

이족보행로봇(IWR-III)의 지속적인 몸체 추진을 위한 걸음새 구현

장충렬, 최영하, 최상호, 김진걸
인하대학교 자동화공학과(Tel: 032-860-7384)

Gait Implementation of Biped Walking Robot(IWR-III) for continuous trunk motion

Chung-Ryoul Jang, Young-Ha Choi, Sang-Ho Choi, Jin-Geol Kim
Dept. of Industrial Automation Eng. Inha Univ.

Abstract - This paper deals with the new gait implementation of biped walking robot(IWR-III). In the case of using old gait, The trunk should be stopped during the phase changing time. But using new gait, the trunk moves continuously for all walking time. As a result, IWR-III has a walking gait similar to human being, and the motion of balancing joints can be reduced by the trunk ahead effect in the double support phase. moreover, ZMP tracking is improved, therefore the stability of IWR-III is improved.

The trajectory is planned with a 5th order spline interpolation and stability of IWR-III is certified with a biped simulator.

1. 서 론

이족보행로봇의 보행시 가장 중요시되는 점은 안정도를 유지하는 것으로 초기에는 걸음새를 이용하여 안정도를 유지하려 했지만 다리자체의 구조적 한계와 걸음새가 다양하지 못하여 그 용용에는 한계가 있었다.⁽¹⁾ 그래서 보행시 발생하는 모멘트를 균형관절이라는 독립된 몸통관절에 의해 균형점(ZMP)을 안정영역 안으로 유도하는 방법이 제시되고 연구되고 시작했다.⁽²⁻³⁾

자체 제작한 이족보행로봇(IWR-III:Inha Walking Robot)의 안정도 유지 방법은 다리부와 몸체의 움직임에 대한 다양한 걸음새에 따라 균형관절의 보상모멘트를 발생시켜 원하는 균형점에 대해 보행시 전체적인 안정을 유지할 수 있도록 균형관절 제어방정식을 이용하여 균형관절의 움직임을 결정하고 균형점 검증 방정식으로 안정도 여부를 판별한다.⁽⁴⁻⁵⁾ 즉 몸체의 추진 궤적, 유각의 궤적 그리고 원하는 균형점 위치 등의 입력값만으로 균형관절을 제어해서 보행시 전체적인 안정도를 확인하는 것이다.

본 논문에서는 IWR-III 시스템에서 기존의 걸음새의 단점인 보행중의 상변환 과정에서의 몸체 정지시간을 없앤 새로운 걸음새를 형성하여 몸체의 지속적인 추진 효과를 얻을 수 있게 하였고 더 나아가 지속 보행도 고려한 궤적으로 보행이 이루어지게 하였다. 결과적으로는 인간의 걸음과 보다 유사해지고 균형관절의 움직임을 줄여 에너지의 효율적 분배 효과를 얻고 전 구간에서 부드러운 보행을 할 수 있도록 하여 구동기의 용량과 기계적 충격량을 줄여 시스템의 전체적인 안정도를 높이려 한다.

2. 본 론

2.1 IWR-III 시스템의 좌표계

IWR-III 시스템은 다축 구동시스템이기 때문에 기구학적인 변화와 각 링크의 운동특성의 표현이 상당히 복잡하다. 따라서 본 시스템에서는 기구학 및 운동특성의

용이한 해석을 위해 시스템의 좌표계를 크게 지지각(Support Leg), 유각(Swing Leg), 균형관절(Balancing Joints)의 세 부분으로 나누었으며. Denavit-Hartenberg의 강체 링크 표시법을 사용하여 세 개의 단순 기구 연쇄로 해석할 수 있도록 하였다. 이 때 지지각의 끝단과 유각 및 균형관절의 시작단을 일치시켰으며, 전체 기준 좌표계는 지지평면의 양발바닥 사이로 설정하여 몸체의 궤적 추진, 운동특성, 균형관절의 위치와 균형점을 표시하게 하였다.
그림1은 IWR-III 시스템의 전체 좌표계를 나타낸다.

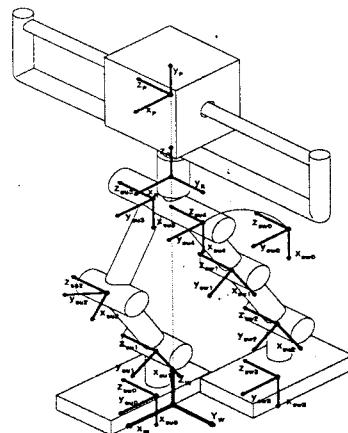


그림 1. IWR-III 시스템의 좌표계

2.2 IWR-III 시스템의 궤적 계획

IWR-III 시스템은 지지각, 유각의 운동특성과 목표 균형점의 궤적만으로 균형관절의 운동특성을 찾아내어 균형점을 제어하므로 보행을 수행하기 위해서는 반드시 지지각과 유각의 궤적계획이 필요하다. 그림1에서 보듯이 지지각과 몸체는 하나의 변환행렬로 표현되므로 지지각의 궤적 계획은 몸체의 궤적 계획을 의미한다.

궤적은 각각 지지각과 유각의 기준 좌표계에 대해 표현하였고 보행시 부드러운 움직임과 기계적 충격량을 고려하여 시간에 대한 경로 구간을 5차 다항식 곡선으로 설정하여 위치, 속도뿐만 아니라 가속도도 제어할 수 있도록 하였다. 시간에 따른 궤적은 식1과 같이 표현된다.

$$p(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \quad \text{식 1}$$

궤적 계획시의 경유점의 수는 적을수록 부드러운 곡선을 나타낸다. 따라서 본 시스템에서는 새로운 걸음새의 특성에 맞게 지지각의 x축(높이방향), y축(전진방향), z축(지지평면과 평행한 방향)의 경유점은 3개로 같게 하고 유각의 경우 x축, z축은 3개, y축은 4개로 하였다. 경유점에서의 속도와 가속도는 지지각의 경우 몸체가 전

구간에서 등속도로 움직이게 하기 위해서 평균 속도로 하고 가속도는 영으로 하였다. 유각의 경우는 속도, 가속도 모두 영으로 해서 궤적 계획을 실행했다. 그럼2는 전 구간 지속 보행시의 전진방향에 대한 위치, 속도, 가속도 그래프이다.

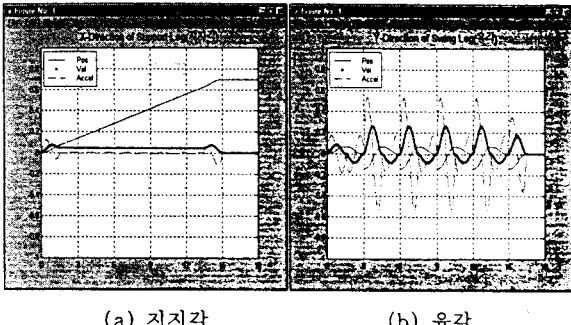


그림 2. 전 구간 지속 보행시 위치, 속도, 가속도

그림 2에서 지지각은 등속도를 유지하는 것을 볼 수 있고, 유각의 경우 그래프가 불연속적으로 나타나는데 이는 유각의 궤적 계획시 기준 좌표계를 몸체에 부착했기 때문이다.

2.3 새로운 걸음새와 기존의 걸음새의 비교

IWR-III 시스템에 적용된 기존의 걸음새는 한 다리 지지 상태에서 다리부만 전진한 후 두 다리 지지 상태에서 몸체와 균형추를 이동시켜 상변환을 하거나 한 다리 지지 상태에서 몸체와 다리부를 함께 전진한 후 두 다리 지지 상태에서 균형추만을 움직이도록 구현된 것이다. 위의 두 가지 걸음새는 모두 보행 중 몸체 정지시간이 있게 되어 로봇의 보행이 불연속적으로 이루어져 몸체의 지속적인 추진을 구현할 수 없었으며 균형관절의 움직임도 많았다. 또한 지속 보행의 경우 기본 걸음새들을 조합해서 반복적인 보행을 수행하므로 전 보행 구간을 고려한 궤적을 생성할 수 없었다. 따라서 전 구간 보행에서 시간에 따라 적절한 궤적으로 보행을 수행하도록 할 수 없었으며 이로 인해 구동기의 성능을 효율적으로 이용할 수 없었다.

이에 반해 본 논문에서 제시한 새로운 걸음새는 상변환 과정 중에 몸체 정지시간을 없애고 몸체 추진과 함께 균형추를 이동하여 지속적인 몸체추진이 가능하게 하였고 균형추의 움직임도 많이 줄어드는 효과를 가져온다. 전 구간 지속 보행 때는 기본 걸음새들의 반복 동작이 아닌 전 구간 보행에 대하여 궤적을 생성하여 시간에 따른 각각의 위치에서 각 링크의 움직임을 적절하게 분배하는 효과를 가져와 구동기를 보다 작은 용량을 갖도록 할 수 있다. 그럼3은 기존의 걸음새와 새로운 걸음새의 알고리즘을 비교한 것이다.

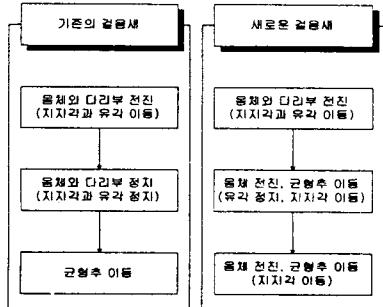


그림 3. 걸음새 비교 알고리즘

3초 보행의 예를 들면 기존의 걸음새는 2초 보행 후 몸체가 정지한 뒤 상변환을 위해 1초 동안 균형추만을 움직이는 형태를 가졌다. 지속 보행시는 단지 위의 형태를 반복하는 것으로 2초 보행 후 1초 정지한 뒤 다시 2초 보행 후 1초 정지를 반복했으며 이는 지속적인 몸체 추진을 구현할 수 없는 형태를 띠고 있다. 그러나 새로운 걸음새에서는 1.5초 동안 다리부와 몸체추진을 한 후 나머지 1.5초 동안 몸체추진과 함께 균형추가 이동하게 하여 몸체 정지시간을 없앴다. 이것은 에너지를 효율적으로 분배할 수 있게 하여 구동기의 성능을 충분히 활용할 수 있는 결과를 나타냈다. 지속 보행의 경우 단위 걸음새에 대한 반복이 아닌 전 구간 보행에 대한 궤적 계획을 한 번에 할 수 있게 하여 각각의 위치에서 효율적인 궤적으로 보행이 수행되도록 하였다. 그럼4는 기존의 걸음새와 새로운 걸음새의 정지상태에서 3초 동안 보행했을 때의 다리의 위치, 몸체의 위치 그리고 균형추의 위치를 비교한 것이다.

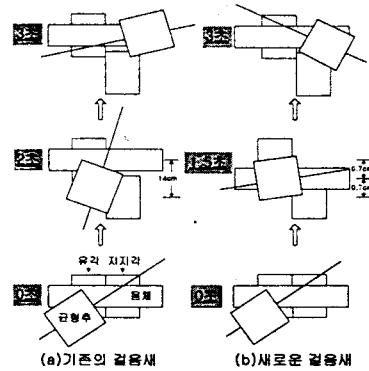


그림 4. 3초 보행에서의 걸음새 비교

2.4 모의 실험

IWR-III 시스템의 새로운 걸음새에 대한 모의 실험은 MATLAB으로 작성한 프로그램을 사용하여 기존의 경유점을 이용하여 새로운 걸음새에 따른 지지각과 유각의 궤적 계획을 한 후 균형관절의 움직임과 시스템의 전체적인 안정성을 판별하고 기존의 걸음새와 비교하였다. 그럼5는 모의 실험 수행도를 나타낸다.

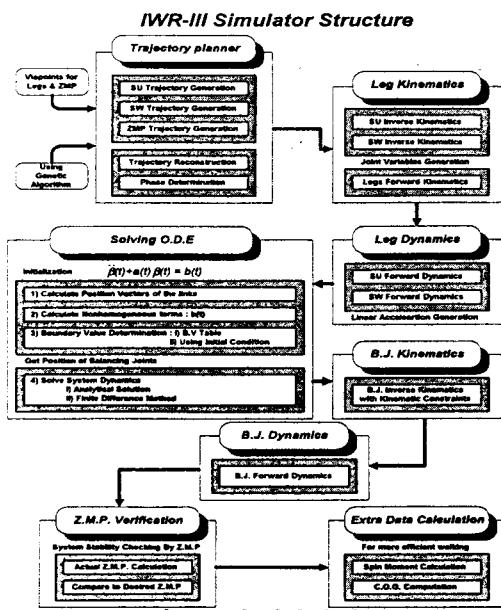


그림 5. 모의 실험 수행도

그림6부터 그림8까지는 기존의 걸음새와 새로운 걸음새의 보행 시작 후 3초 동안의 균형추의 움직임, 균형점 추종 그리고 z축(지지평면에 수직한 방향)의 회전 모멘트를 비교한 결과이다.

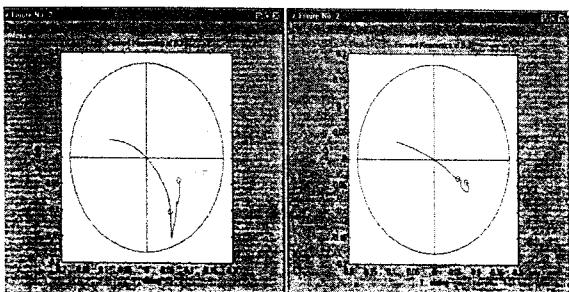
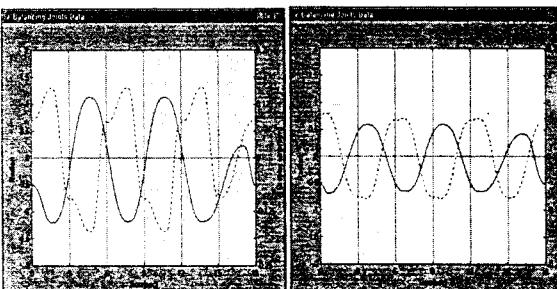


그림6. 균형추의 움직임



(a) 기존의 결음새 (b) 새로운 결음새
그림9 전 구간 지속 보핵에 대한 균형초의 움직임

3. 결 론

새로운 걸음새를 적용한 IWR-III 시스템은 모의 실험과 보행 실험을 거쳐 전 구간 지속 보행에 대해 지속적인 몸체추진과 균형추의 움직임도 많이 줄어들었음을 확인할 수 있었다. 이는 모의 실험 결과에서 보듯이 전체적으로 시스템의 안정도가 향상되었기 때문이다. 또한 보행의 형태도 인간과 더욱 유사해졌다.

향후에는 경유점의 속도와 가속도를 최적의 값으로 찾아서 더욱 더 부드러운 보행이 이루어지게 하고 안정도를 더 향상시킨 다음 기본 걸음새의 시간을 지금의 3초보다 짧게 해서 빠른 속도로 보행이 가능케 하는 연구가 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. Takanishi, M.Ishida, Y.Yamazaki, I.Kato, "Realization of Dynamic Walking by the Biped Robot WL-10RD.", The 1985 International Conference on Advanced Robotics, pp.459-466, Tokyo, Japan, 1985.
 - [2] A. Takanishi, H.O.Lim, M.Tsuda, "Realization of Dynamic Biped Walking Stabilized by Trunk Motion on a Sagittally Uneven Surface.", Proceedings of the 1990 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.323-329, Tsuchiura, Japan, Jul.3-6, 1990.
 - [3] Q.Li, A. Takanishi, I.Kato, "Learning Control of Compensative Trunk Motion for Biped Walking Robot based on ZMP Stability Criterion.", Proceedings of 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.597-603, Raleigh, USA, Jul.7-10, 1992.
 - [4] 이보희, "이족보행로봇 IWR의 걸음새 구현.", 박사학위논문, 인하대학교 기계공학과, 1996.
 - [5] 최상호, "이족보행로봇 IWR의 동적 안정도를 위한 균형점 해석에 관한 연구.", 석사학위논문, 인하대학교 자동화공학과, 1998

그림6에서 보듯이 균형추의 움직임은 기준의 결음새와는 다른 거의 직선에 가까운 움직임을 보이고 회전에 대해서도 현저하게 줄어들었음을 알 수 있다. 여기서 원은 균형과정의 동작 가능 범위를 나타낸다.

그럼 7에서는 실제의 균형점의 궤적이 원하는 균형점에 대해서 거의 일치하기 때문에 균형점 추종에서도 많은 학상을 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 8에서도 회전 모멘트의 결과가 기준의 걸음새보다 향상되었음을 알 수 있다. 특히 중간 경유점 이후에는 최대값, 최소값이 기준의 값보다 2배정도 낮아졌음을 보이고 있다.

아래 그림9에서는 전 구간 보행중의 균형관절의 움직임을 비교한 것이다. 여기에서 실선은 롤(roll) 관절, 점선은 직진(prismatic) 관절을 나타낸다.