

차량 시뮬레이터 접목을 위한 실시간 인체거동 해석기법

오광석[†] · 손 권* · 최경현**

(2001년 11월 30일 접수, 2002년 2월 25일 심사완료)

Real-Time Analysis of Occupant Motion for Vehicle Simulator

Kwangseok Oh, Kwon Son and Kyunghyun Choi

Key Words: Vehicle Simulator(차량 시뮬레이터), Real-Time Simulation(실시간 시뮬레이션), Occupant Motion(인체거동), Back-Propagation Neural Network(역전파신경회로망)

Abstract

Visual effects are important cues for providing occupants with virtual reality in a vehicle simulator which imitates real driving. The viewpoint of an occupant is sensitively dependent upon the occupant's posture, therefore, the total human body motion must be considered in a graphic simulator. A real-time simulation is required for the dynamic analysis of complex human body motion. This study attempts to apply a neural network to the motion analysis in various driving situations. A full car of medium-sized vehicles was selected and modeled, and then analyzed using ADAMS in such driving conditions as bump-pass and lane-change for acquiring the accelerations of chassis of the vehicle model. A hybrid III 50%ile adult male dummy model was selected and modeled in an ellipsoid model. Multibody system analysis software, MADYMO, was used in the motion analysis of an occupant model in the seated position under the acceleration field of the vehicle model. Acceleration data of the head were collected as inputs to the viewpoint movement. Based on these data, a back-propagation neural network was composed to perform the real-time analysis of occupant motions under specified driving conditions and validated output of the composed neural network with MADYMO result in arbitrary driving scenario.

1. 서 론

차량 시뮬레이터는 모의 운전자에게 실제로 자동차의 운전감을 체험하도록 고안된 가상현실 장비이다. 운전자가 자동차를 운전하는 동안 수행하는 휠, 가속페달과 브레이크 조작 등을 통해 야기되는 차량의 운동특성을 예측하고 그 결과를 운전자에게 피드백하여 운전현실감을 주기 위해서는 데이터의 실시간 처리가 불가피하다.⁽¹⁾ 차량

시뮬레이터는 현실감 제공하는 방법에 따라 동역학 해석 시스템, 운동재현시스템, 그래픽 처리 시스템으로 구성되는 운동베이스 시뮬레이터와 운동재현시스템 없이 그래픽 요소만으로 운동을 모사하는 고정베이스 시뮬레이터가 있다. 특히 고정 시뮬레이터 중 가상현실 장비를 이용한 그래픽 시뮬레이터에서는 탑승자의 시야에 영향을 미치는 중요한 요인으로 탑승자의 거동을 고려해야 한다. 고정베이스 시뮬레이터에서는 현실세계를 모사하기 위한 시각적 요소가 탑승자에게 현실감을 제시에 주는 중요한 수단이 된다.⁽²⁾

일반주행 시 흔히 만날 수 있는 차선변경이나 범프통과는 인체의 움직임을 유발시킨다. 차량 가속도의 갑작스런 증가로 인한 인체의 움직임은 운전자의 시야에 영향을 주어 2차적 시점변화를 일으킨다. 따라서 실제적인 차량 시뮬레이터의

[†] 책임저자, 회원, 부산대학교 기계설계공학과

E-mail : five-ray@dreamwiz.com

TEL : (051)510-3066 FAX : (051)512-2835

* 회원, 부산대학교 기계공학부

** 회원, 제주대학교 생산에너지공학부

구현에는 불가피하게 시점변화를 고려하기 위한 인체거동해석이 필요하다. 그러나 차량 동역학 해석과 함께 복잡한 인체에 대한 동역학 해석은 많은 시간이 요구되므로 차량 시뮬레이터에 적용하기 위해서 실시간 인체거동 해석을 위한 방안이 요구된다. 이러한 실시간 해석 문제를 해결하기 위해, 차량 동역학해석의 경우 동역학 알고리즘의 개선,⁽³⁾ 신경망의 적용⁽⁴⁾ 등 실시간성을 확보하기 위한 시도가 있었다. 신경망 이론을 이용하면 특별한 수학적 모델링이 없이 훈련된 특정 패턴의 입력 데이터에 대하여 빠른 해를 구할 수 있으므로 실시간 확보에 큰 장점이 있다. 신경망은 1940년도에 처음 발표된 이후 다양한 알고리즘의 연구와 더불어 발전되어 오고 있으며 현재 주행 중 실시간 차량의 조향 제어 등 다양한 분야에 응용되고 있다.⁽⁵⁾ 본 연구에서 실시간 차량 동역학해석과는 별도로 다양한 주행상황에 대한 인체거동과 이를 시뮬레이터에 적용하는 방법으로 신경망을 사용하고자 하였다.

상용 동역학 해석 프로그램인 ADAMS를 이용하여 다양한 주행 시뮬레이션을 수행하고 이를 바탕으로 인체거동 해석 프로그램인 MADYMO를 이용하여 인체거동 해석을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 차량모델은 중형 승용차의 전차량 모델을 선정하였으며, 인체모델은 미국인 성인 남자를 기준으로 제작된 Hybrid III 50 퍼센타일 더미 모델을 선정하였다. Hybrid III 더미 모델은 1972년부터 미국 자동차회사 GM에서 개발되어온 인체모델(anthropomorphic test dummy)중 인체와 가장 유사한 모델로 평가받고 있으며 현재 계속적인 수정보완으로 많은 연구에 이용되었다.⁽⁶⁾ 인체 구성요소 중 시야각에 가장 큰 영향을 미치는 머리의 움직임을 파악한 후, 이를 바탕으로 차량의 가속도 입력에 대한 탑승자의 머리의 가속도를 출력으로 하는 역전파 신경망을 구성하였고, 다양한 주행상황에 대한 인체거동을 실시간으로 처리하고자 한다.

2. 차량 모델링 및 해석

본 논문에서는 다양한 주행 시나리오에 대한 운전자의 거동 해석을 위한 가속도를 확보하기 위해 ADAMS를 이용하여 중형 차량에 대한 24개 강체로 이루어진 전차량 모델링 및 해석을 수행하였다.

2.1 차량 모델링

모델링된 차량을 이용하여 다양한 주행 시나리오에 대하여 다양한 시뮬레이션을 통해 각 주행 환경에 따른 차량의 운동정보인 가속도를 획득하였다. 차량 모델은 맥퍼슨 현가장치를 장착한 중형차량이며, ADAMS의 전처리기를 이용하여 모델링을 수행하였다. 차량은 총 24개의 강체로 가

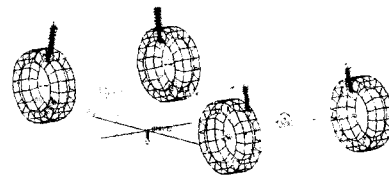


Fig. 1 Full car modeling using ADAMS

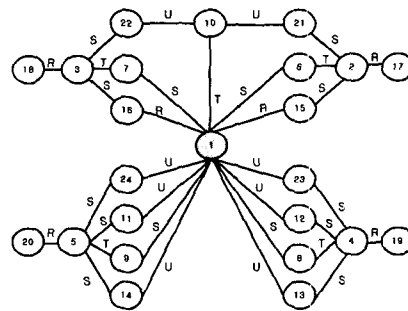


Fig. 2 Multibody structure of car

Table 1 Parts of car model

Body Number	Body Name
1	Chassis
2, 3	Front hub
4, 5	Rear hub
6, 7	Front piston rod
8, 9	Rear piston rod
10	Steering rack
11, 12	Rear front control arm
13, 14	Rear rear control arm
15, 16	Front control arm
17, 18	Front wheel
19, 20	Rear wheel
21, 22	Tie rod
23, 24	Tension bar

정한 물체로 구성되어 있으며, 각 물체들 사이에는 유니버설 조인트(universal joint) 8개, 회전 조인트(revolute joint) 6개, 구면 조인트(spherical joint) 14개, 병진 조인트(translational joint) 5개로 구성되어 있다. 동역학 해석을 위한 차량의 자유도는 15이며, 바퀴에 4개의 회전운동과 4개의 병진운동, 차체의 병진 및 회전운동이 6개, 그리고 차량의 조향을 위한 운동 1개를 포함한다. 현가 장치의 물성치는 힘-변형 관계에 대한 실험 데이터를 기초로 스플라인 보간에 의해 구성함으로써 실제와 유사한 차량의 거동을 나타내고자 하였다. Fig. 1은 모델링된 전차량의 입체 구조도이다. Fig. 2에서 조인트 기호 중 S는 구면 조인트, R은 회전 조인트, T는 병진 조인트, U는 유니버설 조인트를 나타낸다. Table 1은 Fig. 2에서 숫자로 표시된 부품의 명칭을 나타낸다.

2.2 동역학 해석

모델링 된 전차량 모델을 이용하여 ADAMS에서 주행 시뮬레이션을 수행하였다. 차량모델의 좌표계 선정은 차량의 진행방향을 X, 측면방향을 Y, 그리고 위쪽을 Z축으로 정하였다. 주행 시나리오는 주행 속도에 따른 범프 통과와 차선 변경에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

범프통과 시뮬레이션의 경우 일반적 주행속도를 표현하기 위해 차축 방향으로 20, 30, 40, 50, 60 km/h 속도로 주행 시 범프 통과가 수행되도록 시나리오를 구성하였다. 각 시나리오에 따른 정확한 해석을 위하여 차량의 후륜에 회전속도를 제어하여 정지상태에서 원하는 주행속도까지 선형적으로 가속하도록 하였고, 차량이 원하는 속도에 도달한 후 너비 2 m, 높이 0.1 m의 반사인 커브 모양의 범프를 만나도록 도로를 모델링 하였다.

차선변경 시뮬레이션의 경우 범프통과와 마찬가지로 주행속도 별로 시뮬레이션을 수행하였으며, 차량모델이 원하는 주행속도에 도달 후 전륜에 위치한 랙바(rack bar)에 반사인 커브형태의 조향 운동을 주어 차선변경 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 시간은 30초로 동일하게 정하여 처음 10초 동안은 원하는 차량을 안정화시키고 다음 20초 동안 범프통과, 가속 등 적절한 주행 환경을 연출함으로써 해석 시 발생할 수 있는 에러를 최소화 하고자 하였다.

조당 20프레임의 데이터를 MADYMO 해석 및 신경망을 위한 훈련 데이터로 확보하였다. Fig. 3과 4는 35 km/h로 정속주행 중 범프통과시 차량 모델 샤시부의 X축 및 Z축에 대한 선가속도 및

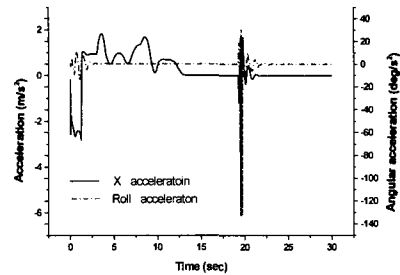


Fig. 3 X-directional acceleration and roll acceleration of vehicle in bump-pass

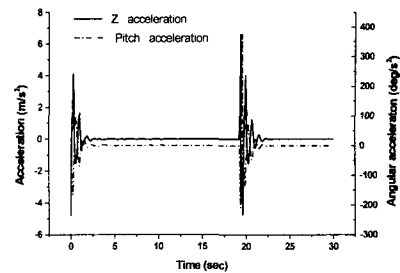


Fig. 4 Z-directional acceleration and pitch acceleration of vehicle in bump-pass

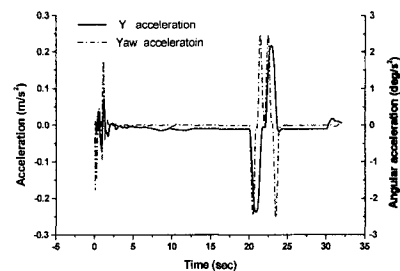


Fig. 5 Y-directional acceleration and yaw acceleration of vehicle in lane-change

각가속도를 나타내며, Fig. 5는 정속주행중 차선 변경시 차량모델 샤시부의 Y축에 대한 선가속도 및 각가속도를 나타낸다.

3. 인체 모델링 및 해석

본 논문에서는 이미 선정된 Hybrid III 50 퍼센타일 남성 더미를 이용하여 MADYMO에서 다양한 주행환경에 대해 인체거동 시뮬레이션을 수행하였다.

3.1 인체 모델

사용된 모델은 TNO에서 수치계산을 위한 수학적 모델로 Hybrid III 더미를 수정 보완한 모델로서 모두 타원체로 구성되어 있다. 모델의 구성은 총 37개의 지체와 병진 조인트 2개, 브래킷 조인트 10개, 유니버설 조인트 8개, 구면 조인트 8개 등 37개의 다양한 조인트로 구성되어 있다.⁽⁷⁾ 각 지체들과 지체와 차량구조물 사이에는 중첩량을 수식화한 접촉력이 정의되며, 각 조인트에는 적절한 조인트 복원력이 정의되어 있다. 이 모델은 실제 Hybrid III 더미를 기준으로 모델링 되었으므로 전방충돌등의 시뮬레이션 결과도 실제 더미와 유사한 경향을 보이고 있다 Fig. 6은 MADYMO에서 제공하는 Hybrid III 50 퍼센타일 남성 더미에 대한 타원 모델이 운전석에 착석해 있는 모습을 나타내고 있다

3.2 거동 해석

차량 주행에 따른 인체의 거동을 시야각에 영향을 미치는 머리의 움직임을 중심으로 해석하였다. MADYMO에서 특정한 주행상황에 대한 해석을 수행하기 위해서는 그 상황에 맞는 특정한 차량의 가속도항을 입력파일 내에 첨가해야 한다.

본 연구에서는 좌석과 직접 결합되어 있는 차량 샤시부의 축 방향 병진 가속도와 회전가속도를 MADYMO의 차량 기준좌표계에 입력함으로 차량의 운동에 대한 인체거동을 파악하고자 하였다. 인체모델의 좌표계도 차량과 동일하게 진행 방향을 X축 방향, 우측방향을 Y축, 그리고 X와 Y 평면에 수직방향을 Z방향으로 정의하였다. 해석 시간은 총 17초로 구성하였고, 처음 7초 동안은 정지상태에서 갑작스런 가속도의 증가로 인해 불안정해진 모델을 안정화시키고, 나머지 10초

동안에 원하는 주행상황을 만나도록 구성하였다 시뮬레이션 결과 Fig. 7과 Fig. 8에서처럼 범프 통과와 경우 인체모델의 머리부의 변위가 주로 X와 Z방향으로 발생하였고, 차선변경의 경우 주로 Z방향에 대하여 각변위가 발생함을 확인하였다. 차량주행 시 인체거동을 해석하기 위한 초기조

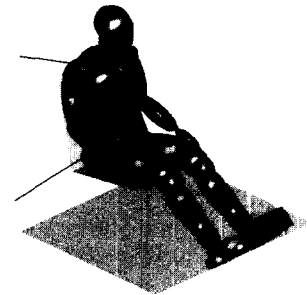


Fig. 6 Seated position of occupant model

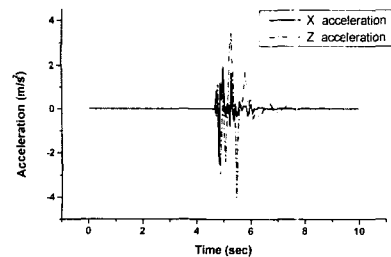


Fig. 7 Acceleration of occupant's head in bump-pass

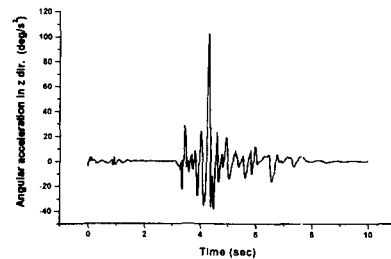


Fig. 8 Angular acceleration of occupant's head in lane-change

건으로 다음을 가정한다. 첫째, 인체모델은 운전 자석에 착석상태로 위치하고, 둘째, 인체모델은 3 점식 안전벨트로 구속되며, 셋째, 출발하기 전 정지상태로 출발하며, 넷째, 인체는 차량 샤시부의 가속도항에 영향을 받는다.

4. 신경망의 구성 및 학습

본 논문에서는 다양한 신경망 알고리즘 중 학습시간이 다소 긴 단점이 있으나 학습이 완료되면 다른 신경망에 비해 빠르고 정확한 결과를 얻을 수 있는 다층 역전파 신경망 알고리즘⁽⁸⁾을 사용하여 신경망을 구성하였다.

4.1 신경망 구성

신경망은 크게 입력층과 출력층 그리고 입력층과 출력층을 연결시켜 주는 은닉층으로 구성된다. 본 논문에서는 실시간 인체거동 해석을 위한 신경망으로 각 주행 시나리오에 따라 차선변경과 범프통과에 대하여 각각 신경망을 구성한 후 하나의 모듈로 통합하여 주행 시나리오간의 간섭을 최소화하는 신경망 모듈을 구성하였다. 운전자는 좌석에 앉게 되며, 좌석은 차량의 샤시부에 고정되어 있다. 따라서 운전자의 시야 변화에 지배적인 역할을 것으로 샤시부의 가속도 성분을 신경망의 입력으로 선정하였다. 이 밖에 차량 샤시부의 운동에 영향을 주는 것으로 알려진 노면에 의한 타이어의 힘 성분과 동력전달장치에 의해 가속되는 외부 힘 등은 이미 차량 샤시부의 가속도에 포함되어 있는 것으로 간주하였다. 범프통과와 차선변경 시나리오를 구분하는 시나리오값 1개항과 시뮬레이션으로 얻은 차량 샤시부의 병진 및 회전가속도성분 6개항을 입력노드로 하고 그 결과를 이용하여 얻은 운전자 모델 머리의 가속도성분 2개항을 출력노드로 하며 2개의 은닉층으로 구성된 신경망을 구성하였다. 역전파 신경망에 쓰이는 활성화 함수는 아래와 같이 구성하였다.

$$f_j(net_{P_j}) = \frac{2}{1 + \exp(-2net_{P_j})} - 1 \quad (1)$$

$$f_j(net_{P_j}) = net_{P_j} \quad (2)$$

$$net_{P_j} = \sum W_{ji} O_{Pi} \quad (3)$$

$$O_{Pj} = f_j(net_{P_j}) \quad (4)$$

여기서 식 (1)은 tangent sigmoid 함수이고, 식 (2)는 pure linear 함수이다. W_{ji} 는 i층과 j층 사이의 가중치 (weighting)를 나타내고, O_{Pj} 는 P번째 패턴의 j번째 출력값을 나타낸다.

학습단계에서 주어진 초기 가중치에 의해 신경망을 거쳐 나온 실제 출력값과 원하는 출력값을 비교하여 오차율이 원하는 범위내로 수렴할 때까지 가중치를 갱신하여 반복적으로 학습시켰다. 차선변경과 범프통과에 대하여 각각 신경망을 구성하였으며, 주행속도를 달리하여 5가지 시나리오를 구성하였다. MADYMO에서 안정화 후 10초 동안 0.005초 간격으로 얻은 시뮬레이션 결과에서 5가지 시나리오에 대하여 10,000개의 입력패턴과 출력패턴을 얻었다.

은닉층의 최적화 문제는 완전한 해법은 없고 다만 실제 신경망 적용사례를 통해 입력노드수의 2배에 2~5정도 더한 개수로 결정하거나 여러 개의 신경망을 구성한 후 실험을 거쳐 결정한다.⁽⁹⁾ 일반적으로 은닉층 노드수가 적으면 학습속도는 빠르나 정확한 학습이 어렵고, 많으면 정확한 학습 가능성이 많으나 학습시간이 기하급수적으로 증가한다. 본 논문에서는 은닉층 노드 수의 범위를 입력노드 수를 고려하여 10개에서 50개 사이로 정하고 실험을 통해 최적의 은닉층 노드수 35개를 선정하였다. 구성된 신경망의 전체적인 개괄은 Fig. 9와 같다.

4.2 신경망 학습

5개의 주행 시나리오의 10,000개의 입력패턴에 대하여 구성된 신경망을 훈련시켰다. 신경망의 수렴여부를 측정하는 방법으로 MSE(mean square error)를 사용하는데 MSE는 SSE(sum square error)를 입력패턴의 수로 나눈 값을 의미한다. SSE와 MSE는 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$SSE = \sum_{k \in \text{patterns}} \sum_{j \in \text{output}} (T_{kj} - O_{kj})^2 \quad (5)$$

$$MSE = SSE/n \quad (6)$$

여기서 T_{kj} 는 신경망에 의해 얻어진 값이고, O_{kj} 는 MADYMO 해석 결과로 얻어진 실제 값이며, n은 입력패턴의 개수를 나타낸다.

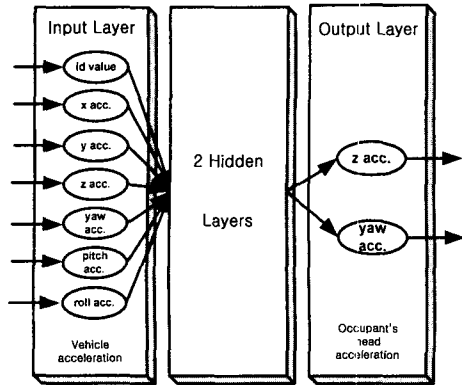


Fig. 9 Outline of neural network

일반적으로 MSE가 5.0 이하이면 비교적 수렴이 잘 되었다고 판단할 수 있다. 본 논문에 사용된 신경망은 MSE가 0.02 정도로 만족할 만한 수렴 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 10은 신경망 학습 반복횟수에 따른 MSE의 값을 나타낸다.

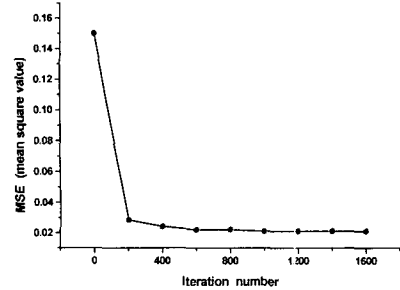


Fig. 10 MSE value with learning iteration

4.3 신경망 모듈의 구성

범프통과와 차선변경에 대하여 각각의 신경망을 구성한 후, 서로 다른 두 개의 신경망을 신경망 모듈을 구성하였다. 신경망 모듈은 임의로 입력되는 주행 시나리오를 적절하게 판단하여 정확한 신경망으로 입력되도록 함으로써 서로 다른 입력패턴이 서로 영향을 미치지 않도록 하였다. 신경망 모듈의 구성은 Fig. 11과 같다.

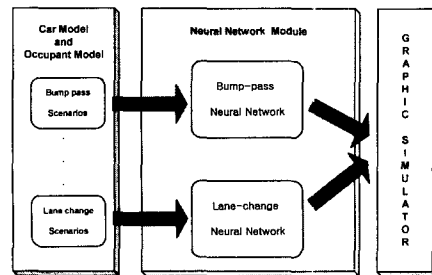


Fig. 11 Block diagram of neural network module

5. 신경망 검증

임의의 정속 주행중 범프통과 및 차선변경 시뮬레이션을 통해 신경망의 학습의 정확도 및 실시간성을 검증하였다. 시뮬레이션은 10초동안 35 km/h로 정속주행 중 범프통과 와 차선변경이 순차적으로 일어나는 주행 시나리오에 대하여 MADYMO에서 해석한 결과와 신경망을 통하여 얻은 결과를 비교하였다. 검증할 주행 시나리오의 구성은 Fig. 12와 같다. 차량 가속도 입력에 대해 출력되는 운전자 머리 가속도 중 범프 통과시에 급격한 변화를 일으키는 Z축 방향 가속도와 차선 변경시 변화가 심한 Z축 방향 각가속도에 대하여 MADYMO 결과와 비교함으로써 신경망의 정확도를 검증하였다. Fig. 13과 14와 같이

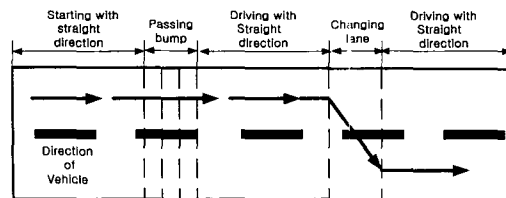


Fig. 12 Validation scenario for neural network

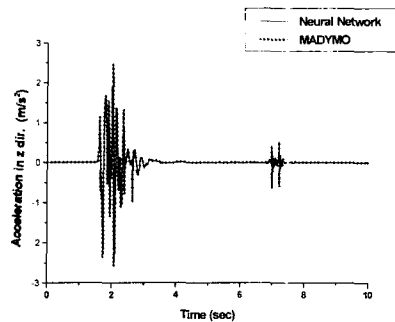


Fig. 13 Z-directional acceleration of occupant's head in scenario

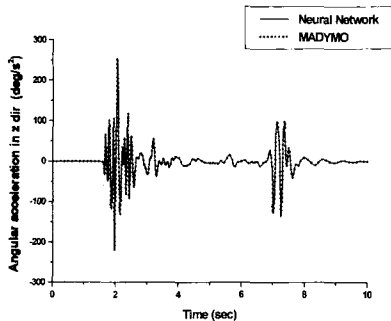


Fig. 14 Y-directional acceleration of occupant's head in scenario

두 경우의 결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 신경망 시뮬레이션 결과 10초 동안 총 2,000개 패턴의 데이터를 얻는데 MADYMO의 경우 약 1시간 정도의 해석시간이 소요되었으나, 신경망의 경우 0.5초미만의 시간이 소요됨을 확인하였고 실시간 확보가능성을 검증하였다.

6. 결론

본 연구에서는 운전자의 시점변화를 고려하는 그래픽 시뮬레이터를 위해 선행되어야 할 인체거동 해석을 실시간으로 처리하기 위하여 신경망을 적용하는 방법을 제안하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 차선변경이나 범프통과와 같은 주행상황에서는 차량의 갑작스런 가속도 증가로 인하여 운전자의 추가적 시점변화가 발생함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

(2) 차선변경과 범프통과에 대하여 각각의 신경망을 구성한 다음, 서로의 결과에 영향을 미치지 않고 상호 독립적으로 신경망을 적용함으로써 복합적인 성능을 가지기 위해서 두 개의 신경망을 하나로 묶어주는 통합모델의 구성방안을 제안하였다.

(3) 본 연구에서 신경망을 훈련시킨 데이터의 범위 내에서 신경망의 결과는 인체거동 해석결과와 비교해서 정확한 결과와 실시간 처리 가능성을 보여주었다.

일반 주행상황 중 인체의 시야에 영향을 미치는 상황은 매우 다양하며, 이러한 다양한 주행상황을 고려하기 위해서는 좀 더 세분화 된 주행환

경에 대한 많은 주행 시뮬레이션이 필요하며, 또한 이를 차량 시뮬레이터에 접목하기 위해서는 좀 더 다양하고 복합적인 신경망을 구성해야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 과학재단 목적기초연구(97-0200-1001-5)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- (1) Allen, R. W. and Rosenthal, T. J., 1994, "Meeting Important Cuing Requirements with Modest, Real-Time, Interactive Driving Simulation," *SAE Paper*, 940228.
- (2) 이승준, 김영삼, 최동찬, 조준희, 이운성, 김정하, 1999, "차량 시스템 개발 및 운전자 인자 연구를 위한 실시간 차량 시뮬레이터의 개발," 한국자동차공학회 논문집, 제7권, 제7호, pp. 250 ~ 257.
- (3) 최규재, 노기환, 유영면, 2001, "다물체 차량모델을 이용한 실시간 동역학 시뮬레이션," 대한기계학회 논문집 A권, 제25권, 제3호, pp. 486 ~ 494.
- (4) Son, K., Choi, K. H. and Eom, S. S., 2001, "Virtual Prototyping Simulation for a Passenger Vehicle," *KSME International Journal*, Vol. 15, No. 4, pp. 448~458.
- (5) Chikamori, S., Kobayashi, M. and Shimizu, Y., 2000, "Structuring Neural Network Driver Model and Analyzing Its Characteristic," *FISITA World Automotive Congress*, F2000I405, Seoul, Korea, Jun. 12~15.
- (6) Foster, J., Kortge, J. and Wolanin, M., 1977, Hybrid III: A Biomechanically-Based Crash Test Dummy," *SAE Paper*, 770938.
- (7) TNO, 1999, *MADYMO V5.4 Database Manual*, pp. 1~20.
- (8) 오창석, 1996, 뉴로컴퓨터, 지성출판사.
- (9) 이승창, 박승권, 이병해, 1997, "신경망을 이용한 근사 해석 모델의 원형 개발," 전산구조공학회 논문집, 제10권, 제2호, pp. 273~281.