

GMDH를 이용한 운전자의 충돌 회피 행동 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Driver's Collision Avoidance Maneuver based on GMDH

이 종 현*, 오 지 용*, 김 구 용*, 김 종 해*[★]

Jong-Hyeon Lee*, Ji-Yong Oh*, Gu-Yong Kim*, Jong-Hae Kim*[★]

Abstract

This paper presents the analysis of the human driving behavior based on the expression as a GMDH technique focusing on the driver's collision avoidance maneuver. The driving data are collected by using the three dimensional driving simulator based on CAVE, which provides stereoscopic immersive vision. A GMDH is also introduced and applied to the measured data in order to build a mathematical model of driving behavior. From the obtained model, it is found that the longitudinal distance between cars(x_1), the longitudinal relative velocity(x_2) and the lateral displacement between cars(x_4) play important roles in the collision avoidance maneuver under the 3D environments.

요 약

본 논문에서는 운전자의 충돌 회피 행동을 집중하여 GMDH 기법을 기초로 한 인간의 운전 행동 분석을 나타내고 있다. 운전 데이터는 3D 시각정보를 제공하는 CAVE 기반의 3차원 운전 시뮬레이터를 사용하여 취득하였다. 운전 행동의 수학적 모델을 구축하기 위해 GMDH를 도입하여 측정된 데이터를 GMDH에 적용하였다. 획득한 모델로부터, 3D 환경 하에서의 충돌 회피 행동에서 전후 차간 거리(x_1), 전후 차간 상대속도 (x_2) 및 좌우 상대위치 (x_4)가 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었다.

Key words : CAVE, Collision Avoidance Maneuver, Driving simulator, Human driving behavior, GMDH

1. 서론

최근 컴퓨터 기술과 통신기술이 발달함에 따라 자동차를 중심으로 한 교통 시스템의 형태가 크게 변하고 있다. 지금까지의 TRC, ABS, VSC 등과 같

은 자동차와 관련된 차량 운전 지원 및 제어 장치는 주로 차량 성능을 개선하기 위해 사용되어 왔다. 그러나 다양한 고객 요구로 인해 모든 고객의 요구 사항을 충족시키기 위한 차량을 설계하고 제조하는 것은 어렵다. 모든 고객의 다양한 요구 사항을 충

*School of Electronic and Electrical Engineering, Daegu Catholic University

★ Corresponding author

E-mail : kjhassk@cu.ac.kr, Tel : +82-53-850-2781

※ Acknowledgment

This work was supported by research grants from Daegu Catholic university in 2018

Manuscript received Sep. 7, 2018; revised Sep. 18, 2018; accepted Sep. 18, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

족시키기 위해서는 개개의 운전자가 가지고 있는 운전 기능이나 상황 판단 능력을 차량 제어 시스템의 설계에 반영할 필요가 있다[1]. 이것은 특히 노인이나 장애인이 운전하는 차량에 있어 매우 중요하다. 개개의 운전자의 운전기능이나 상황판단 능력을 실제 차량 시스템에 반영시키기 위해서는 운전자의 다양한 운전 능력을 계측할 필요가 있다. 실제 차량 환경에서 운전자의 주행 능력을 측정 하는 경우 두 가지 중요한 문제가 발생한다. 첫째 운전자로부터 또는 운전자에 대한 정보를 수집하기 위해서는 많은 센서가 필요하다는 문제점과 둘째 운전자는 충돌 회피 기술을 습득하기 위해 다른 차량과의 충돌과 같은 위험한 상황을 직면할 수 있다는 문제점이다. 이러한 문제점들을 해결 할 수 있는 유일한 방법이 드라이빙 시뮬레이터를 개발하는 것이다. 본 논문에서는 운전자의 시선에 대해 그 시야에 대응할 수 있도록 시각 정보를 표시 할 수 있는 3차원 가상장치인 CAVE를 이용한 드라이빙 시뮬레이터를 개발하였다. 개발한 드라이빙 시뮬레이터를 이용하여 전방차가 갑자기 정지한 순간 운전자가 전방차량과의 충돌을 회피하는 운전자의 충돌 회피 능력을 3차원 가상주행 환경 하에서 운전자의 데이터를 정량적으로 측정하여, 충돌 회피 거동에서 측정된 데이터를 이용하여 충돌 회피 행동을 모델링한다. 충돌 회피 행동 모델링에 있어서 다음의 두가지가 중요한 문제점들이 반드시 해결되어야 한다. 첫째 운전자의 운전 행동에 대한 수학적 모델링과 둘째 운전자가 필요로 하는 시각 정보를 특정 하는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, GMDH로 불리는 자기 조직형 다항식 표현에 기초로 하는 모델화 기법을 적용하여, 운전자의 운전기능에 대한 수학적 모델 구축과 운전자가 운전 행동에 대한 필요로 하는 시각 정보가 무엇인지 규명한다. 또한 본 논문에서 제안한 충돌 회피 행동에서 다수의 물리적 변수 중 어떤 물리적 변수가 충돌 회피 행동에 기여도가 높은지를 분석한다.

II. 본론

1. CAVE System 구조

그림 1 (a)(b)는 본 논문에서 구축한 CAVE 시스템을 이용한 드라이빙 시뮬레이터의 구조와 실제 CAVE System을 나타내고 있다. 개발한 드라이빙

시뮬레이터는 3차원시각정보를 제시하는 CAVE를 표시 부분에 이용하고 있으며, 표시부 제어는 ONYX2에서 수행하고 있다. 표시용 프로그램 개발은 CAVE Library 및 Performer을 이용하였다. 또한 CAVE 내에 실제 핸들, 액셀러레이터 및 브레이크를 가진 Cockpit 환경을 구축하였다. 핸들, 액셀러레이터 및 브레이크의 각 조작량에 대한 정보는 USB를 통해 PC로 전송되며 PC내에 각각의 조작량과 Vehicle Dynamics를 Vehicle Driving Simulation Program인 Carsim을 이용하여 차량 위치 및 자세를 계산한다. 계산결과는 TCP/IP를 통해 ONYX2에 전송되며 전송된 정보를 이용하여 3차원 시각정보가 제시된다.

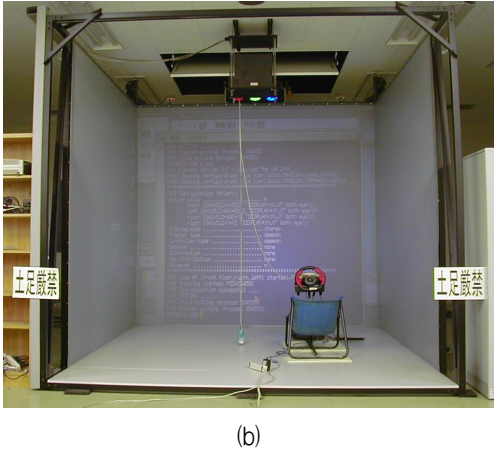
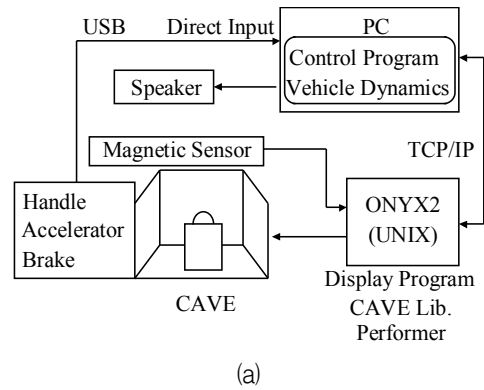


Fig. 1. Development of of DS : (a) Configuration of DS, (b) Real CAVE system.

그림 1. 드라이빙 시뮬레이터 개발 : (a) 드라이빙 시뮬레이터 구조, (b) 실제 CAVE 시스템

2. 실험 방법

가. 주행 환경 및 운전 조건

본 논문에서는 전방차량이 갑자기 정지하는 순간에 운전자의 충돌 회피 행동을 한정하여 실험 환경과 운전 조건을 설정하였다. 또한 충돌 회피 행동은 아래의 두 가지 경우를 설정하여 실험을 수행하였다.

Case 1) 전방차를 회피 할 때, 전방차량과 운전 자 차량간의 차간 거리가 충분하다.

Case 2) 전방차를 회피 할 때, 전방차량과 운전 자 차량간의 차간 거리가 충분하지 않 다. 이 경우, 운전자는 회피 행동을 신속 하게 수행해야 한다.

운전자의 충돌 회피 행동을 모델링하기 위해 운 전자의 지각정보(입력)로써는 자동차의

- ① 전후 차간 거리[x_1], ② 전후 상대 속도[x_2]
- ③ 전후 가속도[x_3], ④ 좌우 상대 위치[x_4]
- ⑤ 좌우 상대 속도[x_5], ⑥ 좌우 가속도[x_6]
- ⑦ Yaw angle[x_7], ⑧ Yaw rate[x_8]
- ⑨ Yaw 가속도[x_9]

을 계측하며, 운전자의 조작량(출력)으로써는

- ① 핸들 조작량[x_{10}], ② 브레이크 조작량[x_{11}]
- 을 계측했다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 충돌 회피 행동 모 델링을 위해 사용된 입력 변수 중, 전후 차간 거리 [x_1], 좌우 상대 위치[x_4], Yaw angle[x_7]에 대한 정의를 나타내고 있다.

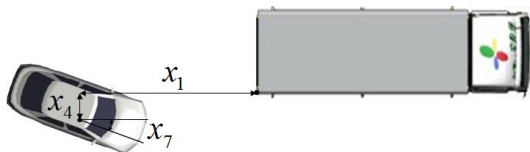


Fig. 2. Definition of physical variables at the modelling of collision avoidance maneuver.

그림 2. 충돌 회피 행동 모델링에서 물리적 변수 정의

그림 3은 본 논문의 실험을 위해 개발한 3차원 가상 환경 하에서의 주행 환경을 나타내고 있다. 그림 3에서 알 수 있듯이, 주택가의 신호 교차점을 포함한 직선도로로 4개의 교차로와 T형 교차점이 있다. 주행도로의 총 주행길이 940[m], 도로 폭은 7[m], 보행자 전용도로 폭은 1.5[m]이다. 도로의 마찰 계수는 0.8로 설정하였다.

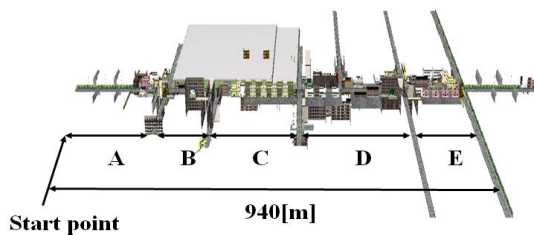


Fig. 3. 3D road virtual environment for experiments.

그림 3. 실험을 위한 3D 도로 가상 환경

그림 4는 출발 위치 주변의 도로 환경을 나타내 고 있다. 그림 4에서 차량은 좌측에서 우측으로 이

동한다. 940[m] 지점 이후, 시작점과 같은 도로 환 경이 다시 나타난다. 따라서 운전자는 이 가상 환 경이 끝이 없는 직선도로라고 생각한다. 이 가상환 경에서는 두 대의 차량만 존재한다. 한 대의 차량 은 피험자가 운전하는 세단형 자동차이며, 또 다른 대의 차량은 피험자 앞에서 달리고 있는 큰 트럭이며 큰 트럭은 Operator에 의해서 조종된다. 운 전 시뮬레이터에서 사용한 피험자 차량은 ABS가 장착되어 있는 3000[cc] 엔진을 가지는 대형 승용 차를 선정하였다. 피험자 앞의 트럭은 50[km/h]의 정속도로 주행하고 있으며, 트럭의 최대 감속은 7[m/s²]으로 되어 있다.



Fig. 4. 3D road virtual environment image at start point.

그림 4. 출발 위치에서의 3차원 도로 가상 환경 이미지

나. 실험 순서

피험자 차량은 전방 트럭에 일정한 거리(Case 1 : 26[m], Case 2 : 19[m])를 유지한 채 운전 한다. Operator는 각 교차로에서 우측에 빨간색 또는 녹색 주차 차량을 세운다. 피험자는 각 교차로에서 오른쪽을 본 다음 피험자는 주차 차량 색상을 응답 한다. 피험자는 무작위로 선택된 교차로에서 오른 쪽을 볼 때 전방 차량은 최대 감속으로 정지한다. 그런 다음 피험자의 충돌 회피 행동을 측정한다. 이런 실험 절차를 채택함으로써 반복 실험을 통한 피험자의 “예측 효과”를 배제할 수 있다. 각 경우에 대해 피험자는 3회 수행 한다. 본 실험을 수행하기 전에 모든 피험자들은 운전 시뮬레이터에 적응하 기 위해 사전에 정지된 트럭을 피하는 연습을 했 다. 그런 다음 총 6명의 각 운전자가 모든 실험을 완료하는데 총 10분이 소요된다.

3. 실험 결과 및 GMDH에 의한 운전 행동의 모델화

2장에서 기술한 주행 환경, 운전 조건 및 실험 순 서에 따라 6명의 피험자에게 전방 차량이 갑자기 정지하는 순간 운전자가 전방 차량과의 충돌을 회

피하는 운전자 충돌 회피 행동을 한정하여 3차원 시각 정보의 가상환경 하에서 실험을 통해 운전자의 충돌 회피 행동을 측정 및 분석할 필요가 있다. 그림 5는 3차원 시각 정보 가상환경 하에서 Case 1의 차간거리 26[m], B 교차점에서 충돌 회피 동작의 E3 피험자 3번째 주행 데이터를 나타내고 있다.

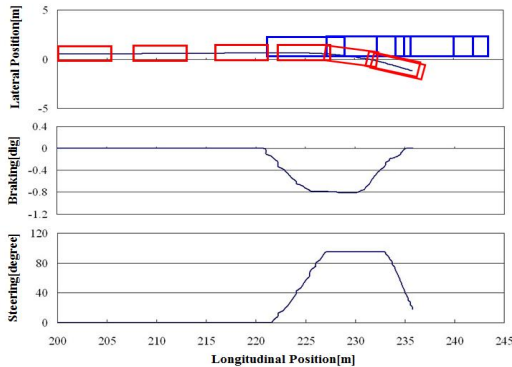


Fig. 5. Profile of the collision avoidance maneuver with sufficient distance(Case 1 : 26[m]).

그림 5. 충분한 차간거리를 가지는 충돌 회피 행동 거동 (Case 1 : 26[m])

그림 5에서 충돌 회피 행동 개시 지점에서 전후 상대 속도와 차간 시간은 각각 8.598[m/s]와 1.34[s]이며, 이러한 충돌 회피 행동을 보다 상세하게 해석하기 위해서 GMDH[2]를 적용하여 충돌 회피 행동을 모델링한다. 그림 6은 본 연구에서 충돌 회피 행동을 모델링하기 위해 사용한 GMDH를 나타내고 있다. 충돌 회피 행동을 모델링하기 위해 사용된 주행 데이터는 6명의 피험자 중 3번째 피험자의 3번째 데이터를 사용했다. GMDH에 의한 모델은 3 단계까지 진화하였으며, 최종적으로 입력 변수에 대해 8차 다항식으로 표현되었다. 그림 7은 그림 5의 충돌 회피 행동 거동에서 핸들 및 브레이크 조작량에 대한 GMDH결과를 나타내고 있다.

$$\hat{y} = a_1x_2^6x_4^5 + a_2x_2^5x_4^5 + a_3x_2^6x_4^4 + a_4x_1^5x_7^6 + \dots \quad (1)$$

그림 7에서 알 수 있듯이, GMDH에 의해 추정된 조작량과 실제 조작량이 거의 일치 하고 있으며, GMDH를 이용한 모델화의 유효성을 검증했다. GMDH모델링에 의한 8차 다항식에 포함된 계수들의 절대치가 최대항부터 1/100이상인 항에 포함된 입력 변수를 분석한 결과, 전후 차간 거리 $[x_1]$, 전후 상대 속도 $[x_2]$ 및 좌우 상대 위치 $[x_4]$ 가 충돌 회피 행동 모델링에 있어 지배적인 입력 정보임을 알 수 있었다.

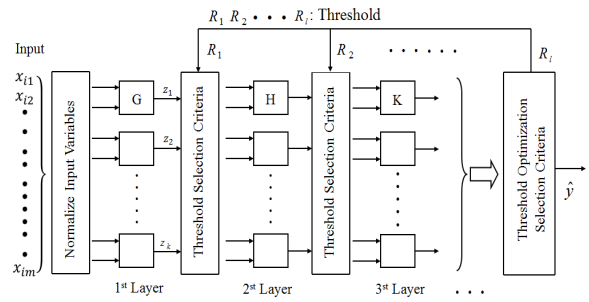


Fig. 6. Block diagram of GMDH.

그림 6. GMDH 블록도

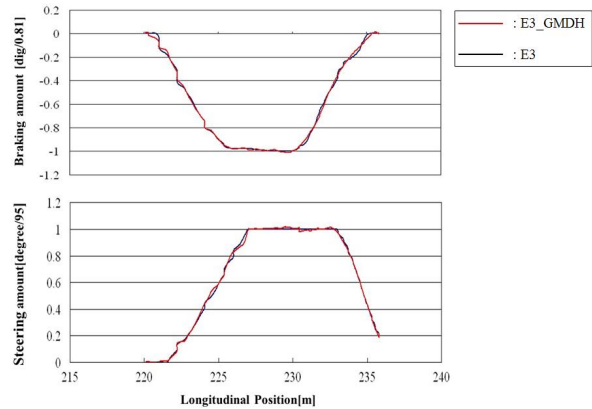


Fig. 7. Comparison of actual steering(braking) amounts and estimated steering(braking) amounts.

그림 7. 추정 핸들(브레이크) 조작량과 실제 핸들(브레이크)조작량 비교

III. 결론

본 논문은 CAVE를 이용하여 3차원 시각정보가 가능한 DS를 개발하고 전방 차량이 갑자기 정지하는 순간 전방 차량과의 충돌을 회피하는 주행환경 하에서 실험을 수행 했다. GMDH를 이용한 충돌 회피 행동 동정 결과, 추정 조작량과 실제 조작량이 거의 일치함을 알 수 있었으며, 또한 전후 차간 거리 $[x_1]$, 전후 상대 속도 $[x_2]$ 및 좌우 상대 위치 $[x_4]$ 가 충돌 회피 행동에 있어 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있었다.

References

[1] A. Kawashima et al., "Modeling on the Mental Stress and Automobile Driving," *SICE*, vol.38, no.1, pp.26-24, 2002. DOI:10.9746/sicetr1965.38.26
 [2] J. H. Bae, et al., "Nonlinear Identification of Electronic Brake Pedal Behavior Using Hybrid GMDH and GA in BBWS," *JEET*, vol.12, no.3, pp,1292-1298, 2017. DOI:10.5370/JEET.2017.12.3.1292