

구조 특성을 반영한 인간형 로봇을 위한 실시간 CoM/ZMP 궤적 변환 방법

Real-Time CoM/ZMP Trajectory Transformation Method for Humanoid Robots Considering Structure Characteristics

홍석민

실감교류인체감응솔루션연구단

Seok-Min Hong

Center of Human-centered Interaction of Coexistence, Seoul 02792, Korea

[요 약]

본 논문에서는 로봇의 구조나 보행 상황을 반영해 하나의 보행 패턴을 다른 보행 패턴으로 변환하게 해주는 영모멘트 점(ZMP; zero moment point)와 질량 중심(CoM; center of mass)의 실시간 변환 방법을 제안한다. 일반적으로 휴머노이드 로봇은 높이와 질량과 같은 자체적인 구조 특성을 가지고 있다. 이러한 구조적 특성으로 인해 인간 또는 휴머노이드 로봇으로부터 측정되거나 생성되어진 CoM/ZMP 보행 패턴을 다른 로봇에 직접 적용하는 것은 어렵다. 이를 위하여 간단한 휴머노이드 로봇 모델인 cart-table model을 사용해 보폭의 길이, 보행 시간, CoM 높이 변화에 따라 보행 패턴의 특성을 분석한다. 그러한 분석으로부터 변환 방정식을 유도하고 시뮬레이션을 통해 제안된 방법을 검증한다.

[Abstract]

This paper proposes a transformation method of the zero moment point (ZMP) and the center of mass (CoM) from one walking pattern to other patterns by considering the structure of a robot or walking situations in real time. In general, a humanoid robot has own structure characteristics like height and mass. The structure characteristics make the given CoM/ZMP walking pattern of one human or one humanoid robot to be difficult to apply to other robot directly. For this purpose, we analyze the characteristics of walking patterns according to the step length, duration of walking support phase and the CoM height by using the cart-table model as the simple humanoid robot model. A transformation equation is derived from the analyzation and it is verified with simulation.

Key word : Humanoid robot, Transformation method, Zero moment point, Center of mass, Walking pattern Generation.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.1.132>



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.

Received 7 February 2017; Revised 9 February 2017
Accepted (Publication) 27 February 2017 (28 February 2017)

*Corresponding Author; Seokmin Hong

Tel: +82-2-958-7391

E-mail: doberman77@gmail.com

1. 서론

휴머노이드 로봇은 인간의 편리를 위해 개발되었다. 로봇의 구조 또한 인간의 신체와 유사한 형태로 구성되어 있어 다른 여타 로봇에 비해 인간의 환경에 보다 쉽게 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 지금까지 전세계적으로 많은 우수한 로봇들이 개발되어 인간과 유사한 동작을 성공적으로 구현했다 [1],[2],[3].

그러나 최근 들어서는 일본 후쿠시마 원전 사태이후 휴머노이드 로봇을 인간 대신 위험하고 힘든 작업 환경에서 주어진 명령을 수행할 수 있게 하려는 다양한 연구들이 진행되고 있고, 2015년에는 미국 방위고등연구계획국에서 DARPA Robotics Challenge (DRC)가 개최되어 재난 현장에서 요구되는 다양한 작업에 대한 대회를 개최해, Boston Dynamics의 Atlas, 한국의 휴보 등 전세계 다양한 로봇들이 출전해 재난 환경 하에서 요구되는 작업들을 수행했다[4],[5]. 그러나 아직까지 로봇의 자율성과 제어 기술의 한계로 복잡다단하고 예측이 어려운 작업환경 하에서 작업을 수행하기 위해서는 조이스틱이나 키보드를 이용한 로봇 제어는 많은 시간과 노력이 요구된다.

이를 위해서 로봇 모션을 인간의 의도대로 동작하기 위해 직접적으로 인간의 모션 정보를 카메라를 이용한 방법이나 슈트 타입의 모션 캡처 장비들을 통해 측정해 인간의 모션을 로봇에 적용해 춤이나 무술 동작 등과 같은 동적인 동작을 구현했다. 그러나 이는 측정된 인간의 동작을 로봇의 안정성과 동작의 유사성을 고려해 offline으로 별도의 작업을 통해 이루어졌다. 인간과 로봇의 구조적인 특성이 다르기 때문에, 측정된 안정적인 동작일지라도 구조가 다른 로봇에 적용되는 경우 불안정해질 수 있게 된다. 다시 말해, 인간의 모션을 통해 계산된 영모멘트점 (ZMP; zero moment point)과 질량 중심 (CoM; center of mass)을 실제 휴머노이드 로봇에 적용하기 위해서는 구조적인 차이 (CoM height와 step length의 limit)로 인해 직접적으로 측정된 값을 적용할 수 없게 된다. 이를 위해서 측정된 ZMP와 CoM을 구조적인 차이를 반영해 보행 패턴을 변환해야 한다.

이러한 변환은 인간-로봇 모션 변환뿐만 아니라 구조적 다른 여러 대의 로봇을 제어하는 경우 구조적인 특성을 반영해 모션을 변환하기 때문에 다수의 로봇을 동시에 운영할 수 있게 된다.

본 연구는 로봇 보행 패턴의 변환 방법을 제안하기 위해서 2장에서 로봇의 기본적인 모델을 살펴 볼 것이고, ZMP와 CoM 변환 시 큰 영향을 미치는 로봇의 파라미터 분석을 할 것이다. 3장에서는 이를 바탕으로 다른 구조를 가지는 휴머노이드 로봇의 실시간 CoM/ZMP 궤적의 변환 방법을 제안하고, 4장에서 시뮬레이션을 통해서 제안된 변환 방법의 타당성을 살펴 볼 것이다. 마지막으로 5장에서 본 연구에 대한 결론을 내리고자 한다.

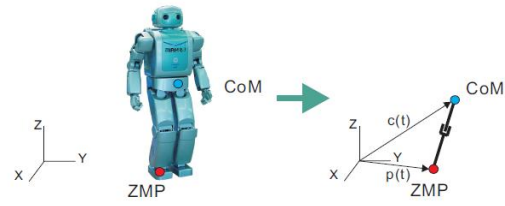


그림 1. 카트-테이블 모델
Fig. 1. Cart-table model.

II. 휴머노이드 로봇을 위한 보행패턴 생성 방법

2-1 Cart-table 모델

휴머노이드 로봇은 지면과 접촉하고 있는 floating body 시스템으로 다양한 작업을 수행하기 위해 다자유도를 가진 시스템이다. 이러한 다자유도 시스템을 안정적인 제어와 계산의 복잡성을 낮추기 위해 단순화모델을 사용하게 된다. 일반적으로 휴머노이드 로봇의 단순화된 모델로 Kajita [6]에 의해 제안된 모델 cart-table model을 이용한다. 이 모델에서는 로봇의 움직임과 로봇의 안정도를 CoM와 ZMP를 이용해 그림 1과 같이 나타나게 된다. Cart-table model은 로봇의 CoM의 높이가 고정되어 있고, CoM에 대한 운동량의 변화율이 매우 적다는 가정 하에 다음과 같이 x와 y축에 대해서 분리되어 있는 2차 미분방정식으로 나타낼 수 있다 [6],[13].

$$p_i = c_i - \frac{1}{\omega^2} \ddot{c}_i \quad (1)$$

여기서 p 는 ZMP를 나타내고, c 는 CoM를 나타낸다. $\omega = \sqrt{g/(c_z - p_z)}$, $i = (x \text{ or } y)$ 를 각각 의미한다. 그리고 g 는 중력 가속도를, c_z , p_z 는 각각 z축에서의 CoM와 ZMP 값을 의미한다.

일반적으로 로봇의 동작은 CoM와 관련이 있고, 로봇의 안정도는 ZMP와 관련을 가지게 된다. 양발 또는 한발이 지지하고 있는 면적 안에 ZMP가 위치하게 되면 로봇은 안정적인 상태로 인식한다.

2-2 CoM와 ZMP의 보행 패턴의 관계

ZMP 기반의 휴머노이드 로봇은 가야 될 위치가 정해지면 로봇의 안정적인 보행을 위해서 ZMP의 위치를 지지하고 있는 발의 영역을 고려해 설계를 하게 된다 [6]-[14]. 보행 경로에 따른 ZMP의 위치 궤적을 1차식으로 나타내면,

$$p(t) = b_1 t + b_0 \tag{2}$$

수식 (1)의 이차미분방정식에 의해, CoM의 위치와 속도 궤적은 다음과 같이 표현될 수 있게 된다.

$$c(t) = (c(0) - b_0) \cosh(\omega t) + \frac{1}{\omega} (\dot{c}(0) - b_1) \sinh(\omega t) + b_1 t + b_0 \tag{3}$$

$$\dot{c}(t) = \omega (c(0) - b_0) \sinh(\omega t) + (\dot{c}(0) - b_1) \cosh(\omega t) + b_1 \tag{4}$$

위 수식 (2), (3), (4)를 기본식으로 ZMP와 CoM 궤적에 대한 변환을 하게 된다.

III. 구조적인 특성을 반영한 ZMP와 CoM의 변환 방법

3-1 파라미터 변화에 따른 ZMP와 CoM 변화 분석

다른 구조를 가진 휴머노이드 로봇에 적용할 수 있는 변환 방법론을 제안하기 위해서, 우선 로봇의 파라미터가 어떻게 ZMP와 CoM의 패턴에 영향을 주는지를 파악하여야 한다. 본 연구에서는 보행 패턴에 영향을 미치는 파라미터로, 보행 보폭과 CoM의 높이, 보행 시간의 변화에 따라 ZMP와 CoM 보행 패턴이 변화되는지를 살펴보겠다.

보행 보폭과 CoM의 높이, 보행 시간의 변화에 따라 ZMP와 CoM이 어떻게 변화하는지를 분석하기 위해서 주기적인 보행 패턴을 생성하는 [12]의 PSM (periodic step module)을 사용해 ZMP와 CoM 패턴을 생성해 보폭과 CoM의 높이 변화에 따른 보행 패턴의 변화를 분석했다.

그림 2은 PSM을 통해 생성한 주기적 보행 패턴을 보여 주고 있다. 그림 2에서 실선인 p는 ZMP, 점선인 c는 CoM를 의미하며, 아래첨자 i는 i번째 step을 나타낸다. Double support phase는 양발이 지면이 닿아 있는 상태, single support phase는 양발이 지면이 닿아 있는 상태를 나타낸다. T_d 는 양발이 지면에 닿아 있는 시간, T_s 는 한발지지 시간을 의미한다. p_s 는 한발지지 시간의 시작 시에 ZMP값을 의미하고, p_e 는 한발지지 시간이 끝나는 지점에서의 ZMP값을 의미한다. p_o 는 양발지지 시간에서의 평균적인 ZMP값을 의미한다. p_m, c_m 는 각각 한발지지시간에서 ZMP와 CoM의 최대값을 의미한다.

그림 2에서 나타난 보행 패턴에 대해서 보폭의 변화에 따른 ZMP (0.1 m ~ 1.0 m) 변화와 CoM의 높이 c_z (0.1 m ~ 1.0 m) 변화, 한발지지 시간 T_s (0.6 s ~ 1.5 s)의 변화에 따라 CoM c_m 의

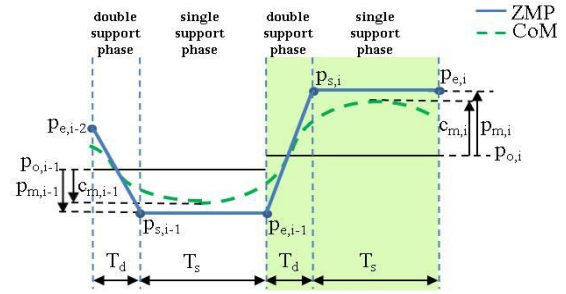


그림 2. 주기적인 보행 패턴에 대한 ZMP와 CoM
Fig. 2. ZMP and CoM for periodic walking pattern

값의 변화를 시뮬레이션 해보았다.

그림 3의 왼쪽 그림을 통해 ZMP p_m 와 CoM c_m 의 선형적으로 관계를 가짐을 알 수 있으며, CoM 높이 c_z 가 증가함에 따라 CoM c_m 의 값이 감소함을 알 수 있다. 즉 동일한 보폭에 대해 CoM의 높이가 높은 로봇의 CoM의 움직임의 변화가 상대적으로 적다는 것을 알 수 있다. 이는 그림 3의 오른쪽 그림에서도 CoM의 높이 c_z 가 증가함에 따라 CoM c_m 은 줄어들음을 통해서도 알 수 있다. 그리고 보폭의 증가를 통해 ZMP p_m 이 증가하는 경우 선형적으로 CoM c_m 이 선형적으로 증가함을 볼 수 있었다. 그림 4을 통해서 한발지지 시간인 T_s 의 증가에 따른 CoM c_m 이 비선형적으로 증가함을 알 수 있었고, 매우 긴 T_s 인 경우 CoM c_m 는 일정한 값으로 saturation됨을 예상해 볼 수 있

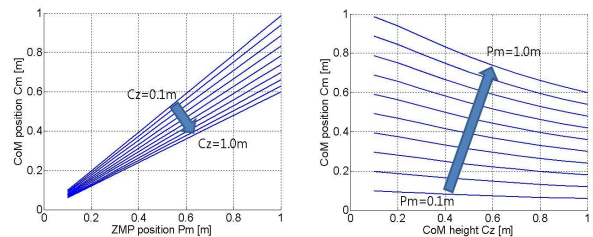


그림 3. CoM의 높이 c_z 와 ZMP p_m 의 변화에 따른 CoM 위치
Fig. 3. CoM position by variation on CoM height c_z and ZMP p_m .

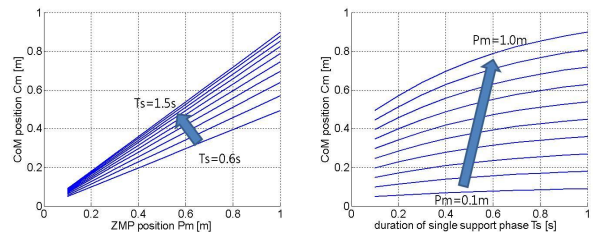


그림 4. ZMP p_m 와 한발지지 시간 T_s 의 변화에 따른 CoM 위치
Fig. 4. CoM position by variation on ZMP p_m and duration on single support phase T_s .

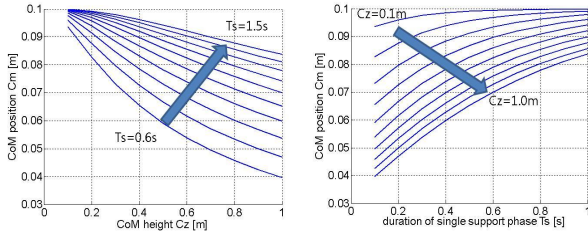


그림 5. CoM의 높이 c_z 와 한발지지 시간 T_s 의 변화에 따른 CoM 위치

Fig. 5 CoM position by variation on CoM height c_z and duration on single support phase T_s .

다. 그림 5을 통해 CoM의 높이 c_z 는 CoM c_m 와는 반비례함을 다시금 확인할 수 있었고, 또한 T_s 의 증가에 따라 CoM c_m 는 로그 함수적으로 증가함을 확인할 수 있었다.

그림 3, 그림 4, 그림 5를 통해 CoM c_m 은 CoM의 높이 c_z 와는 반비례관계이며, ZMP p_m 와는 선형 비례관계, 한발지지 시간인 T_s 와는 비선형적인 비례관계임을 알 수 있었다. 위와 같은 사실을 통해 단순히 로봇의 ZMP와 CoM의 궤적을 변환할 수 없음을 알 수 있었다. 다음 절에서는 이러한 파라미터의 특성을 반영해서 변환하는 방법을 제안한다.

3-2 Real-time ZMP/CoM Trajectory Approximation (RTA)

3.1절에서 살펴 본 바와 같이 ZMP와 CoM의 관계는 CoM의 높이, 보폭, 보행시간에 따라 영향을 받게 된다. 이를 반영하기 위해서 본 연구에서는 2장에서 수식 (1), (2), (3), (4)을 이용하게 된다.

1) ZMP 변환

ZMP의 변환은 보행 경로에 따른 보폭에 따라 변경되기 때문에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_2 = \mu p_1 \tag{5}$$

여기서 p_1 는 변환 전의 ZMP, p_2 는 변환 후의 ZMP를 나타내며, μ 는 변환 전후의 보폭의 비율을 의미한다.

2) CoM 변환

ZMP의 궤적이 수식 (2)와 같이 1차식인 경우, CoM와 ZMP의 차이를 다음과 같이 정의 한다면,

$$k_i(t) = c_i(t) - p_i(t) \tag{6}$$

수식 (1)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$k_i(t) - \frac{1}{\omega^2} \ddot{k}_i(t) = 0 \tag{7}$$

수식 (7)의 일반해는

$$k_i(t) = \alpha_i e^{\omega t} + \beta e^{-\omega t} \tag{8}$$

수식 (8)에서 ω 에 대해서 수식을 정리하면 다음과 같이 정리 가능하다.

$$\omega = \frac{\ln\left(\frac{k_i(t) \pm \sqrt{-4\alpha_i\beta_i + k_i(t)^2}}{2\alpha_i}\right)}{t} \tag{9}$$

구조가 다른 로봇 간의 ω 의 비율은 다음과 같다.

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\ln\left(\frac{k_1(t)}{\alpha_1(t)}\right)}{\ln\left(\frac{k_2(t)}{\alpha_2}\right)} \tag{10}$$

계산의 단순화를 위해서 수식 (9)에서 $\alpha_i\beta_i = 0$ 인 경우에 대해서 살펴보면, 로그함수안의 부호에 따라 경계값이 된다. $\alpha_i\beta_i \geq 0$ 인 경우에 대해서는 최대값을 가지게 되고, $\alpha_i\beta_i \leq 0$ 인 경우엔 최소값을 가지게 된다.

수식 (10)을 k_2 에 대해서 정리하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$k_2 = c_2(t) - p_2(t) = \alpha_2 \left(\frac{k_1(t)}{\alpha_1}\right)^{\frac{\omega_2}{\omega_1}} \tag{11}$$

이를 CoM 궤적 $c_2(t)$ 에 대해서 다시 정리하면,

$$\begin{aligned} c_2(t) &= \alpha_2 \left(\frac{k_1(t)}{\alpha_1}\right)^{\frac{\omega_2}{\omega_1}} + p_2(t) \\ &= \alpha_2 \left(\frac{c_1(t) - p_1(t)}{\alpha_1}\right)^{\frac{\omega_2}{\omega_1}} + p_2(t) \\ &= \text{sign}(k_1(t)) \frac{|\alpha_2|}{|\alpha_1|} |\alpha_1|^{1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}} \sqrt{\frac{c_{z1}}{c_{z2}}} \cdot |c_1(t) - p_1(t)| \sqrt{\frac{c_{z1}}{c_{z2}}} + p_2(t) \end{aligned} \tag{12}$$

여기서 $\text{sign}(k_1(t)) = \begin{cases} 1 & (c_1(t) \geq p_1(t)) \\ -1 & (c_1(t) < p_1(t)) \end{cases}$ 로 정의 할 수 있다.

그리고 $\alpha_i \approx \frac{(p_i(t) - f_i(t)) + (c_i(t) - f_i(t))}{K}$ 로 근사화 할 수 있다. $f_i(t)$ 는 i 번째 step의 양발 중심위치를 의미한다. 수식(12)을 단순화하기 위해서, $c_2(t) \approx \mu c_1(t)$, $f_2(t) \approx \mu f_1(t)$ 라고 가정한다면, $|\alpha_2(t)|/|\alpha_1(t)| \approx \mu$ 로 나타낼 수 있다. 그러므로 $c_2(t)$ 는 다음과 같이

$$c_2(t) = \text{sign}(k_1(t)) \mu \cdot \left| \frac{(p_1(t) - f_1(t)) + (c_1(t) - f_1(t))}{K} \right|^{1 - \sqrt{\frac{c_{z1}}{c_{z2}}}} \cdot |c_1(t) - p_1(t)|^{\sqrt{\frac{c_{z1}}{c_{z2}}}} + p_2(t) \quad (13)$$

로 정리가 된다.

IV. 시뮬레이션 결과

임의의 경로에 대해서 ZMP와 CoM의 보행 경로를 생성하기 위해서 [14]의 보행 생성 방법론인 APZCSA를 사용해 보행 패턴을 생성하였다. 본 시뮬레이션에서는 그림 6에서와 같이 CoM의 높이 c_z 를 각각 0.8 m인 경우와 1.6 m인 경우에 대해서 보폭이 다른 경우에 대해서 시뮬레이션을 했다. 이렇게 서로 다른 구조와 보폭을 지닌 패턴에 대해서 본 연구에서 제안한 Real-time CoM/ZMP Trajectory Approximation (RTA)를 적용해, CoM의 높이가 0.8 m일 때 생성된 보행패턴을 변환해서 CoM의 높이가 1.6 m인 패턴과 유사한 패턴을 생성할 수 있었다. 그림 7에서 보는 바와 같이 변환을 통해 생성된 패턴과 CoM 높이 1.6 m인 패턴의 차이가 CoM의 높이와 보폭이 변화가 있음에도 불구하고 5 cm 이내의 CoM/ZMP 패턴을 생

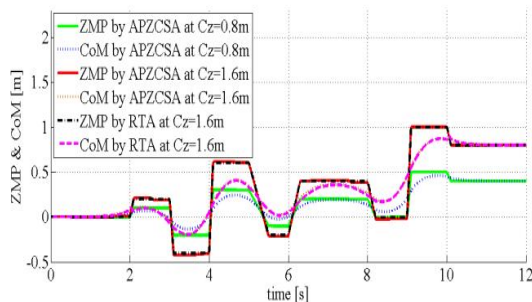


그림 6. CoM 높이가 0.8 m인 ZMP와 CoM 패턴(녹색실선, 파란색 점선)을 제안한 방법론(RTA)을 통해 보폭과 CoM 높이 변화를 반영해 생성한 ZMP와 CoM 패턴(검은 점선, 보라색 점선)

Fig. 6. Transformed ZMP and CoM pattern (black dash line, violet solid line) by the proposed method (RTA) using the pattern of CoM height 0.8 m (green line, blue dash line).

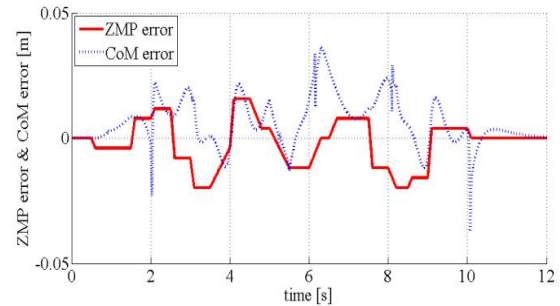


그림 7. CoM 높이가 1.6 m인 ZMP와 CoM 패턴과 제안한 방법론(RTA)을 통해 보폭과 CoM 높이 변화를 반영해 생성한 ZMP와 CoM 패턴의 차이

Fig. 7. Difference of ZMP and CoM between the pattern of CoM height 1.6 m and transformed pattern considering step length and CoM height variation.

성함을 볼 수 있었다.

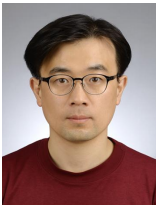
V. 결 론

본 연구는 서로 다른 구조를 가진 로봇의 ZMP와 CoM의 패턴을 변환을 통해 안정적인 보행 패턴을 생성하고자 했다. 이를 위해 구조 파라미터의 변화에 따른 CoM와 ZMP의 변화를 분석했으며, 구조가 다른 로봇에 구조적인 특성을 반영해 구조가 다른 로봇에 적용할 수 있는 ZMP와 CoM 궤적을 생성할 수 있는 RTA 방법을 제안했다. 제안된 방법의 유효성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 통해 서로 다른 구조적인 특징을 갖는 보행패턴 생성하고, 이를 RTA를 적용해 다른 구조에 적용할 수 있는 보행패턴을 구현함으로써 제안된 방법을 타당성 검증해 보았다.

참고 문헌

- [1] K. Hirai, M. Hirose, Y. Haikawa, and T. Takenaka, "Development of Honda humanoid robot," in *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Leuven: Belgium, pp. 1321-1326, 1998.
- [2] J. Yamaguchi, E. Soga, S. Inoue, and A. Takanishi, "Development of a bipedal humanoid robot control method of whole body cooperative dynamic biped walking," in *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit: MI, pp. 2299-2306, 1999.
- [3] K. Löffler, M. Gienger, and F. Pfeiffer, "Sensor and control design of a dynamically stable biped robot," in *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Taipei: Taiwan, pp.484-490, 2003.
- [4] Boston Dynamics. [Internet]. Available: <http://www.bostondynamics.com>

- bostondynamics.com/robot_Atlas.html
- [5] J. Lim, I. Lee, I. Shim, H. Jung, H. Joe, H. Bae, and K. Joo, "Robot system of DRC-HUBO+ and control strategy of team KAIST in DARPA robotics challenge finals," *Journal of Field Robotics*, 2016.
- [6] S. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko, K. Fujiwara, K. Harada, K. Yokoi and H. Hirukawa, "Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point," in *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Taipei: Taiwan, pp. 1620-1626, 2003.
- [7] S. Kajita, M. Morisawa, K. Harada, K. Kaneko, F. Kanehiro, K. Fujiwara, and H. Hirukawa, "Biped walking pattern generator allowing auxiliary ZMP control," in *Proceeding of IEEE International Conference on Intelligent Robotics and Systems*, Beijing: China, pp. 2993-2999, 2006.
- [8] Y. Oh, K. Ahn, D. Kim, and C. Kim, "An analytical method to generate walking pattern of humanoid robot," in *Proceeding of IEEE International Conference on Industrial Electronics Society*, Paris: France, pp. 4159-4164, 2006.
- [9] K. Harada, S. Kajita, K. Kaneko, and H. Hirukawa, "An analytical method on real-time Gait planning for a humanoid robot," in *IEEE-RAS/RSJ International Conference on Humanoid Robots*, Santa Monica: CA, pp. 640-655, 2004.
- [10] Q. Huang, K. Yokoi, S. Kajita, K. Kaneko, H. Arai, N. Koyachi, and K. Tani, "Planning walking patterns for a biped robot," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 17, No. 3, pp. 280-289, 2001.
- [11] C. Zhu, Y. Tomizawa, X. Luo, and A. Kawamura, "Biped walking with variable ZMP, frictional constraint and inverted pendulum model," in *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, Shenyang: China, pp. 425-430, 2004.
- [12] S. Hong, Y. Oh, Y. Chang, and B. You, "An omni-directional walking pattern generation method for humanoid robots with quartic polynomials," in *Proceeding of IEEE International Conference on Intelligent Robotics and Systems*, San Diego: CA, pp.4297-4213, 2007.
- [13] Y. Choi, D. Kim, and B. You, "On the walking control for humanoid robot based on the kinematic resolution of CoM Jacobian with embedded motion," in *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando: FL, pp. 2655-2660, 2006.
- [14] S. Hong, Y. Oh, D. Kim, and B. You, "A walking pattern generation method with feedback and feedforward control for humanoid robots," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics*, St. Louis: MO, pp.1078-1083, 2009.



홍 석 민 (Seokmin Hong)

2014년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 (공학박사)

2014년 3월 ~ 2015년 12월 : 한국과학기술연구원 로봇연구단 박사후 과정

2016년 1월 ~ 현재 : 실감교류인체감응솔루션 연구단 박사후 과정

※ 관심분야 : 휴머노이드 로봇, 로봇 제어, 로봇 모션생성