

이족 보행 로봇의 반복 걸음세 제어를 위한 학습 제어기

A Learning Controller for Repetitive Gate Control of Biped Walking Robot

°임동철*, 국대용*

* 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 (E-mail : dclim@nature.skku.ac.kr; tykuc@yurim.skku.ac.kr)

Abstract : This paper presents a learning controller for repetitive gate control of biped robot. The learning control scheme consists of a feedforward learning rule and linear feedback control input for stabilization of learning system. The feasibility of learning control to biped robotic motion is shown via dynamic simulation with 12 dof biped robot.

Keywords : biped walking robot, dynamic walking, learning control

1. 서론

최근에는 스스로 환경을 인식하고, 학습, 추론을 통한 판단을 할 수 있는 지능 로봇에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 지능 로봇은 인간이 행하기에는 불가능한 극히 위험한 상황에 적용이 가능하거나 인류 복지의 증진에 이용할 수 있는 특징을 가지는 로봇으로서 그 중에서도 특히 이족 보행 로봇은 인간의 보행 방식과 같은 형태를 갖추고 있는 로봇으로 제한된 환경에서만 이동이 가능한 기존의 로봇에 비해 인간 생활에 보다 용이하게 적용될 수 있는 장점을 가지고 있다.

이족 보행 로봇에 대한 연구는 그 목적에 따라 크게 두 가지로 나누어 질 수 있는데 그 첫째는 이족 보행 로봇의 순수 제어에 관련된 연구이고 둘째는 걸음세의 안정화에 관련된 연구이다. 또한 로봇이 쓰러지지 않고 안정하게 걸을 수 있는 각 관절의 궤적 생성 역시 중요한 문제로서 기존 궤적의 생성 방법에 따라서는 다음과 같은 내용의 연구가 진행되어 왔다. 패시브 다이내믹스(passive dynamics)를 이용한 방법으로서 무 동력 상태에서 경사를 내려오는 걸음걸이 생성방법[1], 역진자 모델에 기초한 형태로서 로봇 트렁크가 추종하게 될 기준 경로 및 각 관절의 지면과의 기구학적인 관계로부터 기준 궤적을 구하는 방법[2], 뉴턴 오실레이터를 이용하여 일정한 주기의 반복 합수를 생성하고 외부 센서로부터의 입력 데이터에 따라 보정하여 기준 경로를 생성하는 방법[3], 모의 실험이나 또는 실제 제작한 로봇에 대하여 적절한 걸음걸이가 생성될 때까지 반복적으로 보행을 시켜가면서 기준 경로를 보정하는 방법[4], 그밖에 정력학 및 동력학을 고려하고 제로 모멘트 포인트(Zero Moment Point), 자이로 센서, 기울기 센서, 지면과의 임팩트 등 센서 입력을 참조하여 걸음걸이를 보상하면서 기준 경로를 추종하는 방법 [5][6][7] 등 여러 방법의 연구가 이루어져 왔다.

이족 보행 로봇의 제어에 있어서 로봇의 관절 제어를 어렵게 하는 요인은 관절에 실리는 부하와 마찰 등이 보행 주기에 따라 매우 크게 변화한다는 점이다. 여기에 파라미터와 같은 동적 특성의 변화에 대한 적응 능력이 떨어지는 선형 PID 피드백 제어기[8] 등의 일반적인 선형 제어기를 적용한다면 보행의 각 단계마다 오차가 생기는 정도가 달라져 전체적인 걸음을 안정화시키는 이득값을 찾기는 대단히 힘들 것이다. 따라서 본 논문에서는 복잡한 보행 로봇의 동력학을 계산하지 않으면서 반복되는 학습

을 통해 보행 주기에 따라 생기는 주기적 비선형 부하 변동을 학습할 수 있는 반복 학습 제어 알고리즘을 제안한다[9,10]. 이 알고리즘은 다른 학습 제어 기법과 비슷한 구조를 가지고 있지만 학습 방법에 있어서 차이점을 보인다. 본 논문에서의 학습 방법은 피드 포워드 액추에이터 토크를 피드백 오차 인자에 의해서 계산하여 각 학습단계의 증가에 따라 업데이트된 학습 인자를 가지고 제어 입력을 계산한다. 이러한 학습 제어 알고리즘은 정확한 로봇의 동력학을 필요로 하지 않기 때문에 적용에 있어서 유동적이고 단순한 장점이 있고[9] 또한 노이즈에 약한 가속도 인자를 필요로 하지 않기 때문에 미지의 외란에 대하여 강하고 시간에 따라 동적인 시스템 파라미터에 적용하는 성능을 가진다.

본 논문에서는 이와 같은 반복 학습 제어 기법을 힙 3 자유도, 무릎 1 자유도, 발목 2 자유도 씩을 양 다리에 각각 갖추어 총 12 개의 관절과 1 개의 몸통을 지니고 있는 이족 보행로봇에 적용하여 기준 궤적 추종 작업을 수행함으로써 제안된 제어기의 안정도 보장 및 학습의 진행에 따른 위치 및 속도 오차의 수렴을 확인하고 기존의 선형 제어기와 파라미터 불확실성, 외란 등에 대한 강인성을 비교 평가하고자 한다.

2. 제어기 구성

n-DOF(Degrees of freedom)의 강체 로봇 매니플레이터의 동력학 식은 다음과 같다.

$$D(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q}) + F(q, \dot{q}) + d = \tau \quad (1)$$

여기서 $q \in R^n$ 는 로봇 관절의 일반화 좌표 벡터이다. 그리고 $D(q) \in R^{n \times n}$ 는 양의 한정(positive-definite)인 관성 행렬이며, $B(q, \dot{q}) \in R^n$ 는 구심력 및 코리올리(coriolis)력을 나타내는 벡터이다. 또한 $F(q, \dot{q}) \in R^n$, $d(t) \in R^n$, $\tau \in R^n$ 는 각각 중력과 마찰력, 크기가 유계된 미지의 반복 확정 외란, 로봇에 주어지는 입력 토크 벡터를 표시한다.

반복 학습 제어 알고리즘은 모델화되지 않은 동력학에 기인하는 외란에 따른 제어의 어려움을 극복하고자 연속된 반복동작을