



## 휴머노이드 로봇의 스프린트 경기 전략

### Strategy for Sprint Race of Humanoid Robot

길우람\* · 유영재\*<sup>†</sup>

Woo-Ram Gill and Young-Jae Ryou<sup>†</sup>

\*목포대학교 제어로봇공학과

<sup>†</sup>Dept. of Control Engineering and Robotics, Mokpo National University

#### 요약

본 논문에서는 인간의 스프린트 경기와 휴머노이드 로봇의 스프린트 경기를 비교하고 FIRA가 주관한 휴머노이드 로봇의 대표적인 스포츠 경기인 HuroCup에 대해서 소개한다. 또한 이 대회 경기 규정을 알아보고 휴머노이드 로봇이 스프린트 경기를 수행하는데 사용할 수 있는 경기 전략을 제시한다. 본 논문을 위해 스프린트 경기 규정에 맞는 휴머노이드 로봇을 설계 및 개발하고, 제작한 휴머노이드 로봇에 스프린트 경기 전략 알고리즘을 적용하여 로봇의 성능을 시험한다. 마지막으로, 실제 경기 사례를 통해 제작된 휴머노이드 로봇이 스프린트 경기에 적합하게 수행함을 검증한다.

키워드 : 휴머노이드 로봇, HuroCup, 스프린트

#### Abstract

In this paper, a sprint race of human and that of humanoid robot are compared, Sprint race is one of the most popular sports games of human, HuroCup organized by FIRA is the most representative sports event of humanoid robots. The rules of the sprint race in HuroCup are explained and the strategy for the sprint race that humanoid robots can play is proposed. A child-sized humanoid robot is designed and developed so that it can play to follow the rules of the sprint race. The algorithm of the game strategy is applied to the robot, and the robot's performance is tested. Eventually, in HuroCup, it is verified that the developed humanoid robot is suitable to perform the sprint race.

Key Words : Humanoid robot, HuroCup, Sprint race

Received: Sep. 30, 2016

Revised : Oct. 19, 2016

Accepted: Oct. 20, 2016

<sup>†</sup>Corresponding authors

yjryoo@mokpo.ac.kr

## 1. 서론

현대 사회에서 휴머노이드 로봇(Humanoid Robot)은 큰 관심사로 떠오르고 있다. 휴머노이드 로봇의 연구는 1970년대부터 시작되어, 현재까지 계속되고 있다. 휴머노이드 로봇은 인간의 형태와 능력을 모방하는 것을 목표로 개발되고 있다[1-4]. 하지만, 휴머노이드 로봇의 설계가 복잡하고, 각 관절에 사용되는 구동기의 기술이 사람의 관절을 모방하거나 표현하기에는 어려움이 있다. 따라서 휴머노이드 로봇에 대한 연구 및 개발은 계속 되었지만 휴머노이드 로봇이 갖추어야 할 완벽한 수준에는 미치지 못한다.

앞에서 이야기한 휴머노이드 로봇의 개발은 인간의 형태와 능력을 모방하여 개발되고 인간과 공생하며 상호 활동하는 것이 목표이다. 휴머노이드 로봇이 인간과 유사한 형태와 행동을 모방하는 것은 인간과 로봇이 협력 시 상호간의 행동을 충분히 예측하여 불필요한 혼란을 방지하고 보다 안전한 교류를 할 수 있게 한다. 또한, 인간과 로봇의 상호 작용에 있어서, 특히 공공장소에서 사람들에게 안내하며 설명 하는 것과 같이 인간의 동작을 모방하여 재연해 즐거움을 주는 경우도 있다. 또한, 휴머노이드 로봇은 인간과 공생, 공존하며 상호 활동하기 위해 인간과 유사한 보행을 하는 것이 필요하다[4-6].

특히 모든 스포츠의 기본이 되는 육상경기 중 단거리 달리기인 스프린트(Sprint)를 연구하는 것은 매우 가치가 있다. 이는 휴머노이드 로봇의 보행에 대한 기술적 진보를 기대하게 한다. 휴머노이드 로봇의 스프린트는 최대한 넓고 안정적인 보폭과 보행 자세를 기반으로 하는 빠른 보행 속도로

이 논문은 2015년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업(NRF-2015 H1C1A1035841)의 지원을 받아 수행된 연구임.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이루어지는 경기이다.

휴머노이드 로봇의 대표적인 스포츠 경기로 FIRA(Federation of International Robot soccer Association)가 주관하는 HuroCup대회의 휴머노이드 로봇 스프린트 종목이 있다[7].

본 논문은 FIRA가 주관하는 HuroCup의 스프린트 경기를 소개하고, 휴머노이드 로봇의 스프린트 경기를 위한 전략을 제안하며, 경기 목적에 충족하는 휴머노이드 로봇을 설계 및 제작하여 스프린트 경기 전략을 적용 실험한 스프린트 경기 사례를 소개하고자 한다.

## 2. 스프린트 경기

### 2.1 인간의 스프린트 경기

육상경기는 모든 스포츠의 기본이며 다른 종목 기술향상에 영향을 주는 기본적인 뛰는 동작을 수행하는 운동경기로서 그 중 달리기는 고대 올림픽 경기 초기부터 정식 종목으로 실시해왔다. 오늘날에도 모든 스포츠의 기본운동으로 그 중요성이 강조되고 있다. 육상경기는 오늘날 강한 정신력과 인내력을 요구하고, 건전한 스포츠 정신이 요구되는 스포츠이다.

스프린트는 육상, 수영, 스피드 스케이팅 등에서 단거리를 전력으로 수영하거나 달리는 일을 의미한다. 체육학 사전에는 비교적 단거리에서 일정한 속도가 아닌 최고 속력을 내는 것을 말한다. 비슷한 의미의 대시(Dash)는 돌진한다는 의미에서 단거리 달리기, 또는 스타트 대시(Start dash), 인터벌 대시(Interval dash)와 같이 일시적인 스프린트로서 질주하는 경우를 말하는 것으로 명시되어 있다.

이와 같은 인간의 스프린트 경기는 신체의 모든 기관이 최대한의 능력을 단시간에 집중적으로 발휘하는 경기다. 또한, 다른 도구의 도움을 받지 않고 인간이 이동하는 가장 빠른 형태이다. 스프린트 주자의 최고 속도는 보폭과 다리의 회전 속도에 의해서 결정된다. 이때, 최대 속도는 다리의 보수 보다는 보폭의 영향이 더 크다. 인간의 경우 일반적으로 2m의 보폭으로 약 50보를 달려 100m를 통과하므로, 빨리 달리는 데에는 보수와 보폭의 넓이가 매우 중요하다[8].

### 2.2 휴머노이드 로봇의 스프린트 경기

로봇 스프린트 경기는 휴머노이드 로봇의 스프린트를 위한 경기이다. 로봇 스프린트 경기는 출발선에서 가능한 빠른 속도로 보행하여 도착선에 가장 먼저 도착하는 것을 목표로 한다[7].

### 2.3 휴머노이드 로봇의 스프린트 경기 규정

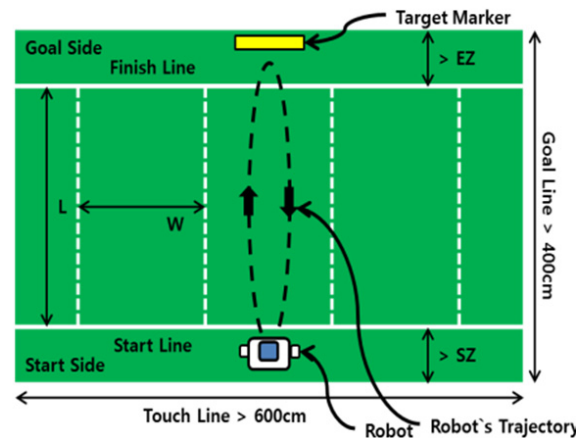


그림 1. 스프린트를 위한 경기장  
Fig. 1. Playing field for sprint game [7]

그림 1과 표 1은 HuroCup 스프린트 경기의 경기장 규정이다. 경기장의 바닥은 일반적으로 초록색으로 제작되고, 바닥은 고르지 않을 수 있다. 또한 경기장 트랙은 흰색 테일로 제작한다[7].

표 1. 스프린트를 위한 경기장 규정  
Table 1. Playing field for sprint game [7]

Dimension	Comment	Limited value
L	Length of track	400cm
W	Width of track	200 to 300cm
SZ	Start zone	50cm
EZ	End zone	50cm
M	Dimension of marker	50 × 50 × 50cm

일반적으로 스프린트 경기에서 트랙 길이(L) 400cm, 트랙 폭(W) 200cm로 구성된다. 출발영역(SZ), 종료영역(EZ) 50cm 구성되고, 종료영역에 마커가 설치되는데 마커의 크기는 50×50×50cm로 제한한다.

출발영역에서 경기가 시작되며, 휴머노이드 로봇은 전진 보행하여, 종료 영역에 도착한다. 종료영역에 도착한휴머노이드 로봇은 후진 보행하여 출발영역으로 돌아가야 한다. 이 때, 휴머노이드 로봇이 도착영역에 있는 마커를 보고 이동하고, 마커는 크기 제한을 제외한 색, 형태 등의 제한 사항은 없다.

스프린트 경기에는 로봇을 다루는 사람인 관리자(Handler)를 최대 한 명으로 제한한다. 경기가 시작되기 전 로봇은 반드시 지정된 트랙의 출발영역에 있어야 하며, 출발선(Start Line)을 넘어서는 안 된다. 경기가 시작 되고 휴머노이드 로봇은 자신의 마커를 향해 보행해야 한다. 경기 중 자신의 트랙을 벗어났을 경우 관리자에 의해 출발영역으로 옮겨지며, 재출발 할 수 있다. 로봇은 반드시 도착선(Finish Line)을 넘어서 종료영역에 도착해야 하고, 다시 출발영역을

향해 되돌아가야 한다[7].

경기는 심판의 신호에 의해 시작되며, 최대 경기 시간은 5분이다. 하지만, 경기장 안에 로봇이 남아 있지 않은 경우 심판의 판단에 의해 경기가 종료 될 수 있다[9].

스프린트 경기의 득점 방법은 로봇이 자신의 트랙을 왕복했을 때 완주 점수를 획득 한다. 로봇이 출발영역에서 출발하여 종료영역에 도착선을 넘었을 때 최소 점수를 획득한다. 따라서 종료영역의 도착선을 넘지 못한 경우의 점수는 없다.

모든 로봇이 완주하여 최대 점수를 획득하거나, 완주 하지 못하고, 최소 득점만 하였을 경우에는 시작 시간부터 득점까지의 시간으로 순위를 결정한다.

### 2.4 경기를 위한 로봇의 규정

표 2. 참가 로봇의 제한 사양  
Table 2. Limit of specification for participated robot

Dimension	Comment	Adult
\$H	Maximum Height	180cm
\$HM	Minimum Height	80cm
\$G	Maximum Weight	50kg
\$D	Maximum Foot Dimension	32cm

HuroCup 대회에서는 다음과 같은 대표적인 규정을 지켜야 한다.

각 경기에 한 대의 로봇으로 참가해야 하며, 로봇은 인간과 유사한 이족 보행 로봇이어야 한다. 또한 로봇에 사용되는 센서는 수동적이어야 하며, 적외선, 초음파 등의 신호 방출형 센서는 허용하지 않는다.

로봇은 높이와, 최대 발 크기를 기준으로 어린이 크기(Kid sized)와 어른 크기(Adult sized) 두 체급으로 구분된다. 이 때, 최대 발 크기(\$D)는 형태에 관계없이 발의 가장 긴 최대 거리에 해당하고 최대 32cm로 제한한다.

표 2는 어른 크기의 참가 로봇의 제한 사항이다. 어른 크기의 최대 키(\$H)는 180cm, 최소 키(\$HM) 80cm, 최대 무게(\$G) 50kg 으로 제한 한다.

## 3. 스프린트 경기 실험 방법

### 3.1 스프린트 경기 전략

그림 2는 휴머노이드 로봇의 스프린트 경기 알고리즘이다. 경기가 시작되면 휴머노이드 로봇은 타깃 마커를 찾는다. 찾기에 성공한 경우 타깃 마커를 향해 걸어가고, 찾지 못할 경우 카메라가 장착된 머리의 각도를 변경하여 다시 타깃 마커를 찾는 일련의

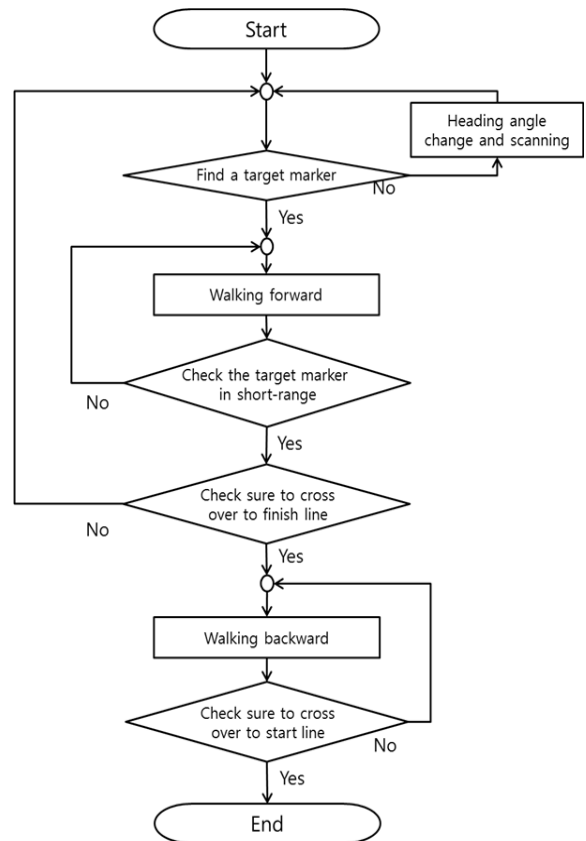


그림 2. 스프린트 경기를 위한 알고리즘  
Fig. 2. Algorithms for sprint game

과정을 반복하여 타깃 마커를 찾는다.

전진 보행은 타깃 마커와 가까워질 때까지 계속된다. 타깃 마커와 휴머노이드 로봇이 근거리일 때, 도착선을 넘었는지 확인한다. 이때, 도착선을 넘지 못할 경우 휴머노이드 로봇은 타깃 마커를 다시 찾아 전진 보행하여 도착선을 넘었는지 확인한다. 도착선을 넘은 휴머노이드 로봇은 트랙을 뒤로 걸어가서 출발선을 넘는 알고리즘이다.

### 3.2 컴퓨터 비전

HuroCup의 스프린트 경기에서는 로봇에 장착된 카메라로 주변 환경을 보고, 컴퓨터 비전을 이용하여 타깃 마커를 인식하고 로봇이 움직이기 위해 그림 3과 같은 알고리즘이 필요하다.

USB 카메라를 통해 영상을 획득하여 전처리(Preprocessing) 과정에서 사용 목적에 맞게 영상을 처리하여 보다 개선된 영상을 만들어주는데, 잡음을 제거하거나 초점이 흐린 영상을 개선하는 등의 과정을 거친다. 이후 특징 추출(Feature Extraction) 단계에서 영상의 원, 코너, 텍스처 등의 특징을 추출한 영상을 분석하고 해석하여 고급묘사(High-level Description)을 출력한 고급 비전(High-level Vision)을 획득한다.

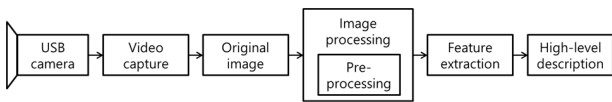


그림 3. 컴퓨터 비전 알고리즘  
Fig. 3. Algorithms for computer vision

### 3.3 타깃 마커 인식

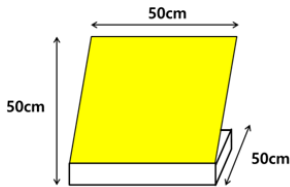


그림 4. 스프린트 경기의 타깃 마커  
Fig. 4. Target marker for sprint race

스프린트 경기에 쓰이는 타깃 마커는 그림 4와 같다. 스프린트 경기 규정에 타깃 마커의 형태와 색은 규정되어 있지 않고, 그 크기만을 최대 50×50×50cm로 제한한다.

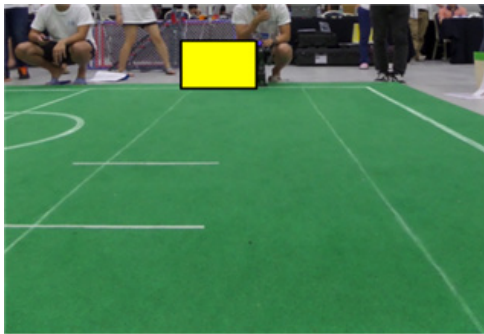


그림 5. 카메라 영상  
Fig. 5. Camera image

휴머노이드 로봇이 타깃 마커를 인식하기 위해 장착된 USB 카메라를 통해 영상을 획득하여 전처리 과정에서 잡음을 제거하고, 미리 지정한 타깃 마커의 색을 인식하도록 한다.

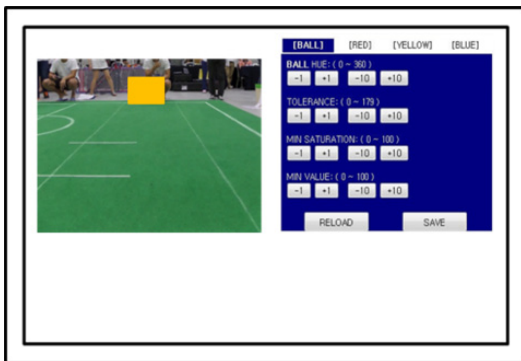


그림 6. 카메라에 타깃 마커가 인식 된 화면  
Fig. 6. Target marker recognized by camera

타깃 마커 인식을 통해 얻은 결과는 그림 5와 같이 카메라 영상에서 그림 6과 같이 카메라에 타깃 마커가 인식된다.

### 3.4 휴머노이드 로봇의 전진 보행

스프린트 경기 시작 시 휴머노이드 로봇은 타깃 마커를 인식하고 전진 보행하게 된다. 이 때, 타깃 마커와 로봇의 거리가 400cm 이상이므로 인식되는 타깃 마커 영역의 크기는 상대적으로 작다. 따라서 컴퓨터 비전을 이용하여 타깃 마커를 인식하고, 인식되는 타깃 마커의 영역의 중심점과 카메라에서 얻어지는 영상의 중심점이 일치 할 수 있도록 하여 전진 보행하는 전략이다.

인식되는 타깃 마커의 영역이 카메라 영상의 수평 중심선을 기준으로 상단에 있을 경우 가속 보행하고, 하단에 있을 경우 감속 보행한다.

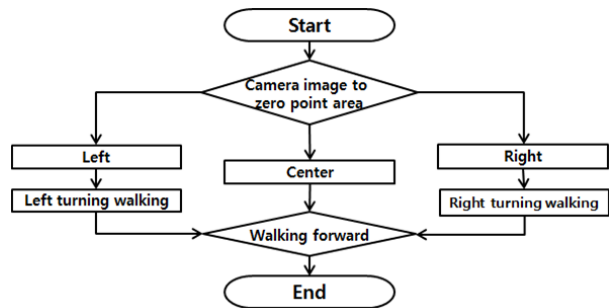


그림 7. 로봇의 위치에 따른 전진 회전 보행을 위한 알고리즘  
Fig. 7. Algorithms for the forward rotation walking on the position of robot

그림 7은 그림 2의 'Walking forward' 단계를 세분화 한 알고리즘이다. 그림 5의 카메라 이미지와 같이 인식되는 타깃 마커의 영역의 중심이 카메라 이미지에 대한 가상의 중심선에 일치하도록 보행하기 위한 알고리즘으로, 타깃 마커의 영역의 중심과 카메라 영상에 대한 중심이 일치 할 때를 'Center' 단계로 구분하여 전진 보행 한다.

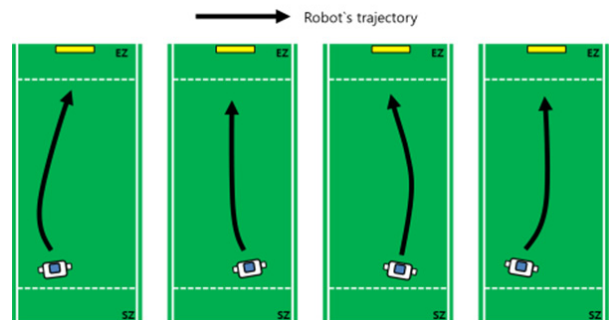


그림 8. 로봇의 위치에 따라 타깃 마커에 접근하는 로봇의 궤적  
Fig. 8. Robot's trajectory to approach target marker depending on initial robot's position



만약 인식되는 타깃 마커의 영역이 카메라 이미지에 대한 중심에서 왼쪽이나 오른쪽으로 치우쳐 있다면, 해당 방향으로 회전하여 보행하는 알고리즘이다.

그림 8은 그림 7의 알고리즘에 따라 로봇에 위치에 따른 타깃 마커에 접근하는 로봇의 궤적 즉, 전진 보행 이동 경로를 예상한 그림이다.

### 3.5 휴머노이드 로봇의 후진 보행

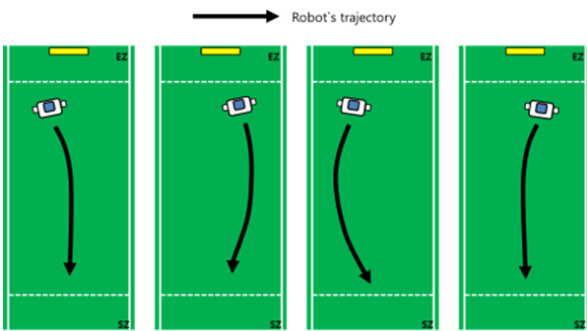


그림 9. 로봇의 위치에 따라 타깃 마커와 멀어지는 로봇의 궤적

Fig. 9. Robot's trajectory to walk away from target marker depending on robot's position

그림 9는 로봇이 후진 보행할 때, 위치에 따른 로봇의 후진 보행 이동 경로를 예상한 그림이다.

로봇이 타깃 마커에 도달하고, 후진 보행할 경우 타깃 마커와의 거리는 50cm 이내이므로 영상에서 획득할 수 있는 타깃 마커의 영역은 상대적으로 크다. 따라서 컴퓨터 비전을 이용하여 타깃 마커 인식하고, 인식되는 타깃 마커 영역의 중심점과 카메라에서 얻어지는 영상의 중심점이 일치할 수 있도록 하여 후진 보행하는 전략이다.

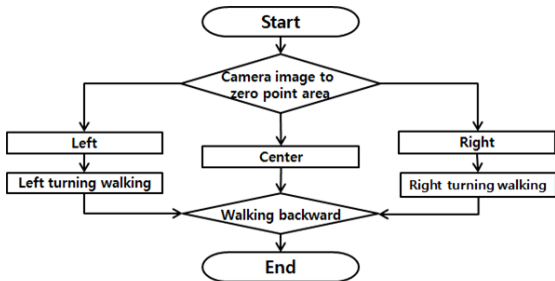


그림 10. 로봇의 위치에 따른 후진 회전 보행을 위한 알고리즘  
Fig. 10. Algorithms for backward rotating walk depending on robot's position

그림 9와 같은 방향전환 보행을 위해 그림 10의 로봇의 위치에 따른 후진 회전 보행을 위한 알고리즘을 이용한다. 카메라에서 얻어지는 영상의 수직 중심선을 기준으로 타깃 마커의 영역이 좌측

또는 우측에 있을 때, 방향전환보행을 하도록 하는 전략이다.

## 4. 스프린트 경기 사례

### 4.1 휴머노이드 로봇의 설계 및 개발

표 3. 개발된 휴머노이드 로봇의 사양  
Table 3. Specification of the development of humanoid robot

Items	Values
Height(cm)	110
Height of CoM(cm)	55.6
Feet size(cm * cm)	7.4 x 29
Weight(kg)	8.16
Camera	HD Camera

본 논문에서는 스프린트 경기를 위해 스프린트 경기 규정에 적합한 휴머노이드 로봇을 설계 및 개발 하였다.

개발된 휴머노이드 로봇 'CHARLES(Cognitive Humanoid Autonomous Robot with Learning and Evolutionary System)'은 경량화 설계 목표에 따라 개발되었다. 키 110cm, 무게 8.16kg으로 총 자유도 25개로 이루어진 휴머노이드 로봇이다. 카메라로 머리 부분에 USB camera를 장착하였다[10].

표 3은 개발 된 1m급 휴머노이드 로봇의 상세 사양이다. 개발 된 휴머노이드 로봇은 크기에 비해 가볍게 개발되어 제어가 용이하고 로봇의 전복 사고에도 충격과 손상도가 적다.

### 4.2 휴머노이드 로봇의 스프린트 경기 사례

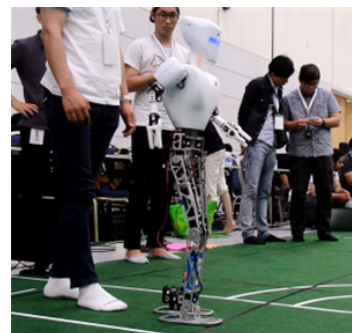


그림 11. 휴머노이드 로봇의 스프린트 경기  
Fig. 11. Sprint game of Humanoid robot

그림 11은 휴머노이드 로봇에 스프린트 경기를 위한 알고리즘을 적용하여 FIRA가 주관하는 Roboworld Cup의 HuroCup 부문 스프린트 경기에 참가한 사진이다.

스프린트 경기를 위한 알고리즘을 적용한 휴머노이드 로봇은 컴퓨터 비전을 이용하여 타깃 마커를 인식하고, 전진, 후진 보행

전략에 따라 자신의 위치에서 타깃 마커까지 이동 경로를 따라 전진 보행하여 이동하고, 타깃 마커로부터 멀어지는 이동경로를 따라 후진 보행하여 경기를 수행하였다.

### 5. 결론

본 논문에서는 FIRA가 주관하는 HuroCup의 스프린트 경기를 소개하였다. 또한 스프린트 경기 규정인 경기장 규정, 득점 방법, 스프린트 참가 로봇의 제한 사양에 대해 소개하였다. 소개한 경기 규정에 맞는 스프린트 경기 전략을 제시하였다. 제시한 경기 전략을 적용할 휴머노이드 로봇을 설계 제작하였으며 스프린트 경기에 참가하였다. 개발된 휴머노이드 로봇에 스프린트 경기 전략을 적용하여, 타깃 마커 인식 실험과 보행 실험을 진행하였다. 휴머노이드 로봇이 타깃 마커를 인식하여 전진 후진 보행하고 방향 전환 보행하는 것을 확인하였다. 또한 HuroCup의 스프린트 경기에 참가하여 스프린트 경기 전략을 적용한 휴머노이드 로봇이 스프린트 경기를 원활하게 수행함을 확인하였다.

### 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] Ki-Nam Lee, and Yonug-Jae Ryoo, "Design and Walking of Child-typed Humanoid Robot," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 25, no. 3, pp. 248-253, Jun. 2015.

[3] JaeHum Yun, Dang Van Chien, Tran Trung Tin, 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, Aug 2014.

[4] Jaemin Lee, 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.

[5] Ki-Nam Lee, Young-Jae Ryoo, "Marathon Game and Strategy of Humanoid Robot", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol.26, no.1, pp.64-69, Feb. 2016.

[6] Ki-Nam Lee, Jang-Hyun Park, 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.

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

[8] Jeong-Tae Lee, and Ik-Sou Jeong, "A Kinetics Analysis of Starting Block Type of Sprinter," *The Korea Journal of Sports Science*, vol. 21, no. 2, pp. 1329-1343, Mar. 2012.

[9] 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.

[10] 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.

### 저자 소개



#### 길우람(Woo-Ram Gill)

2013년 : 목포대학교 제어로봇공학과 공학사  
2013년~현재 : 목포대학교 대학원 전기공학과  
제어로봇공학전공 석사과정

관심분야 : Humanoid Robot, Robotics, Walking Robot  
Phone : +82-10-5124-6251  
E-mail : wooram@mokpo.ac.kr



#### 유영재(Young-Jae Ryoo)

본 논문지 제21권, 제 4호 참조  
2000년~현재 : 목포대학교 제어로봇공학과  
교수  
2010년~2012년 : 미국 버지니아텍 교환 교수

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