

신경회로망을 이용한 전기자동차용 전자식 차동장치

임영철 · 박종건 · 김태곤 · 류영재 · 이주상
전남대학교 전기공학과

Electronic Differential System for Electric Vehicle using Neural Network

Young-Cheol Lim · Jong-Kun Park · Tae-Gon Kim · Young-Jae Ryoo · Ju-Sang Lee
Dept. of Electrical Eng., Chonnam National Univ.

Abstract - In this paper, the electronic differential system for electric vehicle using neural network is proposed and its performance is evaluated. The input features of NN are obtained by processing the encoder and potentiometer during driving. The 3 layered NN with back propagation algorithm has been used. Evaluation experiments show that the proposed controller is effective in controlling of unknown nonlinear plants

1. 서 론

최근 전기자동차의 유용성과 응용 가능성에 대한 많은 연구가 실모델의 개발로 성과를 나타냄으로써, 일반 차량의 기능 진반을 포괄하면서도 구동제어가 용이한 잇점을 이용하여 특수 기능의 동작을 할 수 있도록 하기 위한 제어 알고리즘 개발의 필요성이 제기되고 있다.

전기 구동차량은 구동모터의 수에 따라 1모터, 2모터, 그리고 4모터시스템으로 구분되며 1모터 방식의 차량은 기본적으로 동력전달 장치가 기존의 자동차와 같다. 그러나 2모터 혹은 4모터 차량은 각각의 바퀴에 전달하는 동력원이 다르므로 각각의 동력원을 개별적으로 제어하여야 한다. 특히 엔진 구동 차량 경우에는 좌우륜에 대한 토오크를 독립적으로 제어하지 못하지만, 전기 구동차량에서는 일반적으로 두 개의 분리된 모터를 적용함으로써 독립적인 제어가 가능하게 된다.

그러나 현재까지의 전기 구동 차량에 대한 연구는 동력원으로 축전지를 사용함으로써 축전지의 소형화, 경량화와 고속 충전에 대한 연구, 구동 모터 및 모터 제어에 대한 연구가 주를 이루고 있을 뿐, 주행 및 조향 성능의 향상을 위해 전기 구동 차량의 구조적 특성을 이용하는 차량 제어 알고리즘의 개발은 아직 활발히 이루어지고 있지 않다.

자동차가 굽어져 있는 도로를 따라 회전할 때 미끄러짐이 일어나지 않는다고 가정하면 외측차륜은 내측차륜보다 더 빨리 돌아야 한다. 또한 한 차륜이 다른 차륜보다 높은 지면을 주행할때도 다른 차륜보다 더 빨리 돌아야 하는데 이러한 차동기능을 해주는 장치가 기존의

엔진 구동자동차에서는 차동장치(Differential Gearbox)가 있어 두 개의 구동축에 구동력을 적절하게 분배하는 기능을 가지고 있다. 그러나 이 논문에서 실험한 전기자동차는 2모터 시스템으로 두개의 구동원이 각각의 구동바퀴에 힘을 전달하므로 하나의 동력원의 기존의 자동차에 비해 보다 비교적 복잡한 제어가 필요하게 된다.

본 연구는 기존 자동차의 차동장치의 원리로부터 출발하여, 차동장치의 구성을 두개의 구동원을 가진 전기자동차의 실제 주행 실험을 통하여 선회시 전륜 바퀴의 조향각과 그때의 후륜 구동바퀴의 회전수 차이를 인식하여 나온 데이터를 수집하여 이를 기초로 백프로파게이션(Back Propagation) 학습을 통한 뉴럴 네트워크(Neural Network)로 구성된다. 그리하여 전륜의 조향각과 후륜 구동모터의 회전수 입력에 대해 적합한 제어력을 구하는 시스템을 제안하였다. 회전자 내측차륜의 미끄러짐이 일어나지 않고 자동차의 기중에 관계없이 어느 차종이나 적용할 수 있는 독립된 두 개의 구동장치를 가진 전기자동차의 이상적인 전자식 차동장치를 구현하였다.

2. 기존 자동차의 차동장치의 고찰

기존의 자동차는 직진 운동시에는 좌우의 바퀴의 하중이 같게 되고 차동기어는 아무런 역할을 하지 않으므로, 좌우의 바퀴의 회전수가 동일하며, 엔진으로부터 변속기어를 거쳐 바퀴에 전달되는 토오크 역시 동일하다. 그러나, 회전자에는 좌우의 바퀴의 하중이 달라져서 차동기어가 동작하게 되고, 따라서 회전수와 토오크가 모두 달라지게 된다. 또한 실자동차에 있어서는 회전 운동시에 좌우바퀴의 조향각을 다르게 하므로써, 자동차가 미끄러지지 않고 안정성 있는 회전을 할 수 있도록 되어 있다. 회전운동시에는 좌우 바퀴의 토오크와 회전수가 달라지는 이유는 차동기어의 동작 때문이다. 차동기어의 동작원리는 회전자 좌우 바퀴의 하중이 달라지게 되고, 하중이 큰 바퀴에는 전달되는 토오크가 커지도록 되어 있고, 하중이 작은 바퀴에는 전달되는 토오크가 작아지도록 되어 있다. 전달되는 토오크가 차이가 나므로 결국 좌우 바퀴의 회전속도의 차이가 생기게 된다. 또한 좌우의 토오크의 차이에 의해 회전력이 생성되어 회전운동을 할 수 있게 된다.

3. 신경회로망의 설계

신경회로망은 수치적으로 플랜트에 대한 정확한 수학적 모델이 필요 없는 동적인 작업을 하는 비선형 시스템 제어를 향상시키는 지적 능력을 지니고 있다. 상호 연결된 뉴런들에 의하여 임의의 입력과 출력 사이에 비선형 사상(Mapping)을 하는 것으로 생각할 수 있으며, 이러한 사상 특성에 따라 연상 기억(Association), 필터(Filter), 인식(Recognition), 변환(Transformation), 최적화(Optimization) 등의 기능을 수행할 수 있다.

신경회로망의 분류방법 중 감독학습에 백 프로퍼게이션(Back Propagation) 알고리즘을 사용했다. 이 학습방법은 구성하기가 용이하며, 학습 계수의 선정에 따른 수렴성도 우수하기 때문에 군사적인 목적의 패턴인식에서부터 의학적 진단, 음성인식, 자동제어 등의 다양한 분야에 널리 이용되고 있다.[1]

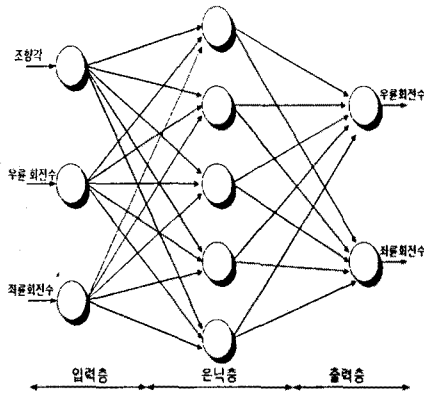


그림 1. 다층 신경회로망의 구조

3.1 학습과정

- ① 신경망의 모든 연결 가중치를 적당한 값으로 초기화하는 것이다. 이때 초기값은 주로 1보다 작은 임의의 값이 사용된다.
- ② 신경망에 학습시킬 입력패턴을 선정하는 것이다.
- ③ 학습스케줄에 의해 결정된 입력 패턴을 신경망에 경험하게 하는 것이다.
- ④ 신경망의 신경세포들을 차례로 동작시키는 것이다.
- ⑤ 신경망의 출력패턴과 목적패턴을 비교하는 것이다.
- ⑥ 선택된 학습 규칙을 사용하여 연결 가중치를 조절하는 것이다.
- ⑦ 신경망이 모든 학습 패턴을 경험할 수 있도록 학습스케줄에 따라 입력 패턴과 목적 패턴을 가시 선택하여 위의 과정을 반복하는 것이다.
- ⑧ 일곱 번째 단계를 신경망이 완전히 학습할 때까지 반복하는 것이다.

3.2 백 프로퍼게이션 알고리즘

본 논문에서는 실제 주행결과 나온 데이터를 수집하고 이를 학습하기 위해 백 프로퍼게이션 알고리즘을 이용했다. 백 프로퍼게이션 알고리즘이란 일반화 δ rule이라고 불리우는 감독학습 방식의 알고리즘으로 다층 신경회로망을 통해서 알고자 하는 목표 출력과 실제 출력과의 오차를 이용해서 이 오차를 줄이는 방향으로 각층의 가중치를 갱신하는 방법을 사용한다. 위의 내용은 순방향 연산(Forward Processing)과 역방향 연산(Backward Processing)으로 나누어진다.[2]

순방향 연산에서 뉴런은 시냅스(Synapse)와 셀바디(Cell Body)로 구성되는데 뉴런의 입력값과 가중치를 곱한 결과를 활성화함수(Activation Function)를 거쳐 출력하게 된다. 이것은 다음의 식(2.1)과 식(2.2)에 의하여 표현된다.

$$net_j = \sum W_{ji} X_i \quad (2.1)$$

$$y_j = f(net_j) \quad (2.2)$$

역방향 연산은 순방향 연산의 결과값과 원하는 결과값의 오차를 식(2.3)에 의하여 구한다. 오차를 최소화하기 위하여 이를 역방향으로 전파하여 가중치를 갱신시킨다. 이것은 식(2.4), 식(2.5)로 표현된다.

$$\delta_j = (t_j - y_j) f'(net_j) \quad (2.3)$$

$$\Delta W_{ji}(t) = \eta \delta_j y_i + a \Delta W_{ji}(t-1) \quad (2.4)$$

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \Delta W_{ji}(t) \quad (2.5)$$

뉴런의 활성화함수는 시그모이드(Sigmoid) 함수를 사용하며 이는 비선형 함수로 다음 식(2.6)로 나타낸다.

$$f(net) = [1 + \exp(-net)]^{-1} \quad (2.6)$$

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험장치의 구성

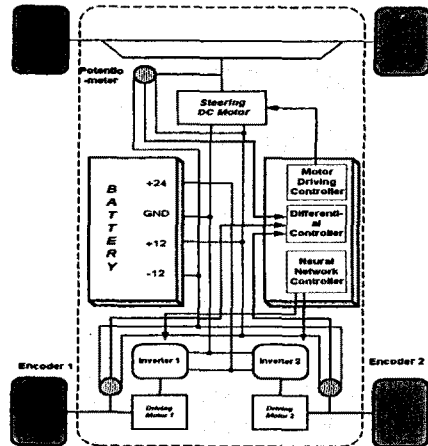


그림 2. 실험장치의 전체 구성도

본 연구에서는 그림 4처럼 신경회로망 설계를 위해 실제 데이터 수집 주행실험을 하였다. 전체적인 소프트웨어 처리는 펜티엄 586PC를 이용하였으며, 실험용 전기자동차의 전체 구성은 그림 2와 같다. 메인 전원은 24V 배터리를 사용하였고, 상용 인버터를 통해 교류 220V, 60Hz로 후륜의 AC 유도모터를 구동시킨다.

4.1.1 조향장치

전륜의 조향장치는 CPU로부터 조향각 명령을 받아 차량을 원하는 방향으로 진행할 수 있도록 바퀴의 방향을 제어하는 기구이다. 즉 일반 자동차의 Steering wheel과 같은 역할을 하는 것이다. 여기에서는 바퀴의 제어를 위하여 삼각파 비교방식의 PWM에 의해 제어되는 DC motor를 이용함으로써 제어시 전력 손실을 줄일 수 있도록 설계하였다.

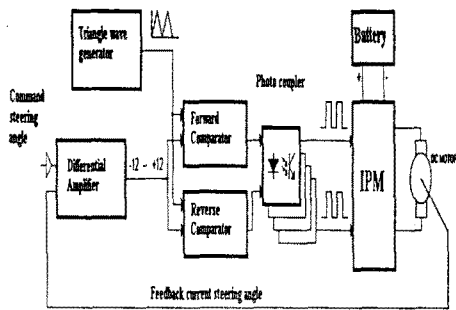


그림 3. 조향장치 구성도

조향각에 대한 명령이 차동 증폭기부분에 입력되면 차동 증폭기는 그 명령과 현재의 조향각을 비교하여 두 값에 대한 차를 전압의 형태로 출력하게 된다. 여기에서 출력된 값은 경회전·역회전 비교기로 각각 입력되어 삼각파와 비교하여 PWM 파형을 만들어 내고 이 신호는 control부와 power부를 절연하기 위한 photo-coupler를 통과하여 IPM(intelligent power module)의 gate를 스위칭 하게 된다. 이 스위칭에 따라 motor로 흘러 들어가는 전류의 양이 결정되고 결국 motor의 속도를 제어할 수 있게 된다.

단순히 on, off제어를 하는 것보다 PWM 제어방식을 사용함으로써 제어를 더욱 부드럽게 할 수 있었고 이득을 변경하여 추종속도와 오버슈트를 적당하게 조절하였다. motor를 구동시킬 때 문제가 되는 dead zone은 삼각파와 차동 증폭기로부터 나오는 출력을 비교하는 과정을 조작하여 거의 없앨 수 있었다.

조향장치는 정확하고 빠르면서도 오버슈트가 적은 위치제어가 요구되므로 적절한 보수파라미터의 설정이 중요하다. 본 실험에서는 최적의 위치제어를 위하여 차동 증폭기의 이득과 dead zone을 적당하게 조절하여 조향각이 지령치에 잘 추종하도록 하였다.

4.1.2 학습 데이터 획득장치

데이터 획득은 PC에 장착된 Data Acquisition Board를 이용하였다. 자동차의 후륜바퀴의 좌우측에 설치된 엔코더(Encoder)로 전륜의 조향각에 따른 좌우 구동바퀴의 회전수를 알아낸다. 주행동안 계속 측정을 하고 샘플링 시간은 100ms이다. 그림 4는 데이터를 획득하기 위한 주행실험 중이다.

이렇게 얻어진 데이터를 바탕으로 신경회로망을 이용하여 학습을 시켰다. 학습 반복 횟수를 500회로 하였다. 다층 신경회로망의 입력층의 뉴런의 수 $n=3$, 중간층의 뉴런의 수 $p=20$, 출력층의 뉴런의 수 $q=2$ 로 하고 학습율은 0.01 그리고 시그모이드 출력은 -1에서 1까지 출력이 된다.

5. 결 론

본 논문은 신경회로망을 이용하여 기존 자동차의 기계적인 차동장치를 기반으로 전기자동차용 전자식 차동장치를 설계하였다. 전륜의 조향각과 후륜 구동모터의 좌우바퀴의 회전수 입력에 대해 적합한 제어력을 구하는 제어 시스템을 제안하였고 선회사 내측차륜의 미끄

러짐이 일어나지 않게 할 수 있고, 시스템 모델링 과정이 없이도 원활한 제어를 할 수 있다. 그리고 자동차의 차종에 관계없이 학습만 시킨다면 차종에 무관하게 적용할 수 있는 독립된 두 개의 구동장치를 가진 전기자동차의 이상적인 전자식 차동장치를 구현하였다.

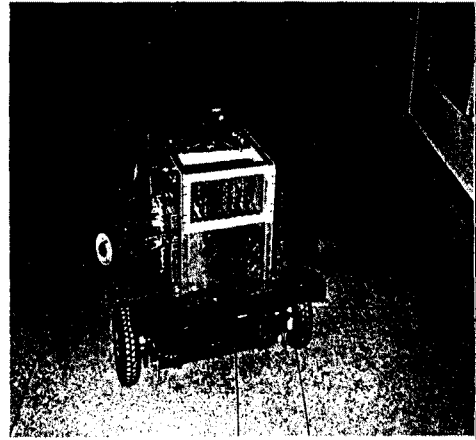


그림 4. 실제 적용 주행 실험

(참 고 문 헌)

- [1] R. Hecht-nielsen, "Neurocomputing: Picking the human brain", IEEE Spectrum, pp. 36-41, 1988.
- [2] J. M. Zurade, Introduction to artificial neural systems, Info access distribution pte ltd, pp. 185-206, 1992.
- [3] C. T. Lin and C. S. G. Lee, Neural Fuzzy Systems, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1996.
- [4] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "Learning internal representations by error propagation", Parallel Distributed processing, vol. 2, pp. 318-362, MIT Press, Cambridge, 1987.
- [5] Seung-Hak Yang, Fumio Harashima, Young-Cheol Lim, Kyeong-Young Cho, "Steering Control System for Autonomous Road Vehicle Using Fuzzy Neural Network," Transaction of IEE of Japan, Vol 115-D No.11, 1995.
- [6] Matsumoto N., and Tomizuka M., "Vehicle Lateral Velocity and Yaw Rate Control with Two Independent Control Inputs," Proceedings of American Control Conference 1990.
- [7] Crelerot, O., F. bernot, and J.M. Kauffmann "Study of an Electrical Differential Motor for Electric Car," IEE Conference Publication No. 376 Sept. 1993, pp416-420.