

이족 보행 로봇의 초기 자세에 따른 걸음새 해석에 관한 연구

노경곤, 김진걸

인하대학교 자동화공학과(Tel:032-860-7384)

A Study on the Gait Analysis for Initial Posture of a Biped Robot

Kyung-Kon Noh, Jin-Geol Kim

Dept. of Industrial Automation Eng. Inha University

Abstract - This paper deals with the biped robot gait on changing the initial postures. Gait of a biped robot depends on the constraints of mechanical kinematics and initial posture. Also biped robot's dynamic walking stability is investigated by ZMP(Zero Moment Point). The path trajectory, with the knee joint bent like a human, is generated and applied with the above considerations. To decrease trajectory tracking error, in this paper, a new initial posture similar to bird's case is proposed and realized with the real robot.

1. 서 론

이족보행로봇의 걸음새에 관한 연구는 다리 관절만으로 안정도를 구현하는 연구와 다리 관절의 걸음새에 따라 별도의 독립된 균형관절의 움직임을 결정하는 연구로 나눌 수 있는데[1][2], 본 논문은 자체 제작한 이족보행로봇을 이용하여 다리관절에 의한 다양한 걸음새에 대해 균형관절로 보상 모멘트를 발생시켜 안정도를 해석하며[3][4], 이족보행로봇의 균형점(ZMP: Zero Moment Point)이 안정 영역 내부에 위치하도록 균형관절 제어 방정식을 이용하여 균형점의 움직임을 결정하고 균형점 검정 방정식으로 이족보행로봇의 안정도를 판별한다[5]-[8]. 이때 궤적추종 오차가 상대적으로 작으면 작을수록 보다 확실한 이족보행로봇의 안정성이 보장되는데, 논문에서는 무릎 관절의 초기자세와 보행자세를 역보행 방향으로 변화시킨 새로운 걸음새 궤적을 제안하며 구현함으로써 궤적 추종 오차가 감소될 수 있음을 보인다.

2. 이족보행로봇 시스템

2.1 전체 시스템 구성

이족보행로봇의 전체 시스템 구성은 그림 1과 같이 다 양한 보행이 가능한 8자유도 이족보행로봇과 각 관절을 구동시키기 위한 AC 서보 모터/드라이브, 8축 동시 제어 기 그리고 모의실험기 등으로 구성된다.

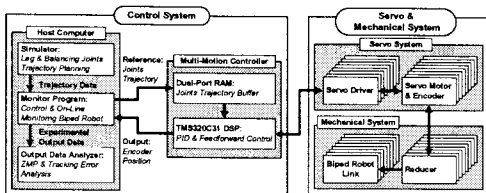


그림 1. 이족보행로봇 실험 시스템.

2.2 균형점 해석과 균형 관절 제어 방정식

이족보행로봇의 걸음새 분석과 안정도 해석을 위한 동역학적 해석은 D'Alambert 원리에 의한 모멘트 운동 방정식을 정리하여 다음의 균형점 검정 방정식을 유도한다.

$$x_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)x_i - \sum_{i=0}^n m_i(\ddot{x}_i + G_x)z_i}{\sum_{i=0}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)} \quad (1)$$

$$y_{ZMP} = \frac{\sum_{i=0}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)y_i - \sum_{i=0}^n m_i(\ddot{y}_i + G_y)z_i}{\sum_{i=0}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)}$$

식 (1)은 균형점 x_{ZMP} , y_{ZMP} 을 구하는 식으로 m_i 는 각 링크의 질량과 x_i , y_i , z_i 는 각 질점의 위치성분을 나타내며 G 는 중력가속도를 나타낸다. 따라서 이를 이용하여 균형점의 X-Y좌표 평면상의 위치와 이족보행로봇의 지지각으로 이루어진 다각형과의 상관관계로써 안정성을 관측할 수 있다. 또한 식 (1)을 이용하여 균형추 m_0 의 x방향, y방향 움직임을 식 (2)와 같이 유도한다.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_0(t) - Cx_0(t) &= \alpha(t) \\ \ddot{y}_0(t) - Cy_0(t) &= \beta(t) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\alpha(t)$ 와 $\beta(t)$ 는 식 (3)과 같이 균형관절의 시간에 따른 X축 방향과 Y축 방향의 운동 궤적을 표현하는 이차 미분 방정식의 형태로 주어지며, 균형추의 Z방향 운동이 없을 경우에 C 는 시불변상수가 된다.

$$\begin{aligned} \alpha(t) &= \frac{\sum_{i=1}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)(x_i - x_{ZMP}) - m_i(\ddot{x}_i + G_x)z_i}{m_0z_0} \\ &\quad - \frac{(\ddot{z}_0 + G_z)x_{ZMP} - G_x}{z_0} \\ \beta(t) &= \frac{\sum_{i=1}^n m_i(\ddot{z}_i + G_z)(y_i - y_{ZMP}) - m_i(\ddot{y}_i + G_y)z_i}{m_0z_0} \\ &\quad - \frac{(\ddot{z}_0 + G_z)y_{ZMP} - G_y}{z_0} \\ C &= \frac{(\ddot{z}_0 + G_z)}{z_0} \end{aligned} \quad (3)$$

3. 초기자세 변화에 따른 걸음새 분석

이족보행로봇의 걸음새는 일관성 유지를 위하여 첫걸음과 마지막 걸음이 원발로 구성된 보행을 기준으로 걸음새 궤적을 생성한다. 기존 초기 자세와 보행 자세는 단위 보폭 0.14m 구현에 따른 각 관절의 회전량과 가감속 속도를 고려하여 그림 2의 (a)와 같이 직립자세로부터 대퇴부 관절은 30°, 무릎 관절은 -60° 그리고 발목 관절은 30°의 초기자세를 구성한다. 기존의 초기자세는 무릎 관절이 보행의 진행 방향과 같아짐으로서 전체적인 하중과 모멘트가 로봇의 전방으로 위치는 문제점을 유발한다.

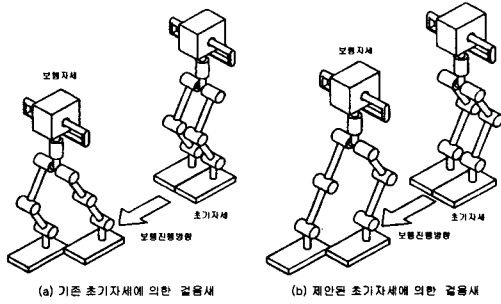


그림 2. 제안된 초기자세에 의한 걸음새 비교.

균형관절의 움직임은 이족보행로봇의 동적균형을 유지하기 위해 전반적으로 후방에서 운동하게 되고, 다음 보행과 몸체 추진을 위해 전후방으로의 많은 움직임을 요구하게 된다. 이는 전체적으로 위치추종 오차를 증대시키는 원인이 된다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 그림 2의 (b)와 같은 초기자세를 고려한다. 이족보행로봇의 걸음새를 직립자세로부터 대퇴부 관절은 -30° , 무릎 관절은 60° 그리고 발목 관절은 -30° 로 구성함으로써 기존 자세와는 하중과 모멘트를 몸체 중앙에 위치하게 한다. 이로써 균형관절의 전체적인 움직임을 감소시켜 걸음새 추종오차를 줄일 수 있다.

4. 모의 실험 및 구현

4.1 모의 실험

기존 초기자세와 제안된 초기자세에 의한 단위시간 3초의 단위보폭 14cm 걸음으로 총 18sec 동안 6걸음을 이동하는 걸음새의 각 관절 궤적을 비교하면 그림 3과 같다.

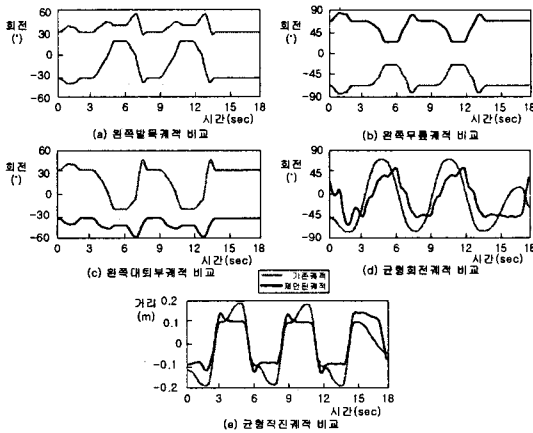


그림 3. 모의 실험기에 의한 걸음새 궤적 비교.

그림 3의 (a)는 왼쪽 발목 관절의 회전량을 비교한 데이터인데 제안된 궤적이 2배 가량 증가하고 (c)는 제안된 궤적의 회전량이 50%가 감소함을 볼 수 있다. 그림 3의 (d)와 (e)는 균형관절의 회전관절과 직진관절 궤적을 비교한 데이터이다. 균형 회전 관절의 회전량은 20% 정도 감소하나 속도와 가속도의 변화량이 상대적으로 증대됨을 그래프의 변화로 알 수 있고, 균형 직진관절의 이동량이 30% 정도 감소함을 볼 수 있다. 그림 4는 이족보행로봇의 걸음새 모의 실험에 의한 균형추의 움직임을 기존방법과 제안된 방법 간의 비교 데이터이다.

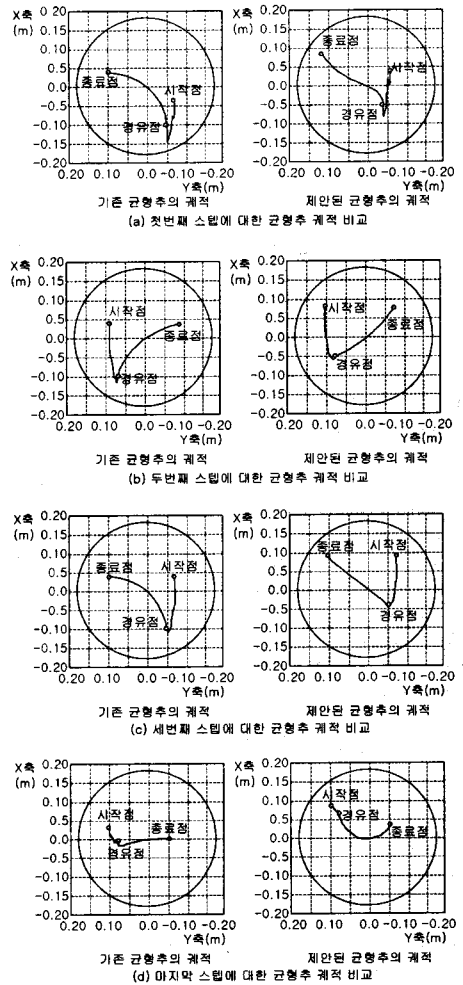


그림 4. 균형추 궤적 비교.

그림 4의 (a)는 전체 6걸음 중에서 첫 번째 걸음에 대한 기존 초기자세에 의한 보행과 제안된 초기자세에 의한 보행간의 균형추 궤적을 비교한 것이다. 제안된 보행의 균형관절 궤적은 예측한 결과와 동일하게 기존의 궤적보다 상대적으로 전체적인 운동이 몸체 중심에서 이루어지고 있음을 알 수 있다. (b)는 두 번째 걸음에 대한 균형추 궤적을 비교한 것이다. 그림 4의 (c)는 세 번째 걸음에 대한 균형추의 궤적을 비교한 것이다. 이후 네 번째와 다섯 번째 걸음은 (b), (c)와 동일하다. 그림 4의 (d)는 마지막 걸음에 관한 균형추 궤적을 비교한 것이다. 제안된 보행의 균형관절 궤적은 Y축으로 약 0.1m의 이동범위를 나타내고, 기존 균형관절 궤적의 Y축 이동범위는 약 0.07m 가량 됨을 알 수 있다. 위의 균형관절 궤적 데이터의 비교에서 나타난 바와 같이 제안된 초기위치에 따른 걸음새 구현은 전체적인 균형관절의 운동범위를 기존의 걸음새와 비교하여 상대적으로 이족보행로봇의 중심에 위치되었다.

4.2. 실험

모의 실험기에 의해 검증된 제안된 초기자세와 보행자세에 의한 이족보행로봇의 걸음새 실험을 위해, 단위시간 3초에 단위보폭 14cm 걸음으로 총 18sec 동안 6걸음을 실험하였다. 그림 6은 제안된 초기자세를 이족보행로봇으로 실험한 사진이다.

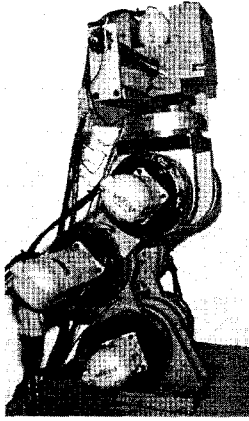


그림 5. 제안된 초기자세

제안된 초기자세에 의한 이족보행로봇의 실험 결과는 그림 6과 같다.

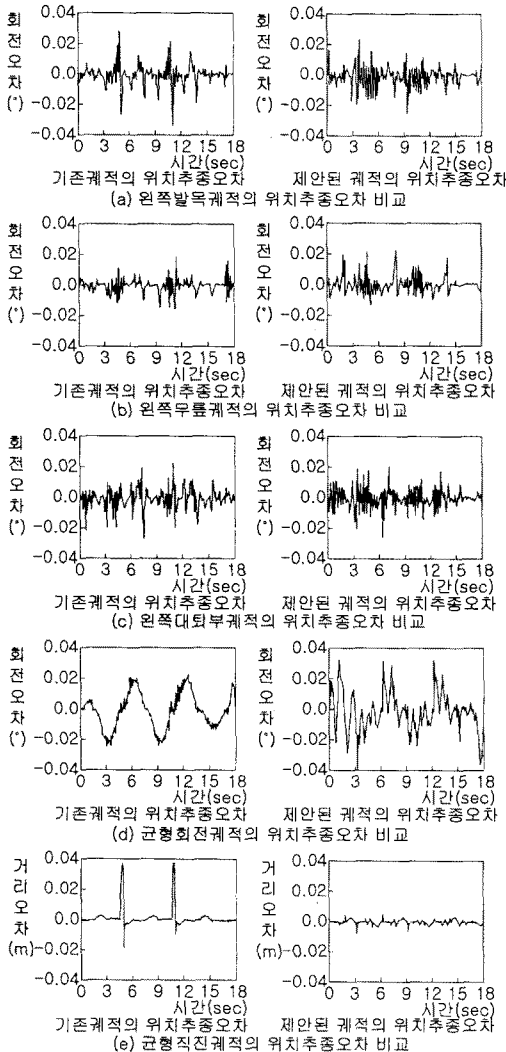


그림 6. 걸음새 실험결과 추종오차 비교.

그림 6의 (a)는 발목 관절에 대한 위치 추종 오차를 나타낸다. (b)와 (c)는 각각 무릎 관절과 대퇴부 관절의 위치 추종오차를 기존 방법과 제안된 방법 간에 비교한 그래프이다. 그래프에서 나타난 바와 같이 위치 추종 최대 오차는 서로 비슷하지만 제안된 방법이 평균적인 오차가 다소 증가함을 알 수 있다. (d)는 균형 회전 관절의 걸음새 추종오차를 비교한 그래프이다. 그림 6의 (e)는 균형 직진 관절의 궤적 추종오차를 비교한 그래프인데, 제안된 방법이 기존의 방법보다 최대 위치 추종오차가 약 700% 감소함을 볼 수 있다.

IV. 결론 및 향후과제

기존의 이족보행로봇 걸음새 구현에 따른 위치추종오차를 감소하기 위해 새로운 초기 자세를 제안했고, 수치 해석기를 이용하여 새로운 초기자세에 따른 걸음새 궤적과 균형추의 궤적을 얻었다. 도출된 균형추 궤적은 기존 걸음새와 달리 전후방 균형적인 운동으로 구성되었으며, 이에 따라 각 관절의 움직임도 기존과 다른 양상을 나타냈다. 발목관절의 운동량은 기존 보행에 비해 50% 정도 상승한 데 반하여, 허벅지관절은 50% 감소하였다. 또한 허리 회전 관절과 균형 직진 관절도 20% 감소 효과를 얻을 수 있었다. 실험결과 균형 회전 관절의 위치 추종오차는 상대적 가속도의 변화로 인해 20% 상승하였고, 균형 직진 관절의 최대 위치 추종오차는 700% 감소하였다.

이족보행로봇의 초기자세에 제안된 이족보행로봇에 대한 궤적생성과 모의실험은 궤적생성에 필요한 한정된 부분만을 미분방정식으로 계산해왔으나 이를 전체 시스템에 관한 상태 방정식으로 모델링하고 분석하여 현대 제어 기법의 적용이 요구된다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. Vukobratovic and J. Stepanenko, "Legged Locomotion Robot," Nikkan Kogyo Shinbunsha, 1975.
- [2] A. Takanishi, M. Ishida, Y. Yamazaki and I. Kato, "The Realization of Dynamic Walking by the Biped Walking Robot WL-10RD," Journal of the Robotics Society of Japan, Vol. 3, no. 4, pp. 325-336, 1985.
- [3] C. L. Shin, Y. Z. Li, S. Chung, T. T. Lee and W. A. Gruven, "Trajectory Synthesis and Physical Admissibility for a Biped Robot During the Single Support Phase," IEEE, pp.1646-1650, 1990.
- [4] S. H. Lim and J. G. Kim, "Development of Adaptive Gait Algorithm for IWR Biped Robot," KACC, pp. 113-118, 1993.
- [5] A. Takanishi, Y. Egusa, M. Tochizawa, M. Takeya and I. Kato, "Realization of Dynamic Biped Walking Stabilized with Trunk Motion," RoManSy 7:Proc, Seventh CISM-IFTToMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators, Eds. Hermes, Paris, pp. 68-79, 1990.
- [6] S. Kagami, F. Kanehiro, Y. Tamiya, M. Inaba and H. Inoue, "Autobalancer: An online Dynamic Balance Compensation Scheme for Humanoid Robots," Proc. of Fourth Intl. Workshop on Algorithmic Foundations on Robotics (WAFR'00), pp. 79-89, 2000.
- [7] Katja D. Mombaur, Hans Georg Bock and Johannes P. Schloder, "Human-Like Actuated Walking that is Asymptotically Stable Without Feedback," Proc. of the 2001 IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 4128-4133, 2001.