

사각 보행 로봇의 동적 걸음새에 관한 연구 A Study on Dynamic Gait of a Quadruped Walking Robot

김진섭(삼성중공업), 오준호(한국과학기술원), 조진철(한국과학기술원)
Jin-Sup Kim(Samsung Heavy Industries), Jun-Ho Oh(KAIST), Jin-Cheol Cho(KAIST)

ABSTRACT

In this study, we propose the dynamic gait in consideration of energy efficiency. The proposed dynamic gait is applied to the quadruped walking robot and experiments are performed for real robot. We propose the dynamic gait is diagonal gait which is modified the trot gait in consideration of energy efficiency. The proposed gait is composed of two steps. In one step, the robot walks in the trot gait. In the other step, the robot walks with making the center of gravity lie on the two legs supporting line. Realization of the diagonal intermittent trot gait is performed by open loop control and motion planning of the proposed gait. The validity of the proposed gait is confirmed by our experiment.

Key Words : walking robot(보행 로봇), dynamic gait(동적 걸음새), energy efficiency(에너지 효율), diagonal gait(대각선 보행)

1. 서론

일반적으로 사각 보행 로봇의 걸음새는 보행 로봇의 안정성을 유지하는 방법에 따라 정적 걸음새와 동적 걸음새로 나눌 수 있다. 정적 걸음새는 보행 로봇의 정적 평형을 유지시켜 줌으로써 보행 로봇이 넘어지는 것을 방지하는 걸음새를 말한다. 정적 걸음새는 안정성이 보장되는 반면 동적 걸음새에 비해 속도는 느리다. 그러므로 고속 보행 로봇의 현실화를 이루기 위해서는 동적 걸음새에 대한 연구가 필수적이다.

동적 걸음새는 고속의 보행이 가능하지만, 안정성이 보장되지 않아 몸체의 불균형을 능동적으로 대처하여 균형을 유지하는 과정이 요구된다. [2] 대표적인 동적 걸음새의 연구 결과들은 2개의 다리간 한 쌍을 이루어 움직이는 트랏 걸음새(trot gait)와 페이스 걸음새(pace gait)등이 있다.[3]

본 연구에서는 기존에 연구된 동적 걸음새보다 에너지 소모가 적은 동적 걸음새를 제안하고, 실제 구현하였다.

2. 사각 보행 로봇의 전체 구조

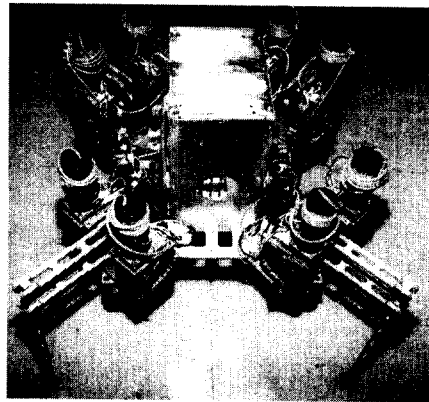


Fig. 1 Photograph of the robot

이 연구에 사용된 로봇의 실물 사진은 Fig. 1 과 같다. 로봇의 다리 구조는 3 자유도를 갖는 평행 링크

구조이다.[1] 또, 로봇에는 1개의 상위 레벨 제어 보드(high level controller board)와 각 다리의 3개의 모터를 제어하는 4개의 하위 레벨 제어 보드(low level controller board)가 있어 Fig. 2와 같은 분산 제어 구조를 갖는다.[5]

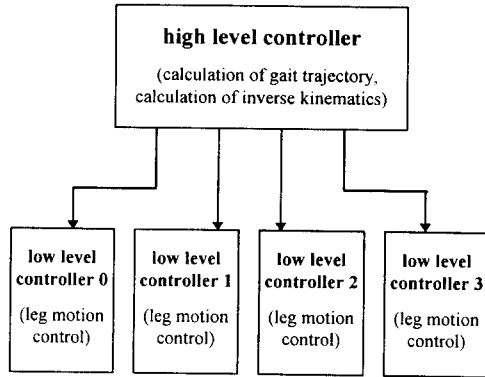


Fig. 2 The configuration of control system

3. 대각선 보행 동적 걸음새

이번 절에서는 본 연구에서 제안한 대각선 보행 걸음새를 설명하고 이 걸음새의 몸체 경로를 계획한다.

주기적 걸음새에서는 한 주기당 다리가 착지한 시간의 비율을 디딤율(β)로 정의한다.[4] Fig. 3에는 디딤율이 0.625일 때 제안한 동적 걸음새의 걸음새 선도가 나타났고, Fig. 4에는 로봇의 보행 모습이 나타나 있다.

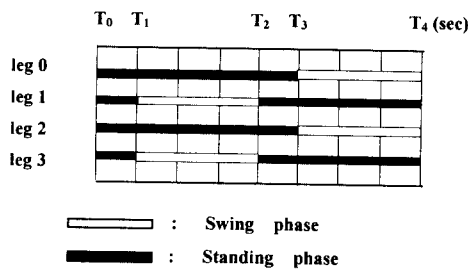


Fig. 3 Gait diagram of diagonal gait($\beta=0.625$)

초기에는 일반적인 트랏 걸음새와 동일하게 다리 1과 다리 3을 잇는 선상에 ZMP(Zero Moment Point)가 오도록 하여 다리 1과 다리 3으로 몸체를 밀어서 앞으로 움직이게 한다. 여기서 ZMP란 로봇이 동적 안정성을 유지하기 위하여 몸체의 중력과 가감속으로 인한 관성력의 합에 의한 모멘트가 0이 되는 점

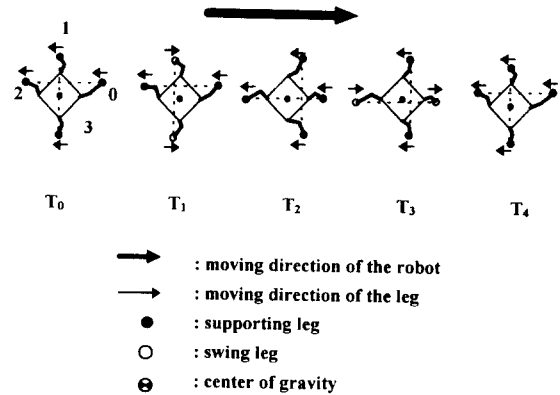


Fig.4 Stick diagram of diagonal gait($\beta=0.625$)

이며 대각 지지선(diagonal support line) 위에 오게 한다. [6] 이때 다리 0과 다리 2는 다음 단계에서의 몸체의 지지를 위해 앞으로 이동한다. 두 번째 움직임에서는 무게 중심이 다리 0과 다리 2의 지지 선상에 있기 때문에 다리 0과 다리 2는 무게 중심이 지지선 상에 있도록 자세 제어를 하면서 몸체를 앞으로 이동시킨다. 이때 다리 1과 다리 3은 다음 단계에서의 몸체 지지를 위해 앞으로 이동한다. 전체의 걸음새 계획은 이각 지지 구간과 사각 지지 구간으로 나누어 하였다.

3.1 사각 지지 구간의 몸체 경로 계획

몸체의 경로 계획을 쉽게 하기 위하여 몸체 진행 방향과 수직인 방향을 독립적으로 계획하였다. 기준 좌표계로 \bar{X} 와 \bar{Y} 를 사용하였다. \bar{X} 는 로봇의 진행 방향과 일치하며 \bar{Y} 는 진행 방향과 수직인 방향이다.

다리 0과 다리 2가 T_1 에서 T_2 사이에서 이각 지지를 하므로 진행 방향으로는 모멘트를 고려하지 않아도 되기에 등속 운동을 하도록 계획하였다.

진행 방향과 수직인 방향은 이각 지지 운동 시 로봇이 넘어지지 않고 운동하기 위해서는 일정한 값 이상의 초기 속도(V_{i1})를 가져야 한다. 이각 지지 운동 시 필요한 초기 속도는 운동에너지와 위치 에너지의 함수인 orbital energy[7]로 구할 수 있다.

이를 이용하면 시간 T_1 에서 운동에너지가 위치에너지보다 클 때 무게 중심은 반대편으로 움직일 수 있음을 알 수 있다. 사각 지지 구간에서 생성된 경로는 로봇의 진행 방향으로는 가속도 없이 등속으로 움직이고, 진행 방향과 수직인 방향으로의 운동은 이각 지지에 필요한 초기 속도가 주어지면 서서

히 가속하여 필요한 속도를 생성한다.

3.2 이각 지지 구간에서의 몸체 경로 계획

이각 지지가 시작할 때 즉 시간 T_1 에는 무게 중심이 사각 지지 구간에서 운동을 하여 다리 0 과 다리 2 를 잇는 선상으로 이동한다. 이 구간에서 다리 0 과 다리 2 는 계속 몸체를 지지하는 상태이고 다리 1 과 다리 3 은 들어서 다음 위치로 이동한다. \bar{Y} 축 방향으로의 동적 안정성을 유지하기 위해서 ZMP 가 지지하는 두 다리를 잇는 선상에 존재하도록 몸체 경로를 계획하여야 한다. 여기서 다리의 무게는 몸체의 무게에 비하여 매우 가볍기 때문에 고려하지 않았다. 무게 중심의 높이가 변하지 않고 ZMP 가 지지하는 두 다리 선상에 있을 때 몸체의 운동 방정식을 세워 초기 위치와 초기 속도를 이용하여 구하면 sinh 함수와 cosh 함수의 합으로 나타낼 수 있다. [1]

이상과 같이 계획한 전체의 무게 중심 이동 모습은 Fig. 5 와 같이 중심은 대각 지지 선상으로 수렴하는 모습의 비대칭성을 갖는다.

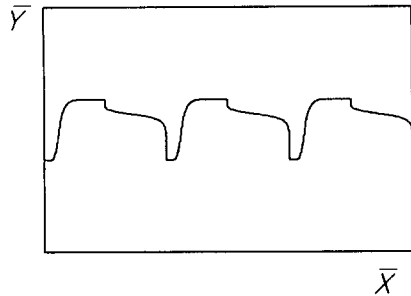


Fig. 5 Body trajectory to produce dynamic stability

3.3 대각선 보행 동적 걸음새의 에너지 효율

이번 절에서는 제안한 대각선 보행 동적 걸음새가 트랏 걸음새에 비해 에너지 효율이 우수함을 모의 실험을 통해 입증한다.

로봇의 보행 시에 소모되는 에너지는 다음과 같다.

$$E_c = \sum_i T_i \Delta \theta_i$$

여기서 E_c : 소모 에너지

T_i : 각 모터에 가해지는 토크(torque)

$\Delta \theta_i$: 각 모터의 회전 각도

실험에 사용된 로봇이 대각선 보행 동적 걸음새, 트랏 걸음새 그리고 트랏 걸음새로 보행 중에 사각 지지 구간이 있는 간헐적 트랏 걸음새(intermittent

trot gait)[8]로 보행할 때 에너지를 계산하면 Fig. 6 과 같다.

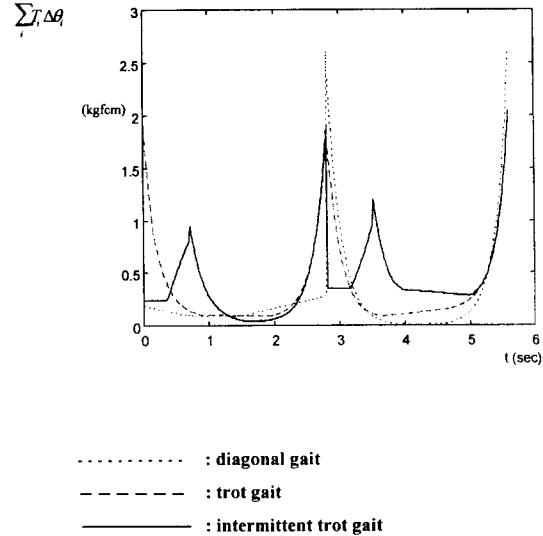


Fig. 6 Comparison of energy consumption during 1 period

대각선 보행 동적 걸음새에 소모된 에너지를 100 으로 보면 트랏 걸음새는 135, 간헐적 트랏 걸음새는 159 이다. 그러므로, 대각선 보행 동적 걸음새의 에너지 효율은 다른 걸음새에 비하여 우수함을 알 수 있다.

4. 대각선 보행 동적 걸음새의 구현 실험 및 결과

실험한 대각선 보행 동적 걸음새는 보폭과 주기는 모터의 구동 능력과 로봇이 기구학적 구속 없이 구동하는 범위에서 최대의 값으로 선정하였다. 즉, 디딤을 0.625, 주기 5.6 초 그리고 보폭을 20cm 로 하였다. 걸음새 선도와 이동 모습은 Fig. 3 과 Fig.4 와 같다.

실험 결과는 로봇의 위치를 파악하기 위해 발광 다이오드(LED)를 로봇의 위에 부착하여 무게 중심의 궤적과 무게 중심의 높이의 변화를 사진 촬영하고 전체적인 보행 모습은 비디오로 촬영하였다. (Fig. 7, Fig. 8)

제안한 동적 걸음새의 실험에서 관찰한 경로는 계획 경로와 전반적인 형태가 비슷함을 보여준다. 그러나, 몸체의 위치 피드백이 없이 개루프(open loop) 제어에 의한 몸체의 흔들림 그리고 역진자 모델(inverted pendulum model)과 실제 모델의 차이 등으로 인해 완벽한 동적 걸음새를 보이지 않고 무게

중심 궤적이 오버슛(overshoot)을 가지며 다리가 지면에 끌리는 현상을 보여주었다.

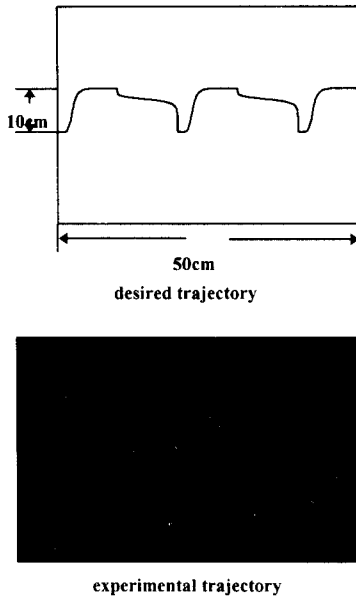


Fig. 7 The result of experiment (horizontal motion)

5. 결론

본 연구에서는 에너지 효율이 좋은 동적 걸음새를 제안하였다. 또한 본 논문에서 제안한 동적 걸음새를 실제 로봇에 적용하여 구현하였다. 그 실험 결과를 보면 전반적인 경로 계획과 일치하였다. 또, 다른 동적 걸음새에 비해 에너지 효율이 우수함을 입증하였다.

동적 걸음새 실험에서 나타난 오버슛과 다리가 바닥에 끌리는 현상은 로봇의 강인한 설계와 몸체의 위치 피드백 제어를 통해 제거할 수 있으며 정밀한 자세 제어에 대한 연구가 추후 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 김진섭, “사각 보행 로봇의 동적 걸음새에 관한 연구”, 석사학위논문, 한국과학기술원, 1997.
- [2] 서영진, “보행 로봇의 강인한 동적 걸음새에 관한 연구”, 박사학위논문, 한국과학기술원, 1995
- [3] Raibert, Marc, H., “Trotting, Pacing and Bouncing by a Quadruped Robot”, J. Biomechanics, Vol.23, pp.79~98, 1990

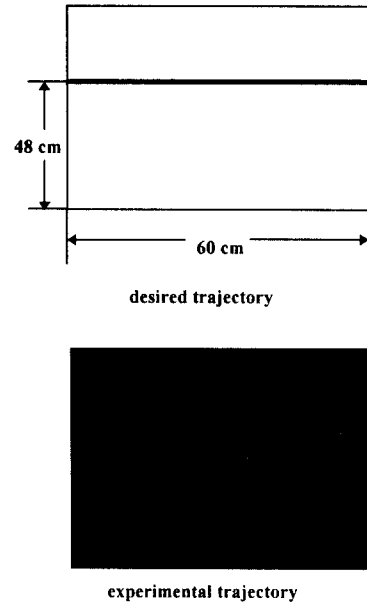


Fig. 8 The result of experiment (vertical motion)

- [4] Hirose, S., “A Study of Design and Control of Quadruped Walking Vehicle”, International Journal of Robotics Research, Summer, Vol. 3, No. 2, pp.113~132, 1984
- [5] Klein, Olson and Pugh, “Use of Force and Attitude Sensors for Locomotion of a Legged Vehicle over Irregular Terrain”, International Journal of Robotics Research, Summer, Vol. 2, No. 2, pp.3~17, 1983
- [6] Inagaki, K. and Kobayashi, H., “Dynamical Motion Control for Quadruped Walking with Autonomous Distributed System”, IEEE/RSJ Int. Conf. On Intelligent Robotics and Systems, pp. 1004~1010, 1994
- [7] Kajita, S., Tani, K. and Kobayashi, A., “Dynamic Walk Control of a Biped Robot along the Potential Energy Conserving Orbit”, IEEE/RSJ Int. Conf. On Intelligent Robotics and Systems, pp.199~204, 1990
- [8] Yoneda, K., Iiyama, H. and Hirose, S., “Intermittent Trot Gait of a Quadruped Walking Machine Dynamic Stability Control of an Omnidirectional Walk”, IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, pp. 3002~3006, 1996