

유연 다리 구조를 가진 로봇의 주행 제어 연구 A Study for Locomotion Control of Compliant Legged Robot

*#권오석¹, 김영식¹, 안진웅¹

*#O. S. Kwon(mesign@dgist.ac.kr)¹, Y. Kim¹, J. An¹

¹대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터

Key words : compliant leg, walking/running control, self-stability

1. 서론

본 논문에서는 유연 다리 구조를 가진 로봇의 주행-걸기/달리기, 걸기에서 달리기로의 전이, 가감속, 등속-제어에 대해서 다룬다. 유연 다리 구조를 가진 로봇은 spring-mass system[1]으로 단순화하여 모델링 한다. 기존의 연구[1]에서는 spring-mass system에 대한 걸기/달리기에서 self-stable 영역에 대하여 연구하였고, 기존의 연구[2]에서는 spring-mass system에 대한 달리기에서 self-stable 영역에 대하여 연구하였다. Self-stable 영역에서 주행을 하게 되면 이상적으로는 소요되는 에너지가 0 이 된다. 즉, 실제 주행에서는 에너지 손실분만을 보충하여 주면 되는 것이다.

본 논문에서는 주행제어에 위와 같은 self-stability 개념을 적용하여 제어 입력값을 최소화하고자 한다. 즉, 에너지 효율적 제어를 목적으로 한다.

2. 제어 알고리즘

본 논문에서 다루는 걸기/달리기 spring-mass 모델은 Fig. 1 과 같다. Fig.1(a)의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= F_1 \sin \theta_1 + F_2 \sin \theta_2 + \tau_1 \frac{\cos \theta_1}{l_1} + \tau_2 \frac{\cos \theta_2}{l_2} \\ m\ddot{y} &= F_1 \cos \theta_1 + F_2 \cos \theta_2 - mg + \tau_1 \frac{-\sin \theta_1}{l_1} + \tau_2 \frac{-\sin \theta_2}{l_2} \end{aligned} \quad (1)$$

그리고 Fig. 1(b)의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= F \sin \theta + \tau \frac{\cos \theta}{l} \\ m\ddot{y} &= F \cos \theta - mg + \tau \frac{-\sin \theta}{l} \end{aligned} \quad (2)$$

식 1 은 Fig. 1(c)의 walking-double 일때의 운

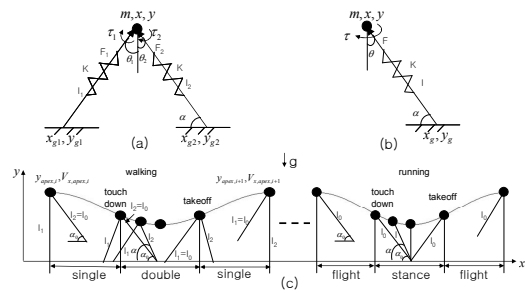


Fig. 1 (a) walking-double leg support spring-mass model, (b) running-single leg support spring-mass model, (c) walking/running model

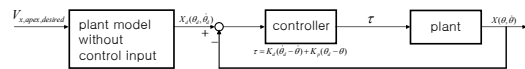


Fig. 2 control algorithm

동방정식이고, walking-single 일때는 각각 F_2, τ_2 그리고 F_1, τ_1 이 0 이다. 그리고 식 2 는 running-stance 일때의 운동방정식이고, running-flight 일 때는 F, τ 가 0 이다.

본 논문에서 제안하는 제어 알고리즘은 Fig. 2 와 같다. Fig. 2 의 plant 는 Fig. 1(c)의 각 상태에서의 운동방정식으로 나타낸다. Controller 는 Fig. 1(a,b)의 $\theta, \dot{\theta}(\theta_1, \dot{\theta}_1, \theta_2, \dot{\theta}_2)$ 포함)에 대한 PD 제어를 수행한다. 여기서, $\theta_d, \dot{\theta}_d(\theta_{1d}, \dot{\theta}_{1d}, \theta_{2d}, \dot{\theta}_{2d})$ 은 Fig. 2 의 plant model without control input 블록에서 생성한다. plant model without control input 블록은 plant 를 나타내는 각 운동방정식에서 제어입력 τ, τ_1, τ_2 가 0 인 plant model 이다. plant model without control input 블록은 입력으로 $V_{x,apex,desired}$ (원하는 정점(apex)에서의 x 방향 속도)를 받아 $V_{x,apex,desired}$ 에서 self-stable 한 touch down angle α_0 를 생성한다. 즉, swing leg의 원하는 각도 $\theta_d = -(90 - \alpha_0)$ 를 생성한다. 그리고, 지면과 닿아 있는 다리의 원하는 각도 θ_d , 각

속도 $\dot{\theta}_d$ 는 제어입력이 0 인 plant model 을 이용하여 생성한다. 이와 같이 생성된 $\theta_d, \dot{\theta}_d$ 을 controller 에 인가하여 제어함으로써 안정성을 유지하면서 제어입력값을 최소화할 수 있다.

3. 모의실험

2 장의 제어 알고리즘에 따라 모의실험 한 결과는 Fig. 3 과 같다. 모의실험에서 사용한 Fig. 1 의 파라미터는 $m=80\text{kg}$, $g=9.81\text{m/s}^2$, $K=31392\text{N/m}$, $l_0=1\text{m}$ 이고, 초기조건은 $x_0=0\text{m}$, $\dot{x}_0=0\text{m/s}$, $y_0=l_0-mg/K=0.975\text{m}$, $\dot{y}_0=0\text{m/s}$ 이다. $V_{x,apex,desired}$ 는 Fig. 3(C)와 같이 주었다. 기존의 연구[1][2]과 같이 안정성 해석을 하여 구한 walking self-stable 영역은 Fig. 3(a)와 같고, running self-stable 영역은 Fig. 3(b)와 같다. 여기서, *는 안정한 최소 touch down angle α_0 를 나타내고, x 는 최대 α_0 , 그리고 +는 중간 α_0 값을 나타낸다. 이 해석 결과는 $y_{apex,0}=l_0$ 인 경우이다. Fig. 3(a)의 점선은 중간값을 선형 fitting 한 것이고, 실선은 점선을 -3deg 이동한 것이다. 그리고 Fig. 3(b)의 실선은 중간값을 선형 fitting 한 것이다. 본 모의실험에서는 $V_{x,apex,desired}$ 에 대한 self-stable touch down angle α_0 로 Fig. 3(a,b)의 실선에 있는 각도값을 사용하였다. 걷기영역에서 -3deg 이동한 값을 사용한 이유는 본 모의실험에서는 $y_{apex,0}=0.975\text{m}$ 로 하였기 때문이다. Fig. 3(c)의 결과로부터 걷기, 달리기, 걷기에서 달리기로의 전이(전이속도는 2m/s 으로 설정), 가속속, 등속구간에서 V_x 가 $V_{x,desired}$ 를 비교적 잘 추종함을 볼 수 있다. 그리고 이때의 제어입력값은 Fig. 3(d)와 같다. 가속구간에서는 제어입력값이 +이고, 감속구간에서는 -이다. 그리고 등속구간에서는 제어입력값이 거의 0 이다. 등속구간에서 제어입력값이 거의 0 인 이유는 self-stable 영역에서 거동을 하였을 때 요구되는 외부에너지가 0 이기 때문이다. 그리고 가속속에서도 $V_{x,apex,desired}$ 에 대한 self-stable 영역에서 touch down angle 을 생성하고 제어입력이 0 인 plant model 로부터 원하는 경로를 생성하여 제어하기 때문에 제어입력값이 최소화된다. Fig. 3(e)에서는 실제 x,y 경로가 원하는 x,y 경로를 잘 추종함을 볼

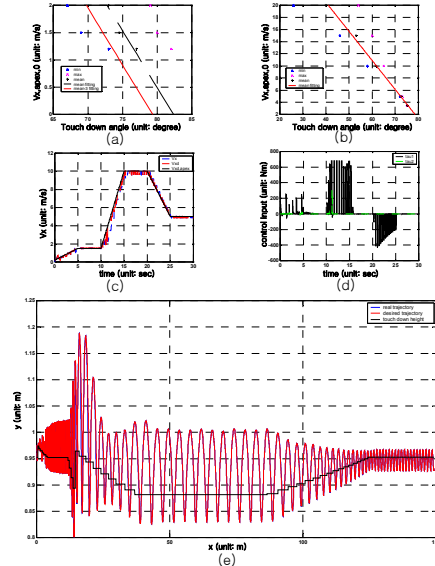


Fig. 3 simulation results, (a) walking: self-stable region and linear fitting, (b) running: self-stable region and linear fitting, (c) $V_{x,apex,desired}$ profile, $V_{x,desired}$ trajectory and V_x trajectory, (d) leg 1 and leg 2 control input torques, (e) touch down height, real x, y trajectory and desired x, y trajectory 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 self-stability 개념을 적용하여 제어입력값을 최소화하는 제어 알고리즘을 제안하였다.

후기

본 연구는 교육과학기술부 일반사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Geyer, H., Seyfarth, A., Blickhan, R., "Compliant leg behaviour explains basic dynamics of walking and running," Proc. R. Soc. B, **273**, 2861–2867, 2006.
2. Seyfarth, A., Geyer, H., Günther, M., Blickhan, R., "A movement criterion for running," J. Biomech., **35**, 649–655, 2002.