

# 무인자동차의 안정성 기반 자율주행 알고리즘 및 3차원 그래픽 시뮬레이션 연구

## A Study on algorithm for autonomous navigation of unmanned ground vehicle and its 3D graphical simulation

조영완\*

Youngwan Cho\*

### 요약

본 논문에서는 무인자동차의 자율주행을 위한 알고리즘을 제시하고 3차원 그래픽 시뮬레이션을 통하여 안정성 기반 자율주행 알고리즘의 성능을 검증하고자 한다. 제안된 자율주행 알고리즘은 주변 인접 차량의 위치, 속도, 가속도, 주행 차로 정보를 바탕으로 자율주행 차량과의 충돌가능성 및 충돌예측시간을 계산하여 최적의 안정 주로를 선택하고 이러한 주행 차로에 대한 주행 궤적을 생성하여 추종토록 함으로써 자율주행이 이루어지도록 한다. 본 논문에서는 제안된 자율주행 알고리즘을 검증하기 위하여 3차원 그래픽 시뮬레이션 환경을 구축하였으며 다차로, 다차량 주행 환경에서 몇 가지 가상 도로 환경을 구축하여 시뮬레이션 하였고 자율주행 차량의 주행 궤적을 인접 주행차량의 주행 궤적과 비교 확인함으로써 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 시뮬레이션 결과 제시된 안정성 기반 자율주행 알고리즘은 다차로, 다차량 주행 환경에서 주변 차량과 충돌 없이 안정적인 주행 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있었다.

**Key words :** UGV(unmanned ground vehicle), autonomous navigation, vehicle to vehicle, 3D graphic simulation

### 1. 서론

심각한 교통 문제를 완화하기 위하여 정부는 첨단기술을 활용하여 기존의 교통시설에 대한 이용효율을 극대화할 수 있는 지능형교통시스템(ITS : Intelligent Transport Systems)구축사업을 1990년대 초부터 추진하여 왔다. 지능형 교통시스템의 핵심요소기술의 한 분야인 도로와 차량간, 차량과 차량간 상호정보교환을 통한 자율주행 기술 및 인터페이스 기술의 연구를 통하여 자율주행기술에 대한 요구가 증가하고 있다.[6] 자율주행 알고리즘은 주변 정보를 정확하게 인지하여 안전한 주행 경로를 계획하고 추종을 함으로써 자

율주행이 이루어지도록 하는 것으로 최근 퍼지이론, 유전자 알고리즘, 신경망 등의 기법을 이용한 연구가 다양하게 제시되고 있다.[8][9][10]

최근 미 국방부 산하기관인 방위기술연구청(DARPA)이 개최한 DARPA Grand Challenge 대회에서 최첨단 장비가 장착된 무인 차량이 성공적인 자율 주행을 하는 등 무인차량의 자율주행 기술에 대한 연구는 상당히 많은 발전을 이루어 오고 있다.[7] 무인자율주행 기술은 상용화되기에는 현실적으로 아직 많은 과제가 남아있으나 기존의 연구 결과를 바탕으로 차선 유지 보조 시스템(Lane Keeping Support System)[4], 전자동주차시스템(SPAS)[3], 전방 충돌 방지 시스템 등 자동차의 운전자 안전 보조 장치로서 상용화되고 있는 단계에 이르고 있다. 차선유지 보조 시스템은 능동 조향 제어장치로써 운전자의 미숙함 및 부주의를 포함한 운전 중의 위험 요소를 실시간으로 검출하여 예상되는 교통사고를 사전에 경보 또는 회피하도록 하는 장치이다. 전자동주차 시스템은 차량에 장착된 센서를 이용하여 주차 공간을 탐색하고 주차를 위한 경로 생성 및 추종

\* 서경대학교 컴퓨터공학과 (Department of Computer Engineering Seokyong University)

\* 교신저자(Corresponding Author)

接受日:2010年 12月 2日, 修正完了日: 2010年 12月 30日

하는 장치이다.

본 논문에서는 주행 안정성 기반 자율주행 알고리즘 및 이의 검증에 위한 3차원 그래픽 환경 시뮬레이션 모델을 제안하고자 한다. 제안하고자 하는 알고리즘은 자율주행 차량과 인접 차량과의 차량대차량(V2V) 통신을 이용하여 인접 차량의 위치, 속도, 가속도, 주행 차로 정보를 바탕으로 자율주행 차량과의 충돌 가능성 및 충돌예측시간을 계산하여 최적의 안전 차로를 선택하고 주행 궤적을 생성하여 추종토록 하는 자율주행 알고리즘이다. 제시한 주행 알고리즘은 실제 차량을 통하여 검증하기에는 많은 어려움이 있으므로 3차원 그래픽 기반 시뮬레이션을 통하여 알고리즘의 성능을 검증하고자 한다. 그래픽 기반 시뮬레이션은 무인자동차의 자율 주행 환경으로서 VRML(Virtual Reality Modeling Language)을 이용하여 구현된 도로 및 주변 주행 차량의 가상현실 모델에서 자율 주행 차량의 동역학적 행태를 시각적으로 시뮬레이션 하는 것이다. 본 논문에서는 자율주행 알고리즘의 제안이 주요 목적이므로 차량의 동역학 모델로 단순화된 후륜 구동 차량의 기구학 모델을 사용하고 다차로 다차량 환경에서 인접 차량들의 주행 궤적을 생성하여 가상의 교통 환경을 구축하여 자율주행 차량의 시간에 따른 주행 궤적, 인접 차량과의 거리, 인접 차량과의 충돌예측시간, 위치를 확인함으로써 제안하는 자율주행 알고리즘의 안정성을 검증하고자 한다.

## II. 주행 안정성 기반 자율주행 알고리즘

### 2.1 충돌예측시간

본 논문에서 제시하고자 하는 자율주행 알고리즘은 인접 차량의 위치, 속도, 가속도, 주행 차로 정보를 이용하여 자율주행 차량과의 충돌 가능성 및 충돌예측시간을 계산하여 최적의 안전 주로를 선택하고 이러한 주행 차로에 대한 주행 궤적을 생성하여 추종하도록 함으로써 자율주행이 이루어지게 한다. 본 알고리즘에서 사용하는 인접 차량의 정보들은 V2V 통신[1]과 GPS 시스템의 성능을 근거로 정확한 데이터를 획득할 수 있다고 가정하였다. 본 논문에서 제안하는 자율 주행 알고리즘은 다차로, 다차량 주행 환경에서 자율 주행 차량이 인접한 주행 차량과 충돌 없이 주행할 수 있도록 안전한 주로를 선택하여 주행하도록 하는 것이 목적이므로 자율 주행 차량이 인접한 주행 차량과 충돌을 회피하기 위해서는 충돌의 가능성을 평가할 수 있는 지표가 필요한데 이를 위해 본 논문에서는 전후방 차량과 최악의 경우에 충돌할 경우 충돌까지 경과하는 시간을 그 지표로 삼았다.

자율 주행 차량이 인접한 전후방 차량과 충돌하는 경우는 전방에 있는 차량과의 충돌과 후방에 있는 차량과 충돌하는 두 가지 경우로 나누어 생각해 볼 수 있다. 충돌 예측 시간 에서 주행 속도를 유지하고 있는 자율 주행 차량과 전방 차량과의

충돌을 예측하는 경우, 충돌 예상 시간이 가장 짧은 최악의 경우 아래 식 (1)과 같이 충돌까지 경과되는 시간을 예측할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{if } \frac{v(t)\{v(t)-2(v(t)-v_c(t))\}}{a_{\max}} - 2(x(t)-x_c(t)) > 0 \\ & \text{then } T_f^i = \frac{(v(t)-v_c(t)) + \sqrt{(v(t)-v_c(t))^2 + 2a_{\max}(x(t)-x_c(t))}}{a_{\max}} \\ & \text{else } T_f^i = \frac{1}{v_c(t)} \left\{ (x(t)-x_c(t)) + \frac{v(t)^2}{2a_{\max}} \right\} \quad i = c, ol, or \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $v(t)$ 와  $v_c(t)$ ,  $x(t)$ 와  $x_c(t)$ 는 각각 전방 차량과 자율주행 차량의 현재 속도 및 위치를 나타내고  $a$ 는 전방 차량의 최고 가감속 능력을 나타내며  $T$ 는 전방 차량과의 충돌 예측 시간을 나타낸다. 마찬가지로 자율 주행 차량이 후방 주행 차량의 가속에 의해 충돌이 예상되는 경우에 충돌까지의 예측 시간은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{if } \frac{(v_{\max} - v(t))(v_{\max} - v(t)) - 2(v_c(t) - v(t))}{a_{\max}} - 2(x_c(t) - x(t)) > 0 \\ & \text{then } T_b^i = \frac{(v_c(t) - v(t)) + \sqrt{(v_c(t) - v(t))^2 + 2a_{\max}(x_c(t) - x(t))}}{a_{\max}} \\ & \text{else } T_b^i = \frac{(x(t) - x_c(t)) - \frac{(v_{\max} - v(t))^2}{2a_{\max}}}{v_c(t) - v_{\max}} \quad i = c, ol, or \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $v(t)$ ,  $x(t)$ ,  $v$  와  $a$ 는 각각 후방 차량의 현재 속도, 위치, 최고 속도 및 가속도를 나타내고,  $v_{\max}$ 는 후방 차량과의 충돌 예측 시간을 나타낸다.

### 2.2 자율주행 알고리즘

그림 1은 충돌예측시간과 인접 차량 정보를 이용하여 제안한 안정성 기반 자율주행 알고리즘을 나타낸다. 자율주행 차량은 인접한 주변 차량의 위치, 속도, 차로 정보를 바탕으로 충돌예측시간을 계산하여 인접 차량의 거리가 안전한 거리를 유지하는지를 판단하게 된다. 안전한 거리를 유지하지 못한 경우 충돌예측시간을 이용하여 최적의 안전 차로를 선택하도록 하고 안전한 거리를 유지한 경우에는 계산된 인접 주변 차량과의 충돌예측시간을 이용하여 현재 차로의 안정성을 판단하고 충돌 위험이 있는 경우 충돌예측시간을 통하여 최적의 안전 차로를 선택한다. 본 논문에서는 자율주행 차량과 인접 차량과의 거리의 안정성을 판단하는 최소안전거리를 설정하였고 인접 차량과의 충돌 안정성을 판단하는 최소충돌예측시간을 설정하여 사용하였다.

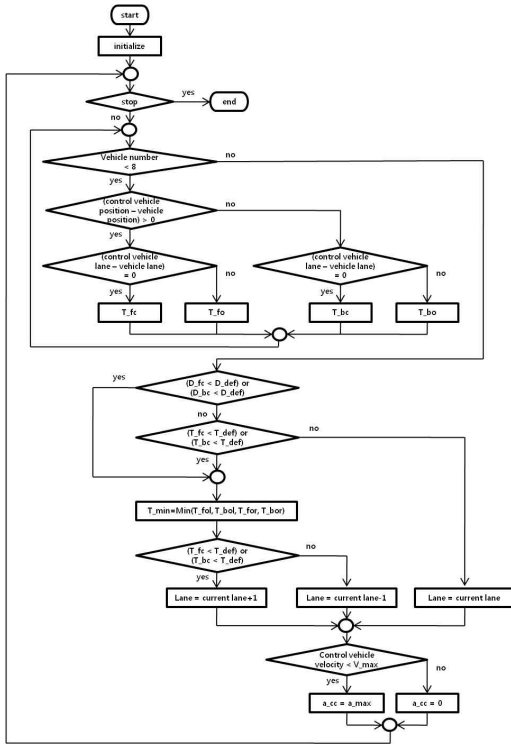


Fig. 1. 자율주행 알고리즘 흐름도  
그림 1. Flow chart of Autonomous navigation algorithm

### III. 3차원 그래픽 환경 및 주행 시뮬레이션 모델링

#### 3.1 차량 및 도로 환경 모델링

본 논문에서는 제안하는 주행 알고리즘의 성능 확인을 위하여 3차원 그래픽 환경에서 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 위해 도로 환경 및 주변 차량 등 자율 주행 차량의 주행 환경을 VRML (Virtual Reality Modeling Language)을 이용하여 Cosmo Worlds 2.0에서 가상 환경으로 모델링하여 나타내었다. 주행 환경은 다차로 다차량 환경으로 구현하였고 도로 폭 3.6미터, 차선 폭 0.15미터의 3차로의 도로를 1,000미터로 길이로 구현하였으며 이 도로에 자율주행 차량 1대와 인접 차량 7대를 배치하여 가상 도로 환경을 모델링 하였다. 그림2는 가상현실로 모델링된 주행 환경을 나타낸다.

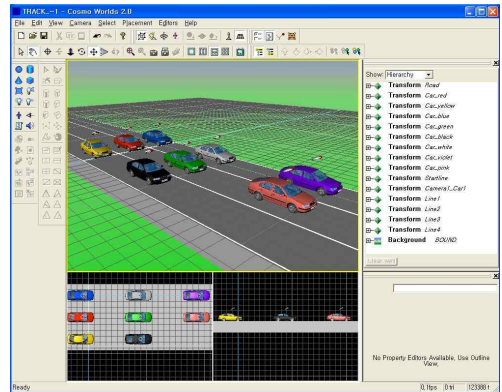


Fig. 2. 도로 환경 및 주변 차량의 VRML 모델링  
그림 2. VRML modeling of simulated road environment and vehicles

#### 3.2 자율 주행 차량의 궤적 추종 제어

본 논문에서 제안하는 자율 주행 알고리즘은 충돌 및 충돌의 측면에서 안전한 최적의 경로 선택하고 선택된 경로에 대한 궤적 추종 제어에 바탕을 두고 있으므로 자율 주행 차량의 궤적 추종 제어에 대해 논하기로 한다. 자율 주행 차량의 궤적 제어를 설계하기 위한 기구학 모델로서 본 논문에서는 단순화된 후륜 구동 차량의 모델을 사용한다. 차량의 기구학 모델에서 운동은 바퀴와 지면 사이의 미끄러짐 없이 순수하게 바퀴 회전에 의해서만 운동이 발생한다는 논홀로노믹(Nonholonomic) 제약 조건에 의하여 그림 3의 차량 모델의 운동특성을 유도하여 후륜 구동 차량의 기구학 모델을 표현한다.

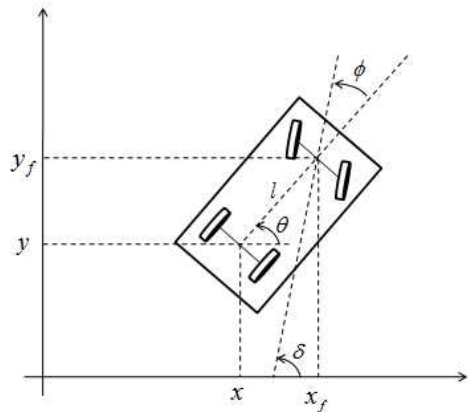


Fig. 3. 차량의 기준 좌표계  
그림 3. Generalized coordinates of a car-like vehicle

식 (3)은 그림 3의 차량 모델로부터 얻어진 후륜 구동 차량의 기구학 모델이다.[2] 여기서  $q = (x, y, \theta, \Phi)$ 의  $x, y$ 는 후륜의 위치를 나타내고  $\theta$ 는 x 축에 대한 차체의 방향을 나타내며  $\Phi$ 는 조향각을 나타낸다. 또한  $v_1$ 과  $v_2$ 는 각각 주행과 조향 속도이고 조향각은  $\Phi < \pm \pi/2$ 범위이다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\Phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \\ \tan\phi/l \\ 0 \end{bmatrix} v_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} v_2 \quad (3)$$

식 (3)으로 주어진 후륜 구동 차량 모델에 대하여 궤적 추종 제어기로서 본 논문에서는 비선형 동적 궤환 제어기[2]를 사용한다. 식 (3)의 기구학 모델은 식 (4)의 입력 변환과

$$v_1 = u_1 / \cos\theta \quad (4)$$

$$v_2 = -3\sin\theta \sin^2\phi u_1 / l \cos^2\theta + l \cos^2\theta \cos^2\phi u_2$$

식 (5)의 좌표 변환을 통하여

$$\begin{aligned} x_1 &= x \\ x_2 &= \tan\phi / l \cos^3\theta \\ x_3 &= \tan\theta \\ x_4 &= y \end{aligned} \quad (5)$$

식(6)와 같이 체인형 모델 (chained form model)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= u_1 \\ \dot{x}_2 &= u_2 \\ \dot{x}_3 &= x_2 u_1 \\ \dot{x}_4 &= x_3 u_1 \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)의 체인형 모델에 대해 비선형 동적 궤환 선형 제어기는 다음 식 (7)과 같이 설계될 수 있다.

$$\begin{aligned} u_1 &= \xi_1 \\ u_2 &= (\dot{\xi}_2 - x_2 \xi_1 - 3x_2 \xi_1 \xi_2) / \xi_1^2 \\ \xi_1 &= \xi_2 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\xi_2 = r_1$$

추종하고자 하는 궤적에 대해 전역적으로 안정적인 궤환제어기의 설계를 위해 식 (7)의 제어 입력  $r_1$ 과  $r_2$ 는 다음 식 (8)과 같이 설계되며,

$$r_i = \ddot{z}_{di} + k_{ai}(\ddot{z}_{di} - \ddot{z}_i) + k_{vi}(\dot{z}_{di} - \dot{z}_i) + k_{pi}(z_{di} - z_i) \quad (8)$$

여기서 궤환 이득  $k_{ai}, k_{vi}, k_{pi}$ 는 식 (9)의 다항식이 Hurwitz가 되도록 설계한다.

$$\lambda^3 + k_{ai}\lambda^2 + k_{vi}\lambda + k_{pi} \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

자율 주행 차량의 그래픽 기반 시뮬레이션을 위하여 본 논문에서 제안한 주행 알고리즘과 궤적 추종 제어기는 Matlab Simulink 모델로 구현하였고 VRML로 모델링된 그래픽 환경과 VR Sink를 통하여 연동한다. 자율주행 차량에는 주행 안정성 기반 자율주행 알고리즘 시스템을 구현하고 인접 차량 7대는 위치 제어를 위한 시스템을 구현하였다. 그림 4는 구현된 제어 시스템의 시뮬레이션 구성도를 나타낸다.

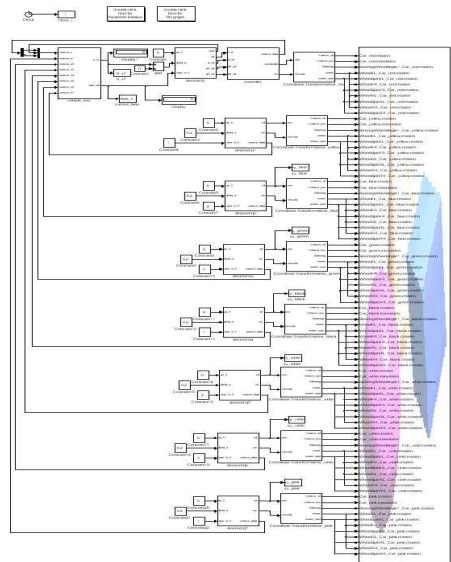


그림 4. 주행 제어 시스템 시뮬레이션 구성도  
Fig. 4. Block diagram of autonomous navigation control simulation

### IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제시한 주행 안정성 기반 자율주행 알고리즘을 성능을 검증할 3차원 그래픽 시뮬레이션 환경이 구축되었다. 자율주행 성능 검증을 위한 시뮬레이션은 인접한 전방 차량과의 충돌 위험성과 인접한 후방 차량과의 충돌 위험성에 대하여 수행하였다. 인접 차량들은 각 특정 상황에서 주행 경로를 제어하여 자율주행 차량의 자율주행 성능을 검증하도록 한다. 자율주행 차량은 제시된 알고리즘에서 이용될 인접 차량과의 안전 최소거리는 5미터, 최소충돌예측시간은 5초로 설정하여 시뮬레이션을 수행한다.

#### 4.1 자율 주행 시뮬레이션 (상황 1)

자율주행 차량의 성능을 검증하기 위하여 먼저 인접한 후방 차량과 충돌이 발생할 수 있는 상황을 구현하여 자율주행 차량의 주행 경로를 확인하였다. 그림 5는 인접한 후방 차량들이 자율주행 차량에 접근하도록 하는 경우 자율주행 차량은 후방 차량과의 충돌을 피하기 위하여 주행할 궤적을 예측하여 나타낸 것이다. 이 시뮬레이션 상황에서는 후방에서 4대의 차량을 가속시켰으며 2차로 상에서 최적의 안정한 차로를 선택하여 주행하는지를 확인하기 위해 1차로에 2대의 차량을 배치하였다.

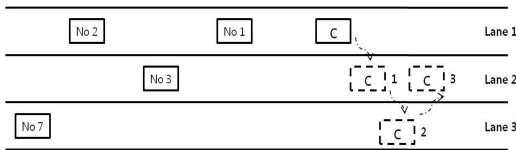


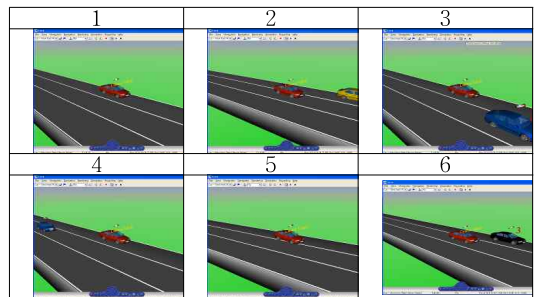
그림 5. 자율주행 차량의 예측 주행 궤적 (상황 1)  
Fig. 5. Predicted navigation path of controlled vehicle (situation 1)

표 1. 시뮬레이션 차량 초기 설정 값 (상황 1)  
Table 1. Initial values of simulated vehicles (situation 1)

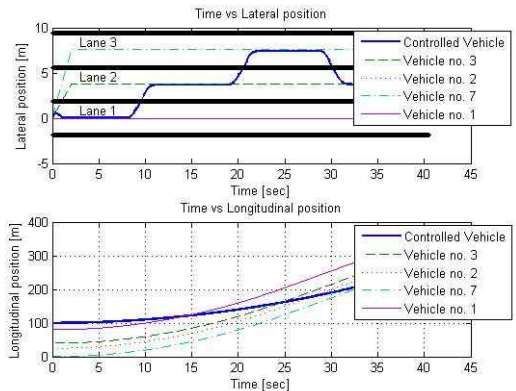
차량	가속도 (m/s <sup>2</sup> )	초기위치 (m)	주행차선	최고속도 (m/s)
Controlled Vehicle	0.2	100	1	10
Vehicle no 3	0.4	40	2	10
Vehicle no 2	0.4	25	1	10
Vehicle no 7	0.4	0	3	10
Vehicle no 1	0.4	80	1	10

표 1과 그림 6을 보면 자율주행 차량은 주변 차량을 회피하면서 안전하게 주행하는 것을 확인할 수 있다. 자율주행 차량은 3번의 차선 변경을 하였으며 차선을 변경한 순간은 각각 7초, 19초, 32초이다. 이때의 주변 차량과의 충돌예측시간과 거리를 확인하면 최소 충돌예측시간이 설정 값 5보다 작아지고 이 순간에 자율주행 차량은 안전한 차선을 선택하여 변경을 한다. 3차원 그래픽 시뮬레이션을 이용하여 실제 차량의 주행을 외부에서 확인하는 시각적인 효과를 확인할 수 있다. 표 1은 3차선 도로에서 시간에 따른 차량의 위치 변화를 보여주며 시간에 따른 주변차량과의 충돌예측시간과 주변 차량과의 거리를 확인할 수 있다.

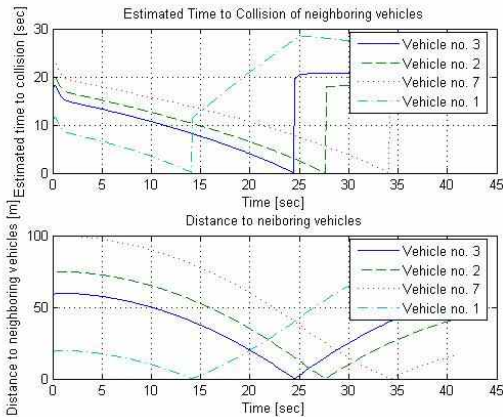
표 1를 통하여 자율주행 차량의 주행 궤적을 확인하면 후방에서 가속하여 오는 Vehicle no 1 차량과 충돌을 피하기 위하여 안전한 2차선으로 차선을 변경한다. 2차선 후방에서 가속하여 오는 Vehicle no 3 차량과의 충돌을 피하기 위하여 자율주행 차량은 1차선과 3차선의 안전성을 판단한다. 1차선 후방에서는 Vehicle no 2 차량이 가속하여 오는 중이기 때문에 안전한 3차선으로



(a) 샘플 타임에서의 순차적 정지 영상



(b) 주행 차량의 종방향 및 횡방향 위치 변화



(c) 제어 차량과 주변 차량과의 거리 및 예측 충돌 시간

그림 6 후방 차량이 접근하는 경우의 시뮬레이션 결과 (상황 1)  
Fig. 6. Simulation of the case when a rear vehicle is approaching the controlled vehicle (Situation 1)

차선 변경을 한다. 마지막으로 3차선 후방에서 가속하여 오는 Vehicle no 7 차량과의 충돌을 피하기 위하여 안전한 2차선으로 차선을 변경하는 것을 표 2를 통하여 확인할 수 있다. 이러한 순차적인 자율주행 차량의 주행 궤적은 그림 6(a)의 차선 변경 순간의 순차적 정지영상을 통하여 확인할 수 있다.

#### 4.2 자율 주행 시뮬레이션 (상황 2)

다양한 주행 환경에서의 자율 주행 성능을 확인하기 위하여 자율주행 차량이 가속하여 주행하는 중에 전방에 차량이 끼어드는 상황에서 자율주행 차량의 주행을 확인하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7은 이 상황에서 자율주행 차량의 주행 경로를 예측한 것이고 표 2는 시뮬레이션에서 사용된 주변 차량들의 초기 위치와 가속도, 차선을 나타낸다.

시뮬레이션이 수행되면 자율주행 차량이 주행하는 1차선으로 Vehicle no 1 차량이 차선 변경을 한다. 자율주행 차량은 Vehicle no 1 차량과 충돌예측시간을 계산하여 현재 차선이 안전하지 않다는 판단을 하여 2차선으로 변경을 한다. 그 후에 3차선에 주행하고 있는 Vehicle no 2 차량이 2차선으로 차선 변경을 하고 자율주행 차량은 안전한 차선을 결정하여 차선 변경을 한다. 1차선과 3차선 모두 안전한 차선이지만 제시된 자율주행 알고리즘은 1차선의 우선 순위가 높으므로 1차선으로 차선을 변경한다. Vehicle no 3 차량이 1차선으로 차선 변경을 하여 자율주행 차량은 다시 안전한 차선인 2차선으로 변경하고 있는 것을 보여주고 있다.

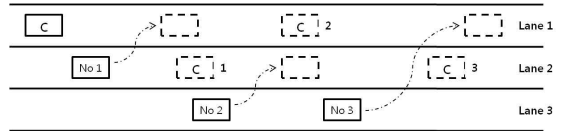
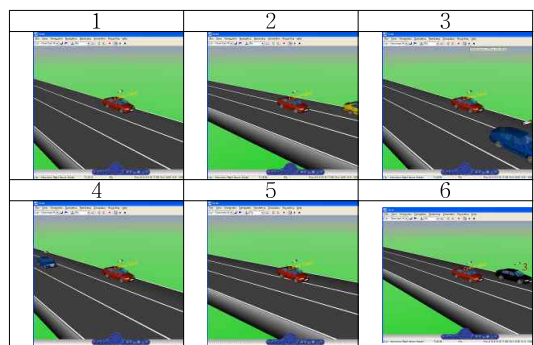


그림 7. 자율주행 차량의 예측 주행 궤적 (상황 2)  
Fig. 7. Predicted navigation path of controlled vehicle (situation 2)

표 2. 시뮬레이션 차량 초기 설정 값 (상황 2)  
Table 2. Initial values of simulated vehicles (situation 2)

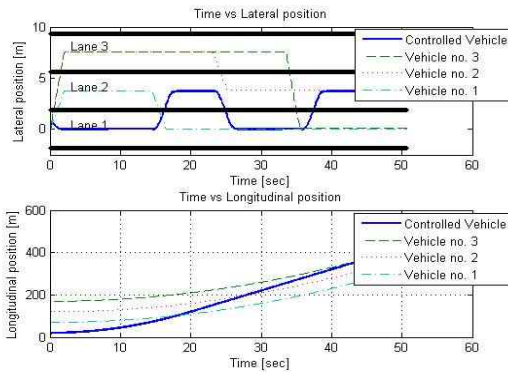
차량	가속도 (m/s <sup>2</sup> )	초기위치 (m)	주행차선	최고속도 (m/s)
Controlled Vehicle	0.4	25	1	10
Vehicle no 3	0.2	170	3 → 1	10
Vehicle no 2	0.2	120	3 → 2	10
Vehicle no 1	0.2	70	2 → 1	10

그림 8의 (b)와 (c)는 시간에 따른 자율주행 차량과 주변 차량의 종방향 및 횡방향 위치 변화, 충돌예측시간, 자율주행 차량과 주변 차량과의 거리의 변화를 보여주고 있다. 자율주행 차량은 약 14초의 시간에 2차선에 1차선으로 변경한 Vehicle no 1 차량과의 충돌을 예상하여 안전한 2차선으로 차선을 변경한다. 약 23초쯤 3차선에서 2차선으로 끼어드는 Vehicle no 2 차량과의 충돌을 회피하기 위하여 안전한 1차선으로 차선을 변경한다. 마지막으로 약 36초에 3차선에서 1차선으로 끼어드는 Vehicle no 3 차량과의 충돌을 피하기 위하여 안전한 1차선으로 차선을 변경하고 있는 것을 알 수 있다.

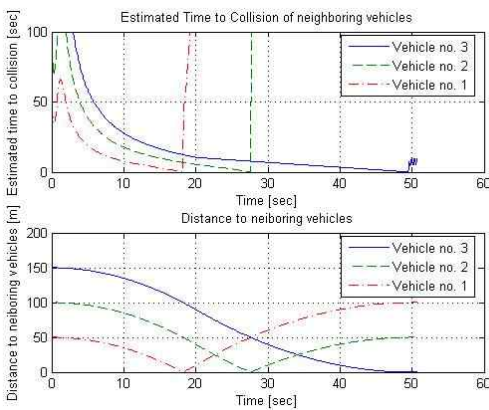


(a) 샘플 타임에서의 순차적 정지 영상





(b) 주행 차량의 종방향 및 횡방향 위치 변화



(c) 제어 차량과 주변 차량과의 거리 및 예측 충돌 시간

그림 8 주변 차량이 끼어드는 경우의 시뮬레이션 결과 (상황 2)  
 Fig. 8. Simulation of the case when a neighboring vehicle cuts in the controlled vehicle (Situation 2)

## V. 결론

본 논문에서는 다차로 다차량 주행환경에서 무인자동차가 인접 차량과의 충돌 또는 충돌 없이 안정적으로 주행하도록 하기 위하여 최적의 안정적 주행 주로를 선택하여 이를 바탕으로 주행 궤적을 생성하고 추종하게 함으로써 무인 자동차의 자율주행을 구현하는 알고리즘을 제시하였다. 제시하는 안정성 기반 자율 주행 알고리즘은 자율 주행 차량이 인접하는 차량과 최악의 경우 충돌 또는 충돌할 수 있는 여유 시간을 기반으로 하고 있는데 이를 위해서 필요한 인접 차량의 위치, 속도, 가속도 정보는 차량대차량(V2V) 통신을 바탕으로 신뢰할 수 있는 데이터를 획득할 수 있다고 가정하였다. 또한 본 논문에서는 무인

차량의 자율 주행 알고리즘의 효과적인 시뮬레이션을 위하여 3차원 그래픽 기반 시뮬레이션 환경을 제안하였으며 이를 통하여 제시된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 자율 주행 알고리즘의 시뮬레이션을 위한 도로 및 차량의 주행 환경은 VRML 언어로 구현하였으며 다차량 다차로 도로 환경에서의 시뮬레이션을 통하여 제시된 자율주행 알고리즘의 성능을 검증하였다. 시뮬레이션은 후방에서 가속하여 오는 차량과 충돌하지 않고 안정적인 차로를 선택하여 주행하는 상황과 주행하고 있는 자율주행 차량의 앞 쪽으로 끼어들기 하는 인접 차량과 충돌하지 않고 안정적인 차로를 선택하여 주행하는 2가지 상황에 대해서 수행하였으며 자율주행 알고리즘의 성능을 평가하였다. 시뮬레이션 결과 2가지 상황에서 자율주행 차량은 인접 차량들과 충돌 위험을 예측하여 안정적인 차로를 선택하여 주행하는 것을 확인함으로써 제시된 안정성 기반 자율주행 알고리즘의 자율주행 성능을 검증할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 주행 알고리즘은 차량대차량 통신을 통한 인접 차량의 주행 정보 취득이 가능한 경우 자율 주행을 위한 알고리즘 연구의 기초 연구 결과로 활용 가능할 것으로 사료되며 특히 그래픽 기반 시뮬레이션은 자율 주행 알고리즘의 성능을 시각적으로 쉽게 확인할 수 있다는 점에서 많은 활용이 가능할 것으로 사료된다. 본 논문에서는 인접 차량의 주행 경로를 인위적으로 생성하여 특정한 상황에서의 자율주행 알고리즘의 성능을 검증하였으나 추후 연구에서는 그래픽 환경 시뮬레이션 모델을 기반으로 도로 환경 및 인접 차량 주행 환경이 일반적인 도로 주행 환경에 보다 가깝도록 주행 환경 모델을 구축하고 인접 차량 주행 상태와 충돌 예측 시간을 기반으로 보다 지능적으로 주행 경로를 생성할 수 있는 고급 알고리즘을 개발하여 보다 일반적인 교통 상황에서 자율주행 알고리즘의 성능을 검증할 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] José Santa, Antonio F. Gómez-Skarmeta, Marc Sánchez-Artigas, "Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks", *Computer Communications*, Volume31, pp.2850-2861,2008.
- [2] A.D.Luca, G.Oriolo, and C.Samson, "Feedback control of a nonholonomic car-like robot", *Robot Motion Planning and Control* (Editor, J.P.Laumond), *Lecture Notes in Control and Information Science*, Springer,1998.
- [3] K.Demirli, M.khoshnejad, "Autonomous parallel parking of a car-like mobile robot by a neuro-fuzzy sensor-based controller", *Fuzzy Sets and Systems*,2008.
- [4] C.Blaschke, F.Breyer, B.Färber, J.Freyer, R.Limbacher,

- "Driver distraction based lane-keeping assistance", *Transportation ResearchPartF:Traffic PsychologyandBehaviour*, Volume12,pp.288-299,2009.
- [5] Mohammad Eghtesad, Dan S. Neculescu, "Experimental study of the dynamic based feedback linearization of an autonomous wheeled ground vehicle", *Roboticsand Autonomous Systems*, Volume 47,pp.47-63,2004.
- [6] 배상훈, 안계형, 유정복, 권순철, 유경수, 김상구, 이기영, 최영규, 이진성, 박중현, 최계수, 건설교통부, "지능형교통시스템(ITS)연구, 개발사업 I, 최종보고서요약", 건설교통부 학술정보, 1998.
- [7] 남일진, 문희창, 김정하, "2005 DARPA Grand Challenge & Formula SAE 소개", 한국자동차공학회, 심포지움(전기,전자, ITS 부문), pp.51-55, 2005.
- [8] 정현, 임춘환, 이상훈, "VFF와 신경망을 이용한 자율주행로봇의 조향 알고리즘 구현", 전자공학회논문지, 제 36권, T편 제1호, 1999.
- [9] 김정민, 허정민, 정승영, 김성신, "자율주행 장치를 위한 수정된 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획과 특징 맵 기반 SLAM", 한국지능시스템학회 논문지, 제 19권, 제 3호, pp. 381-387, 2009.
- [10] 서현재, 임영도, "퍼지 알고리즘을 이용한 자율주행 이동로봇의 설계에 관한 연구", 한국통신학회 논문지, 제 31권, 제 4B호, pp. 278-284, 2006. 4

## 저 자 소 개

### 조영완 (정회원)



1991년 연세대학교 전자공학과 졸업  
1993년 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사  
1999년 동대학원 공학박사  
2000 ~ 2003년 : 삼성전자 디지털프린팅 사업부 책임연구원  
2003 ~ 현재 서경대학교

컴퓨터공학과 조교수

관심 분야: 퍼지 및 신경망 시스템, 적응 및 강인 제어, 보행로봇의 자세 제어, 무인 이동체 시스템