

이족보행로봇의 전체 보행구간에서의 균형점 궤적 생성에 관한 연구

구자혁, 최영하, 최상호, 김진걸

인하대학교 자동화공학과 (Tel: 032-860-7384, E-mail: g1981324@inhavision.inha.ac.kr)

A study on the ZMP Trajectory generation in multi step walking of IWR-III Biped Walking Robot

Ja-Hyuk Koo, Young-Ha Choi, Sang-Ho Choi, Jin-Geol Kim

Dept. of Industrial Automation Engineering, Inha University.

Abstract - This paper deals with ZMP trajectory generation in multi step walking of IWR-III (Inha Walking Robot) Biped Walking Robot. Biped walking is realized by combining 6-types of pre-defined steps and the actual ZMP can be used as a stability index of a robot. For the good tracking of actual ZMP, desired ZMP trajectory is generated during the whole walking time not for each step. Trajectory generation is performed considering velocities and accelerations of given via points using 5-th order polynomial interpolation method. As a result, balancing joints have a more smooth and continuous motion and actual ZMP has a better tracking ability. Numerical simulator is done by MATLAB to guarantee the walking of a robot satisfying the ZMP stability.

1. 서 론

현재 이족보행로봇의 보행에 있어서 연속적이고 빠르며 안정적인 보행과 이족보행로봇 그 자체의 특수성(작업환경이 불균형하고 협난한 극한 환경에서의 작업수행능력)을 발휘하기 위해서는 뛰어난 지형 적응성과 시스템의 안정적인 균형점(ZMP: Zero Moment Point) 해석에 의한 균형점의 원활한 제어가 뒷받침되어야 한다. 본 논문에서는 균형점 제어를 위한 입력 정보 중에서 균형점에 대한 궤적을 생성하여 정적인 균형점 추종이 아닌 동적인 균형점 추종을 이루도록 하고 있다. 동적인 균형점 추종은 이족보행로봇의 보행을 빠르게 제어 할 수 있기 때문에 사용되어진다. 이러한 동적인 균형점 추종을 위해서는 지금까지의 방법인 한 기본 걸음새에 대한 균형점 궤적 생성이 아니라 전체 보행주기 동안에 대한 균형점의 궤적이 생성되어야 하며, 또한 다리부와 몸체의 움직임에 의한 다양한 걸음새에 대하여 균형관절로 보상 모멘트를 발생시켜 원하는 균형점에 대해 전체적인 안정을 이를 수 있도록 균형관절 제어 방정식을 이용하여 균형관절의 움직임을 결정하고 균형점 겸중 방정식^[1]으로 안정도의 여부를 판별해야 한다. 본 논문에서는 3가지의 유형의 균형점 궤적^[2]에 관하여 균형점이 연속적이며 등속운동을 하는 부드러운 궤적 생성을 찾아내는 데 목적을 두고 모의실험 하였으며, 직접 제작한 이족보행로봇 IWR-III에 적용하여 실험하였다.

2. 본 론

2.1 이족보행로봇 IWR-III의 걸음새 정의

이족보행로봇 IWR-III의 원활한 보행을 위해서 필요한 인자들은 몸체부의 궤적, 다리부의 궤적, 그리고 원하는 균형점의 궤적이 세가지 요소이다. 세가지에 대한 경유점이 주어지게 되면 모의 실험기를 통하여 궤적 생성 후

역기구학이 수행되고 동역학 해석이 이루어진다. 이때 균형관절의 움직임은 각 링크의 동특성 정보가 포함되어 있는 이차 미분 방정식으로 유도되어지고, 균형점 겸중 방정식을 통하여 전체 시스템의 보행 중 안정도를 판별한다.^[3] 지속 보행의 경우 다리와 몸체부 움직임에 따라 이 과정이 계속 반복된다. 본 논문에서는 기존의 연구가 한 보행의 경우에만 국한되었던 것을 확장하여 지속 보행까지 고려하여 시스템 해석을 수행한다. 인간의 걸음새가 여러 걸음을 움직일 때 반복적인 보행 형상을 나타내므로 이를 다리와 몸체의 위치에 따라 구분하여 6 가지의 기본 걸음새를 만들어 이를 IWR-III에 적용한다. 이는 지속보행의 전 시간에 대한 시스템 해석을 수행하지 않고 기본 걸음새별로 시스템을 해석하여 수행 시간을 줄이며 다양한 기본 걸음새들을 계속 추가할 수 있어 걸음새의 자료화가 가능하다. 지속 보행시엔 필요 한 몇 개의 기본 걸음새의 조합으로 보행이 구현 가능해진다. 걸음새의 조합으로 향후 다양한 지형에서의 걸음새 추가가 용이해진다. 그럼 1은 IWR-III에 적용된 6 가지의 기본 걸음새이다. 홀수번호의 걸음새는 오른 다리가 지지다리일 경우이고 짝수번호의 경우에는 왼다리가 지지다리일 경우이다. 걸음새 1과 2는 보행시작 걸음새이고, 걸음새 3과 4는 중간 보행에서의 걸음새이고, 5와 6은 보행완료시의 걸음새이다.

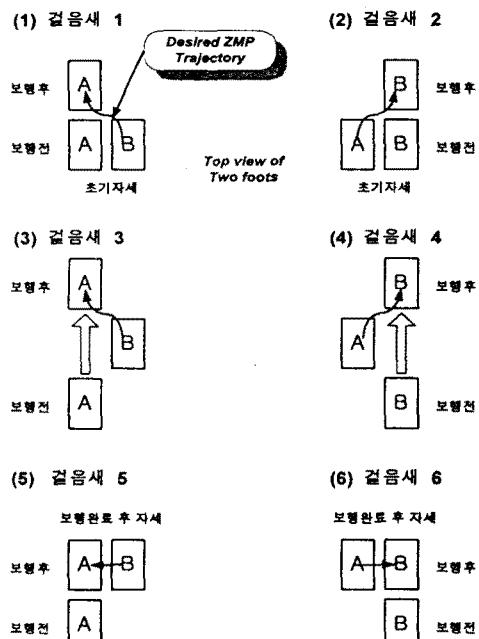


그림 1 IWR-III의 걸음새 정의

본 논문에서는 걸음새 1, 걸음새 4, 걸음새 3, 걸음새 4, 걸음새 3, 걸음새 6의 순서로 한 주기의 보행을 구성하여 균형점의 궤적계획을 생성하였다.

2.2 균형점의 궤적계획

IWR-III는 몸체와 다리부의 움직임 및 목표 균형점의 위치정보에 의해 2 자유도를 갖는 균형관절이 균형운동을 통하여 목표 균형점을 중심으로 안정을 이룬다. 균형점은 보행시 고정된 한 점으로 고정시키기도 하지만 보다 동적인 보행과 보행속도의 향상 및 균형관절이 적절한 운동범위 내에서 움직일 수 있도록 보행 시간동안 변화를 갖는 궤적으로 설정한다. 목표 균형점의 궤적에 따라 시스템의 안정도가 변하므로 적절한 균형점 궤적의 입력이 필요하다. 궤적의 시작위치는 위치 선정이 편리하도록 지지각 기준 좌표계의 원점으로 설정하고 보행이 끝날 때까지 균형점 궤적을 발바닥의 앞쪽으로 이동시키고 또한 상변환 시간동안 균형축 이동시간을 줄이도록 반대 발바닥 쪽으로 균형점을 이동시킨다. 그럼 2는 균형점의 궤적을 생성하는 알고리즘을 나타낸다.

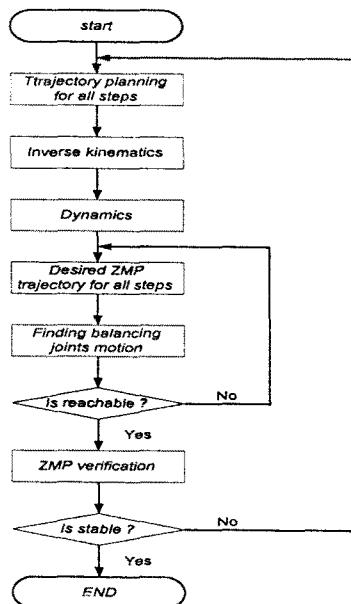


그림 2 균형점 궤적생성 알고리즘

기존 연구의 경우, 기본 걸음새에 대해 각각 (n) 번째 보행시의 균형점의 마지막 위치가 ($(n+1)$) 번째 균형점의 시작위치와 일치하도록 균형점 위치가 지정되었다. 그러나 이 경우 기본 걸음새가 반복되는 시간에서의 균형점의 위치는 보행 전과 보행 후 서로 일치하지만 속도 및 가속도는 서로 일치하지 않아 미분 불연속성을 띠게 된다. 즉 한 걸음새일 경우만을 고려하여 균형점 궤적을 생성하였기 때문에 이를 지속 보행에 적용할 시에는 문제가 발생한다. 기존의 방법을 이용한 궤적계획은 전술한 전체 보행주기중 각각의 한 걸음새에 대해서만 궤적이 생성되므로 한 걸음새의 보행이 끝나면 균형점이 정지하므로 균형축의 움직임도 정지하는 현상이 발생한다. 또한 경유점에서의 속도와 가속도를 영으로 놓고 궤적계획을 수행함으로 인하여 균형축의 급가속 및 급감속이 일어나는 현상이 발생하게 된다. 균형축의 갑작스러운 움직임에 의해서 생겨나는 스팬 모멘트로 인하여 이족보행로봇의 보행 자체가 불안해지는 경우가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 기존의 방법을 탈피한 전체보행구간에서의 궤적계획을 제시하고자 한다. 즉, 본 논문에서는 지속 보행을 고려하여 전 구간에서

주어진 균형점의 경유점을 이용해 한번에 궤적계획을 수행하도록 하였고, 또한 각 경유점에서의 최적속도, 가속도 값을 찾아 균형점이 기본 걸음새가 바뀔 때마다 정지하지 않고 지속적으로 움직일 수 있도록 하였다. 전 구간에 대한 궤적계획은 균형점 궤적의 시작과 끝점에서만 속도, 가속도가 각각 영으로 하고 경유점에서의 부드러운 속도, 가속도 곡선을 얻기 위해 경로구간을 5차 다항식^[4]으로 설정하고 보간법을 이용하여 생성하였다. 균형점의 궤적 계획에 사용되어진 시간과 전체 기준 좌표계에 대한 경유점의 위치를 표 1에 나타내었다. 그럼 3과 4는 표 1의 경유점의 자료를 가지고 5차 다항식을 이용하여 보간한 균형점의 전진방향과 좌우방향의 위치와 속도와 가속도에 대한 그래프이다.

표 1 궤적계획에 사용된 시간, 경유점

시간	균형점 궤적 생성을 위한 경유점		
	x축(전진방향)	y축(좌우방향)	z축(상하방향)
0.0 초	0.00 m	-0.0250 m	0.000 m
2.0	0.095	-0.0185	0.000
3.0	0.14	0.0250	0.000
5.0	0.235	0.0185	0.000
6.0	0.28	-0.0250	0.000
8.0	0.375	-0.0185	0.000
9.0	0.45	0.0250	0.000
11.0	0.515	0.0185	0.000
12.0	0.56	-0.025	0.000
14.0	0.655	-0.0185	0.000
15.0	0.70	0.0250	0.000
17.0	0.710	0.0185	0.000
18.0	0.710	-0.0250	0.000

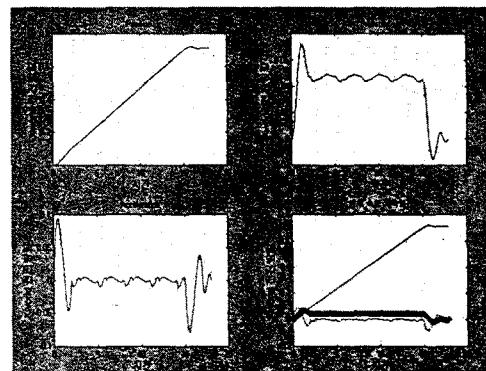


그림 3 전진방향의 속도와 가속도

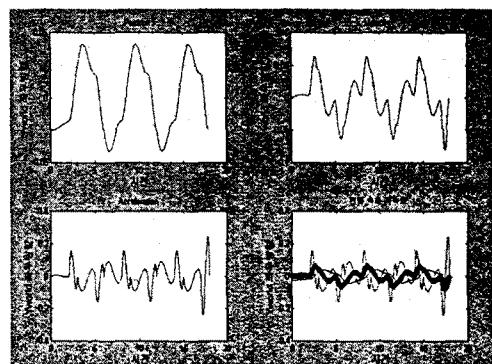


그림 4 좌우방향의 속도와 가속도

2.3 균형점 궤적계획에 대한 모의실험

모의실험에서 균형점의 궤적이 기존의 방법과 새롭게 제시한 방법의 차이를 알아내기 위하여 앞서 구성한 6개 결음새의 조합을 사용하였다. 보행시간은 한 결음새에 3초가 걸리며, 총 6결음으로 18초의 시간이 소요된다. 실험에 사용 되어진 환경은 MATLAB(상용 패키지)로 자체 제작한 모의 실험기를 이용하여 IBM-PC환경에서 실험을 하였다. 실험은 세 가지의 방법으로 나누어서 수행을 하였다.

(1) 첫 번째 방법 - 기존의 방법인 전체 보행 구간중 한 결음새만을 가지고 궤적계획을 수행하는 방법이다. 이 방법은 한 결음새의 시작과 끝에서 뿐만이 아니라 각 경유점에서의 속도와 가속도는 성분이 영이 된다. 따라서 경유점이나 시작과 끝위치 등 모든 곳에서 경유점 사이의 거리가 짧기 때문에 급가속 및 급감속이 일어나며, 균형점의 실제 궤적이 원하는 궤적에 매끄럽게 추종을 하지 못하며 또한 경유점을 지나가는 궤적이 사다리꼴 형태로의 부드럽지 못한 궤적을 가지고 있음을 실험을 통해 알 수 있다. 이와 같은 균형점의 궤적을 가지고 보행의 속도를 높이려고 할 때 불안정 요소로서 최적화의 문제를 가지게 되는 것이다. 그림 5는 6개의 기본 결음새에 대해 각각 궤적계획한 것 중에서 결음새 4를 나타낸 그림이다. 그림에서 점선은 보간법을 이용해서 얻어진 우리가 목표 균형점의 궤적이며 실선으로 나타난 것은 균형점의 실제 궤적이고, 점선으로 나타난 궤적은 IWR-III의 질량체계에 대해 D'Alembert 원리를 적용해서 유도된 균형점 검증 방정식을 이용하여 얻어진 균형점의 실제 궤적이다.

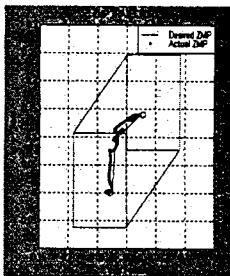


그림 5 첫 번째 방법에
의한 결음새 4의 궤적

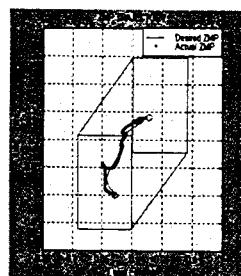


그림 6 두 번째 방법에
의한 결음새 4의 궤적

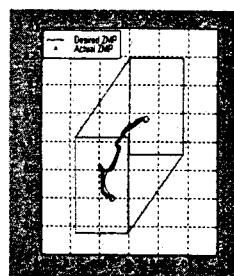


그림 7 세 번째 방법에
의한 결음새 4의 궤적

(2) 두 번째 방법 - 각 경유점에서의 속도와 가속도를 놓고 전체구간에 대한 균형점의 궤적을 생성하는 방법이다. 이것은 전체구간을 이루고 있는 각 결음새의 경유점들을 한번에 보간법을 이용하여 궤적을 생성하였다. 결과는 그림 6에서와 같이 나타났다. 그림 6을 살펴보면 원하는 균형점의 궤적은 부드러운 볼록한 곡선 형태로

나타났고, 실제 균형점 궤적은 부드럽게 나아가다가 경유점에서 궤적이 흐트러짐을 보여주고 있다. 이것은 경유점에서의 속도가 영으로 되기 위한 궤적 이므로 이 경우 또한 급가속 및 급감속에 의한 큰 스픬 모멘트발생의 원인이 된다.

(3) 세 번째 방법 - 전체구간에서의 균형점 궤적계획은 같지만 경유점에서의 속도를 보간법을 이용해 일어진 속도를 넣어 균형점이 등속운동에 가깝게 운동을 하도록 하였다. 실험결과 경유점에서 실제 균형점의 궤적이 흐트러짐을 보이지 않게 되었고 원하는 균형점궤적에 잘 추종하고 있음을 볼 수 있었다. 그럼 7는 세 번째 실험의 결과이다. 균형점이 보행 구간동안 거의 등속 운동을 보임에 따라 원하는 균형점의 궤적을 따라서 실제 균형점의 궤적이 잘 추종함을 보여주고 있다. 그럼 8은 세 번째 방법에 의해서 생성된 전체구간에서의 균형점 궤적이다.

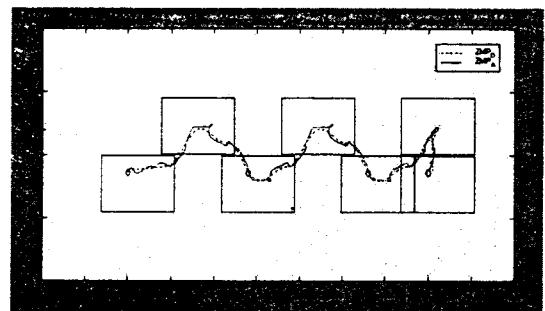


그림 8 세 번째 방법에 의한 균형점의 전구간 궤적

결과적으로 전체 구간에 대한 궤적계획을 수행하고 경유점에서의 최적의 속도와 가속도를 적용하는 것이 균형점의 궤적을 생성하는데 보다 더 효율적임을 알 수 있었고 불필요한 균형 추의 움직임을 줄여 스픬 모멘트의 양을 줄일 수 있었을 뿐만 아니라 보다 더 자연스러운 보행의 효과를 줄 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 기존의 균형점 궤적 생성 과정을 탈피하여 전체 보행구간에 대한 궤적 생성이 가능한 방법을 제시하였다. 고정된 균형 점에 대한 움직임이 아닌, 다음 보행을 위한 최적의 위치로 균형 점을 이동시키는 균형점 궤적 생성인 것이다. 이는 균형점이 단순히 이족보행로봇의 안정도 판별 및 검증에만 쓰이는 것이 아니라 로봇보행에 있어서 하나의 파라미터로 이용되어질 수 있음을 의미한다. 앞으로의 과제는 여러 가지의 제어 이론을 접목시켜 최적의 경유점 위치를 찾아내어 경유점에서의 최적의 속도 가속도 값을 찾아내어 균형점을 제어하는 것이 필요하며 또한, 한 주기 보행이 아닌 인공지능과 센서의 활용으로 순항(Navigation)체계의 도입으로 이족보행로봇이 주어진 목표점까지 경유점을 스스로 찾아내어 궤적 생성을 할 수 있도록 하는 것이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 최상호, "이족보행로봇 IWR의 동적 안정도를 위한 균형점 해석에 관한 연구.", 석사학위 논문, 인하대학교, 1998.
- [2] 이보희, "이족보행로봇 IWR의 결음새 구현.", 박사학위 논문, 인하대학교, 1996.
- [3] 임선호, "이족보행로보트 IWR을 위한 적용결음새 알고리즘 개발.", 석사학위 논문, 인하대학교, 1994.
- [4] 최영하, 최상호, 김진걸, "이족보행로봇 IWR의 궤적 생성에 관한 연구.", KIEE, p2345-2347, 1998.