

4족 로봇의 정지 밸런스를 위한 경계 조건 분석

Analysis on Boundary Condition for Standing Balance of Four-Legged Robots

김병호

Byoung-Ho Kim

경성대학교 메카트로닉스공학과 생체모방 및 지능로봇 연구실

Biomimetics & Intelligent Robotics Lab., Dept. of Mechatronics Eng., Kyungsoong Univ.,
Busan, 608-736, Korea

요약

본 논문에서는 물체의 이동이나 정보 탐색을 위하여 유용하게 사용될 수 있는 4족 로봇의 정지 밸런스를 분석하고자 한다. 이 목적을 위하여, 일반적인 4족 로봇의 유용한 모델을 제시하고, 정지 안정성을 고려한 경계 조건을 제안한다. 착지된 상태에서 4족 로봇의 정지 밸런스를 분석하기 위하여 다양한 자유 운동을 고려하며, 시뮬레이션을 통하여 밸런스 여유를 고찰한다. 이러한 분석은 4족 로봇 보행의 효과적인 밸런싱 제어를 위하여 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

키워드 : 정지 밸런스, 4족 로봇, 안정성 기반 경계 조건

Abstract

This paper analyzes the standing balance of four-legged robots which are useful for delivering objects or investigating of information. For this, we specify an effective model of general four-legged robots and propose a boundary condition based on the standing stability of the four-legged walking. To verify such a standing balance, we consider some exemplary free motions at the standing mode of the robot and discuss on the robot's balance margin. The analysis specified in this paper will be applicable for effective balancing control of various quadruped robotic walking.

Key words : Standing balance, Four-legged robots, Stability-based boundary condition

1. 서론

일반적으로, 이동 로봇은 산업현장에서 물건을 이동하거나 가정, 병원, 전시장, 위험지역 등에서 필요한 다양한 서비스를 제공해 줄 수 있기 때문에 국내외에서 활발히 연구되고 있다 [1]. 이러한 이동 로봇을 이동 메커니즘 관점에서 살펴보면, 크게 바퀴 구동형 [2]- [7], 다리 구동형 [8]- [12] 및 이 두 가지의 형태를 공유한 복합형으로 분류할 수 있다 [13] [14]. 바퀴 구동형 이동

로봇은 비교적 적은 에너지로 평지에서의 이동이 용이하지만, 장애물이나 계단 등이 있는 지형에서는 이동성이 제약될 수 있다. 한편, 다리 구동형 로봇은 비교적 험난한 지형에서도 용이하게 이동하면서 작업 수행이 가능한 장점이 있다. 따라서 다족 로봇 시스템 및 제어 알고리즘 개발에 대한 관심이 높아지고 있다.

특히, 그림 1(a)는 개를 닮은 로봇으로서 오락용이나 사람과 로봇간의 상호 작용에 관한 연구 등의 용도로 활용될 수 있고, 그림 1(b)에 나타난 4족 로봇은 작업

접수일자 : 2011년 11월 19일

완료일자 : 2011년 12월 5일

본 논문은 본 학회 2011년도 추계학술대회에서 선정된 우수 논문입니다. 이 논문은 2011학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

환경이 울퉁불퉁하거나 산악과 같이 험난한 지형에서도 물건을 이동하거나 유용한 정보를 탐색하는 등 다양한 용도로 활용이 가능하다. 이러한 로봇이 주어진 임무를 안정적으로 수행하기 위해서는 기본적으로 정지 상태에서의 다양한 동작을 할 수 있어야 하고, 이동 상태에서의 안정된 보행이 가능해야 한다.



(a) AIBO [9]



(b) BigDog [11]

그림 1. 4족 로봇

Fig. 1. Four-legged robots

본 논문에서는 이러한 4족 로봇의 안정적인 제어를 위한 정지 밸런스에 관하여 고찰하고자 한다. 이 목적을 위하여, 일반적인 4족 로봇 시스템을 간단한 메커니즘으로 모델링 한 후, 정지 안정성을 고려한 경계 조건을 제안하고, 이것을 이용하여 로봇의 정지 밸런스를 분석하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 4족 로봇 시스템을 위한 유용한 모델링에 관하여 기술한다. 3장에서는 로봇 메커니즘의 기구학적인 안정성에 기반한 경계 조건을 제시한다. 4장에서는 착지된 상태에서 4족 로봇의 다양한 자유 운동을 고려한 시뮬레이션을 수행하고, 이를 통하여 로봇의 밸런스 여부를 고찰한다. 5장에서는 결론 및 향후과제를 제시한다.

2. 4족 로봇 모델링

일반적인 다족 로봇의 보행 문제에 있어서 로봇의 무게중심점(center of mass, COM)이 지형과 접촉하고 있는 발들의 위치에 따라 형성되는 지지다각형(foot polygon)의 내부에 투영될 수 있는 경우, 기본적으로 로봇의 안정적인 착지가 가능하다 [1]. 이러한 관점에서 4족 로봇의 정지 밸런스(standing balance)를 분석하고자 본 논문에서는 일반적인 4족 로봇 시스템을 그림 2와 같이 모델링하였다. 여기서, X_b , Y_b , Z_b 는 각각 관성 좌표계의 x , y , z 축을 나타낸다. 정지의 의미는 로봇이 4개의 발에 의해 착지된 상황을 의미하며, 이때 착지된 로봇의 몸체 운동은 동작 범위내에서 자유롭게 가능

하다. 또한 정지 밸런스는 이러한 자유 운동 상황에서 로봇 시스템의 구조적인 안정성 정도를 나타낸다. 제시된 로봇 모델에서 다리 메커니즘의 자유도는 몸체의 3차원 운동을 위하여 충분하다고 가정한다.

그림 2에서 어떤 모바일 매니플레이션 작업 수행을 위한 조작기를 추가적으로 고려하는 것이 가능하지만, 여기서는 조작 행위를 위한 인터페이스(interface)가 포함된 시스템을 하나의 몸체(body)로 고려하였으며, 이러한 로봇 시스템의 정지 밸런스 특성을 분석하는데 중점을 두었다. 따라서, f_1 , f_2 , f_3 , f_4 로 나타낸 각 발을 점선으로 연결한 다각형은 4족 로봇의 안정된 지지를 위한 지지다각형으로서, 로봇 시스템의 안정성을 고찰하는데 있어서 매우 중요한 의미를 갖는다.

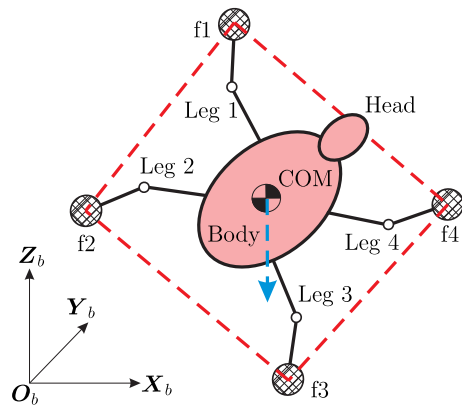


그림 2. 4족 로봇 모델

Fig. 2. A model of four-legged robots

3. 안정성을 위한 경계 조건

그림 2에 나타낸 4족 로봇의 정지 밸런스를 분석하기 위해서는 어떤 기준이 요구되는데, 본 논문에서는 로봇 시스템의 기구학적 안정성에 기반하여 현재 착지하고 있는 발에 의해 결정되는 경계 조건(boundary condition)을 제시하고자 한다.

그림 2와 같은 4족 로봇이 4개의 발에 의해 착지되어 있는 상황에서 로봇의 몸체가 임의의 궤적 운동을 하는 경우는 로봇의 무게중심점(COM)이 이동하는 것으로 볼 수 있다. 일반적으로, 로봇의 무게중심점이 지지다각형(foot polygon)의 내부에 투영될 수 있는 경우에는 시스템의 밸런스가 안정화될 수 있으나, 외부에 투영될 경우에는 불안정하게 된다. 따라서 본 논문에서는 로봇의 COM이 xy 평면에 중력 방향으로 투영될 때, 투영축이 지지다각형의 모서리와 만나는 점의 위치와 지지다각형의 중심(centroid of foot polygon, COFP)간의 상대적인 거리를 로봇 시스템의 안정성을 위한 경계 조건으로 정의한다. 만일, COM과 COFP의 좌표가 일치하는 경우에는 COFP와 지지다각형의 경계면간의 최소 거리를 경계 조건으로 정의한다.

그림 3은 4족 로봇의 운동에 따른 경계 조건을 구하기 위한 개념도를 나타낸다. 여기서, 각 로봇 발은 xy 평면에 착지되어 있는 상태이고, 로봇의 xy 평면에 투영

된 COM은 정지 상태에서의 운동 궤적에 따라 지지다각형의 내부에 있거나 경계면에 있을 수 있으며, 어떤 경우에는 지지다각형의 경계면을 벗어날 수 있다. 제시된 경계 조건에 의하면, 어떤 시점에서 COM의 투영축이 지지다각형의 내부, 지지다각형의 경계면, 또는 외부에 존재할 경우에는 지지다각형의 중심 및 COM의 투영축을 지나는 반직선과 만나는 지지다각형의 경계면의 위치로부터 COFP의 위치를 뺀 각 축방향의 거리가 그 순간의 각 축방향으로의 경계 조건이 된다.

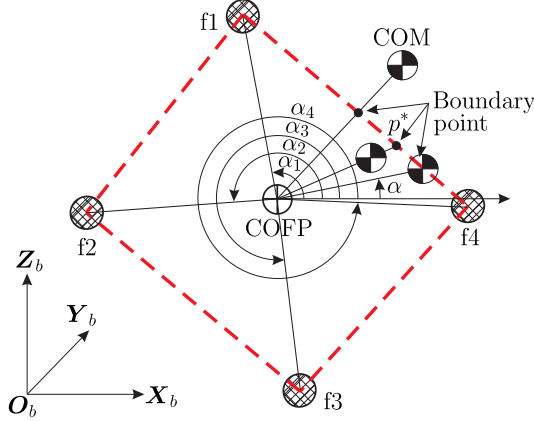


그림 3. 4족 로봇의 경계 조건을 위한 개념도

Fig. 3. A diagram for the boundary condition of four-legged robots

각 축방향으로의 경계 조건을 구하기 위해서는 먼저 COM의 방향각 α 에 따라 결정되는 지지다각형위의 교점 $p^*(x^*, y^*)$ 를 구해야 하며, 다음과 같은 연산 과정을 통하여 교점을 구할 수 있다. 첫째, COM의 좌표가 COFP의 좌표와 x 축 및 y 축 방향으로 각각 다른 경우, COM의 방향각 α 의 조건에 따른 교점의 x 축 및 y 축 좌표는 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x^* = \begin{cases} (b_{12} - b_{cc})/(a_{cc} - a_{12}) & : \alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2 \\ (b_{23} - b_{cc})/(a_{cc} - a_{23}) & : \alpha_2 \leq \alpha < \alpha_3 \\ (b_{34} - b_{cc})/(a_{cc} - a_{34}) & : \alpha_3 \leq \alpha < \alpha_4 \\ (b_{41} - b_{cc})/(a_{cc} - a_{41}) & : \alpha_4 \leq \alpha < \alpha_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$y^* = a_{cc}x^* + b_{cc} \quad (2)$$

여기서, $a_{ij}(i = 1, 2, 3, 4, j = 2, 3, 4, 1)$ 와 $b_{ij}(i = 1, 2, 3, 4, j = 2, 3, 4, 1)$ 는 각각 로봇 발 f_i 와 f_j 를 잇는 직선의 기울기와 y 축 절편을 나타내고, a_{cc} 와 b_{cc} 는 각각 COM과 COFP를 잇는 직선의 기울기와 y 축 절편을 나타낸다.

둘째, COM과 COFP의 x 축 좌표는 같고, y 축 좌표는 다른 경우, 교점의 좌표는 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x^* = x_{COM} \quad (3)$$

$$y^* = \begin{cases} a_{12}x^* + b_{12} & : \alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2 \\ a_{23}x^* + b_{23} & : \alpha_2 \leq \alpha < \alpha_3 \\ a_{34}x^* + b_{34} & : \alpha_3 \leq \alpha < \alpha_4 \\ a_{41}x^* + b_{41} & : \alpha_4 \leq \alpha < \alpha_1 \end{cases} \quad (4)$$

여기서, x_{COM} 은 COM의 x 축 좌표를 나타낸다.

셋째, COM과 COFP의 x 축 좌표는 다르고, y 축 좌표는 같은 경우, 교점의 좌표는 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$y^* = y_{COM} \quad (5)$$

$$x^* = \begin{cases} (y^* - b_{12})/a_{12} & : \alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2 \\ (y^* - b_{23})/a_{23} & : \alpha_2 \leq \alpha < \alpha_3 \\ (y^* - b_{34})/a_{34} & : \alpha_3 \leq \alpha < \alpha_4 \\ (y^* - b_{41})/a_{41} & : \alpha_4 \leq \alpha < \alpha_1 \end{cases} \quad (6)$$

여기서, y_{COM} 은 COM의 y 축 좌표를 나타낸다.

넷째, COM과 COFP의 좌표가 모두 같은 경우에는 COFP와 지지다각형의 경계면간의 최소 거리가 되는 지점을 교점으로 결정한다.

결과적으로, 4족 로봇의 궤적 운동에 따른 x 축 및 y 축 방향으로의 경계 조건 B_x 및 B_y 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_x = x^* - x_{COFP} \quad (7)$$

$$B_y = y^* - y_{COFP} \quad (8)$$

실제로, 이러한 경계 조건은 로봇 시스템의 운동 방향성을 내포하고 있기 때문에 정지 운동뿐만 아니라 보행 상황에서의 밸런스를 파악하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

4. 시뮬레이션: 정지 밸런스 분석

본 장에서는 그림 2와 그림 3에 제시된 4족 로봇 시스템의 정지 밸런스를 분석하기 위하여 수행한 시뮬레이션 과정 및 결과에 대하여 기술한다.

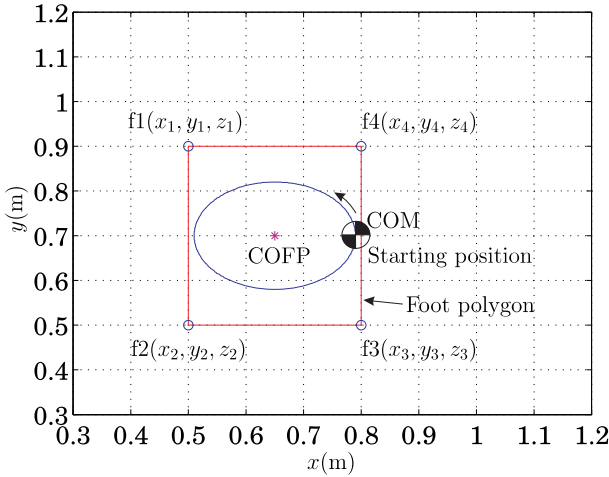
일반적으로, 로봇의 네 발이 정지한 상황에서 운동할 수 있는 경로는 다양한 유형이 있을 수 있는데, 여기서는 그림 4에 나타난 두 가지의 운동 경로를 고려하였다. 이러한 운동 경로는 로봇의 무게중심점(COM)으로 대표되는 로봇의 몸체가 3차원 공간에서 움직일 때, 일정한 높이(z 축 방향, 0.3m)에서 xy 평면에 대한 타원 운동을 하고 있는 경우를 나타내며, 평면 운동 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_{COM} - x_{COFP} = r_x \cos(2\pi t/t_f) \quad (9)$$

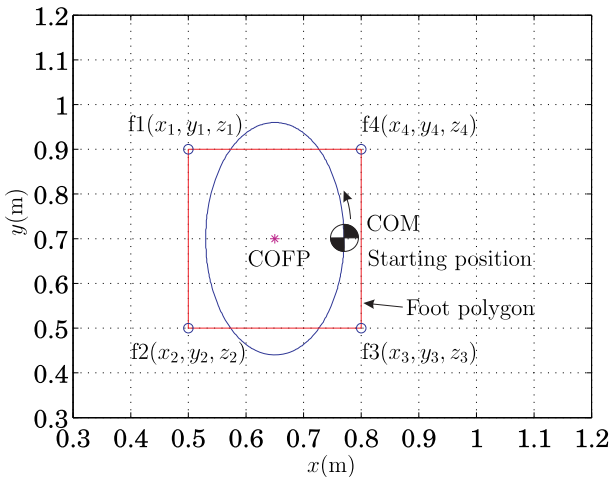
$$y_{COM} - y_{COFP} = r_y \sin(2\pi t/t_f) \quad (10)$$

여기서, r_x 와 r_y 는 각각 운동 경로의 x 축 및 y 축 방향의 반직름을 나타낸다. 첫번째 경우(Case 1)에서는 각각 0.14m 및 0.12m로 설정하였고, 두번째 경우(Case 2)에서는 각각 0.12m 및 0.26m로 설정하였다. 특히, 그림 4(a)는 운동 경로가 지지다각형의 내부에 있는 경우를 나타내고, 그림 4(b)는 운동 경로의 일부가 지지다각형의 외부로 벗어나는 경우를 나타낸다. 이와 같은 두 경우는 밸런스를 분석하는데 있어서 의미있게 활용될 수 있다. 또한 주어진 경로를 운동하는데 걸리는 시간 t_f 는 2.0초로 설정하였고, 착지된 로봇 발의 위치는 표 1과 같다. 그림 4에서 지지다각형의 중점(COFP)의 위

치를 나타내는 x_{COFP} 와 y_{COFP} 는 로봇 발의 위치 정보를 활용하면, 각각 0.65m 및 0.7m로 계산이 된다 [15]. 궁극적으로, 본 시뮬레이션의 목적은 이러한 운동 경로에 대한 경계 조건을 구하고, 이를 바탕으로 정지 밸런스의 정도를 파악하여 보다 안정된 밸런스를 위한 보행 전략을 고찰하는데 있다.



(a) Case 1



(b) Case 2

그림 4. 4족 로봇의 정지 운동 경로

Fig. 4. Standing motion trajectories assigned for the four-legged robot

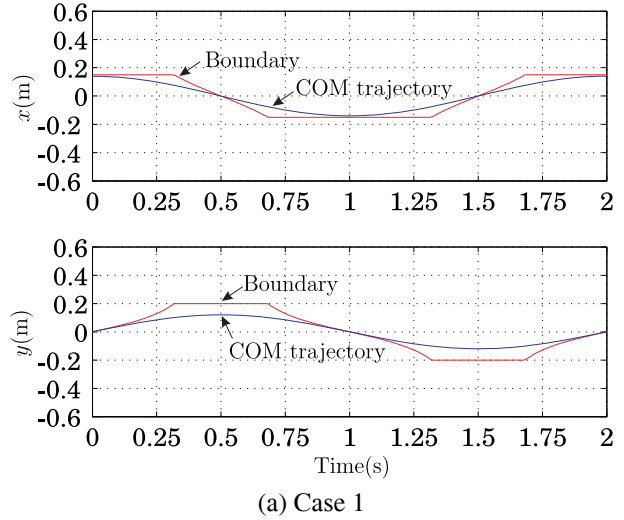
표 1. 로봇 발의 위치

Table 1. Standing positions of robot feet

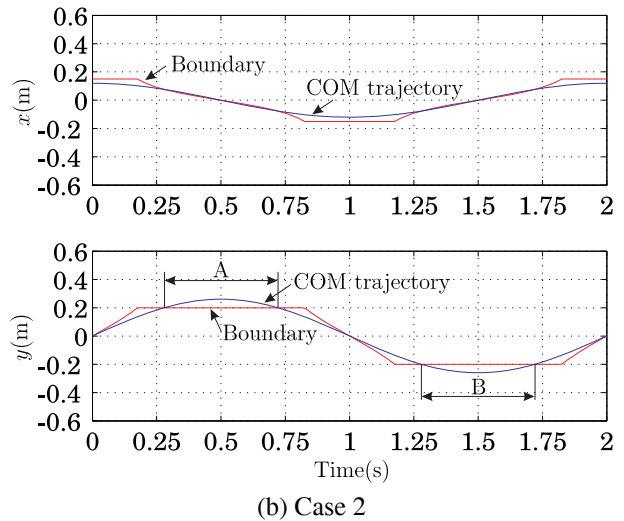
로봇 발	x 축 좌표	y 축 좌표
f1	0.5	0.9
f2	0.5	0.5
f3	0.8	0.5
f4	0.8	0.9

그림 5는 두 경우에 대한 로봇의 COM 궤적과 이러한 운동 궤적에 따라 결정되는 경계 조건을 나타낸다.

첫번째 경우에는 COM 궤적이 경계 조건내에 존재하고 있으나, 두번째 경우에는 COM 궤적이 경계 조건을 벗어나는 구간(A 및 B)이 발생하고 있음을 알 수 있다.



(a) Case 1



(b) Case 2

그림 5. COM 운동 궤적 및 경계 조건

Fig. 5. Trajectories of COM and boundary conditions

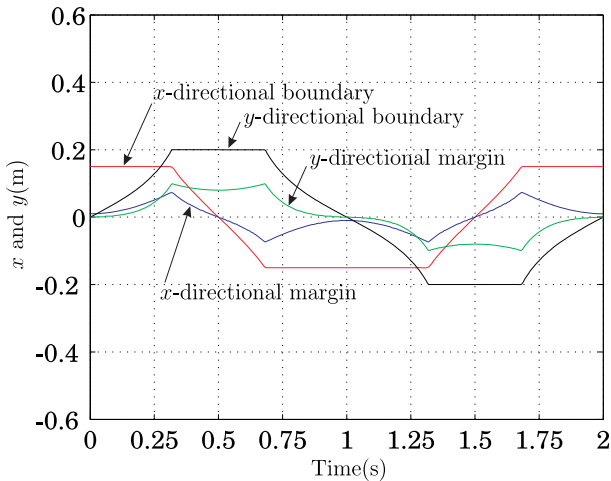
그림 6은 각 방향으로의 경계 조건과 운동 궤적에 따라 (11)과 (12)로 결정되는 정지 밸런스 여유 M_x 및 M_y 를 나타낸다.

$$M_x = B_x - x_{COM} \quad (11)$$

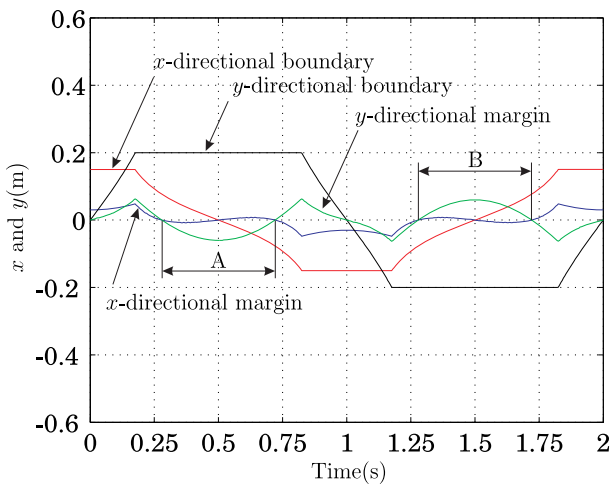
$$M_y = B_y - y_{COM} \quad (12)$$

여기서, M_x 와 M_y 는 각각 x 축 및 y 축 방향으로의 경계 값에서 COM 운동 궤적값을 뺀 값이므로, 물리적으로 안정한 밸런스 범위내에서 각 축 방향으로 움직일 수 있는 여유(margin)로 볼 수 있다. 즉, 경계값이 양수 또는 음수인 구간에서 여유가 이와 동일한 부호값으로 나타나게 되면, 로봇 시스템의 밸런스는 안전한 구간내에 있음을 의미한다.

결과적으로, 그림 4(a)과 같이 주어진 로봇의 움직임 상황에서는 그림 5(a)와 6(a)에서 확인할 수 있듯이, x 축 및 y 축 방향으로 약간의 정지 밸런스 여유를 갖고 있음을 확인할 수 있으며, 이는 적어도 이 범위내에서는 로봇의 안정된 정지 운동이 가능함을 의미한다. 그림 4(b)와 같은 운동 경로에서는 그림 5(b)와 6(b)에서 확인할 수 있듯이, A와 B로 나타낸 구간에서는 x 축 및 y 축 방향으로 안정된 경계 조건을 벗어나기 때문에 적어도 이 범위내에서는 로봇의 안정된 정지 운동이 불가능할 뿐만 아니라 안정된 착지를 유지할 수 없게 된다.



(a) Case 1



(b) Case 2

그림 6. 경계 조건 및 정지 밸런스 여유

Fig. 6. Boundary conditions and margins for standing balance

만일, 4족 로봇 시스템이 착지된 상황에서 자신의 밸런스를 안정화하는 것이 불가능하다면, 결국 넘어지는 상황에 직면할 수 있고, 이를 보상하기 위해서는 적절한 보행을 통하여 밸런스를 안정화시키는 전략이 요구된다. 예를 들면, 그림 4(b)와 같은 상황에서 A 구간에서는 첫 번째 발이나 네 번째 발을 적절히 움직이게 하고, B 구간에서는 두 번째 발이나 세 번째 발을 이동

시킴으로써, 로봇 시스템의 밸런스를 안정화시키는 방법을 고려할 수 있는데, 이러한 경우, 제시한 경계 조건을 근거로 이동할 발 및 위치를 설정하는 것은 매우 의미있는 보행 전략이 될 수 있다. 또한 이러한 경계 조건의 범위를 좁히게 되면, 이족 로봇의 보행 연구 [16]-[18]에서도 응용이 가능할 것으로 기대된다.

5. 결론

본 논문에서는 4족 로봇의 안정성을 근거로 한 경계 조건을 제시하고, 이를 바탕으로 로봇의 정지 밸런스에 대하여 고찰하였다. 결과적으로, 4족 로봇을 위하여 제시된 경계 조건은 착지된 네 발의 위치와 이에 따른 지지다각형의 중심 및 로봇의 무게중심의 위치에 의해 결정될 수 있다. 또한 로봇의 정지 밸런스 여유는 주어진 정지 운동 궤적과 정해진 경계 조건을 이용하여 구할 수 있으며, 로봇 시스템의 밸런스 정도를 판단하는 근거로 활용할 수 있다. 만일, 로봇의 움직임이 안정된 경계 조건을 벗어나게 되면, 궁극적인 로봇의 밸런스는 불안정하게 되고, 보행을 통하여 로봇 시스템의 밸런스를 보상할 수 있는데, 이때 정지 밸런스 여유를 확장하는 방향으로 움직일 로봇 발 및 위치를 설정하는 것은 보다 효과적인 4족 로봇의 보행 전략을 수립하는데 활용될 수 있다고 판단된다. 이와 관련하여 다족 로봇 발의 경로 계획에 관한 연구 [12]나 폴링(falling)을 고려한 연구 [19] 등은 매우 흥미있는 연구 분야로 여겨진다.

참고 문헌

- [1] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, *Introduction to autonomous mobile robots*, The MIT Press, 2004.
- [2] T. Morita, K. Shibuya, and S. Sugano, "Design and control of mobile manipulation system for human symbiotic humanoid: Hadaly-2," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1315-1320, 1998.
- [3] M. Hans, B. Graf, and R. D. Schraft, "Robotic home assistant care-o-bot: past-present-future," *Proc. of 11th Int. workshop on robot and human interactive communication*, pp. 380-385, 2002.
- [4] H. Surmann, A. Nuchter, and J. Hertzberg, "An autonomous mobile robot with a 3D laser range finder for 3D exploration and digitalization of indoor environments," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 45, pp. 181-198, 2003.
- [5] Y. Hada, H. Gakuhari, K. Takase, and E. I. Hemeldan, "Delivery service robot using distributed acquisition, actuators and intelligence," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2997-3002, 2004.
- [6] P. Harmo, T. Taipalus, J. Knuutila, J. Vallet, and A. Halme, "Needs and solutions-home automation and

- service robots for the elderly and disabled,” *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3201-3206, 2005.
- [7] J. S. Mehling, P. Strawser, L. Bridgwater, W. K. Verdeyen, and R. Roverkamp, “Centaur: NASA’s mobile humanoid designed for field work,” *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2928-2933, 2007.
- [8] K. Arikawa and S. Hirose, “Development of quadruped walking robot TITAN-VIII,” *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 208-214, 1996.
- [9] G. S. Hornby, S. Takamura, T. Yamamoto, and M. Fujita, “Autonomous evolution of dynamic gaits with two quadruped robots,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 21, no. 3, pp. 402-410, 2005.
- [10] J. Estremera and P. G. deSantos, “Generating continuous free crab gaits for quadruped robots on irregular terrain,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 21, no. 6, pp. 1067-1076, 2005.
- [11] <http://www.bostondynamics.com/>, Boston Dynamics co., USA.
- [12] P.-C. Lin, H. Komsuoglu, and D. E. Koditschek, “A leg configuration measurement system for full-body pose estimates in hexapod robot,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 21, no. 3, pp. 411-422, 2005.
- [13] S. Nakajima, E. Nakano, and T. Takahashi, “Motion control technique for practical use of a leg-wheel robot on unknown outdoor rough terrains,” *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1353-1358, 2004.
- [14] M. Takahashi, K. Yoneda, and S. Hirose, “Rough terrain locomotion of a leg-wheel hybrid quadruped robot,” *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1090-1095, 2006.
- [15] B.-H Kim, “Analysis on effective walking pattern for multi-legged robots,” *Jour. of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 19, no. 5, pp. 622-628, 2009.
- [16] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, “The intelligent ASIMO: system overview and integration,” *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2478-2483, 2002.
- [17] Y. Ogura, H. Aikawa, K. Shimomura, H. Kondo, A. Morishima, H.-O. Lim, and A. Takanishi, “Development of a new humanoid robot, WABIAN-2,” *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2478-2483, 2002.
- [18] I. Mizuuchi, T. Yoshikai, Y. Sodeyama, Y. Nakanishi, A. Miyadera, T. Yamamoto, T. Niemela, M. Hayashi, J. Urata, Y. Namiki, T. Nishino, and M. Inaba, “Development of musculoskeletal humanoid Kotaro,” *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 82-87, 2006.
- [19] B.-H Kim, “Falling-based optimal foot trajectory planning for 3D bipedal robotic walking,” *Proc. of Int. Conf. on Advanced Robotics*, pp. 82-87, 2011.

저자 소개

김병호(Byoung-Ho Kim)



2001년 : 한양대 전자공학과(공학박사)
 1995년 ~ 2001년 : 한국과학기술연구원 지능로봇연구센터 학생연구원
 2002년 ~ 2004년 : Ritsumeikan대학(일본) 로봇공학과 JSPS Post-Doctoral Fellow
 2004년 ~ 2005년 : RIKEN 생체모방연구센터(일본) 연구원

2005년 ~ 현재 : 경성대학교 메카트로닉스공학과 부교수
 2006년 ~ 현재 : 한국지능시스템학회 이사
 2010년 ~ 2011년 : Visiting Faculty, Robotics Institute, Carnegie-Mellon Univ., USA

관심분야 : intelligent service robots, intelligent mobile manipulation, walking algorithm, multi-legged & humanoid robots, modeling and control of biomimetic mechanisms, multi-fingered robot/artificial hands and multiple arm control, macro/micro mechanism and intelligent control, neural computation, mechanisms for medical assistance, and sports science.
 E-mail : kimbh@ks.ac.kr