

전기자동차용 전자식 차동 시스템의 신경망 모델 A Neural Network Model of Electric Differential System for Electric Vehicle

이주상 · 유영재* · 임영철

Ju-Sang Lee, Young-Jae Ryoo* and Young-Cheol Lim

전남대학교 전기공학과 및 지역협력 연구센터

*목포대학교 제어계측공학과

요 약

본 연구에서는 전기자동차에 사용되는 전자식 차동 시스템의 신경망 모델을 제안한다. 차량이 곡선도로를 따라 주행할 경우 내측 바퀴와 외측 바퀴의 회전속도가 서로 달라야 진동이나 뒤틀림 없이 완전한 선회 주행을 할 수 있다. 전기자동차는 그 구조적 특성상 각각의 바퀴가 독립된 구동원을 갖는다. 이 때문에 일반 엔진 차량의 기어식 차동장치를 대신할 전자식 차동장치가 요구된다. 이러한 차동장치는 차량의 구조 뿐만 아니라 차량의 주요 파라미터인 조향각 및 속도에 따라서 비선형적인 관계를 가지고 있어서 해석하기가 쉽지 않다. 따라서 이와 같은 비선형적인 관계 모델을 학습 능력을 가진 신경망에 의하여 모델링 함으로써 제어에 적용할 수 있다. 이를 실현하기 위해 제작한 전기자동차로 곡선도로를 주행하여 다양한 곡률과 주행속도에 따른 내측 외측 바퀴의 회전속도 데이터를 획득하고, 데이터의 비선형 특성을 고려한 차동 속도 제어기의 구조를 설계한다. 이 제어기에 적합한 모델은 신경망을 이용하여 실험 데이터를 학습시킴으로써 차동기능을 수행할 수 있는 제어기를 구현한다.

ABSTRACT

This paper describes a neural network model for an electrical differential system for electric vehicle. When a vehicle drives along curved road lane, the speed of the inner wheel has to different from that of the outer wheel in order to prevent the vehicle vibrating and traveling an unsteady path. Because each wheel of this electrical vehicle has an independent driving force, an electrical differential system is required to replace a gear differential system. However, it is difficult to analysis the nonlinear behavior of the differential system in relation to the vehicle speed and steering angle, as well as vehicle structure. Therefore, a neural network is used to learn the relationship. To realize the neural network model, the speed data was acquired for the inner wheel and outer wheel, using an experimental electric vehicle at various speeds and steering angles. With this information, the differential system can be controlled using a neural network model of the nonlinear relationship.

1. 서 론

전기자동차는 일반적으로 그 구조의 특성상 각각의 바퀴에 독립된 구동원을 갖추고 있다. 그러므로 전기자동차가 좌측 또는 우측으로 굽어져 있는 곡선도로를 주행하는 경우, 또는 주행 차선을 바꾸는 경우 차량의 외측 바퀴는 내측 바퀴보다 더 높은 회전속도로 회전해야 차량의 진동이나 뒤틀림이 없는 완전한 주행을 할 수 있을 것이다. 이러한 작용을 위해 일반적인 차량인 엔진 구동 차량의 경우 베벨기어를 사용한 기어식 차동기를 장착하고 있다[1-4]. 그러나 전기자동차는 대부분의 경우 좌·우륵의 구동원이 각각 독립된 형태로 제작된다. 이 때문에 전기자동차에서는

곡선도로를 주행하는 경우나 차선을 변경해야 할 때에 기어식 차동장치의 작용을 대신할 수 있는 전자식 차동장치가 필요하게 된다.

이와 같은 전기자동차의 연구분야는 조향 및 구동장치 분야와 차동 및 변속장치 분야가 진행되고 있다. 조향 및 구동장치 분야에서 4륵 조향 / 4륵 구동 메커니즘을 이용하여 4개의 바퀴를 독립적으로 제어함으로써 조향장치가 필요 없는 제어방식이 연구되었고[5-7], 유도전동기, 영구자석형 전동기의 구동력을 제어하기 위한 방식이 연구되고 있다[8-10].

차동 및 변속장치를 실현하기 위한 연구는 i) 차동현상의 해석 및 모델링, ii) 제어방법의 설계, iii) 전기자동차 구동에 적합한 특수 전동기의 설계(1. 고정

자, 2. 회전자 방식 등), iv) 전기자동차 구동에 적합한 특수 구동회로의 개발(1. 인버터 2개 모터 구동 방식)으로 나누어 진다.

전기자동차용으로 설계된 특수 전동기로, C. C. Chan은 1개 고정자에 2개 회전자를 가진 구조의 axial flux induction motor (AFIM)을 설계하였다[11-13]. A. Kawamura, T. Yokoyama, T. Kume는 고정자가 외측 회전자 기능을 갖고, 회전자가 내측 회전자 기능을 갖는 구조의 anti directional twin rotary(ADTR) 전동기를 설계하였다[14,15]. 또한 1개 고정자와 2개의 독립적인 비동기 회전자로 구성된 electrical differential motor (EDM)가 제안되는 등 전기자동차용 특수 전동기가 연구되었다[16]. 전기자동차 구동용 인버터로는 P. Kelecy, R. Lorenz가 유도전동기의 고정자 권선을 병렬로 연결함으로써 1개의 인버터로 동시에 2개의 유도전동기를 구동할 수 있는 dual motor machine model을 제안하였다[17,18]. 이와 같이 차동 현상을 실현하기 방법으로써 특수 전동기와 구동회로가 다양한 형태로 연구되고 있다. 하지만 이러한 특수 전동기는 현장에서 흔히 사용되는 모터가 아니기 때문에 전기자동차에 적용하기 위해서는 아직 많은 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 특수 전동기의 고장 발생시 수리 대책이 문제될 것이다. 때문에 일반 유도 전동기를 전기자동차에 적용하여 우수한 효과를 발휘할 수 있는 차동 시스템의 모델과 제어방식의 연구가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 유도 전동기와 구동 장치로 제작한 전기자동차의 실제 차동 현상을 기반으로 하여 해석한 차동 시스템의 새로운 모델과 제어방식을 제안한다. 실험적 방법을 통해 주행시 발생하는 차량의 주요 파라미터인 조향각과 속도데이터를 획득하고, 이때 좌·우측 바퀴의 회전속도의 현상을 해석한 모델을 구현한다. 차량 조작 파라미터와 바퀴의 회전속도 간의 비선형적인 관계 모델링은 신경망의 학습능력을 이용한다. 신경망 기반 모델을 이용하여 차동 기능을 수행할 수 있는 제어기를 구현하고 제작한 차동 시스템에 적용해본다.

논문의 구성으로 2장에서 조향각에 따른 주행궤적의 기구학 모델의 문제점과 이를 극복하기 위해 실험 데이터를 기반으로 학습한 신경망 모델을 이용하여 제어할 수 있는 차동 시스템을 제안한다. 3장은 실험적 검증에 위해 제작한 전기자동차와 실험장치를 기술하고, 실측 데이터를 살펴본다. 전기자동차는 2개 유도 전동기를 이용한 후륜 좌·우 독립 구동 방식, 2개 독립 구동 인버터 방식으로 설계하였다. 4장에서는 실측 데이터의 특성분포를 고찰하고 이를 학습하기 위한 신

경망 모델을 설계하며, 학습이 완료된 신경망 모델을 이용하여 주행속도와 조향을 다양하게 변화시켰을 때의 내·외측 바퀴의 회전속도 특성분포를 나타낸다. 5장에서는 제안한 신경망 모델과 제어기에 대하여 간략하게 결론을 정리한다.

2. 전기자동차의 차동 시스템

2.1 기구학적 모델

일반적으로 자동차의 주행궤적은 차량의 기구학 모델을 기반으로 해석된다. 차량이 저속으로 주행할 경우 조향각에 따른 주행궤적의 기구학 모델로 Ackermann-Jeantand 모델이 널리 사용되고 있다. 이 모델에서 차량이 곡선도로를 선회주행 할 때 원심력의 영향을 무시할 수 있고, 이 원심력과 평행을 이루는 구심력도 무시할 수 있다고 가정한다. 타이어에는 어떤 힘도 작용하지 않는다고 할 수 있어 타이어의 접지부분도 점 접촉을 하고 있다고 간주할 수 있다. 따라서 이때의 자동차 선회 주행 상태는 순수한 기하학적 관계에 따라 이루어진다고 볼 수 있다. 즉 선회 주행 시 회전반경 또는 자동차의 중요한 치수들 예를 들면 차량 좌·우측 바퀴사이의 거리, 앞·뒤 바퀴간의 거리 및 조향 시 앞바퀴 좌·우의 조향각 등의 값을 포함한 기하학적 관계에 따라 이루어진다고 볼 수 있다.

그림 1은 저속도 자동차 주행 궤적의 기구학인 Ackermann-Jeantand 기구학 모델을 나타낸다. 차량의 좌 우측 킹핀 간의 거리는 $W[m]$, 앞 뒤 바퀴간의 거리는 $L[m]$, 내측 바퀴의 조향각은 δ_{in} , 외측 바퀴의 조향각은 δ_{out} , 킹핀 중심과 타이어까지의 거리는 $D[m]$ 이다. 이 모델에 의한 차량의 전륜 좌우바퀴의 주행 궤적은 다음과 같다.

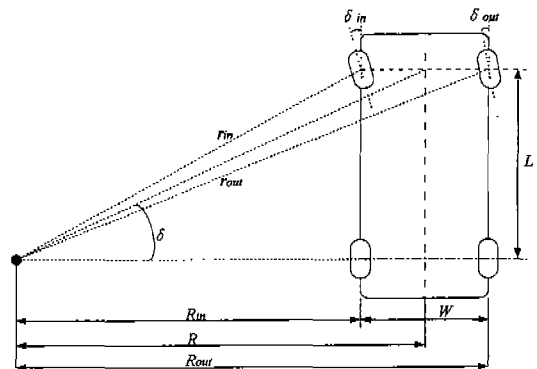


그림 1. 저속도 선회시 주행 궤적

$$\begin{aligned}
 \cot\delta_{in} &= \frac{L}{R - W/2} \\
 \cot\delta_{out} &= \frac{L}{R + W/2} \\
 r_{in} &= \frac{L}{\sin\delta_{in}} + D \\
 r_{out} &= \frac{L}{\sin\delta_{out}} + D
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Ackermann-Jeantand 기구학 모델을 이용하여 후륜 구동형의 전기자동차가 주행할 때 좌·우측 바퀴 또는 내·외측 바퀴의 속도를 구하면 다음과 같은 관계를 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{L}{\tan\delta} \\
 C_{in} &= 2\pi R_{in} = 2\pi R - \pi W \\
 C_{out} &= 2\pi R_{out} = 2\pi R + \pi W \\
 w_{in} &= \frac{C_{in}}{T} = w_c - \Delta w \\
 w_{out} &= \frac{C_{out}}{T} = w_c + \Delta w \\
 \text{where } \Delta w &= \left(1 - \frac{W}{2L} \tan\delta\right) w_c
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

식 (2)에서 C는 차량의 주행 궤적 거리이며, w_c 는 주행 궤적을 따라 움직이는 차량의 이동 속도이다.

이 관계식에 의하면 차량의 속도와 조향각에 따라 내측바퀴는 선형적으로 속도를 감소하고 외측바퀴는 선형적으로 증가한다. 그러나 실제 차량의 구조는 그림 1과 같이 간단한 기하학적 모델만으로는 표현할 수 없다. 특히 전륜 조향장치의 구조, 후륜 구동장치의 위치 등에 따라 실제 모델은 복잡해져 비선형적인 부분을 포함하게 된다. 차량의 주행 시에도 속도와 조향각에 따른 내·외측바퀴의 속도 관계가 선형적으로 변하지 않은 않는다. 따라서 전기자동차의 주행속도와 조향각에 따른 내·외측바퀴의 속도를 실제 물리적인 현상과 유사하게 출력할 수 있는 전자 차동 시스템을 구현하기 위해서는 비선형적인 부분을 고려한 모델과 제어가 요구된다.

2.2 신경망을 이용한 차동제어

전기자동차의 구동력을 제거한 후 외부 구동력에 의해 주행시켜 자동차의 물리적 데이터를 계측하고 이를 분석함으로써 제어기 설계에 이용한다. 즉, 실제 전기자동차의 주행속도와 조향각에 따른 내·외측 바퀴 속도의 비선형적인 부분을 해석하고, 이를 학습이

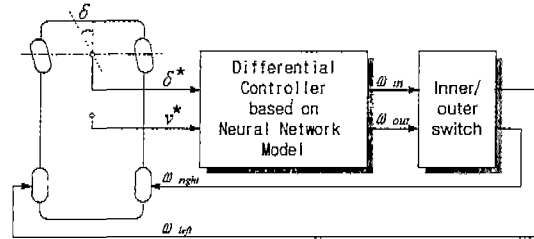


그림 2. 신경망을 이용한 차동 제어기의 구조

가능한 신경망에 적용함으로써 제어기를 설계한다.

그림 2는 신경망을 이용한 차동 제어기의 구조를 나타낸다. 신경망을 이용한 차동 제어기는 전기자동차의 주행속도와 조향각 명령을 입력 변수로, 후륜 내·외측바퀴의 회전속도를 출력 변수로 사용한다. 이때 제어기 내부에 포함된 신경망은 속도 명령값에 따른 내·외측 바퀴 회전속도의 차를 출력한다. 신경망은 실험에 의해 획득한 데이터를 바탕으로 학습된다. 여기에 사용된 학습규칙은 다층 신경망을 학습하는 가장 대표적인 역전파 알고리즘은 사용하였다. 이 알고리즘은 다층 신경망의 결선강도를 결정하기 위해서는 입력패턴과 목적패턴으로 구성되는 학습패턴이 필요하다. 이 입력패턴에 대한 신경망의 출력은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 y_j &= f(\Phi_j) \\
 \Phi_j &= \sum_{i=0}^a w_{ij} h_i \\
 \text{where } j &= 1, 2, \dots, m \\
 \text{where } h_i &= \text{은닉층의 } i\text{번째 신경소자의 출력} \\
 w_{ij}(\text{new}) &= w_{ij}(\text{old}) + \Delta w_{jk} \\
 \text{where } \Delta w_{jk} &= \alpha \delta_k h_j
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

3. 실험 및 학습 데이터 획득

3.1 전기자동차의 실험장치

본 실험에서는 신경망 학습에 사용할 실측 데이터를 획득하기 위하여 전기자동차를 직접 제작하여 실제 도로에서 주행 실험을 하였다. 전기자동차는 2개 유도전동기를 이용한 후륜 좌·우 독립 구동 방식, 2개 독립 구동 인버터 방식으로 설계하였다. 일반적인 유도전동기와 인버터 방식에 의해 설계된 전기자동차에 적용하여 주행하였을 때 적절한 결과를 얻게 되면, 최근 연구되고 있는 전동기 및 구동회로에서는 더욱 우수한 주행결과를 얻을 것으로 예상된다.

그림 3은 실험을 위해 제작한 전기자동차의 전륜

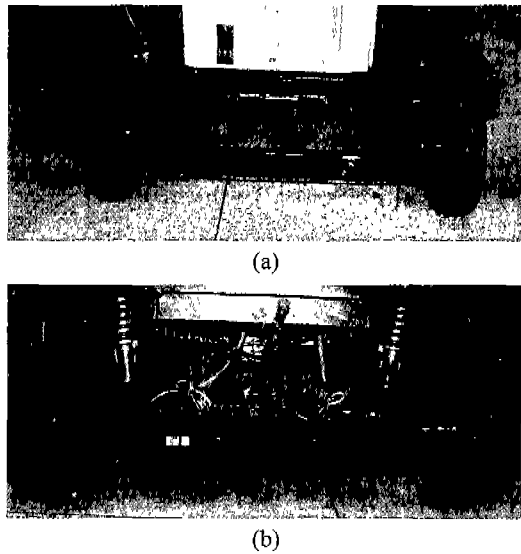


그림 3. 전기자동차의 구조 (a) 전륜 조향부, (b) 후륜구동부

조향부와 후륜 구동부를 나타낸다. 조향장치의 기계적인 구조는 상용 차량의 것과 동일한 구조를 채택하였으나, 구동력은 DC 모터를 이용하였다. 주행을 위한 후륜 구동력은 3상 유도전동기에 의해 구동하였다.

차동 제어 시스템의 신경망을 학습하기 위한 데이터 획득 시스템의 구성은 그림 4와 같다. 컴퓨터에서 설정한 조향 명령은 D/A를 통해 DC 모터에 전달되어 원하는 조향각으로 설정되며, 구동모터의 수평운동축에 설치된 potentiometer에 의해 피드백되는 조향값을 A/D를 이용하여 획득하였다. 주행하는 동안의 내·외측바퀴의 속도를 검출하기 위해 유도전동기에는 360 [pulse/round]의 엔코더가 직결되어 있다. 이 엔코더에

표 1. 전기자동차에 장착된 각종 실험 장치

부 품	사 양
DC motor	12V, 120W
Rotary Encoder	360 Pulse/Rev.
Drive Inverter	AC 220V
Power Inverter	IN : DC 24V, OUT : AC 220V
Geared induction motor	3 Phase, 220V, 200W, 1550 rpm, 60 Hz Gear Ratio : 18 : 1
A/D, D/A, Counter card	12 bit A/D * 1ea 12 bit D/A * 3ea 16 bit Counter * 2ea

서 나오는 펄스는 카운터를 통해 계속하게 된다. 표 1은 전기자동차에 장착된 실험장치의 세부사항을 제시하였다. 실제 주행은 속도 명령을 내리게 되면 D/A를 통해 인버터로 입력이 되어 3상 유도 전동기를 구동하게 된다.

3.2 실측 데이터

전기자동차의 실제 도로를 선회 주행시켜 실측 데이터를 획득하였다. 선회 주행시 차량의 속도와 조향각의 변화에 따른 좌우 바퀴의 회전속도를 실험 데이터 획득 시스템을 통해 측정하였다. 차량 속도의 변화 구간은 0~25[m/sec]를 0~1로 정규화하여 나타내었다. 또한 조향각의 변화 구간은 차량의 조향각도인 0°~20°를 0~1 사이의 값으로 정규화 하였다.

그림 5는 주행 실험을 통해 계속한 실측 데이터를 나타낸다. 속도를 일정하게 명령치를 준 다음 조향각을 점점 증가시켜 획득한 주행 데이터들이다. 그림 5의 (a)는 속도를 0.2 (88 pulse counts / 50 msec)로 고

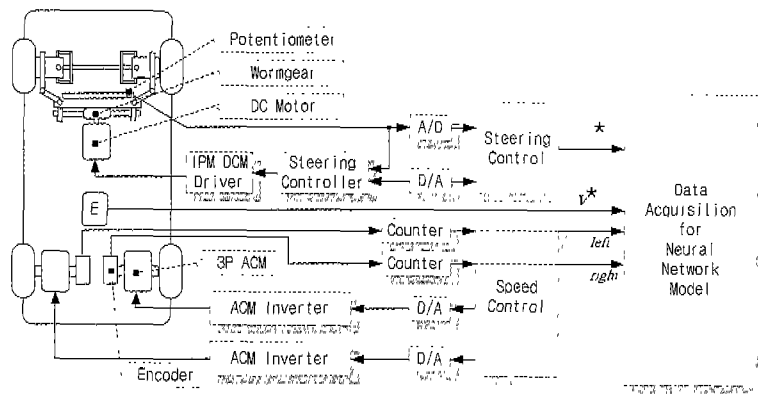


그림 4. 실측 데이터 획득 장치 구성도

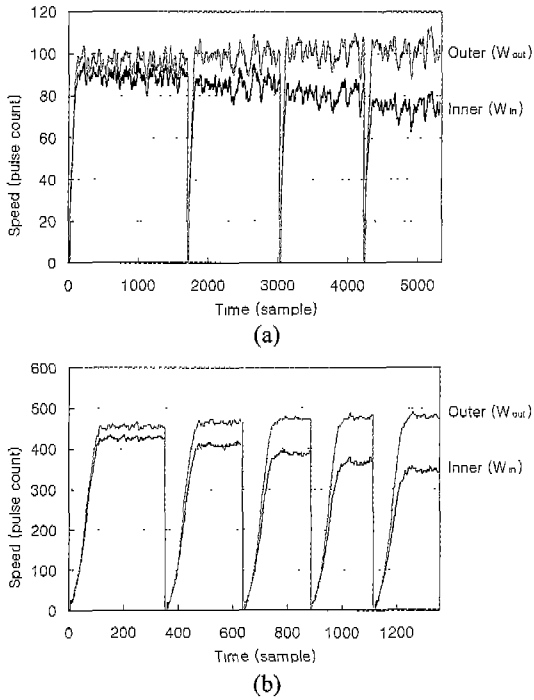


그림 5. 주행실험에 의한 속도 및 조향각의 변화에 따른 내·외측 바퀴의 회전속도 데이터
(a) 속도 0.2 (88 pulse counts) 일 때 조향각의 증가에 따른 변화, (b) 속도 0.8 (440 pulse counts) 일 때 조향각의 증가에 따른 변화

정시킨 후 조향각을 0.2 (4°), 0.4 (8°), 0.6 (12°), 0.8 (16°), 1.0 (20°)로 변화시키면서 획득한 데이터이고, (b)는 속도를 0.8 (440 pulse counts / 50 msec)로 고정시킨 후 조향각을 0.2 (4°)에서 최대각인 1.0 (20°)까지 점점 증가시켜 얻은 데이터이다. 획득데이터를 살펴보면 외측 바퀴의 회전수가 내측 바퀴의 회전수보다 더 큼을 볼 수 있고, 조향각을 점점 증가시킬수록 그 차이가 더 커짐을 알 수 있다.

4. 신경망 모델

4.1 실측 데이터에 의한 특성 분포

주행 실험으로 획득한 실측 데이터에서 각 바퀴의 회전수 그리고 차량의 조향각과 속도와의 관계와 특성을 파악하기 위하여, 그림 6과 같이 내측 바퀴, 외측 바퀴 각각에 대한 데이터를 분석하여 보았다. 그림은 조향각과 차량 속도에 따른 내측 바퀴의 회전수와 외측 바퀴의 회전수를 보여준다.

내측바퀴의 속도차를 보면, 조향각에 따라 비선형적으로 감소함을 알 수 있다. 또한 외측 바퀴의 속도차

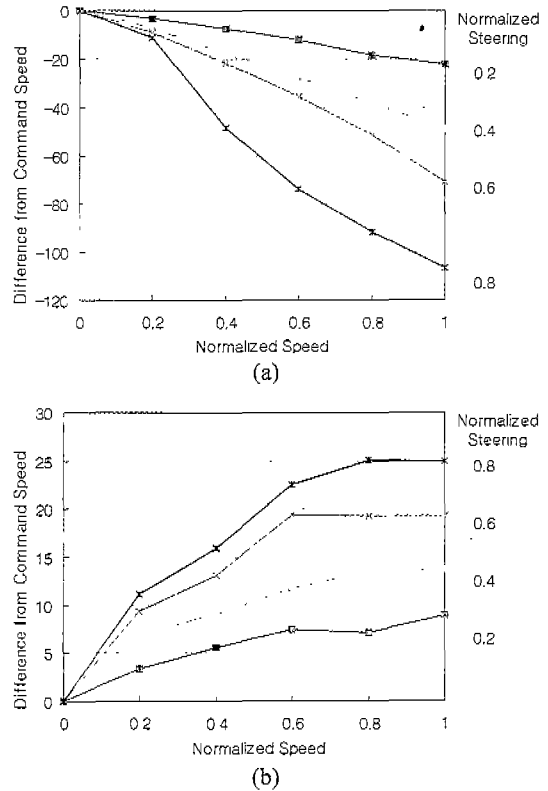


그림 6. 속도명령에 대한 내·외측 바퀴의 회전속도차
(a) 내측 바퀴, (b) 외측 바퀴

를 보면, 조향각이 클수록 속도명령에 따른 속도차가 포화됨을 알 수 있다.

4.2 신경망에 의한 모델 설계

신경망을 이용하여 차동 시스템을 모델링하기 위한 구조는 그림 7과 같다. 제작한 전기자동차와 실험장치에 의하여 획득된 주행속도(v^*)와 조향각(δ^*)에 따른 좌·우측 바퀴의 회전속도(w_{left} , w_{right}) 데이터를 이용하여 차동 시스템 모델을 학습한다. 0에서 1로 정규화 되어 있는 속도명령은 바퀴의 회전속도 단위로 변

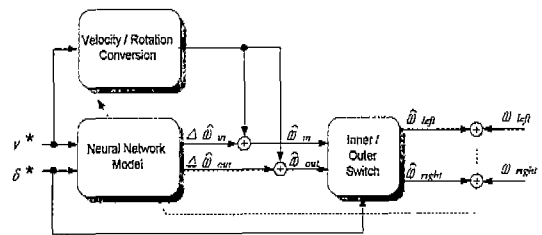


그림 7. 신경망에 의한 차동 시스템 모델의 학습

표 2. 신경망의 파라미터

파라미터	값
입력층 소자	2
은닉층 소자	10
출력층 소자	2
학습율	0.01
반복 학습	1,000

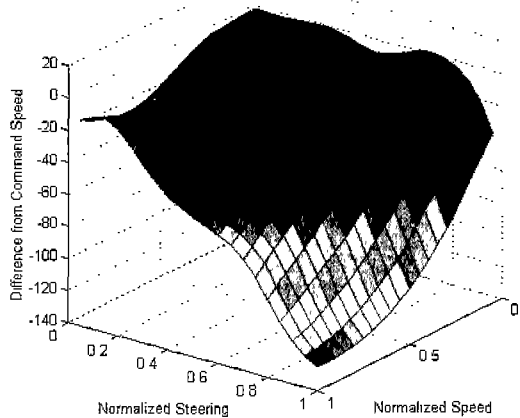
신경망 모델은 은닉층은 포함하고 있는 다층 신경망 구조의 역전파 알고리즘을 이용하였다. 입력층의 소자로 차량의 속도와 조향각을 사용하며, 출력층은 차량의 속도 명령에 대응되는 차량의 회전속도와 내측 바퀴 회전속도와 외측 바퀴 회전속도와 외측 바퀴 회전속도의 차이값을 출력한다. 신경망을 학습할 때 사용한 학습율은 0.01로 하였으며, 학습횟수는 1,000회를 반복하였다. 표 2는 신경망 모델의 파라미터를 보여준다. 은닉층의 유닛수는 여러 번의 반복학습을 거쳐 좋은 결과값을 얻을 수 있는 값으로 정하였다.

4.3 신경망 모델의 특성분포

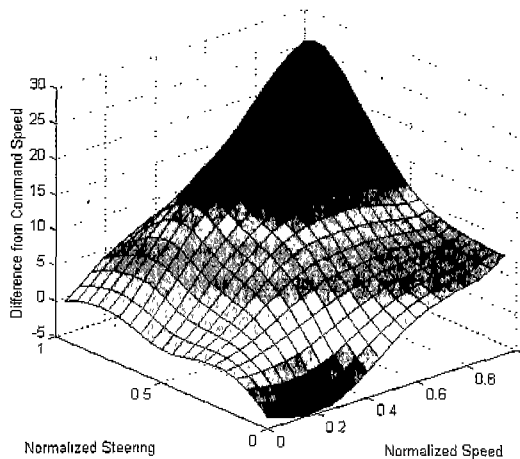
신경망을 이용하여 차동 시스템을 모델링한 결과, 그림 8과 같은 특성분포를 얻을 수 있다. 차량은 곡선도로를 주행할 때 속도 명령값과 비교하면 내측 바퀴는 저속으로, 외측 바퀴는 고속으로 회전하게 된다. 이때 속도 명령값에 의한 내·외측 바퀴의 속도차($\Delta\omega$)는 주행속도와 조향각에 따라 비선형적인 특성을 가진다. 그림 8의 (a)는 학습이 완료된 신경망 모델에 의한 속도와 조향각에 따른 내측 바퀴 속도차의 특성분포를 나타낸다. 조향각이 적을 경우 속도의 증가에 따른 내측 바퀴의 감속되는 회전속도차는 적다. 반면, 조향각이 커질수록 주행속도 증가에 대해 회전속도는 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 외측 바퀴 속도차의 특성인 그림 8의 (b)을 보면, 적은 조향각에서보다 큰 조향각인 경우에 외측바퀴의 회전속도 증가율이 민감함을 보여준다.

5. 결 론

전기자동차는 대부분의 경우 좌·우 바퀴의 구동원이 각각 독립된 형태로 제작되기 때문에 곡선도로를 선회 주행하는 경우에 기어식 차동장치의 작용을 대신할 수 있는 전자식 차동 시스템이 필요하다. 저속의 경우 차량 동력학 모델을 수학적으로 해석해보면 선형적인 관계를 가지고 있지만, 전기자동차를 구동하여 얻은 실측 데이터를 해석한 결과 실제적으로는 비선형적인 특성을 나타내었다. 그리고 이러한 수학적 해석은 차량의 구조나 형태에 따라 수학적 모델과 파라미터가 달라지고 또 그 때마다 해석을 다시 해야만 하는 불편함이 있었다. 따라서 본 연구에서는 차량의 구조나 형태에 따른 제해석의 불편함이 없을 뿐만 아니라, 차량의 구동실험으로 얻은 실측 데이터를 기반으로 주행시 발생하는 비선형적인 특성을 학습할 수 있는 신경망 모델을 제안했다. 이를 실현하기 위하여 제작한 전기자동차로 곡률이 있는 도로를 선회 주행



(a)



(b)

그림 8. 신경망 모델의 특성분포 (a) 내측 바퀴, (b) 외측 바퀴

환되어 신경망 모델의 출력인 내·외측 바퀴 속도차와 합산된다. 조향각에 따라 내·외측 바퀴의 회전속도는 내외 바퀴의 회전속도로 선택되어 출력된다. 출력된 내외측 바퀴의 회전속도와 실측된 회전속도를 비교하여 신경망 모델을 학습한다.

하여 다양한 곡률과 주행 속도에 따른 내측, 외측 바퀴의 회전속도 데이터를 획득했고, 이 획득한 데이터를 해석하여 비선형 특성을 고려한 차동 속도 제어기의 구조를 설계하였다. 이 제어기에 적합한 신경망 기반 모델은 실측 데이터를 학습시킴으로써 구현했다. 제안한 차동 제어기의 신경망 모델은 최근 연구되고 있는 전기자동차용 전동기와 구동장치에 적용하면 우수한 주행특성을 나타낼 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] K. Shibahata, *et al.*, "Developments of an Experimental Four-Wheel-Steering Vehicle", *SAE paper*, 860623, 1986.
- [2] T. Takiguchi, *et al.*, "Improvement of Vehicle Dynamics by Vehicle-Speed-Sensing Four Wheel Steering System", *SAE paper*, 860624, 1986.
- [3] S. Sano, *et al.*, "Four Wheel Steering System with Rear Wheel Steer Angle Controlled as a Function of Steering Wheel Angle", *SAE paper*, 860625, 1986.
- [4] J. C. Whitehead, "Four Wheel Steering System : Maneuverability and High Speed Stabilization", *SAE paper*, 880642, 1989.
- [5] Nagai, M., Ohki, M., "Theoretical Study on Active Four-Wheel-Steering System by Virtual Vehicle Model Following Control", *Int. Jour. of Vehicle Design*, Vol. 10. No. 1, pp. 13-33, 1989.
- [6] U-Sok Chong, Eok Namgoong, Seung-Ki Sul, "Torque Steering Control of 4-Wheel Drive Electric Vehicle", *IEEE Power Electronics in Transportation*, pp. 159-164, 1996.
- [7] C. Doniselli, G. Mastinu, R. Cal, "Traction Control for Front-Wheel Drive Vehicle", *Vehicle System Dynamics*, pp. 87-103, 1993.
- [8] Y. Hori, Y. Toyada and Y. Tsuruoka, "Traction Control of Electric Vehicle: Basic Experimental Results Using the Test EV UOT Electric March", *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 34, No. 5, pp. 1131-1138, 1998.
- [9] Hideo Sado, Shin-ichiro Sakai, Yoichi Hori, "Road Condition Estimation for Traction Control in Electric Vehicle", *Procs. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Vol. 2, pp. 973-978, 1999.
- [10] H. D. Ha, J. W. Park, J. M. Kim, "Development of Traction Control Algorithm for Two Motor Driven Electric Vehicle", *EVS-14*, 1997.
- [11] C. C. Chan, "Axial-Field Electrical Machine Design and Applications", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, pp. 294-300, 1987.
- [12] Caricchi, F., Crescimbin, F., Santini, E., "Axial Flux Electromagnetic Differential Induction Motor", *Seventh International Conference on Electrical Machines and Drives*, pp. 1-5, 1995.
- [13] Profumo, F., Zheng Zhang, Tenconi, A., "Axial Flux Machines Drives: A New Viable Solution for Electric Cars", *Industrial Electronics, Control, and Instrumentation. Procs. of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference on 25th Annual IEEE*, Vol. 1, pp. 34-40, 1996.
- [14] Kawamura, A., Yokoyama, T., Kume, T., "Anti-Directional-Twin-Rotary Motor Drive for Electric Vehicles", *Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1994 IEEE*, Vol. 1, pp. 453-459, 1994.
- [15] Kawamura, A., Hoshi, N., Tae Woong Kim, Yokoyama, T., Kume, T., "Analysis of Anti-Directional-Twin-Rotary Motor Drive Characteristics for Electric Vehicles", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 44, pp. 64-70, 1997.
- [16] Crelerot, O., Bernot, F., Kauffmann, J. M., "Study of An Electrical Differential Motor for Electrical Car", *Sixth International Conference on Electrical Machines and Drives*, pp. 416-420, 1993.
- [17] Kelecyc, P. M., Lorenz, R. D., "Control Methodology for Single Inverter, Parallel Connected Dual Induction Motor Drives for Electric Vehicles", *Power Electronics Specialists Conference, PESC '94 Record, 25th Annual IEEE*, Vol. 2, pp. 987-991, 1994.
- [18] Kelecyc, P. M., Lorenz, R. D., A., "Control Methodology for Single Stator, Dual-Rotor Induction Motor Drives for Electric Vehicles", *Power Electronics Specialists Conference, PESC '95 Record, 26th Annual IEEE*, Vol. 1, pp. 572-578, 1995.



이 주 상 (Ju-Sang Lee)

1996년 : 목포대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사)
1998년 : 전남대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
현재 : 동아대학교 박사과정
관심분야 : 전자식 차동장치, 무인자율주행, 퍼지 및 신경망을 이용한 지능제어



임 영 철 (Young-Cheol Lim)

1975년 : 전남대학교 전기공학과(공학사)
1977년 : 고려대학교 전기공학과(공학석사)
1990년 : 고려대학교 전기공학과(공학박사)

현재 : 전남대학교 전기공학과 교수, 전남대학교 고품질 전자 부품 및 시스템 연구센터 소장
관심분야 : 퍼지, 신경망, 지능 제어계측, 전력전자



유 영 재 (Young-Jae Ryo)

1991년 : 전남대학교 전기공학과(공학사)
1993년 : 전남대학교 전기공학과(공학석사)
1998년 : 전남대학교 전기공학과(공학박사)
현재 : 목포대학교 제어계측공학과 전임강사

관심분야 : 신경망 및 퍼지이론, 지능제어시스템, 이동로봇, 자율주행시스템, 전기자동차 구동시스템