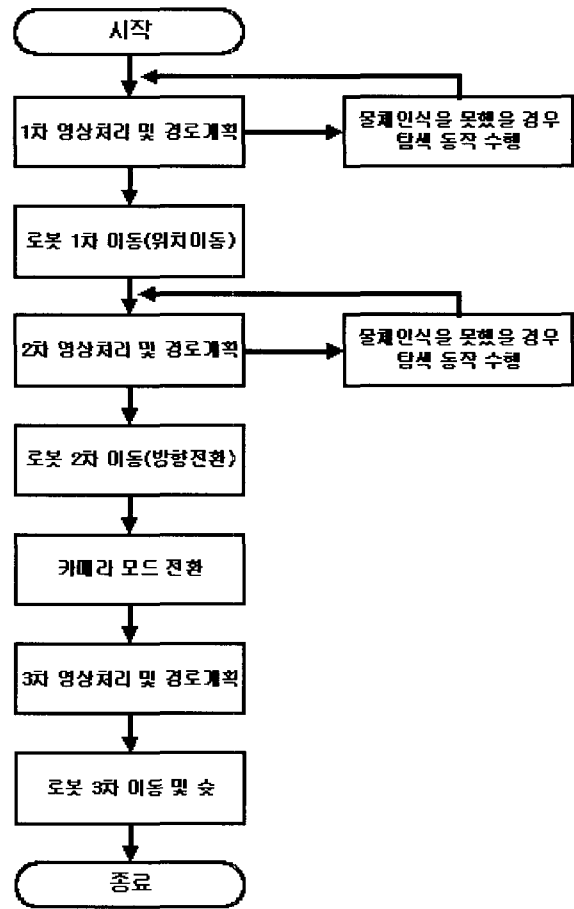


그림 11. 축구하기 과정.
Fig. 11. The sequence of playing soccer.

의의 위치로 이동하기 위하여 여러 가지의 보행 패턴의 조합이 가능한데, 여기에서는 로봇과 공의 상대적인 위치 및 방향에 따라 보행 패턴을 달리 선정하도록 한다. 즉 그림 12에서 나타낸 바와 같이, 공이 A 영역에 위치하였을 때에는 그림 4에서의 좌, 우 옆걸음과 직진 보행을 이용하여 공의 근방으로 접근한다. 공이 B 영역에 위치하였을 때는 좌, 우 대각 보행 및 직진 보행을 조합하여 이동하고, C 영역에 공이 위치하였을 때에는 좌, 우 회전 보행 및 직진 보행을 조합하여 이동한다. A, B 두 영역에 공이 위치하였을 때에는 로봇의 방향 이동은 필요하지 않고 위치 이동만 존재한다. 이 경우에는 공의 위치에 따라 로봇의 보행 보폭을 결정하여 이동하게 된다.

C 영역에 공이 위치하였을 경우에는 방향 이동과 위치 이동이 모두 존재하게 된다. 그림 13에 경기장 내에 로봇과 공, 그리고 골대의 상대적인 위치를 나타내었다. 로봇은 골대와 지면이 맞닿는 두 점을 표식점으로 삼아 공과 로봇, 골대의 위치 및 방향을 계산한다. 골대의 중심점인 G 지점의 좌표 값과 공의 중심점인 B 지점의 좌표 값을 얻고, 구해진 두 점을 잇는 직선을 구하고, 공의 중심점 B로부터 미리 설정된 반지름을 갖는 가상의 원의 방정식을 구하여 직선과 원이 만나는 새로운 점 P를 얻는다. 이와 같이 얻은 점 P가 로봇이 1차로 이동하게 될 목표지점이 된다. 로봇으

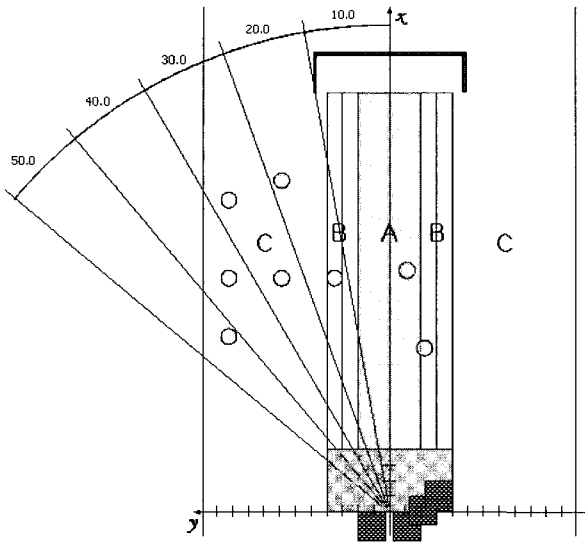


그림 12. 경기장에 놓여진 여러 가지 공의 위치.
Fig. 12. The various positions of a ball in the field.

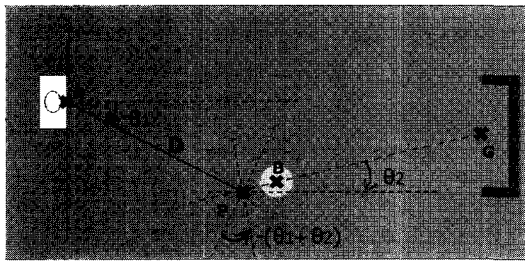


그림 13. 로봇의 1차 이동을 위한 경로 계획.
Fig. 13. The path planning of the robot for the first move.

로부터 목표지점까지의 거리 D 및 방향 θ_1 을 계산하고 로봇의 방향과 공과 골대의 중심이 일직선상에 위치하도록 하는 θ_2 를 구한다. 이후 로봇이 θ_1 만큼 회전 보행을 하고 거리 D 만큼 직진 보행을 한 뒤 $-(\theta_1 + \theta_2)$ 만큼 다시 회전 보행을 하면 목표 지점인 P 점에 위치하고 로봇의 방향은 골대의 중심을 향하게 된다.

2) 로봇의 2차 이동

지면과의 마찰력, 기구적인 불안전성, 보행의 불안정성 등의 이유로 로봇의 보행에는 비교적 큰 보행 오차가 포함된다. 로봇이 점 P 를 향해 1차 이동을 마친 후에, 불가피하게 발생된 보행 오차를 보정하기 위하여 global view 자세에서 골대에 대한 영상을 다시 획득한 후, 골대와 지면이 맞닿는 2 지점을 표식점으로 삼아 이로부터 골대의 중심점을 찾아 공과 골대의 중심, 로봇이 일직선 상에 놓일 수 있도록 회전 보행을 통하여 방향 오차를 수정한다.

3) 로봇의 3차 이동

로봇의 2차 이동이 끝나면 로봇은 공의 근방에 위치하게 된다. 3차 이동에서는 우선 정확한 공의 위치를 찾기 위하여 local view 자세로 카메라 모드를 전환하여 영상을 획득한다. local view에서는 1절에서 설명한 바와 같이 비교적

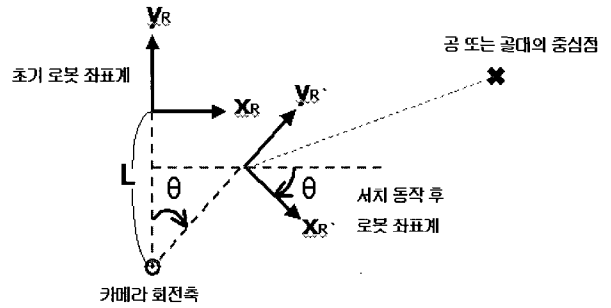


그림 14. 탐색동작 후 변환된 로봇의 좌표계.
Fig. 14. Relation between coordinates frames of the robot after searching action.

작은 오차로 공의 위치를 판별할 수 있다. 공의 위치가 결정되면 로봇과의 상대적인 위치를 파악하여 슛을 할 발을 결정하고, 작은 보폭의 옆걸음과 직진 보행을 통하여 로봇이 슛을 할 수 있을 정도의 정확한 위치까지 접근한 후, 골대의 중심점을 향하여 슛을 한다.

5. 탐색 알고리즘

경기장 내에서 로봇이 물체에 대한 정보를 얻는 방법은 오직 현대의 CCD 카메라를 통해 획득되는 영상 정보가 이용하는 것이다. 현재 로봇에 장착되어 있는 카메라로 경기장 전체의 영상을 얻을 수 없기 때문에 찾고자하는 물체를 한번에 찾을 수 없는 경우도 생기게 된다. 제작된 로봇은 목에 2 자유도를 가지고 있어 팬, 틸트의 움직임이 가능하다. 영상 처리 과정을 통해 원하는 물체의 정보를 얻지 못하였을 때 팬 자유도를 사용하여 물체를 찾을 때까지 정해진 각도만큼 목을 순차적으로 회전한다. 탐색 결과 물체를 찾았을 때, 카메라와 로봇 좌표계가 상대적인 변화를 하였기 때문에 획득되는 물체의 정보는 로봇의 초기 좌표계에 대한 값으로 변환이 되어야 한다. 로봇에 설정한 초기 로봇 좌표계 $x_R - y_R$ 와 카메라 회전축, 탐색 동작 후의 로봇 좌표계 $x_R' - y_R'$ 사이의 관계는 그림 14와 같다. 따라서 탐색 동작 후의 각 점의 위치와 방향은 (3.1)과 같이 주어지는 변환 행렬을 사용하여 변환한다.

$$H = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & L\sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta & L(\cos\theta - 1) \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

6. 실험 및 결과

앞 절에서 설명한 알고리즘들을 사용하여 로봇과 공을 다양한 위치와 방향에 놓고 로봇이 공과 골대를 찾아 골대의 중심을 향하여 공을 차는 실험을 수행하였다. 이들 실험에서는 그림 15에서와 같이 제한된 경기장 내에 로봇과 하나의 공과 골대만이 존재한다고 가정하였다. 물체의 구분을 위하여 경기장 바닥은 초록색, 공은 오렌지색, 골대는 파란색으로 하였다. 실험에서 사용한 호스트 컴퓨터는 펜티엄 4, 2Ghz로 카메라로부터 영상을 획득하고, 영상 처리를 거쳐 로봇쪽으로 필요한 데이터를 전송하는데 약 0.5초의 처리 시간이 걸렸다. 그림 15는 실험의 한 예를 보이고 있다. 그림 15 (a)는 초기에 로봇과 공과 골대가 위치한 모습으로

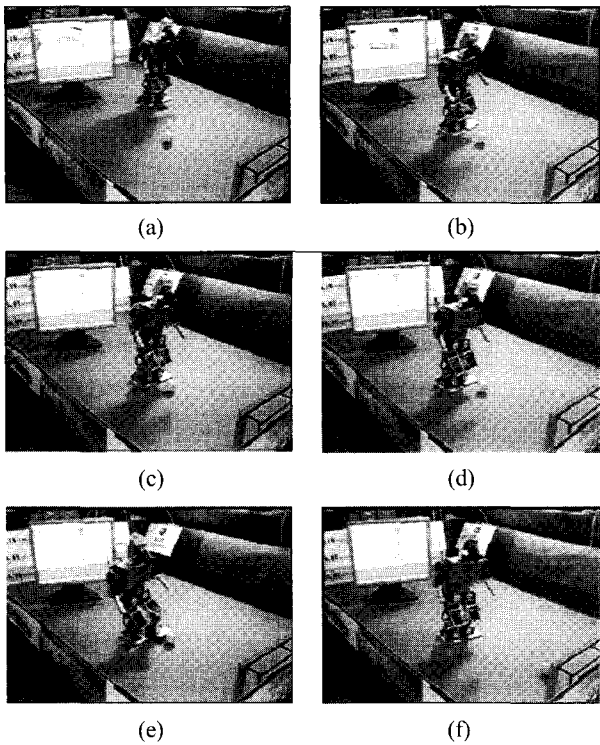


그림 15. 로봇 축구 실험.
Fig. 15. An experiment for playing soccer.

그림 12에서의 C 영역에 공이 놓인 경우를 나타내고 있다. 실험에서 A 영역은 $|x| < 8$, B 영역은 $8 < |x| < 14$, C 영역은 $|x| > 14$ 로 설정하였다. 우선 로봇이 경기장을 넓게 볼 수 있는 global view 모드에서 골대와 공의 영상을 얻고, 경기장 내에서 3차원 절대 좌표를 얻게 된다. 로봇의 카메라에서 보이는 영상이 그림 속의 모니터 상에 나타나고 있다. 그림 (b)는 로봇이 그림 13에서의 P의 위치로 우 회전 보행, 직진 보행, 좌 회전 보행의 순서로 이동하는 1차 이동을 완료한 후를 나타내고 있다. 그림 (c)에서는 1차 이동 후 미끄러짐 등에 의한 보행 오차에 의하여 정확히 P 지점을 가지 못하게 된 후, global view 모드에서 골대와 지면이 맞는 두 지점을 표식점으로 하여 로봇과 공, 골대의 중심점이 일직선상에 놓일 수 있도록 회전 보행을 통하여 방향 수정을 한, 2차 이동 후의 모습을 보이고 있다. 그림 (d)는 로봇이 공을 찰 수 있도록 하기 위하여 카메라 모드를 local view 모드로 전환한 후 영상 데이터로부터 공의 정확한 위치를 획득한 후 왼발로 공을 차기 위해 공을 찰 수 있는 위치로 근접 이동하는 3차 이동 후의 모습을, 그림 (e)는 슛을 하는 모습, 그리고 그림 (f)는 슛을 하고 난 후의 모습을 나타내고 있다. 본 실험에서는 로봇이 공을 골대 안으로 차 넣은 경우를 성공으로 판단하며, 공을 A, B, C 영역의 임의의 지역에 위치시킨 후, 각 경우에 대하여 10회씩의 실험을 수행한 결과, A, C 영역에서는 8회, B 영역에서는 9회의 성공을 보였다. B 영역에서의 성공 횟수가 많은 것은 B 영역의 공을 처리하기 위한 보행인 대각 보행이 좌, 우 옆걸음이나 좌, 우 회전 보행에 비해 상대적으로 보행 오차가 적었기 때문으로 생각된다.

IV. 결론

본 논문에서는 총 20 자유도를 가지며 다양한 기본 보행 패턴을 가지는 소형 2족 보행 로봇의 지능적인 행동에 관하여 연구하였다. 로봇의 지능적인 행동의 예로 로봇이 자율적으로 축구를 할 수 있도록 하였다. 2가지 모드의 카메라 캘리브레이션을 통하여 1대의 카메라를 이용하고도 넓은 영역의 경기장을 보아 로봇의 경로 계획을 하고, 공이 놓인 좁은 영역을 보아 공의 정확한 좌표를 구하는 것이 가능하도록 하였다. 보행 로봇에서 불가피하게 발생하는 위치 및 방향 오차를 수정할 수 있도록 양쪽의 골대 기둥과 경기장 바닥 면이 맞는 지점을 자연적인 표식점으로 사용하여 localization을 수행하는 방법을 제안하였고, 공과 로봇의 위치와 방향이 임의로 주어질 경우에도 로봇이 공과 골대를 찾고, 로봇에 구현되어 있는 다양한 기본 보행 패턴들을 조합하여, 공을 골대의 중심점을 향해 차 넣는 축구 알고리즘을 제안하였다. 다양한 축구 동작 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 유용성을 확인하였다. 추후에는 로봇 보행의 안정성 및 속도를 높이고 보행 오차를 최소화 하는 방안과 좀 더 복잡한 상황에서, 물체의 인식 및 로봇 행동과의 관계를 더욱 체계적인 방식으로 연결지을 수 있는 방안에 관한 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

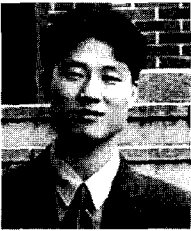
- [1] K. Hirai, et al, "The development of Honda humanoid robot," *Proc. Of Int. Conf. On Robotics and Automation*, pp. 1321-1326, 1998.
- [2] J. Yamaguchi, et al, "Realization of dynamic biped walking varying joint stiffness using antagonistic driven joints," *Proc. Of Int. Conf. On Robotics and Automation*, pp. 2022-2029, 1998.
- [3] J. H. Park, H. C. Cho, "An on-line trajectory modifier for the base link of biped robots to enhance locomotion stability," *Proc. of Int. Conf. On Robotics and Automation*, pp. 3353-3358, 2000.
- [4] 노경곤, 공정식, 김진걸, "이족보행로봇의 궤적 추종 오차 감소를 위한 걸음세 분석," 제어·자동화·시스템공학 논문지 제8권, 제10호, pp. 890-897, 2002.
- [5] F. Kanehiro, et al, "Development of a two-armed bipedal robot that can walk and carry objects," *Proc. Of IROS'96*, pp. 23-28, 1996.
- [6] F. Kanehiro, et al, "Development of a remote-brained humanoid for research on whole body action," *Proc. Of Int. Conf. On Robotics and Automation*, pp. 1302-1307, 1998.
- [7] Y. W. Sung, S. Y. Yi, "A miniature humanoid robot that can walk up and down stairs," *Proc. of the 32nd International Symposium on Robotics*, pp. 1463-1468, 2001.
- [8] 성영휘, 이수영, "소형 휴머노이드 로봇 시스템 개발," 제어·자동화·시스템공학 논문지 제7권, 제5호, pp. 420-426, 5, 2001.

[9] S.-H. Lim, J.-S. Cho, Y. W. Sung, Soo-Yeong Yi, "A miniature humanoid robot that can play soccer", *ICCAS2003* pp. 628-632, October, 2003.

[10] J. Heikkilä and O. Silven, "A four-step camera calibration procedure with implicit image correction", *IEEE Computer Society Conference on Computer*

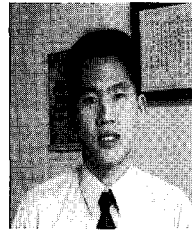
Vision and Pattern Recognition (CVPR'97), San Juan, Puerto Rico, pp. 1106-1112, 1997.

[11] H. Bakstein, R. Halir, "A complete DLT-based camera calibration with a virtual 3D calibration object", *Dept. of Mathematics and Physics*, Charles University, Diploma Thesis, 1999.



임선호

1976년 5월생. 2002년 금오공과대학교 전자제어공학과 졸업. 2004년 금오공과대학교 전자제어 공학과(석사). 2004년 ~현재 (주)픽셀플러스 연구원. 관심분야는 로봇공학, 영상 처리, 그래픽 시뮬레이션.



조정산

1976년 1월생. 2002년 금오공과대학교 전자제어공학과 졸업. 2002년~현재 금오공과대학교 전자제어공학과 석사과정. 관심분야는 로봇공학, 지능 제어, 디지털 신호처리.



성영휘

1962년 5월생. 1988년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사). 1996년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사). 1995년~1996년 Oxford university, Dept. of Engineering Science, Post Doc.

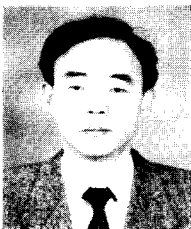
1996년~1998년 LG 산전. LG 종합기술원 선임연구원. 1998년~현재 금오공과대학교 전자제어공학과 부교수. 관심분야는 인간형 로봇, 여유자유도 머니플레이터, 지능제어, 그래픽 시뮬레이션.



이수영

1964년 10월생. 1988년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사. 1995년~1999년 한국과학기술연구원 휴먼로봇연구센터 선임연구원. 1997년~1998년

Univ. of Southern California. Dept. of CS. Post Doc. 1999년~현재 국립전북대학교 전자정보공학부 조교수. 관심분야는 인간형 로봇, 이동 로봇, 지능 제어.



안희욱

1959년생. 1982년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1982년~1998년 산업기술시험원 선임연구원. 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사. 1998년~현재 금오공과대학교 전자공학부 조

교수. 관심분야는 전력변환 회로 및 제어, DSP 응용.