

생체 모방형 4족 보행로봇의 센서기반 보행 실험

Experimental Study of Sensor Based Locomotion of Biomimicking Quadruped Robot

*고광진¹, 유승남², #한창수³

*K. J. Ko¹, #S. N. Yu², C. S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)³

¹한양대학교 일반 대학원 메카트로닉스공학과, ²한양대학교 일반 대학원 기계공학과, ³한양대학교 기계정보공학부

Key words : Biomimicking design, 4-leg locomotion, Quadruped Robot, Sensor Fusion

1. 서론

일반적으로 보행로봇은 차륜형 로봇에 비해 야지에서 이동능력이 뛰어나다고 알려져 있다.[1] 이는 비단 시스템의 이동 속도만의 문제가 아닌, 장애물의 극복 능력과 노면이 불규칙한 지형에서도 몸체의 안정성을 최대한 보장 받을 수 있다는 것을 의미한다. 이와 같이 관절형 로봇은 차륜형 로봇과 비교하였을 때 다리관절을 이용한 착지점의 임의설정과, 몸체와 착지점 사이의 위치를 자유롭게 제어 가능하다는 측면에서 필드로봇의 플랫폼으로서 각광받고 있다. 최근 이와 관련하여 군사적 목적의 야지 보행 매커니즘, 시설 감시로봇 및 홈엔터테인먼트 로봇 등의 형태로 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 미방위고등연구계획국(DARPA)의 지원 하에 개발된 Big Dog™(Boston Dynamics, USA, 2005) 시리즈가 개발되어 중량물의 적재능력 및 험지 이동 능력을 공개한 바 있다. 또한 홈엔터테인먼트 로봇으로서는 AIBO™(SONY Corp. Japan, 1999~2005)가 대표적인 사례이다. 이러한 애견용 로봇은 초기에는 단순히 강아지의 모습이나 행동을 모방하여 기동하는 심미적 기능의 완구적인 성격이 강했으나, 최근에는 다양한 멀티미디어 기능이 탑재되고, 메커니즘도 한층 정교해지고 있다. 본 연구는 이러한 4족 보행 로봇을 설계함에 있어서 생체역학적 요소들을 반영한 효율적 다리구조를 제안하고, 아울러 보행을 위한 기본 파라미터들을 산출하여 로봇의 거동을 시뮬레이션 및 분석하였다. 최종적으로는, 실제로 구현된 매커니즘에 위의 파라미터를 적용하여 보행 실험을 실시함으로써 시스템을 최종 검증하였다.

2. 생체 모방형 다리 설계

충격을 고려한 로봇의 다리 및 보행 설계는, 지면과의 접촉 시 일어날 수 있는 충격이 직접적으로 시스템에 가해진다는 측면에서 중요한 요소로 고려되어야 한다. 육상 동물은 일반적으로 보행 또는 주행에 의하여 자신에게 가해지는 충격을 흡수하기 위하여 발끝(Toe) 및 발목 관절에서 대부분의 충격을 흡수(Compliance)하고, 나머지는 관절의 접힘(Flexing)에 의해서 흡수 한다. 본 연구에서는 이러한 육상 동물의 특성을 모방한 다리 관절 구조를 제안하였다. 즉, 하박(Lower Extremity)을 4 절링크 구조로 설계하고, 링크의 조인트에 탄성력을 부여하여 다리가 지면에서 떨어져 움직이는 구간에서는 탄성력에 의하여 자동으로 다리의 하박 및 발의 자세를 변형시켜 다리가 다시 지면과 접촉할 때 적절한 각도를 이루도록 설계하였다. 이러한 탄성 구조는 추가적인 발목 액츄에이터나 제어 알고리즘을 사용하지 않고도 각 다리가 적절한 보행 자세를 이룰 수 있도록 할 수 있는 장점이 있다. 여기서 중요한 것이 지면 접촉각(Touch Down Angle)인데 속도와 걸음새, 지면 상태에 따라 달라지며 충격 흡수에 중요한 요소가 된다. 본 연구에서 제안된 시스템의 경우 다리의 2 관절(Shoulder and Knee)로 구성되는데, 이러한 Kneelbow(knee+elbow) 구조는 실제 동물과 달리 로봇이 가지는 장점으로서, 동물보다 더 많은 각과 구부림을 통한 충격의 흡수를 유도할 수 있다. 본 시스템에서는 지면 접촉각을 지면의 수직으로부터 약 45도로 조절하였다. 참고로, 실제 동물의 스윙 형태(Swing Phase)는 말의 경우는 ±30도 이고, 개의 경우는 ±45도이다.

템에서는 지면 접촉각을 지면의 수직으로부터 약 45도로 조절하였다. 참고로, 실제 동물의 스윙 형태(Swing Phase)는 말의 경우는 ±30도 이고, 개의 경우는 ±45도이다.

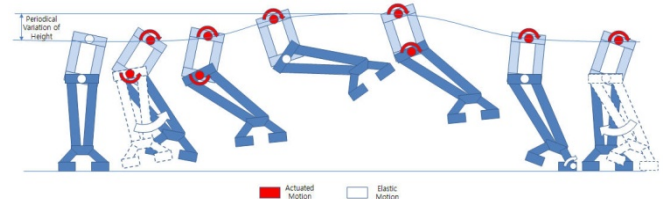


Fig. 1 Design of posture of front leg during 1 cycle

3. 하드웨어 구성 및 기본 보행 알고리즘 생성

4족 보행로봇의 걸음새란 동물이나 보행 로봇이 몸체를 이동시키면서 각각의 다리를 올리고 내리는 반복적인 패턴을 의미하며, 다음과 같이 나타낸다.[2]

$$T = \tau_s + \tau_t \tag{1}$$

여기서 T는 단위 보행 주기, τ_t 는 지면에 발이 닿아 있는 지지구간, τ_s 는 지면에서 발이 떨어져 스윙하는 이동구간을 나타낸다. 또한 보행주기를 산출하기 위한 중요 인자로서 디듀티가 있다. 디듀티(Duty Factor, β_i)은 i 번째 다리가 한 주기 동안 지지하는 시간을 계산한 무차원 수로서 아래와 같이 표현된다.[3]

$$\beta_i = \frac{\tau_s}{T} \tag{2}$$

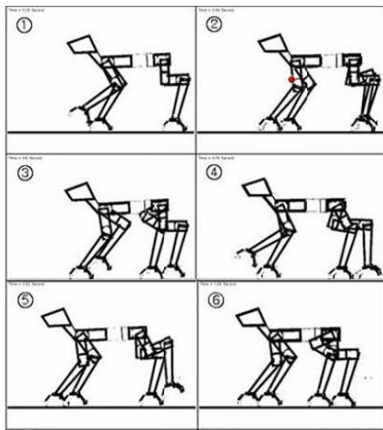
$$\lambda_i = \frac{R}{\beta_i} \tag{3}$$

여기서 λ_i 는 한 주기 동안 몸체가 움직이는 거리이며, R은 한발이 움직이는 거리이다. 여러 가지 4족 보행 패턴 중에서 본 연구에서는 정적 보행안정성을 고려하여 Equal-phase 보행 패턴을 선정하였으며[1], 표 1은 본 시스템의 각 보행 주기별 COG의 변위량을 산출한 결과를 나타내고 있다. 그림 2는 위에서 산출한 COG를 바탕으로 시뮬레이션한 결과를 나타내고 있다. 그래프에서 확인할 수 있듯이,

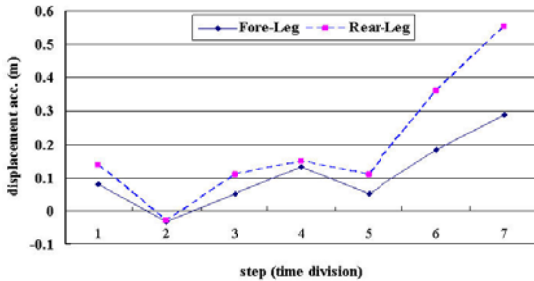
Table 1 Position of COG for gaits (Front Legs/Rear Legs)

stage	Gait algorithm	Position of variation of COG	Result	Acc.
t1		$\frac{\lambda_x}{T_x}(1-\beta_x) = \frac{0.288}{1.08}(1-0.694) = 0.0816$	0.0816	0.0816
t2		$\frac{\lambda_x}{T_x}(\phi_x - 1 + \beta_x) = \frac{0.288}{1.08}(0.194 - 1 + 0.694) = -0.0299$	-0.0299	0.0517
t3		$\frac{\lambda_y}{T_y}(\phi_y) = \frac{0.288}{1.08}(0.194) = 0.052$	0.052	0.1037
t4		$\frac{\lambda_y}{T_y}(\phi_y) = \frac{0.288}{1.08}(0.5) = 0.133$	0.133	0.2367
t5		$\frac{\lambda_x}{T_x}(\phi_x - 1 + \beta_x) = \frac{0.288}{1.08}(0.5 - 1 + 0.694) = 0.052$	0.052	0.2887
t6		$\frac{\lambda_y}{T_y}(\phi_y) = \frac{0.288}{1.08}(0.694) = 0.185$	0.185	0.4737
t7		$\frac{\lambda_x}{T_x}(T_x) = \frac{0.288}{1.08}(1.08) = 0.288$	0.288	0.7617

stage	Gait algorithm	Position of variation of COG	Result	Acc.
t1		$\frac{\lambda_z}{T_z}(1-\beta) = \frac{0.266}{1.13}(1-0.752) = 0.058$	0.058	0.058
t2		$\frac{\lambda_z}{T_z}(\beta, -1+\beta) = \frac{0.266}{1.13}(0.252-1+0.752) = 0.00094$	0.00094	0.0589
t3		$\frac{\lambda_z}{T_z}(\beta_{1z}) = \frac{0.266}{1.13}(0.252) = 0.0593$	0.0593	0.118
t4		$\frac{\lambda_z}{T_z}(\beta_{2z}) = \frac{0.266}{1.13}(0.5) = 0.118$	0.0118	0.13
t5		$\frac{\lambda_z}{T_z}(\beta, -1+\beta) = \frac{0.266}{1.13}(0.5-1+0.752) = 0.059$	0.059	0.189
t6		$\frac{\lambda_z}{T_z}(\beta_{2z}) = \frac{0.266}{1.13}(0.752) = 0.177$	0.177	0.366
t7		$\frac{\lambda_z}{T_z}(T_z) = \frac{0.266}{1.13}(1.13) = 0.266$	0.266	0.632



(a) Gait Simulation



(b) Simulation result

Fig. 2 Walking Simulation

여자유도를 가지는 뒷다리의 단위 스텝 당 이동거리가 앞다리에 비해 우수한 것을 확인할 수 있었다.

4. 센서 기반 보행 실험

4족 로봇의 효율적인 보행을 위해서는 보행중에 발생하는 모든 상황들을 실시간으로 판단 할 수 있어야 한다. 장애물, 비 평탄 지형, 경사면 등에 대한 정보들을 획득하여야 지능적인 보행을 이룰 수가 있다. 이를 위해서는 센서들의 융합을 통하여 보다 효과적으로 보행을 할 수가 있다. 이러한 여러 가지 지형에서 안정적인 구동을 하기 위해서는 해당 지형에 대한 정보를 획득 할 수 있어야 한다. 로봇은 일정한 패턴을 가지고 보행을 하던 중 획득한 지형 정보를 이용하여 다음 단계의 행동지령을 결정한다. 초음파 센서를 이용하여 지속적인 장애물을 감지할 수 있으며, 적외선 센서로는 절벽이나 가까운 장애물을 감지 할 수 있다. 또한 틸트, 자이로, 압력 센서를 이용하여 지형에 대한 정보를 실시간으로 알 수 있으며, 이를 블루투스(RS-232) 통신을 이용하여 사용자에게 알릴 수도 있다. 이는 경사면이나 비 평탄 지형을 인식하여 다양한 지형에서의 구동을 가능하게 할 수 있다. 이를 통하여 로봇의 불필요한 동작을 최소화할 수 있으며, 독립 보행을 가능하게 한다.

Fig.4 는 보행 중 장애물을 발견 시 회피 하는 동작으로서 각 상황 별 거리값을 알 수 있으며, 거리에 따른 관절 각도값을 결정해 준다.

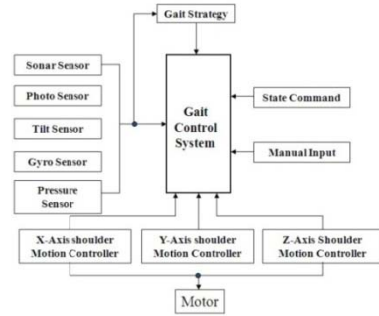


Fig. 3 Block diagram

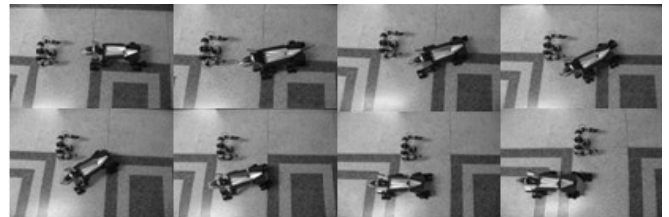


Fig. 4 Avoidance of obstacle

본 시스템은 Master/Slave 방식으로 이루어져 있으며 Master 는 전체적인 명령 및 상황 판단, 모드 및 각 관절의 각도값을 결정하며, Slave 에서는 센서 데이터를 수집하여 Master 에 SPI 통신으로 전송해준다.

5. 결론

본 논문에서는 4족 로봇의 센서 융합으로 인하여 효율적인 보행 및 회피에 대해서 ALEAX(Artificial Locomotive Robot using Adaptive Extremities) 에 직접 실험을 통하여 증명하였다. 다양한 상황 별 동작이 가능하며 자율적인 보행 및 PC 에서 사용자가 명령을 내릴 수 있도록 되어 있다. 각 지형 및 장애물에 대한 정보를 획득할 수 있으며, 이를 사용자에게 알려줄 수 있다. 또한 절벽 및 외력에 대응하여 동작할 수 있다. 보완이 필요한 부분으로는 사용자와의 상호교감에 관한 부분이 이루어져야 할 것이다.

후기

본 과제는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- C.O. Bae, B.W. Ahn and H.S. Kim, 2004, "A Study on Trot Walking for Quadruped Walking Robot", KIMICS, pp. 1418~1423
- Y.M. Ahn, G.H. Choi, T.H. Kim and Y.T. Kim, 2001, "Development of quadruped walking robot with insectile leg", KSME 2001, pp. 301~306
- Robot B. McGhee, Geoffrey I. Iswandhi, 1979, "Adaptive locomotion of a Multilegged Robot over Rough Terrain", IEEE Transactions on Systems, man, and cybernetics, Vol. SMC-9, No. 4, April, p176-182
- J.N. Kim, H.J. Hong and Y.S. Yoon, 1990, "Feasibility Test for Dynamic Gait of Quadruped Walking Robot, KSME 1990, pp.1455~1463
- Gi-Hun Choi and Young-Tark Kim, 2002, "Development of a quadruped robot with weight balancing oscillator", KSME 2002, pp. 894~899
- Yasuhiro Fukuoka, Hiroyuki Nakamura and Hiroshi Kimura, 1999, "Biologically-Inspired Adaptive Dynamic Walking of the Quadruped on Irregular Terrain", Proc. of IEEE Int. Conf. on Control Application, Hawaii, pp.490~495