Journal of Korean Institute of Intelligent Systems
Vol. 26, No. 1, February 2016, pp. 064-069
http://dx.doi.org/10.5391/JKIIS.2016.26.1.064

ISSN(Print) 1976-9172
ISSN(Online) 2288-2324

휴머노이드 로봇의 마라톤 경기 및 전략

Marathon Game and Strategy of Humanoid Robot

이기남* · 유영재*†
Ki-Nam Lee and Young-Jae Ryoo†

*목포대학교 제어로봇공학과
*Dept. of Control Engineering and Robotics, Mokpo National University

요 약

본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 마라톤 경기를 소개하고, 전략을 제시하고자 한다. 인간을 모방하는 휴머노이드 로봇이 인간에게 협조할 수 있는 능력을 가지기 위해서는 운용시간, 안전성 및 주변 환경인식 기술들이 요구된다. 이에 대한 적합한 연구 모델로 인간의 마라톤 경기를 꼽을 수 있다. 본 논문에서는 인간의 마라톤 경기를 이해하고 그와 유사한 휴머노이드 로봇의 마라톤 경기에 대해 연구한다. 휴머노이드 로봇 관련 대회 중 HuroCup의 마라톤 경기는 인간의 마라톤과 가장 유사한 경기이다. 충분한 운용시간을 갖도록 설계 및 개발한 휴머노이드 로봇으로 마라톤 경기를 수행하고자 한다. 컴퓨터 비전을 통해 마라톤 트랙을 인식하여 보행하기 위한 전략을 세우고 휴머노이드 로봇에 적용한다. 실험 결과를 분석하여 휴머노이드 로봇의 마라톤 경기가 가능하도록 적용한 실제 경기 사례를 소개하고자 한다.

키워드 : 휴머노이드 로봇, HuroCup, 마라톤, 컴퓨터 비전, 트랙 추적

Abstract

In this paper, a marathon of a humanoid robot is introduced, and its strategy is proposed. In order to develop humanoid robots for the purpose of cooperation and symbiosis with humans, the technologies such as increasing operating time and stability or recognizing surrounding environment are more important. One proper research model for the technologies is a human's marathon. In this paper, we introduce the human's marathon, and propose the humanoid robot's marathon. The marathon event of HuroCup has the most similar game rules to the human's marathon. The humanoid robot developed with the proper operating time, stability and ability to recognize the surrounding environment performed the marathon in HuroCup. The robot recognizes a marathon track using a computer vision, and builds the strategies for the race competition. By analyzing the experimental results, the humanoid robot performed in a real competition.

Key Words : Humanoid Robot, HuroCup, Marathon, Computer Vision, Track Recognition.

Received: Jan. 10, 2016
Revised : Feb. 11, 2016
Accepted: Feb. 15, 2016
†Corresponding author
yjryoo@mokpo. ac.kr

이 논문은 2015년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업(NRF-2015H1C1A1035841)와 한국산업기술진흥협회의 핵심융합기술개발지원사업(KOITA-2015-5)의 지원을 받아 수행된 연구임.
This research was financially supported by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (MSIP) and Korea Industrial Technology Association (KOITA) through the Programs to support collaborative research among industry, academia and research institutes. (KOITA-2015-5); and the Human Resource Training Program for Regional Innovation and Creativity through the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea (NRF-2015H1C1A1035841).

1. 서 론

인간의 외형과 능력을 모방하는 휴머노이드 로봇의 대표적인 목적은 인간과 함께 살면서 협조하는 것이다. 최근 다양한 방면에서 휴머노이드 로봇에 대한 연구가 진행되고 있다. 그 중 가장 활발하게 연구되고 있는 분야는 로봇의 보행, 모션, 센싱능력에 관한 부분이다[1,2,8-11]. 반면, 휴머노이드 로봇이 인간과 공생하고 협조를 목적으로 사용되기 위해서는 운용시간 및 안정성의 향상, 그리고 환경인식 분야도 중요하여 이에 대한 연구가 필요하다.

휴머노이드 로봇이 인간을 모방한다고 할 때 인간과 유사한 운용시간, 안정성 및 주변 환경인식에 대한 연구 모델로 가장 적합한 것 중의 하나는 인간의 스포츠인 마라톤 경기를 꼽을 수 있다. 인간의 마라톤은 극한의 지구력과 정신력의 한계를 시험하는 경기이다. 인간의 마라톤 경기 환경과 흡사한 환경에서 휴머노이드 로봇이 마라톤 경기를 한다면 로봇의 운용시간, 안정성 및 환경인식 능력에 대한 수준을 검검 할 수 있다.

본 연구에 앞서 경량화 설계를 통해 약 2시간 30분의 운용시간을 가지는 휴머노이드 로봇을 설계 및 개발하였다[1, 7]. 이 논문에서는 마라톤 경기를 위해 앞서 개발한 휴머노이드 로봇을 보완하고 경기 전략을 적용하고자 한다.

가장 대표적인 휴머노이드 로봇의 마라톤 경기에는 한국로봇산업진흥원 주관의 한국오픈로봇마라톤[3]과 FIRA가 주관하는 HuroCup의 마라톤 경기[4-6]가 있다. 그 중에서 HuroCup의 마라톤 경기가 인간의 마라톤 경기 방식과 가장 흡사한 경기이다.

본 논문에서는 HuroCup의 마라톤 경기를 완주할 수 있는 수준의 운용시간, 안정성, 주변 환경인식 능력을 갖춘 휴머노이드 로봇 설계와 경기전략을 제시하고자 한다. 먼저 휴머노이드 로봇의 마라톤 경기를 소개하고, 마라톤 완주를 위한 최적 경기계획을 수립한다. 마라톤 경기를 위한 휴머노이드 로봇을 설계 및 개발하여 마라톤 경기를 실험하고, 결과를 분석하여 결론을 도출하고자 한다.

2. 휴머노이드 로봇의 마라톤

2.1 인간의 마라톤

마라톤의 유래는 기원전 490년, 그리스와 페르시아의 전쟁에서 그리스의 승전보를 알리기 위해 휘디피데스라는 병사가 마라톤에서 아테네까지 40km나 되는 거리를 달린 것이 그 기원이다.

제 1 회 근대올림픽인 아테네 대회에서부터 종목으로 채택되었다. 최초로 42.195km의 거리로 경기를 한 대회는 1908년에 열린 런던올림픽부터였으며 이를 정식 거리로 채택한 것은 1924년 부터였다.

보통사람이 극복하기 힘든 거리를 달리는 마라톤 경기는 주변 환경이 주요하게 작용한다. 더위, 공기 오염도, 오르막 및 내리막길의 비율이 큰 영향을 미친다. 때문에 마라톤 경기는 신체적, 정신적인 피로를 극복한 사람만이 완주하고 좋은 성적을 낼 수 있다.

2.2 HuroCup의 마라톤

2.2.1 개념

HuroCup의 마라톤 경기는 실제 인간의 마라톤 경기와 흡사하며, 휴머노이드 로봇의 견고성(robustness)과 지구력(endurance)을 시험하는 경기이다. 현재는 카메라에 인식되는 트랙을 추적하는 방식으로 로봇이 보행하는 수준이나 향후에는 트랙에 대한 의존을 줄이고 안내선 표시로 대체하는 목표를 가지고 있다[4-6].

2.2.2 로봇의 규정

마라톤 경기는 배터리 교체 없이 정해진 거리를 보행 및 완주하는 것을 목표로 한다[5].

HuroCup의 마라톤 경기에 참가하기 위해서는 다음과 같은 대표적인 규정을 지켜야한다. 먼저 로봇에 사용되는 모든 센서는 수동적(passive)으로, 적외선, 초음파 및 레이저 파동 등의 신호 방출이 허용되지 않는 점이다. 또 반드시 이족보행이여야 한다. 그리고 완전히 자율적으로 움직여야 하며, 독립적인 보행 능력, 센싱, 프로세싱 능력을 가지고 있어야한다. 작동기, 모터, 파워, 컴퓨팅, 센서 장치는 로봇에 내장되어야 한다[4-6].

로봇의 색상은 검은색과 흰색을 제한 없이 사용할 수 있으며, 다른 색은 규정 위원회의 판단으로 예비 색과 다른 경우에 사용할 수 있다. 예비 색은 노란, 파란, 빨간 색이다[4,6].

로봇은 스스로 다른 로봇, 로봇 관리자, 또는 관람객에게 위험이 되는 요소를 가지면 안된다[4,6]. 이 부분은 로봇의 0원칙과 3원칙을 따르는 규정이기도 하다.

체급은 키드 사이즈(kid size)와 어덜트 사이즈(adult size)로 나뉘며, 로봇의 제한 사양은 표 1과 같다[4,6].

표 1. 참가 가능한 로봇의 제한 사양

Table 1. Limit Specifications of Participated Robot [4]

Dimension	Comment	Kid	Adult
$H	Max. height	60cm	180cm
$HM	Min. height	0cm	80cm
$G	Max. weight	20kg	50kg
$D	Max. foot dimension	12cm	32cm

'$H'는 로봇의 최대 키 이며, '$HM'은 로봇의 최소 키를 나타낸다. '$G'는 로봇의 최대 제한 무게이며, '$D'는 형태와 상관없는 발의 크기를 나타낸다.

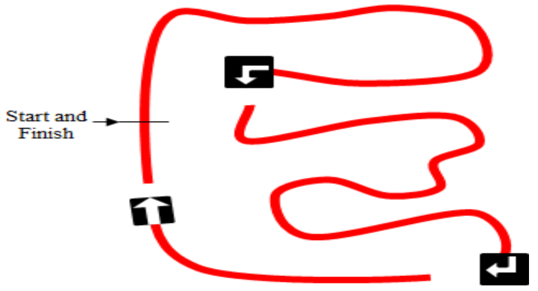
2.2.3 마라톤 경기의 규정

표 2. 휴머노이드 로봇의 마라톤 경기장 규정

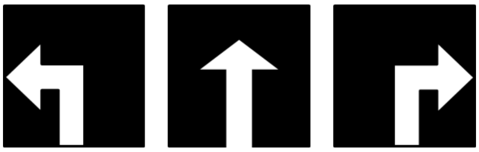
Table 2. Rule of Humanoid Robot Marathon Track [5]

Dimension	Comment	Adult
$L	Total length	200m
$B	Max. lengh of break	1.00m
$M	Max. size of marker	10×10cm

표 2는 마라톤 종목의 경기장에 대한 규정이다. '$L'은 마라톤 경기의 최대 목표거리를 나타내며, 현재는 인간의 마라톤 경기 거리의 약 1/210에 해당되는 거리이다. HuroCup의 마라톤 경기는 경로 인식을 위한 트랙이 4~8cm 폭의 색상 띠로 구성된다. 그리고 일정 거리마다 경로가 끊긴 부분이 존재하는데, 그 길이는 '$B'이다. 경로가 끊긴 부분에는 방향 인지를 위한 화살표 마커가 존재하며, 크기는 '$M'과 같다.



(a)



(b)

그림 1. 마라톤 트랙과 마커:
(a)마라톤 트랙 (b)방향 마커
Fig. 1. Marathon track and markers:
(a)marathon track, (b)direction markers [5]

앞에서 설명한 마라톤 트랙은 그림 1과 같이 구성된다. 마라톤 경기는 키드 사이즈와 어덜트 사이즈가 한 트랙에서 같이 진행하는데, 기록은 따로 집계된다.

로봇의 관리자는 최대 한 명으로 그 이외의 사람은 경기장에 입장할 수 없다. 실제 마라톤과는 다르게, 각 로봇이 3분의 간격을 두고 출발한다. 출발 후, 앞에서 주행 중인 'A' 로봇과의 간격이 50cm 이하일 때, 추월로 인정하여 심판은 'A' 로봇 관리자에게 로봇을 제거하도록 지시하며, 지정한 장소에서 경기를 계속하여야 한다. 또한, 로봇이 트랙을 50cm 이상 벗어날 경우나, 로봇 관리자가 로봇을 만지게 될 경우에는 5m 뒤로 이동해야 한다.

실격이 되는 경우는 로봇 관리자가 초기 프로그램을 취소하고 재 프로그램을 설정하는 행위, 배터리를 교체하였을 경우, 심판에게 허가받지 않고 조력자와 함께 로봇을 수리할 경우 등이 있다.

최대 경기 시간인 1시간이 경과하거나, 모든 로봇이 종료선을 통과하였을 때, 또는 경기하는 로봇이 더 이상 존재하지 않을 때 마라톤 경기는 종료된다.

3. 마라톤 경기의 전략

3.1 컴퓨터 비전 시스템

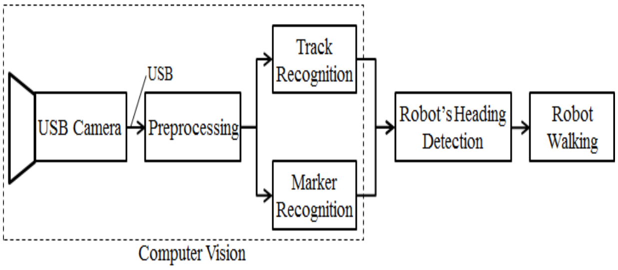


그림 2. 컴퓨터 비전을 가진 로봇보행시스템
Fig. 2. Robot walking system with computer vision

HuroCup의 마라톤은 카메라를 이용하여 주변 환경을 인식하면서 주행하여야 한다. 본 논문에서는 컴퓨터 비전을 통해 트랙과 마커를 인식하여 보행하는 전략을 세웠다.

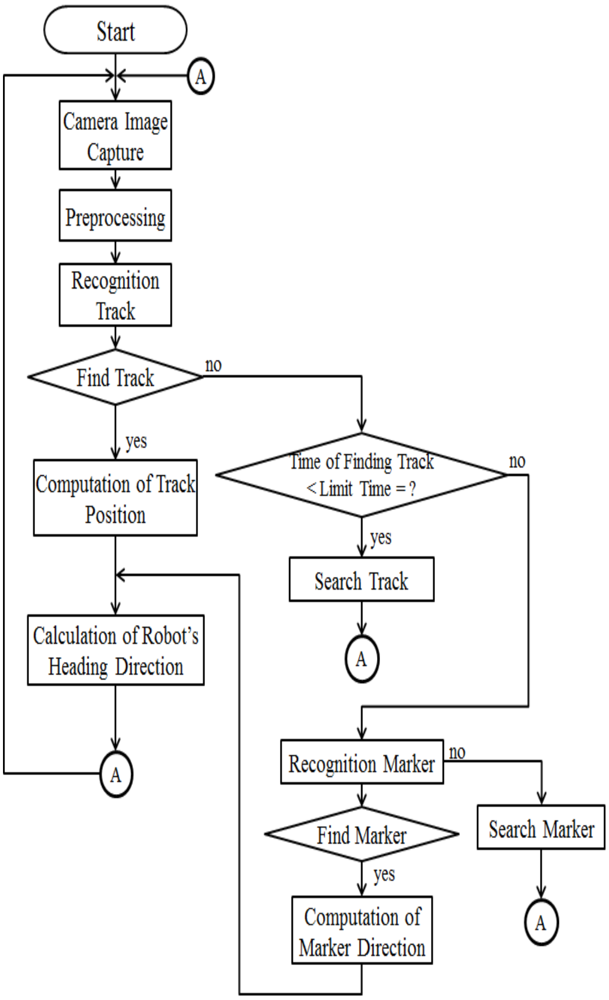


그림 3. 트랙인식과 마커인식의 알고리즘 순서도
Fig. 3. Flowchart of track and marker recognition algorithm

그림 3은 트랙인식과 마커인식의 알고리즘 순서도를 나타내며, 다음과 같이 처리된다.

단계 1 : USB카메라를 통해 보이는 화면을 이미지 캡처
단계 2 : 마라톤 트랙 검색 및 인식(yes:단계4, no:단계3)
단계 3 : 방향 마커 검색 및 인식(yes:단계5 , no:단계1)
단계 4 : 캡처된 이미지에서 트랙의 위치를 계산
단계 5 : 캡처된 이미지에서 트랙의 방향오차가 0이 될 수 있는 로봇의 보행방향 각도 계산

3.2 보행

3.2.1 ZMP 보행

본 논문에서는 마라톤 경기를 목적으로 개발한 휴머노이드 로봇에 ZMP 기반의 보행패턴생성시스템을 적용하였다. 보행 알고리즘은 기본적으로 ZMP를 기반으로 하며, 보행 패턴을 생성하는데 필요한 파라미터들을 제어하여 보행 패턴을 튜닝할 수 있는 시스템이다[1,7].

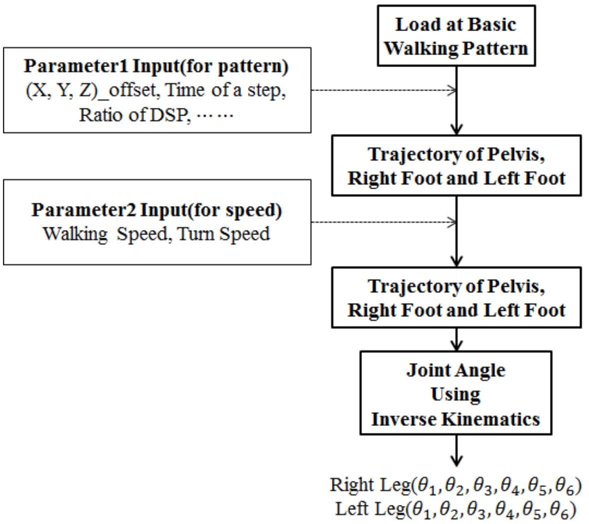


그림 4. ZMP 기반의 보행 패턴 생성 과정
Fig. 4. Procedure of walking pattern generation based on ZMP

로봇의 진행 방향이나 속도 등은 보행패턴생성시스템에서 파라미터 변경과 유사한 방법으로 프로그래밍을 통해 입력되도록 하였다.

3.2.2 방향전환 보행

마라톤 경기는 곡선 보행이 많이 포함되어 있으므로 로봇은 방향전환 보행이 가능하여야 한다. 로봇은 기본적으로 전진, 후진 보행이 가능하며, 좌회전과 우회전이 가능하다. 여기에 트랙을 따라 움직이는 헤드의 각도를 이용하여 전진 중에 좌회전 및 우회전 보행이 가능한 알고리즘을 적용하였다.

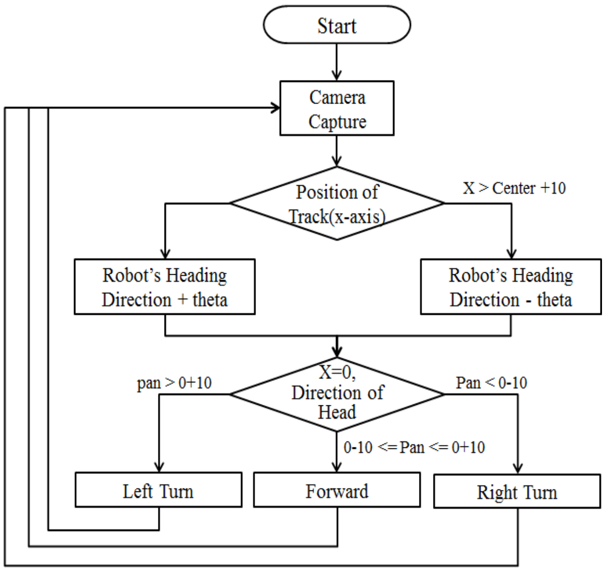


그림 5. 방향전환 보행 알고리즘
Fig. 5. Walking of turning algorithm

3.2.3 속도가변 보행

로봇의 빠르고 안전한 보행을 위해 트랙의 형태에 따라서 보행 속도가 가변되도록 하였다. 로봇이 좌측을 바라보는 경우는 좌측으로 향해있는 경우로써 로봇은 좌측으로 보행을 실시하여야 한다. 이때, 제자리에서 로봇이 방향을 바꾼다면 전체 주행속도가 떨어진다. 또한, 로봇이 방향을 바꿔야하는데 속도를 줄이지 않으면 트랙에서 벗어나게 된다. 본 논문에서의 휴머노이드 로봇은 헤드가 정면을 바라볼 때, 각도는 0도이다. 헤드의 각도는 좌측을 바라볼 때에는 $-\theta$, 우측을 바라볼 때에는 $+\theta$이다. 본 논문에서는 로봇 헤드의 각도가 ± 방향으로 커질수록 로봇의 주행속도는 줄어들게 하였다.

4. 휴머노이드 로봇의 개발

4.1 마라톤 경기를 위한 휴머노이드 로봇의 설계

본 논문에서는 HuroCup 마라톤 경기 중 어덜트 사이즈 부문 경기를 위해 다음과 같은 설계 목표를 세웠다. 크기는 80cm ~ 180cm를 충족하는 110cm, 액추에이터의 부하 최소화를 위해 무게는 9kg미만으로 제한하였다. 배터리의 용량은 마라톤 경기의 제한시간인 1시간 이상 운용이 가능하도록 설계하였다.

로봇에서 전력을 가장 많이 사용하는 부분은 액추에이터이다. 본 논문에서 개발한 휴머노이드 로봇에 사용된 액추에이터는 최대부하 시, 12V 전원 기준에 5.2A가 소모된다. 배터리의 총 용량은 13.2Ah으로, 약 2시간 30분의 운용시간을 가지도록 선정하였다.

4.2 마라톤 경기를 위한 휴머노이드 로봇의 개발

개발된 휴머노이드 로봇의 사양은 표 3과 같다.

표 3. 휴머노이드 로봇의 사양
Table 3. Specifications of Humanoid Robot

Item		Value
Height(cm)		110
Height of CoM(cm)		59.5
Feet size(cm)		11.4 × 23
Weight(kg)		8.16kg
DoF	Head	2
	Arm	6
	Waist	1
	Leg	12
	Total	21
Main Controller		PC with Atom CPU
Sub Controller		Arm 32 bit Cortex
Camera		2M Pixel HD
Power	Motors	4400 mAh 14.8V × 2
	Controller	2200 mAh 11.1V × 2

5. 마라톤 경기 실험

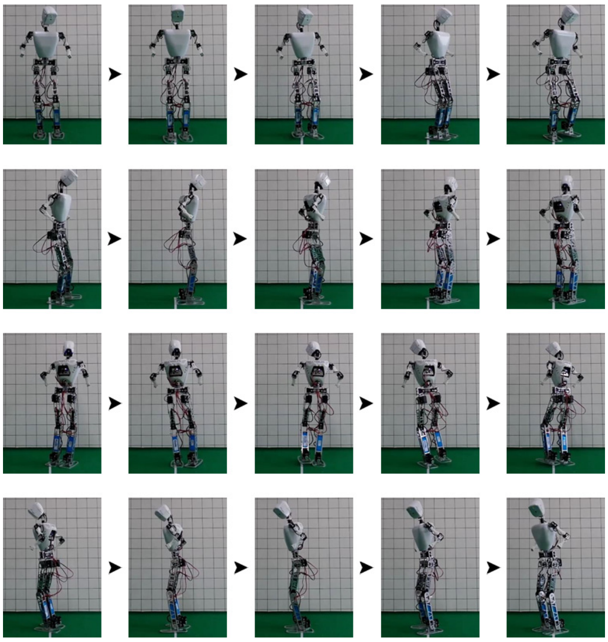


그림 6. 개발된 휴머노이드 로봇의 방향전환 실험
Fig. 6. Turning experiment of developed humanoid robot

그림 6은 마라톤 경기를 진행하는데 있어서 필요한 요소중 하나인 방향전환을 실험한 것이다. 이미지는 동영상에서 1초 간격으로 추출한 것이다. 3.2장의 그림 4에 언급된 파라미터 중에서 Turn Speed는 로봇이 방향을 전환하는 속도에 관련된 것으로 이 값의 크기가 커질수록 방향전환 속도가 빨라진다.

트랙인식 및 마커인식 알고리즘에서 계산되는 보행방향 각도에 따라서 Turn Speed 비율이 변한다. 이때, Turn Speed의 값이 높아질수록, 상대적으로 Walking Speed는 낮아진다.

표 4. 휴머노이드 로봇의 마라톤 경기 기록
Table 4. Marathon Record of Humanoid Robot

Challenge Name	Record	Ranking
FIRA KOREA Cup 2014 Daejeon, South Korea	58m	1
FIRA IRC Cup 2014 Ilsan, South Korea	200m, finish	1
FIRA RoboWorld Cup 2014 Beijing, China	74m	2

본 논문에서의 마라톤 경기 전략을 적용한 휴머노이드 로봇으로 FIRA가 주관하는 HuroCup의 마라톤 경기에 참가하였으며, 그 결과는 표 4와 같다.

로봇의 마라톤 경기 주행 중 카메라가 떨리면서 영상처리에 어려움이 있었다. 이 문제는 로봇의 보행 중 생기는 진동 문제로서 향후 보완이 필요하다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 휴머노이드 로봇의 마라톤 경기를 소개하고 경기전략을 제시하였다. 휴머노이드 로봇의 운용시간, 안정성 및 환경인식 능력을 연구하기 위한 모델로 인간의 마라톤 경기와 유사한 HuroCup의 마라톤 경기를 소개하였다. 휴머노이드 로봇의 운용시간, 안정성 및 환경인식 능력에 대한 연구를 위해, 마라톤 경기를 위한 전략을 제시하고 휴머노이드 로봇을 설계 및 개발하였다. 마라톤 경기 환경을 구성하고 방향전환이 이루어지면서 트랙을 추적하는 실험을 진행하였다. 실험 결과를 분석하고 로봇의 성능을 향상시켰으며, 2014년도 HuroCup의 마라톤 경기에 참가하여 1위로 완주하는 쾌거를 이루었다.

향후 연구에서는 카메라로 주변 환경을 인지하는데 있어서, 노이즈 필터링과 인지 능력을 향상시켜 마라톤 트랙이 아닌 다른 물체나 사람을 추적하는 현상을 해결하고자 한다.

References

[1] Ki-Nam Lee, and Young-Jae Ryoo, "Walking Pattern Tuning System Based on ZMP for Humanoid Robot," *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 11, no. 4, pp. 1442001:1-1442001:10, Dec. 2014.

[2] A. Wakabayashi, S. Motomura, and S. Kato, "Associative Motion Generation for Humanoid Robot Reflecting Human Body Movement," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 12, no. 2, pp. 121-130, Jun. 2012.

[3] IRC, COMPETITIONS: KOREA OPEN ROBOT MARATHON", Available: http://robotsports.or.kr/ beta/competitions_d.php?scat=1&idx=39, 2014, [Accessed: October 22, 2014]

[4] Jacky Baltes, Kuo-Yang Tu, and Sock-Lip Lim, "HuroCup Laws of the Game General Laws," *HuroCup Laws of the Game*, Version 12.0.3, 2014.

[5] Jacky Baltes, Kuo-Yang Tu, and Sock-Lip Lim, "HuroCup Laws of the Game Marathon," *HuroCup Laws of the Game*, Version 12.0.8, 2014.

[6] Jacky Baltes, Kuo-Yang Tu, and Sock-Lip Lim, "HuroCup Laws of the Game Allround," *HuroCup Laws of the Game*, Version 12.0.26, 2014.

[7] Ki-Nam Lee, Jang-Hyun Park, and Young-Jae Ryoo, "Development of Child-Sized Humanoid Robot,"

Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, vol. 23, no. 1, pp. 24-28, Feb. 2013.
[8] Dae-Young Lim, Hyun-Jin Kwak, and Young-Jae Ryoo, "Motion Editing Tool to Create Dancing Motions of Humanoid Robot," *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 11, no. 4, pp. 1442002:1-1442002:10, Dec. 2014.
[9] Yong-Tae Kim, "Hierarchical Fuzzy Motion Planning for Humanoid Robots Using Locomotion Primitives and a Global Navigation Path," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 203-209, Sep. 2010.
[10] Jaemin Lee, and Kisung Seo, "Generation of Walking Trajectory of Humanoid Robot using CPG," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems,* Vol. 23, no. 4, pp. 360-365, Aug. 2013.
[11]JaeHum Yun, Dang Van Chien, Tran Trung Tin, and Jong-Wook Kim, "Posture Optimization for a Humanoid Robot using Particle Swarm Optimization", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 24, No. 4, pp.450-456, August 2014.

저 자 소 개

이기남(Ki-Nam Lee)
2011년 : 목포대학교 제어로봇공학과 공학사
2013년 : 목포대학교 일반대학원 전기공학과 제어로봇전공 공학석사
2013년~현재 : 목포대학교 일반대학원 전기공학과 제어로봇전공 박사과정

관심분야 : Humanoid Robot, Robot Design, Special Robot
Phone : +82-10-8868-2938
E-mail : knlee@mokpo.ac.kr

유영재(Young-Jae Ryoo)
본 논문지 제23권 4호 참조
2000년~현재 : 목포대학교 제어로봇공학과 교수
2010년~2012년 : 미국 버지니아텍 교환교수

관심분야 : Intelligent Robot, Future Vehicles, Robicle
Phone : +82-61-450-2754
E-mail : yjryoo@mokpo.ac.kr