

학습기법을 이용한 로봇의 모션패턴 생성 연구

*¹김동원

*¹ 인하공업전문대학 디지털전자과, dwnkim@inhatic.ac.kr

Use of learning method to generate of motion pattern for robot

*¹Dong-won Kim

*¹Inha Technical College, Digital Electronics, dwnkim@inhatic.ac.kr

요약

동작 패턴 생성이란 로봇이 어떤 동작을 안정하게 수행하기 위해 미리 안정적인 동작 궤적을 계산해 내는 것을 말하며 자세 제어는 미리 생성된 동작 패턴을 이용하여 동작을 수행하는 도중 발생하는 외란을 제거하여 로봇의 자세를 안정 하게 만들어주는 것을 말한다. 본 논문에서는 수치적 방법이나 로봇의 상체 구조를 간략화하여 근사적으로 생성하는 기존의 보행 패턴 방법과는 다르게 범용적으로 사용 가능한 뉴럴네트워크 학습기법을 이용한 로봇의 동작패턴 생성방법에 대하여 연구한다.

Abstract

A motion pattern generation is a process of calculating a certain stable motion trajectory for stably operating a certain motion. A motion control is to make a posture of a robot stable by eliminating occurring disturbances while a robot is in operation using a pre-generated motion pattern. In this paper, a general method of motion pattern generation for a biped walking robot using universal approximator, learning neural networks, is proposed. Existing techniques are numerical methods using recursive computation and approximating methods which generate an approximation of a motion pattern by simplifying a robot's upper body structure. In near future other approaches for the motion pattern generations will be applied and compared as to be done.

Keywords: learning method, robot, motion pattern generation, neural networks, hard ware robot platform

1. 서론

이족 보행 로봇은 보통 20 자유도(DOF: Degree of freedom)이상의 높은 자유도와 직렬형 링크 구조로 인해 안정도를 해석하고 제어하기가 어렵다. 뿐만 아니라 그에 관한 기술 발달이 충분치 못하고 시장성이 부족하여 현재 인간형 이족 보행 로봇의 실용성과 경제성에 대한 회의적인 시각이 다소 존재하고 있다. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 인간형 로봇을 연구 하는 목적은 첨단 기술의 상징으로 막대한 광고 효과를 가지며 기술 선점이 가능하기 때문이다. 현재 이족 보행로봇의 대명사 하면 누구나 혼다사(Honda)의 아시모(ASIMO)와 소니사(sony)의 큐리오(QRIO)를 떠올릴 만큼 이 둘은 유명한 로봇이다. 각각 자동차와 전자제품 분야에서 내노라 하는 대기업이 로봇 산업에서 뛰어들어 두각을 나타내는 이유는 자사가 만든 로봇을 통해 자사의 기술력을 홍보하고, 미리 그에 관한 기술을 확보해 두어 머지않아 형성될 인간형 로봇 시장에서

* Corresponding Author

Received: Aug. 20, 2018, Revised: Sept. 19, 2018, Accepted: Sept. 28, 2018

우월한 자리를 차지하려 함으로 해석된다. 인간형 로봇은 다양한 분야의 연구자들이 각기 다른 연구 주제를 가지고 활발한 연구를 수행하고 있다. 그 중에서도 이족 보행 로봇만의 특징인 높은 자유도와 직렬형 링크 구조로 인한 제어의 불안정성을 개선하기 위해 로봇의 최적화된 동작 패턴 생성(motion pattern generation)과 자세 제어(motion control)등이 주로 연구 되고 있다. 최적화된 동작 패턴의 생성이란 안정도를 판별하는 기준을 만족하는 동작 패턴을 미리 생성해 내는 것으로 로봇의 동작 구현에 가장 기본이 되는 요소이다. 동작 패턴을 생성 할 때 가정한 로봇의 주변 환경의 변화가 없이 항상 일정 하다면 생성된 동작 패턴만을 이용해서 로봇이 안정적으로 움직이는 것이 가능하지만 실제로는 그렇지 않기 때문에 로봇의 자세 제어가 필요하다. 초창기의 단순 보행 연구를 바탕으로 현재는 인간이 할 수 있는 다양한 동작의 연구가 시도 되고 있다.[1-5] 과거 단순한 보행의 경우는 정교한 동작 패턴 없이 자세 제어 만으로 안정적인 동작이 가능하였다. 그러나 주로 하체의 움직임만을 사용하는 단순 보행과는 달리 요즘 연구되고 있는 물건을 들고 계단을 오르내리고 축구를 하며 춤을 추는 동작들은 다양한 동작들은 하체와 함께 상체의 움직임까지 필요한 전신 동작(whole body motion)들이 대부분이다. 이러한 전신 동작을 자세 제어만으로 수행 한다면 전신의 움직임을 보상 할 수 있는 더욱 고성능의 자세 제어 알고리즘이 필요하게 되며 비록 자세 제어만으로 안정한 동작을 유지하더라도 사람의 움직임과는 상이한 어색한 동작이 나올 수 있다. 만약 특정 동작에 대하여 사전에 정교하고 부드러운 동작 패턴을 생성 할 수 있다면 자세 제어의 부담을 덜어 주게 되어 로봇은 더욱 부드럽고 안정한 동작을 할 수 있을 것이다. 따라서 부드럽고 정교한 동작 패턴을 빠르고 정확하게 계산해내는 방법이 필요하다. 이를 위해 수치적 방법(numerical method)과 근사적 방법(approximate method)의 두 가지 방법이 주로 사용되고 있다. [1,6-7] 수치적 방법이란 컴퓨터의 반복 연산을 이용하여 원하는 동작 패턴과의 오차가 어느 특정 값 이하로 떨어질 때까지 계산해내는 방법이고 근사적 방법은 로봇의 상체를 간략화하여 근사적인 동작 패턴을 얻어 내는 방법이다. 그러나 수치적 방법은 컴퓨터의 성능에 좌우 되므로 계산 시간이 많이 소모되며 근사적 방법은 특정한 로봇 구조에만 사용될 수 있다는 단점이 있다. 본 연구에서는 범용 근사자(universal approximator)의 성질을 갖고 있는 인공 신경망을 이용하여 보다 간편하고 정확하게 동작 패턴을 생성하는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 두 가지 하체의 보행 동작과 두 가지 상체의 동작을 미리 설정하고 각각 두 가지의 상·하체의 동작을 이용한 총 네 가지의 전신 동작에 대하여 신경망을 이용하여 이에 대한 동작 패턴을 생성한 다음, 컴퓨터 시뮬레이션과 실제 상용 로봇에 적용하여 결과를 비교하여 보고 제안된 방법의 타당성 및 효율성을 검증해 보고자 한다.

2. 뉴럴네트워크 구조와 학습

뉴럴네트워크(neural network)은 인간의 뇌를 이루고 있는 생물학적 뉴런(biological neuron)의 구조를 흉내 내어 인공 뉴런(artificial neuron)을 모델링하고 이 인공 뉴런들의 망을 구성하여 사용하는 알고리즘으로 추론 분류 예측 등을 수행 할 수 있어서 패턴인식, 패턴분류, 최적화, 적응제어, 시스템 모델링 등 많은 분야에 응용되고 있다. 여러 종류의 모형들이 있으나 일반적으로 다층 인식자로 불리는 다층 퍼셉트론(MLP: Multi-Layer Perceptron)이 일반적으로 사용된다. 다층 퍼셉트론은 그림 1 처럼 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer), 출력층(output layer)의 세가지 종류의 층으로 이루어진다. 각 층의 노드는 뉴런으로 구성되어 있으며 뉴런의 구조는 그림 2와 같다. 뉴런은 크게 앞 뉴런의 출력을 입력으로 받아 가중치(weight)를 곱하여 합해지는 부분과 그 합을 활성화 함수(activation function)를 통하여 출력한 뒤 다음 층의 뉴런에게 전달해주는 두 부분으로 구성되어 있다. 이와 같은 간단한 뉴런의 동작은 식(1)과 (2)로 간단히 모델링 된다.

$$I_k = \sum_{i=1}^n w_{ki} x_{ki} + b \quad (1)$$

$$y_k = \Phi(I_k) \quad (2)$$

만약 다층 퍼셉트론 입력층에 새로운 정보의 입력이 발생하면 입력층을 구성하는 뉴런들은 식(1)과 (2)처럼 은닉층의 뉴런들에게 값을 전달한다. 은닉층의 뉴런들도 입력층과 같은 동작을 수행하고 다음 층(다른 은닉층이거나 출력층)의 뉴런들에게 값을 전달하는 과정을 반복하며 최종적으로 마지막 층인 출력층이 뉴런들의 출력이 다층 퍼셉트론의 출력 값이 된다. 이와 같은 원리로 작동되는 다층 퍼셉트론은 임의의 함수를 합당한 오차범위에서 학습을 통하여 근사 시킬 수 있는 범용 근사자(universal approximator)로서의 특성을 가지고 있다. 따라서 다층 퍼셉트론의 이러한 성질을 이용하여 균형점 방정식의 해를 구하는데 사용된다[6,7].

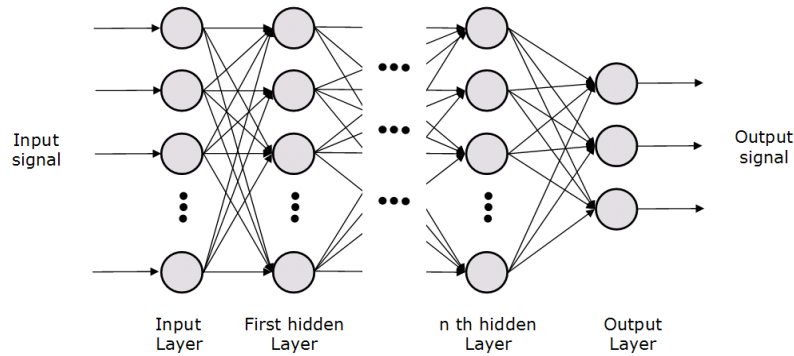


Figure 1. Structure of Multi-layer perceptron

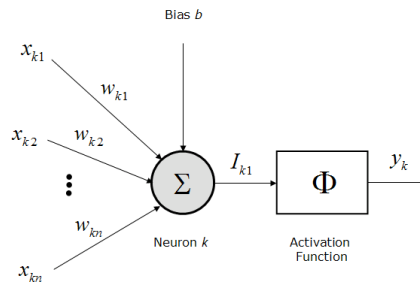


Figure 2. Structure of neuron

뉴럴네트워크에 어떠한 값이 입력되었을 때 원하는 출력을 얻을 수 있도록 하는 과정을 학습이라 한다. 이러한 학습 과정은 서로 다른 두 층의 뉴런과 뉴런 사이의 가중치의 크기를 조정하는 과정을 통해서 이루어진다. 가중치를 조정하는 가장 대표적인 알고리즘으로는 역전파 알고리즘(Back-propagation algorithm)이 있다. 이 알고리즘은 신경망의 특정 입력에 대한 출력과 원하는 출력(target value)과의 오차(error)가 감소하는 방향으로 가중치를 갱신(update)하는 방법으로, 상위층에서 갱신된 가중치를 이용하여 하위층에서 이를 근거로 다시 자기층의 가중치를 갱신하기 때문에 역전파 알고리즘이라 한다. 뉴럴네트워크의 학습과 관련하여 구체적인 내용은 [8]에서 확인할 수 있다.

3. 뉴럴네트워크를 이용한 동작 패턴 생성

인간형 로봇 연구를 수행하기 위해서는 제안된 아이디어를 실험해 볼 수 있는 실제적인 인간형 로봇의 존재가 필수적이다. 로봇 연구의 선두를 달리고 있는 대부분의 연구 그룹들은

자체적으로 제작된 로봇을 이용하여 실험을 하고 있다. 그러나 로봇의 제작은 상당한 하드웨어 및 기계 공학적 지식과 제작시간 그리고 제작 비용 등을 필요로 한다. 게다가 연구 그룹에 의해 각자 제작된 인간형 로봇들은 제작 방법과 특성이 상이하여 로봇에 적용된 제어 알고리즘과 동작 패턴 보다는 액츄에이터의 성능과 기구부의 강도에 따라 로봇의 성능이 좌우되는 경향이 있다. 따라서 자체 제작된 로봇은 연구 목적에 맞게 제작 할 수 있다는 장점이 있기도 하지만 제어 알고리즘의 성능을 비교할 만한 절대적 기준이 없다는 단점도 있다. 그러나 상용화되어 시판되고 있는 브랜드 로봇(**brand robot**)을 사용하면 설계 및 제작에 소모되는 시간과 비용을 줄일 수 있으며 효율적이며 또한 적용된 제어 알고리즘 성능의 비교도 용이한 장점이 있다. 본 연구에서는 일본의 서보(**servo motor**) 모터 전문 회사 곤도 과학 주식 회사에서 개발한 상용 로봇 **KHR-1** 을 이용하여 실제 실험에 사용하였다. 제작사에 제공하는 **KHR-1** 의 모습과 제원은 그림 3 및 표 1 과 같다[9].

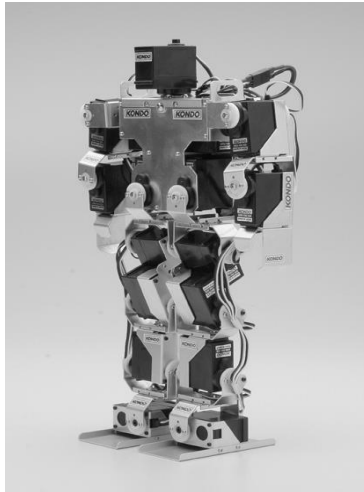


Figure 3. Hardware platform: KHR-1

Table 1. Specification of hardware platform: KHR-1

Degree of Freedom:	17DOF
Weight :	1.2kg(battery included)
Actuator:	KRS-784ICS
Size of motor:	41×35×21(mm)
Torque :	8.7kg/cm
Speed :	0.17sec/60deg
Rated voltage:	6V

Table 2. Specification of forward walking

Length of one step:	6cm
Height of step:	2cm
Time for step:	1sec
Cycle of one step:	2sec

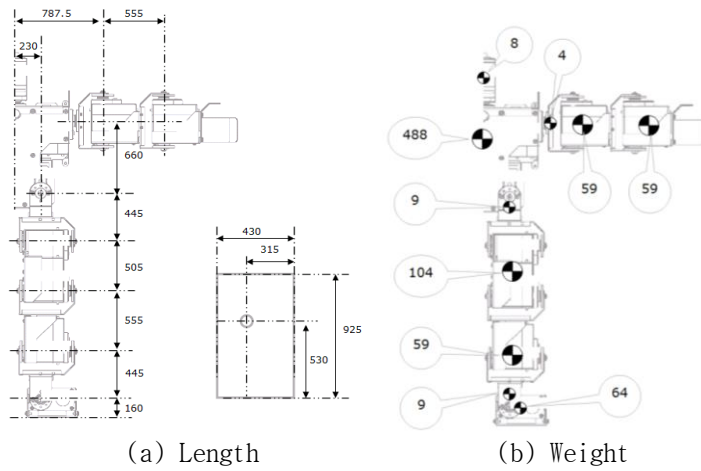


Figure 4. Length and weight of each part of KHR-1

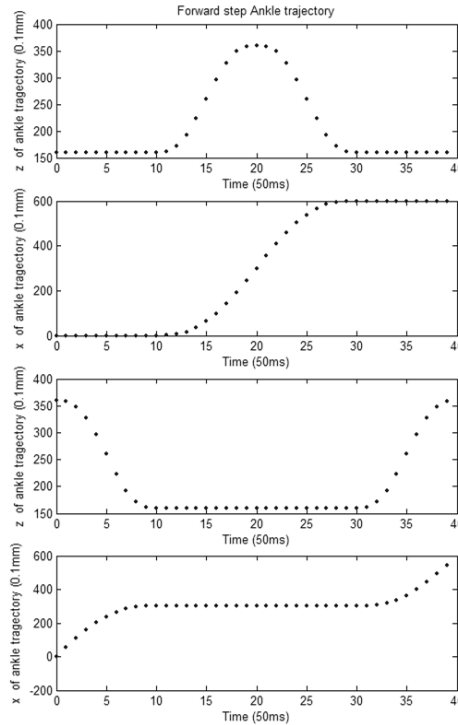


Figure 5. Trajectory of each ankle

실제로 균형점을 이용한 동작 패턴을 생성하기 위해서는 로봇을 구성하는 부분의 길이와 무게를 구해야 한다. 각 부분의 길이와 무게를 각각 그림 4에 나타내었다. 길이는 0.1mm 까지 무게는 1g 까지 측정하였으며 무게중심이 같이 변하는 부분들을 하나의 부위로 설정하였다. 로봇은 몸통 1개, 어깨 2개, 팔 2개, 엉덩이 2개, 허벅지 2개, 종아리 2개, 발목 2개, 발 2개로 총 16개 부분으로 이루어져 있으며 목의 관절을 제외한 각 팔에 2자유도 각 다리에 5자유도로서 총 14자유도로 설정하였다. 동작 패턴을 생성하기 위해서는 그림 5와 같이 동작을 미리 계획하고 그에 해당하는 손과 발의 궤적과 기준 균형점 궤적을 설정해야 한다. 따라서 표 2와 같이 절대 좌표계 x축 방향으로 전진하는 전진보행에 대한 궤적을 고려한다. 한 보의 길이는 들었던 발을 다시 붙이기 전까지 이동하는 거리를 말하며 보행 높이 보행 시

가장 높게 드는 발의 높이를 뜻한다. 균형점 방정식은 균형점의 x 좌표와 y 좌표의 두 성분으로 구성 되어 있지만 이 둘은 독립적으로 서로에게 영향을 미치지 않기 때문에 균형점 방정식의 x 성분과 y 성분을 나누어 개별적으로 학습 할 수 있다. 그림 6은 균형점 방정식의 해를 구하기 위한 실제적인 뉴럴네트워크의 구조를 나타내고 있다. 각 동작의 학습에 사용된 신경망은 모두 같은 구조로서 입력층 과 은닉층 및 출력층이 하나씩으로 구성되었으며 각 10 개, 10 개, 1 개의 노드로 구성되어 있다. 최종적으로 제안된 방법을 통하여 생성된 각각 관절의 궤적은 그림 7 과 같다.

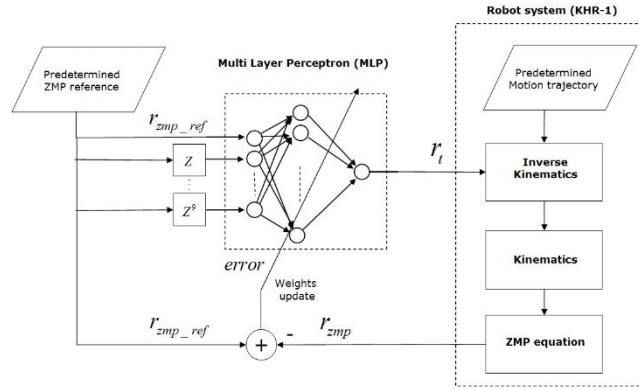


Figure 6. Overall structure of applied neural network

4. 결론

본 논문에서는 뉴럴네트워크를 이용하여 이족 보행 로봇의 동작 패턴을 만들 때 필수적으로 사용되는 균형점 방정식의 해를 구해내는 방법을 제안하였으며 제안된 방법을 이용하여 계획된 동작 패턴에 대하여 균형점 방정식의 해를 구하였다. 이 구해진 해를 바탕으로 동작 패턴을 생성하였고 생성된 동작 패턴을 실제 로봇에 적용하여 각 관절의 궤적을 살펴보았다. 이를 통하여 뉴럴네트워크를 이용하여 부드럽고 정교한 동작 패턴을 생성 할 수 있음을 확인하였다.

5. 감사의 글

This work was supported by INHA TECHNICAL COLLEGE Research Grant. This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(No. 2017R1D1A1B03031467

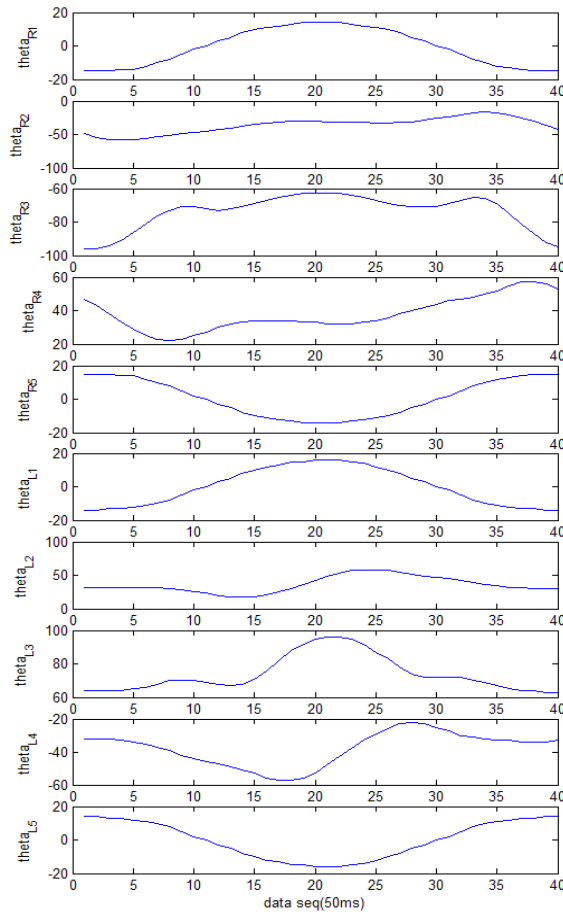


Figure 7. Generated motion trajectory of each ankle

6. 참고문헌

- [1] Jin'ichi Yamaguchi, Eiji Soga, Sadatoshi Inoue and Atsuo Takanishi, "Development of a Bipedal Humanoid Robot-Control Method of Whole Body Cooperative Biped Walking-", Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.368-374, May, 1999
- [2] Koji Terada, Yoshiyuki Ohmura, Yasuo Kuniyoshi, "Analysis and control of whole body Dynamic Humanoid Motion-Towards Experiments on a Rall-and-Rise Motion", Proceedings of the 2003 IEEE/RJS Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1382-1387, October, 2003
- [3] Shicichiro Nakaoka, Atsushi Makazawa Kazuhito Yoko, "Generating Whole body Motions for a biped Humanoid Robot from Captured Human Dances", Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.3905-3910, September, 2003
- [4] Koichi Nishiwaki, Mamoru Kuga, Satoshi Kagami, Masayuki Inaba, Hirochika Inoue, "Whole-body cooperative Balanced Motion Generation for Reaching", IEEE Humanoid 2004, pp.672-689, 2004
- [5] T.Sugihara, Y.Nakamura, "Whole body Cooperative Balancing of Humanoid Robot using COG Jacobian", Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2575-2580, October 2002
- [6] Yu Ogura, Teruo Kataoka, Hun-ok Lim, Atsuo Takanishi, "A Novel Method of Biped Walking Pattern Generation with Predetermined Knee Joint Motion", Proceedings of 2004 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2831-2836, October, 2004

- [7] K. Erbatur, A. Okazaki, K. Obiya, T. Takahashi, A. Kawamura, "A study on the zero moment point measurement for biped walking robots", International Workshop on Advanced Motion Control, pp.431-436, July 2002.
- [8] Lefteri H.Tsoukalas Robert E.Uhrig , "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering", John Wiley & Sons,Inc.,1997
- [9] KHR-1 hardwareManual for English, "http://www.kondo-robot.com/html/Info_En.html",Kondo Kagaku co.,LTD