

이족 보행 로봇의 인간과 유사한 지속보행을 위한 걸음세 구현

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

Gait Implementation of Biped Robot for a continuous human-like walking

Kwang-Ho Jin, Chung-Ryoul Jang, Ja-Hyuk Koo, Sang-Ho Choi, Jin-Geol Kim
 Dept. of Industrial Automation Eng. Inha Univ

Abstract - This paper deals with the gait generation of Biped Walking Robot(IWR-III) to have a continuous walking pattern like human. For this, trajectory planning with the consideration of kick action is done in each walking step, and the coordinate transformation is done for simplifying the kinematics. The trunk moves continuously for all walking time and moves toward Z-axis. Balancing motion is acquired by FDM(Finite Difference Method) during the walking. By combining 4-types of pre-defined steps, multi-step walking is done. Using numerical simulator, dynamic analysis and system stability is confirmed. Walking motion is visualized by 3D-Graphic simulator.

As a result, the motion of balancing joints can be reduced by the trunk ahead effect during kick action, and impactless smooth walking is implemented by the experiment.

대해 기준 좌표계를 두었다. 지지각의 끝단과 유각 및 균형관절의 시작단을 한 점으로 일치시켜 전체 시스템을 가지구조를 갖는 개형상 구조로 모델링하였다. 전체 기준 좌표계는 균형관절 기준 좌표계를 지면에 투영시켜 양 발바닥 사이로 설정하여 로봇의 모든 움직임을 표시하도록 하였다. 이 좌표계를 기준으로 몸체의 궤적 추진, 동특성, 균형관절의 위치 표현 및 균형점을 표시한다.

지지각은 발바닥 부분을 기준 좌표계로 설정하여 이 시스템의 전체 좌표계와 같은 평면에 있게 하고, 유각의 기준 좌표계와 균형관절의 기준 좌표계는 지지각의 말단 좌표계와 일치시켜 기구학적 연쇄가 일어나게 하였다. 유각의 말단 좌표계는 킥액션이 일어나는 동안 발의 앞부분 또는 뒷부분에 위치시키고 유각을 들고 움직이는 동안에는 발목 부분만을 자유롭게 움직이기 위해서 발목 부분에 위치하게 하였다.

그림 1은 IWR-III의 전체 좌표계이다. 좌표계는 각체의 링크 사이의 관계를 표시하는 D-H(Denavit-Hartenberg) 표기법을 사용하여 세 부분의 단순 기구 연쇄로 표시하였다.

1. 서 론

이족보행로봇은 인간과 유사한 걸음새를 구현할 수 있고 인간을 대신하여 위험한 작업공간에서도 작업이 가능하다는 장점으로 인해 걸음새 제어 및 안정도 해석의 어려움에도 불구하고 1970년대부터 지금까지 꾸준히 연구 대상이 되어왔다. 이 연구는 걸음새 제어와 로봇의 안정도 해석으로 나눌 수 있으며, 걸음새 제어의 경우는 평단지형과 변화가 심하지 않은 3차원 지형에서의 걸음새 제어로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 평단지형에서 보다 인간과 유사한 보행을 하는 새로운 걸음새를 구현하고자 한다. 이를 위하여 각 걸음새에 발목관절을 자유로이 움직이는 킥액션을 적용하고, 지면에 대한 높이 방향 움직임을 갖는 3차원 몸통운동을 하며, 두다리 지지 상태에서 몸체추진을 수행⁽⁴⁾하게 하였다.

이전의 걸음새는 몸체가 항상 지면과 일정한 높이를 유지하며 보행을 수행하였지만, 새로운 걸음새는 킥액션 효과를 높이 방향까지 적용하여 전체 보행을 수행할 때에 인간의 걸음과 유사하게 하였다. 여기에 지속적인 몸체 추진을 수행하여 균형관절의 움직임을 줄이고 에너지의 효율적인 분배 효과를 얻고, 전 구간에서 부드러운 보행을 할 수 있도록 하여 구동기의 용량과 기계적 충격량을 줄여 시스템의 전체적인 안정도를 높이려 한다.

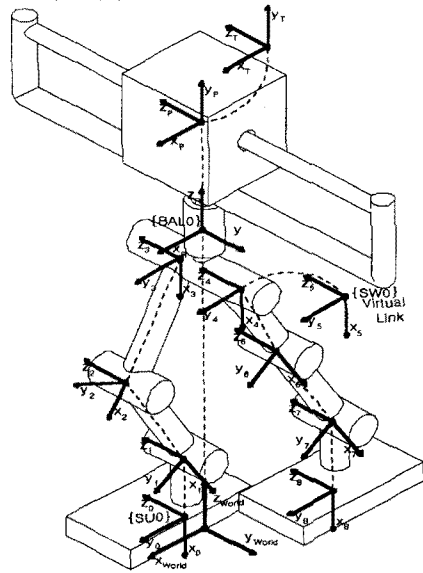


그림 1 IWR-III 시스템의 좌표계

2. 본 론

2.1 이족보행로봇 IWR-III 시스템의 좌표계

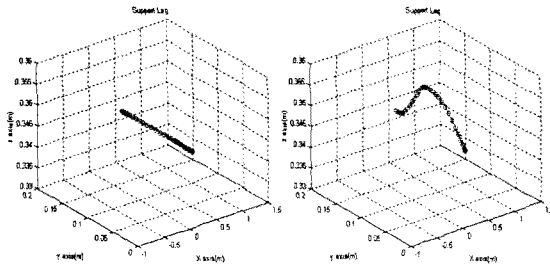
이족보행로봇 IWR(Inha Walking Robot)-III는 기구학적 해석과 각 링크들의 동특성의 용이한 해석을 위해 지지각(Support Leg), 유각(Swing Leg), 균형관절(Balancing Joints)의 세 부분으로 나누고 각각에

2.2 IWR-III 시스템의 궤적 계획

IWR-III 시스템은 지지각과 유각의 운동 궤적 및 균형점 궤적만으로 균형관절의 움직임을 결정하여 균형점을 제어하게 되므로 원활한 보행을 수행하기 위해서는 지지각과 유각의 궤적계획은 반드시 필요하다. 궤적 생성은 각각 지지각과 유각의 기준 좌표계에 대해 표현하였고 보행시 부드러운 움직임과 기계적 충격량까지 고려할 수 있는 시간에 대한 경로 구간의 5차 다항식 곡선

[2]으로 설정하였다. 이전 보행은 보행의 시작 단계와 끝 단계에서 속도, 가속도를 0으로 하여 지속보행이 이루어지지 않고 각 걸음마다 보행이 멈추는 형태를 가졌다. 새로운 걸음새는 물체의 지속보행이 이루어질 수 있도록 전체 걸음새에 대한 물체 궤적을 먼저 생성하고 각 걸음새로 나누어 궤적 계획을 하였다. 이 방법은 보행의 시작 단계와 끝단계에 속도가 존재하기 때문에 보행이 멈추지 않고 일정한 속도로 계속하게 되어 지속보행이 이루어진다. 여기에 키크액션을 추가하고 몸통의 높이방향 움직임을 수행하여 인간의 보행과 보다 유사한 부드러운 보행을 구현하였다.

그림 2는 기존 걸음새와 새로운 걸음새의 물체 움직임을 3차원 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 X축은 전진방향, Y축은 좌우방향, Z축은 높이방향을 나타낸다. 새로운 걸음새는 물체가 등속도로 움직이며 높이방향 움직임을 갖는 것을 볼 수 있다.



기존의 걸음새 새로운 걸음새
그림 2 3차원 물체 움직임

2.3 IWR-III의 보행 패턴

새로운 걸음새의 보행 패턴은 키크액션을 이용한 보행[5]에 물체 추진과 몸통의 높이 방향 움직임을 적용한 것이다. 보행 시작 전 두다리지지 상태에서 키크액션(Toe off)이 일어나는 동안 물체 추진이 일어나며 몸체가 위쪽으로 움직인다. 이후에 부드럽게 한다리지지 상태로 넘어가며 보행이 이루어진다. 보행 후 다시 두다리지지 상태로 넘어가는 과정에서 키크액션(Heel touch)이 일어나며 몸체가 원래 위치로 돌아오게 되고 다음 보행을 준비하게 된다. 아래 그림 3은 이 과정을 그림으로 나타낸 것이다.

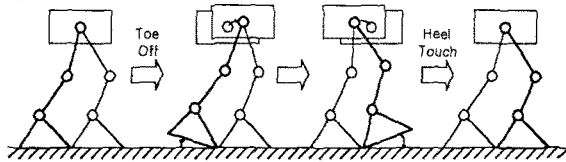


그림 3 새로운 걸음새의 보행 패턴

위의 모든 과정에서 물체는 지속적으로 등속도로 움직이며 보행이 끝난 상태에서도 물체의 속도가 존재하여 다음 보행과 부드럽게 연결된다. 보행이 완전히 끝날 때까지 물체의 속도는 등속도를 유지하므로 보다 안정된 보행을 수행하게 된다. 그림 4는 새로운 걸음새의 보행 패턴을 스틱 다이어그램으로 나타낸 것이다.

2.4 균형관절 해석

그림 5에서 보듯이 기존의 IWR 시스템은 보행 후 균형추를 반대편으로 옮기는 과정을 수행하여 다음 보행을 준비하는 상변환을 거치게 된다. 본 논문에서 제시한 새로운 걸음새는 균형추가 원점에서 시작하여 키크액션(Toe off)이 일어나는 동안 보행에 필요한 초기위치로 옮겨지고, 보행 중 균형을 이루기 위해 균형관절의 동작 가능

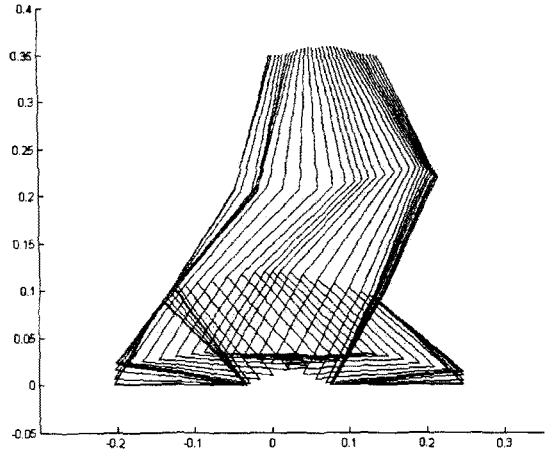
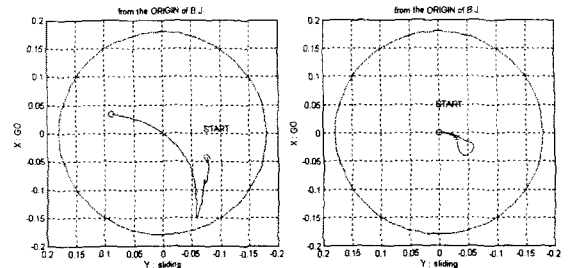


그림 4 새로운 걸음새의 스틱 다이어그램

범위(Workspace) 안을 움직이다가 보행 후 키크액션(Heel touch)이 일어날 때에 다시 원점으로 옮겨지도록 궤적계획을 하였다. 이 방식은 키크액션이 일어나는 동안 몸체가동이 일어나며 균형추가 움직이므로 균형추의 움직임을 최소화할 수 있고, 균형추의 움직임이 원점에서 출발하여 원점에서 끝나므로 다음 보행을 위한 상변환 과정이 필요 없게 된다. 이에 따라 상변환 과정의 균형관절의 기구학 해석상의 특이점(Singular Point) 해석이 필요 없다는 장점이 있다.

그림 5는 기존 걸음새와 새로운 걸음새의 균형추의 움직임을 로봇의 위쪽에서 투영한 모습으로 나타낸 것이다. 그래프에 표시한 원은 균형관절의 동작 가능 범위를 나타내며, 새로측은 전진방향, 가로축은 좌우방향을 나타낸다. 기존 걸음새에 비해 새로운 걸음새는 균형추의 움직임이 현저히 줄어든 것을 볼 수 있다.

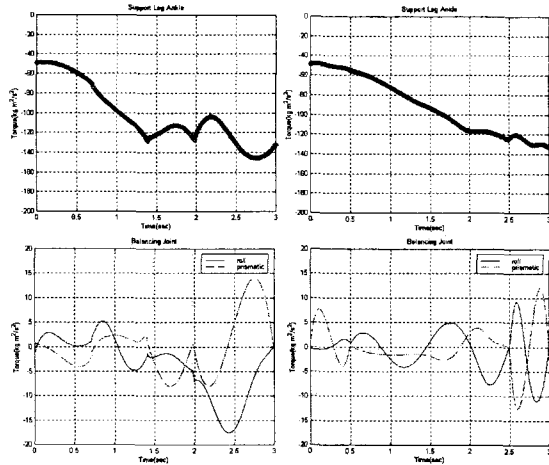


기존의 걸음새 새로운 걸음새
그림 5 균형추의 움직임

2.5 모의실험

IWR 시스템은 모의실험기를 사용하여 궤적 계획, 기구학 해석, 동력학 해석, 균형관절 해석, 균형점 검증, 토크 검증, 걸음새의 안정도를 판별한다. 모의실험기는 상용패키지(MATLAB)를 사용하여 프로그램 되었으며 IBM PC 환경에서 구현되었다. 모의실험기는 지지각과 유각, 균형점의 경유점이 주어지면 각각의 궤적 계획을 수행한 후, 역기구학을 수행하여 지지각과 유각의 각 관절 값들을 구한다. 그리고 뉴턴-오일러 방정식을 이용하여 각 링크의 운동을 해석한다. 여기서 각 링크의 동특성 항들이 포함되어 있는 상미분방정식을 풀어서 매 순간의 균형추의 위치를 구하고, 균형점을 계산하여 실제 안정영역에 만족하는지 판별하게 된다. 그리고 뉴턴-오일러 토크 방정식을 사용하여 각 관절에 걸리는 토크를

계산하여 실제 관절에 걸리는 토크를 검증하였다. 본 논문에는 균형관절의 토크량과 이족보행로봇의 보행 특성상 가장 많은 토크가 걸리는 발목관절의 토크 변화량을 그림 6의 그래프에 나타내었다. 가로축은 시간을 나타내고 세로축은 관절에 걸리는 토크량을 나타낸다.



기존의 걸음새 새로운 걸음새
 그림 6 뉴턴-오일러 토크방정식에 의한 발목(위)과 균형관절(아래)의 토크량

2.5 실험 및 결과

모의실험을 수행한 후 얻은 8개의 관절값을 자체 제작한 IWR-III에 사용하여 보행 실험을 하였다. 제작한 IWR-III는 높이 0.68m, 무게 45Kg이고, AC 서보모터 200W 6개, 무릎 부분에 400W 2개를 사용하여 구동한다. 균형관절의 볼부분, 다리관절의 허벅지와 무릎 부분에 60:1 감속기 5개를, 발목부분에 100:1 감속기 2개를 사용하였다. 제어기는 TMS320c31 DSP칩이 내장된 MMC (Multi Motion Controller)를 사용하였고, 관절 값을 펄스로 변환하여 8축 동시 제어를 하였다. 실험에 사용한 전체 걸음새에 관한 관절값을 그림 7, 8, 9에 그래프로 나타내었다. 그래프에서 가로축은 시간을 나타내며 다리부와 균형관절의 회전부의 세로축은 각도(Radian)를, 균형관절의 직진부의 세로축은 거리(m)를 나타낸다.

3. 결 론

이족보행로봇의 목표는 인간과 똑같은 보행을 하는 로봇의 개발이다. 인간의 경우 킥액션을 통해 몸체를 추진하며 보행시 발생하는 충격을 부드럽게 흡수하고 보행 중 몸체의 속도가 일정하며 킥액션의 효과로 인해 몸체가 상하로 부드럽게 이동한다.

이 논문은 IWR 시스템을 이용하여 이족보행로봇의 걸음새를 인간의 보행과 유사하게 구현하였다. 이에 따라 평면 직진 보행의 한 스텝의 앞, 뒷부분에 킥액션을 추가하고, 킥액션이 일어나는 동안에 몸체추진을 수행하며 몸체의 높이 방향 운동을 추가하였다. 이밖에 킥액션이 일어나는 동안 균형추를 이동시키는, 상변환 과정이 필요 없는 균형관절 해석과 균형점 궤적계획을 하였다. 이 과정은 모두 모의실험을 통하여 수행하였으며 모의실험 결과를 IWR-III 시스템에 적용하여 최종적으로 새로운 걸음새를 구현하였다. 새로운 걸음새를 적용한 IWR-III 시스템은 균형추의 움직임이 많이 줄어들었으며 킥액션 효과로 인한 부드러운 발목 움직임을 보였고 시스템의

안정도가 향상되어 전 구간 지속 보행에 대해 인간과 유사한 부드러운 보행을 수행하였다. 향후 연구과제는 최적의 경유점의 속도 가속도를 찾아서 더 부드러운 보행이 이루어지게 하고 보행 속도를 빠르게 하는 알고리즘 연구가 필요하다.

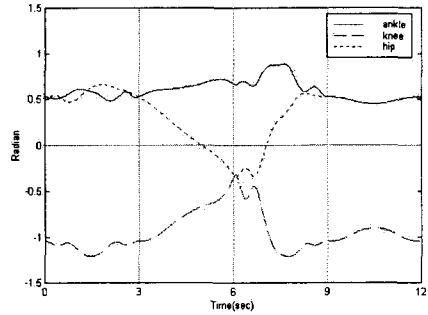


그림 7 왼쪽 다리의 관절값

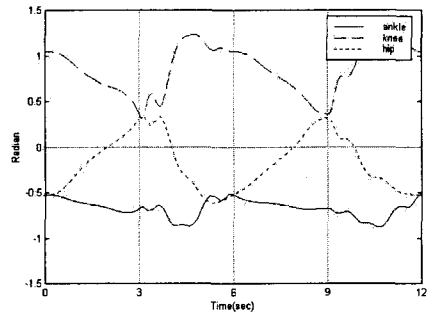


그림 8 오른쪽 다리의 관절값

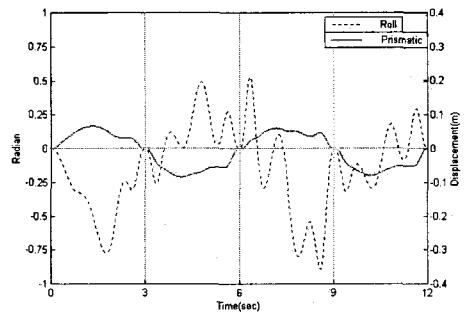


그림 9 균형관절의 관절값

(참 고 문 헌)

- [1] 임선호, 이족보행로봇 IWR-III의 균형점 제어 구현에 관한 연구, 박사학위논문, 인하대학교, 1999.
- [2] 김종태, 이족보행로봇의 최적 균형 궤적 생성에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교, 1999.
- [3] Mostafa Rostami, Guy Bessonnet, "Impactless sagittal gait of a biped robot during the single support phase," IEEE, pp.1385-1391, 1998.
- [4] 장충렬, 김진걸, "이족보행로봇의 지속적인 몸체 추진을 위한 걸음새 구현," 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.549-551, 1998.
- [5] 진광호, 김진걸, "이족보행로봇의 킥액션을 이용한 보행 구현," 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.552-554, 1998.