

차량 동역학을 이용한 멀티에이전트 기반 교통시뮬레이션 개발 II : 운전자 및 차량 에이전트 개발

조기용¹⁾ · 배철호¹⁾ · 권성진¹⁾ · 서명원^{*2)}

성균관대학교 대학원 기계공학부¹⁾ · 성균관대학교 기계공학부²⁾

Multi-Agent for Traffic Simulation with Vehicle Dynamic Model II : Development of Vehicle and Driver Agent

Kiyong Cho¹⁾ · Chulho Bae¹⁾ · Seongjin Kwon¹⁾ · Myungwon Suh^{*2)}

¹⁾Graduated School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

(Received 13 April 2004 / Accepted 9 July 2004)

Abstract : In companion paper, the composition and structure of the traffic environment is derived. Rules to regulate agent behaviors and the frameworks to communicate between the agents are proposed. In this paper, the model of a driver agent which controls a vehicle agent is constructed. The driver agent is capable of having different driving styles. That is, each driver agent has individual behavior settings of the yielding index and the passing index. The yielding index can be defined as how often the agent yields in case of lane changes, and the passing index can be defined as how often the agent passes ahead. According to these indices, the agents overtake or make their lanes for other vehicles. Similarly, the vehicle agents can have various vehicle dynamic models. According to their dynamic characteristics, the vehicle agent shows its own behavior. The vehicle model of the vehicle agent contains the nonlinear subcomponents of engine, torque converter, automatic transmission, and wheels. The simulation has proceeded for an interrupted flow model. The result has shown that it is possible to express the characteristics of each vehicle and its driver in a traffic flow, and that the change of the traffic state is closely related with the distance and the signal delay between intersections. The system developed in this paper shows the effectiveness and the practical usefulness of the traffic simulation.

Key words : Vehicle dynamics(차량동역학), Multi-agent(멀티에이전트), Traffic simulation(교통 시뮬레이션), Virtual driving lane(가상주행라인)

1. 서론

교통 환경 개발¹⁾에서는 교통 시뮬레이션을 위한 환경 개발에 관하여 논의하였고, 기 개발된 환경에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 교통 공학의 연구 내용 및 방향과 교통 시뮬레이션의 종류와 요구 사

항은 교통 환경 개발에 자세히 제시되어 있다.

교통 시뮬레이션은 시뮬레이션 수법에 따라 대 상 구간별, 교통류 모델화 방법에 따라 나눌 수 있 다. 대상 구간별로 나누면, 단일 도로 구간(연속 류), 단일 교차점(합류부) 및 거리 네트워크(단속 류)의 3종류가 있다.²⁾ 또한 교통류 모델화 방법에 따라 개별 차량의 거동을 상세히 다루는 미시적 모 델과 교통의 흐름을 연속적인 유체로써 다루는 거

*To whom correspondence should be addressed.
suhmw@yurim.skku.ac.kr

시적 모델로 나눌 수 있다.³⁾ 다양한 시뮬레이션 수법과 모델에 따라 현재 다양한 교통 시뮬레이션 틀들이 발표되었으며, 각 상용 틀들의 특징은 표 1과 같다.^{4,6)}

표 1을 통해 알 수 있듯이 운전자의 이질성, 운전자의 효용, 차량 거동의 상세한 묘사가 가능한 시뮬레이션 개발이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 거시적 방법과 미시적 방법의 복합적인 관점에서, 멀티 에이전트(Multi-Agent, MA)를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 즉, 자동차 및 운전자 에이전트와 그에 따른 환경(도로, 신호등)을 구현하여 MA 모델에 의한 교통 시뮬레이션 방법을 제시하고, MA에 대한 성능 평가를 수행하였다. 이를 위해 단속류 모델에 대한 단일 차량 거동을 분석·평가 하였으며, 감속식순항제어의 가·감속도를 적용하여 통상의 교통 흐름과 비교·분석하였다.

2. 지식 에이전트

멀티 에이전트 시스템에 관해서는 교통 환경 개발(Cho and Suh, 2004)에 자세히 제시되어 있다. 따라서 지식 에이전트⁷⁾에 관해서만 여기서 언급하고자 한다.

교통 시뮬레이션에서 에이전트에 요구되는 것은 자율적으로 경로를 결정하고 자율적으로 차량을 주행하는 것이다. 지식 에이전트의 본질은 자율성⁸⁾이다. 따라서 운전자 및 차량 에이전트를 지식 에이전트로 구현하였다.

Table 1 Characteristic analysis of the commercial codes

	AVENUE	NETSIM	MITRAM
이질성	X	X	X
지역의 특성	X	X	X
전자지도 데이터	X	X	X
보행자	X	X	X
교차로 거동	X	X	○
신호	○	○	○
장애물 회피	X	X	○
차선 변경	X	X	○
경로 선택 효용	X	X	X
동적 경로 선택	X	X	X
네트워크	○	○	○

2.1 운전자 에이전트(Driver Agent)

운전자 에이전트는 간단한 규칙에 따라 주행하는 것만으로는 교통 시뮬레이션에 적용하는 것이 충분치 않다. 인간에 준하는 자율성, 성격 등 다양한 능력이 요구된다. 운전자 에이전트의 가장 큰 특징은 경로에 관한 자율성에 있다. 같은 출발점에서 같은 목적지를 가지고 있어도 그 경로는 다양하게 존재한다. 운전자는 경로를 결정할 때 반드시 최단거리나 최단시간의 경로를 선택하지는 않는다. 효용이나 경험에 따라 다른 경로가 선택될 수 있다.

2.1.1 거시적 경로 선택의 자율성

경로 선택에는 계획, 탐색, 선택의 단계⁹⁾가 있다. 여기서 탐색과 선택은 효용성으로 바꿀 수 있다. 경로의 탐색에는 다양한 방법이 있지만 이상적으로는 전체의 경로를 탐색하는 것이다. 즉, 경로 탐색은 출발지점으로부터 경유할 수 있는 지점을 통과하여 목적지점에 도달 하는 경로를 모두 탐색하는 것이다. 탐색의 결과인 다양한 경로 가운데 한 개의 경로를 선택하는 것이 경로의 선택이다. 경로의 탐색은 전체 경로를 탐색하는 것이 이상적이지만, 도로 네트워크의 규모가 커지면 계산이 불가능해진다. 현재 널리 사용되는 방법은 A* 알고리즘¹⁰⁾이다. 여행 시간 또는 거리가 작은 정도를 효용(Utility)이 높은 것으로 정의하고 효용이 높은 복수의 경로를 산출하고 통계적인 수법으로 경로를 결정하는 것이다. 운전자의 효용 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$u = \sum_i^{all\ factors} w_i s_i \quad (1)$$

여기서 w_i, s_i 는 각자 요인 i에 관한 선호도와 변수이다. 이 효용 함수의 값이 최대인 것이 운전자에 있어서 최적인 경로가 된다. 링크의 비용은 다음과 같이 정의된다.

$$c = \sum_i^{all\ factors} a_i x_i \quad (2)$$

$$c = \frac{1}{u} \quad (3)$$

효용 u가 최대가 되는 경로를 도출 하는 문제는 c가 최소가 되는 경로를 도출한다는 문제가 된다. 본 연구에서는 다음의 세 가지 요인을 고려하였다.

- 1) 요인 1: 출발점에서 목적지까지의 거리
- 2) 요인 2: 출발점에서 목적지까지의 여행 시간
- 3) 요인 3: 경로의 복잡도. 운전자는 우회전이나 좌회전과 같은 회전을 반복하는 경로를 싫어한다.

A* 알고리즘은 다음 식에서 정의되는 평가함수 $f(n)$ 이 최소가 되는 노드로부터 전개하여 목적(goal) 노드를 찾아낸다.

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (4)$$

여기서, $g(n)$ 은 출발 노드에서 노드 n 까지의 실제 비용, $h(n)$ 은 노드 n 에서 목적 노드까지의 비용의 어렵값이다. $g(n)$ 은 식 (2)로 구할 수 있다.

본 연구에서는 다음 식으로 휴리스틱(heuristic)함수를 정의 하였다.

$$h(n) = \sum_i a_i h_i(n) \quad (5)$$

여기서, $h_i(n)$ 는 식 (2)의 x_i 에 관한 노드 n 에서 목적 노드까지의 어렵값이다. 본 연구에서 h_i 는 다음과 같이 정의 하였다.

$$h_1(n) = l, \quad h_2(n) = \frac{l}{V_{max}}, \quad h_3(n) = 0 \quad (6)$$

여기서 l 은 노드 n 에서 목적 노드까지의 직선거리, V_{max} 는 전체 링크 내 평균 주행 속도의 최대치이다. 이상에서 본 연구에 적용된 식 (6)의 휴리스틱 함수를 사용하면, A* 알고리즘은 비용이 최소가 되는 경로, 즉 운전자의 효율 u 가 최대가 되는 경로를 찾아내는 것이 가능하다. 더욱이 최적인 경로를 순차적으로 해 공간에서 제거함에 따라 다음의 최적인 경로를 탐색하는 것이 가능하다.

기존의 시뮬레이션에서 효율 함수를 이용하는 방법을 사용하지 않았던 이유는 다음과 같다. Fig. 1과 같은 경우, 노드 3에서 링크 비용을 계산하면 노드 1에서 노드 3까지의 비용이 노드 2에서 노드 3까지의 비용보다 크기 때문에, 노드 2에서 노드 3의 경로를 선택하게 된다. 그러나 노드 4에서 비교해 보면, 노드 1에서 노드 3을 경유하여 노드 4까지 경로의 비용이 220이고 노드 2에서 노드 3을 경유하여 노드 4까지 경로의 비용은 230이다. 따라서 전체적으로 판단하면 노드 1에서 노드 3으로의 경로를 선택하는 것이 바람직하다. 이와 같은 오류를 피하기 위해 링

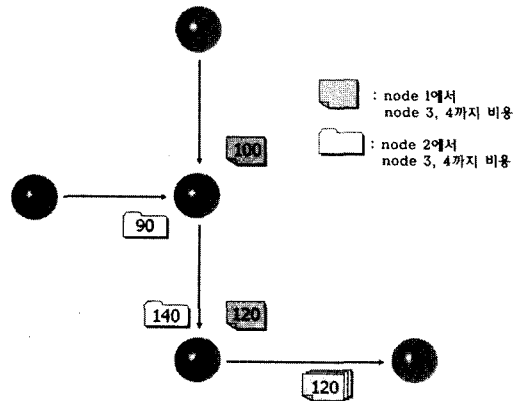


Fig. 1 Typical calculation error of the link cost

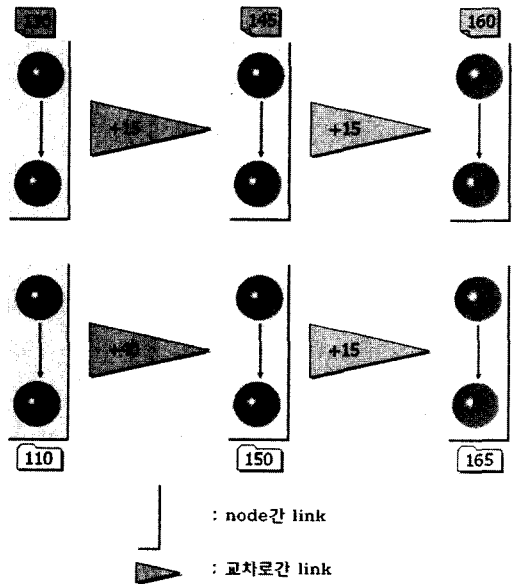


Fig. 2 Modified definition of the link cost

크 비용을 계산하는 새로운 링크 정의가 필요하다. Fig. 3은 이런 오류를 방지하기 위한 새로운 링크 정의를 나타낸다. 즉, 교차로를 두 개 포함하는 것 같은 형태로 노드를 정의하였다. 이렇게 함으로써 전체 링크 비용을 노드 간 비용과 교차로 간 비용의 합으로 나타낼 수 있다. Fig. 2에서 노드 1에서 노드 3까지의 비용이 145로써, 노드 2에서 노드 3까지의 비용 150보다 적은 것을 알 수 있다. 따라서 링크 비용이 가장 적은 경로를 선택하는 것이 효율적으로 최적의 해가 될 수 있다.

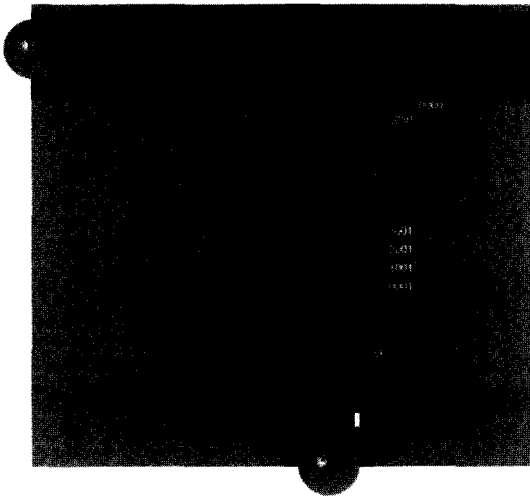


Fig. 3 Path search using the virtual driving lane

2.1.2 미시적 주행 경로 선택의 자율성

앞 절을 통하여 주행 경로가 결정되면, 노드와 링크네의 가상 주행 레인을 선택해야 한다. 레인을 통한 미시적 경로 선택 알고리즘은 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 만약 차량의 주행 경로가 노드 2에서 노드 3을 거쳐 노드 1까지의 경로라고 가정하자. 그렇다면 노드 3에서 좌회전을 해야 하며, 좌회전을 하기 위해서는 가상주행레인 2312를 선택해야 한다. 가상주행레인 2312를 선택하기 위해서는 현재 주행 차선에서 차선 변경을 통하여 가상 주행레인 2000을 선택한다. 따라서 최종 가상주행레인 경로는 1000 ⇒ 1020 ⇒ 2000 ⇒ 3001 ⇒ 3002 ⇒ 2312가 된다. 이러한 가상주행레인을 이용하는 경로 선택은 MITRAM에서 사용되는 테이블을 통한 정보교환¹¹⁾보다 훨씬 효율적이다. 이유는 작성하는 도로가 커지면 커질수록 테이블도 커지고, 검색 비용은 증대한다. 하지만, 가상 주행 레인을 이용한 경로 탐색은 도로 구간 단위로 설정되기 때문에 작성 도로의 크기에 영향을 받지 않는다.

2.1.3 주행에 관한 자율성

전체적인 경로와 그에 따른 주행 레인의 선택이 이루어지면, 차량은 그 경로에 따라 주행하게 된다. 운전자 에이전트의 목적은 안전하게 목적지까지 도달하는 것이다. 그러기 위해서 다양한 교통 규칙에 관한 지식이 있어야 하며, 다양한 교통 상황에 따른

Table 2 Rules of the velocity decision

항목	결론
속도의 안전거리 안에 차량이 존재	감속하여 안전거리를 확보
속도의 안전거리 안에 차량이 없고, 속도가 제한속도보다 낮음	제한속도까지 가속
추종 하던 차량이 가속	속도에 따른 안전거리를 확보하며 가속
현재 속도의 안전거리에 정지선 존재	감속하여 정지
이웃차선으로부터 차량이 차선 변경을 위해 방향 지시등 점멸	감속하여 안전거리 확보
차선 변경을 위해 방향 지시등 점멸 시, 이웃차선으로부터 다른 차량이 차선 변경 시도	제한속도 이하에서 양보 지수에 따라 가 · 감속
선행 차량이 없고, 신호가 진행신호로 변경	제한속도까지 가속

적절한 판단을 도출해야 한다. 각종 교통 상황에 대한 정보는 본 논문 (1)에서 설명한 각종 통신 규약에 따라 환경으로부터 제공받는다. 제공된 정보에 따라 운전자 에이전트는 현재 상황에 적절한 속도를 결정해야 한다. 속도에 관한 규칙을 표 2에 나타내었다. 속도를 결정할 때 특이 상황은 차선 변경이며 이것은 다음 절에 논한다.

2.1.4 차선 변경

실제의 주행에서 차선 변경은 종종 발생하며 정확한 교통 시뮬레이션을 위해 차선 변경은 구현되어야 한다. 차선 변경 이유는 경로를 추종하기 위해서 또는 앞지르기를 하기 위해서이다. 그에 따라 차선 변경은 『정적 차선 변경』과 『동적 차선 변경』으로 나눌 수 있다. 정적 차선 변경은 경로를 추종하기 위해, 즉 좌회전이나 우회전을 위해 회전이 가능한 가상 주행 레인을 추종하기 위한 것이다. 이에 반하여 동적 차선 변경은 진행 차선의 정체를 회피하기 위해 이웃 차선으로 진행 경로를 변경하는 것이다. 정적 차선 변경은 주행 경로 선택 시 결정되지만, 동적 차선 변경은 전적으로 교통 상황과 운전자 에이전트의 특성에 따라 결정된다. 양보지수와 마찬가지로 운전자 에이전트는 2에서 10사이의 무작위 값의 『추월 지수(Passing Index)』를 가지며, 추월 지수에 따라 동적 차선 변경은 수행된다. 현재 차선의 차

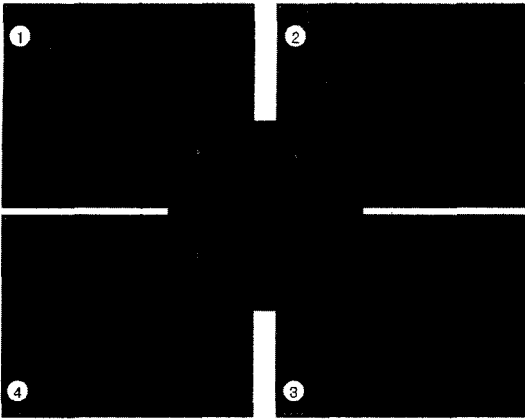


Fig. 4 Static lane changing

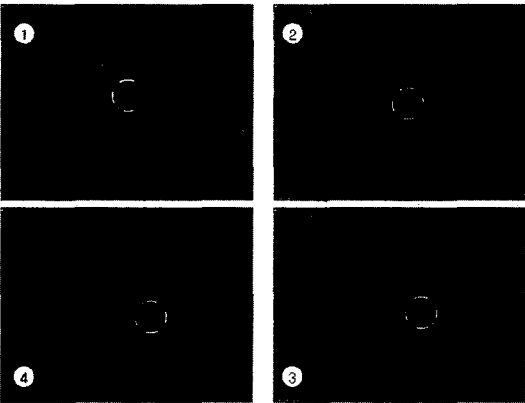


Fig. 5 Dynamic lane changing

량 수와 이웃차선의 차량 수의 차이가 추월 지수 이상 일 때는 차선 변경을 시도한다. Fig. 4와 Fig. 5는 교통 시뮬레이션 상에서 동적, 정적 차선 변경을 나타낸다. Fig. 4에서 운전자는 좌회전의 경로를 선택하였기 때문에 좌회전이 가능한 가상주행라인으로 정적 차선 변경을 수행한다. Fig. 5에서 운전자는 좌회전 후 1차로로 진입하지만, 1차로의 정체 상황을 인지하고 2차로로 동적 차선 변경을 시도함을 알 수 있다. Fig. 6은 동적 차선 변경에 대한 흐름도이다.

2.2 차량 에이전트(Vehicle Agent)

차량 에이전트는 운전에 대한 판단을 내리는 것이 아니라, 물리적인 차량 자체를 나타낸다. 즉, 운전자 에이전트에서 판단한 목표 속도에 따라 실제 차량의 반응을 나타낸다. 실제 차량은 가·감속도의 한계가 있기 때문에 이상적인 감·가속이 이루어지지 않는다. 이러한 차량 에이전트를 위하여 차량 동역학을 이용한 차량 모델을 사용하였다. 운전자 에이전트는 식 (7)과 같은 기준에 대한 만족 여부를 통하여 설정 속도 제어와 거리 제어를 판단한다.

$$x_r \geq \frac{v_r^2}{2 \times a_r} \tag{7}$$

운전자 에이전트와 차량 에이전트의 관계는 Fig. 7과 같다.

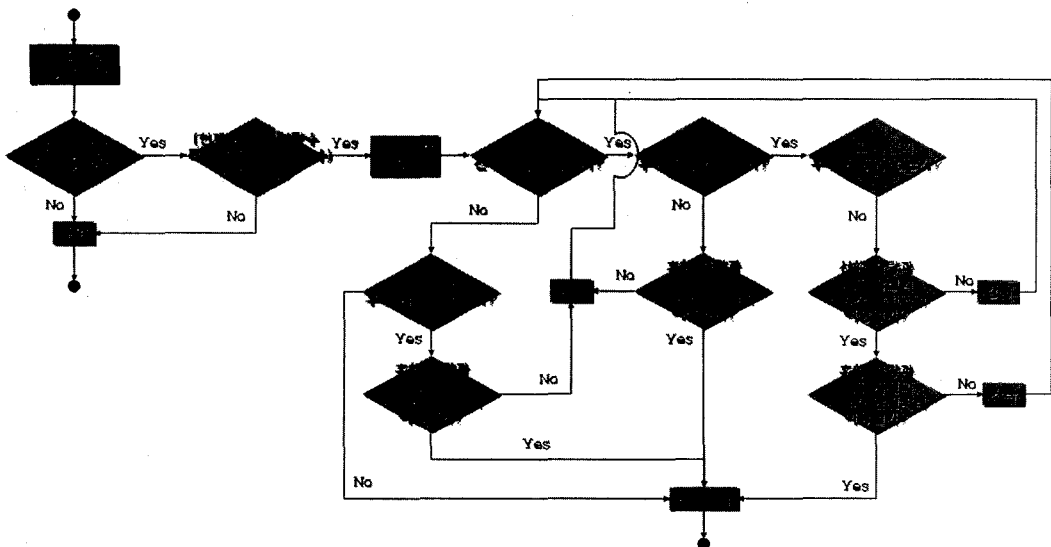


Fig. 6 Flow chart of the dynamic lane changing

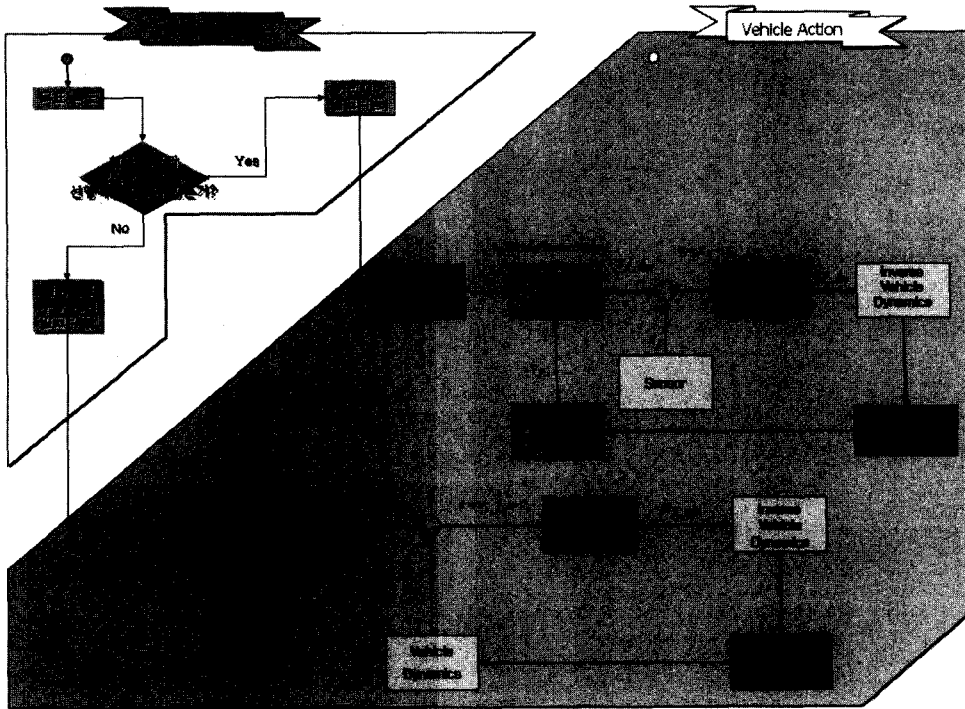


Fig. 7 Vehicle agent control by driver agent

2.2.1 차량 동역학 모델

본 연구에서 사용된 차량동역학 모델은 서명원, 김태기 등에 의하여 개발된 8자유도 차량동역학 모델을 참고하고, 동력 전달계 모델을 추가하여 구성하였다.¹²⁾

1) 차량 모델

교통 시물레이션을 수행하기 위한 차량 에이전트를 구성하기 위해 우선적으로 수학적 차량모델에 기초한 차량동역학 해석을 수행하여 차량의 동적 특성을 수치적으로 나타낼 수 있게 하였다.

차량모델은 차량의 정상상태 및 비 정상상태 운동시 동특성 해석을 위해 Fig. 8과 같이 차량의 무게 중심에 대하여 종 방향, 횡 방향, 차량 수직 축 방향 회전운동, 차량 종축 방향 회전운동 및 각 차륜의 회전운동에 대한 8자유도 모델을 구성하였다.

이러한 차량모델은 현가장치에 의한 차량 수직방향 운동은 무시하였으며, 이는 차량의 주행 안정성을 거시적 관점에서 해석하기 위함이다.

차체와 차륜의 강체 운동의 운동방정식을 구하기 위해 모델링 하였으며, 관성력의 평형으로부터 운동방정식을 유도했다.

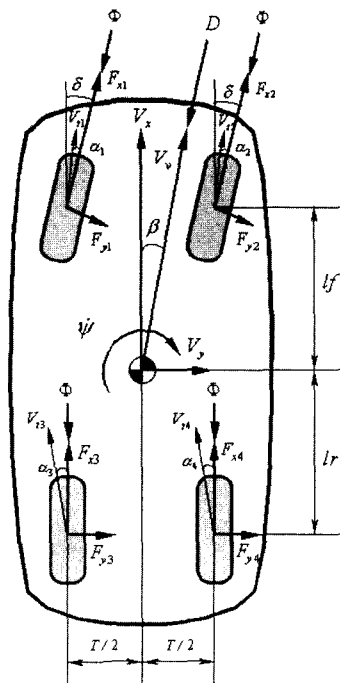


Fig. 8 Vehicle model

① 종 방향 운동

$$M(\dot{V}_x + V_y \dot{\psi}) = FX_1 + FX_2 + FX_3 + FX_4 + D\cos\beta \quad (8)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 \quad (9)$$

② 횡 방향 운동

$$M(\dot{V}_y + V_x \dot{\psi}) = FY_1 + FY_2 + FY_3 + FY_4 + D\sin\beta \quad (10)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho C_d A V^2 \quad (11)$$

③ 요잉 운동

$$I_z \ddot{\psi} = FT_1 + FT_2 + FT_3 + FT_4 \quad (12)$$

2) Subcomponent 모델

동력전달계 모델은 대상차량의 확보된 제원을 반영하고, 미 확보된 제원은 본 연구실에서 기 수행한 바 있는 SVPG(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground)의 연구에서 사용된 모델을 일부 수정·보완하여 사용하였다.¹³⁾ 동력 전달계 모델 구성은 Fig. 9와 같이 엔진, 토크컨버터, 변속기 등으로 이루어져 있다.

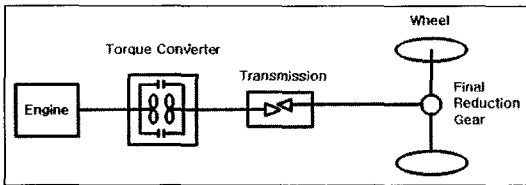


Fig. 9 Power train model

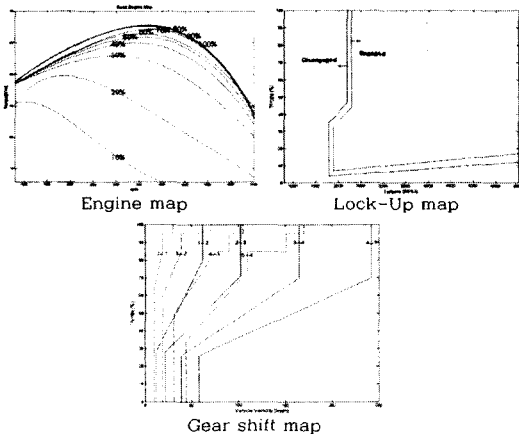


Fig. 10 Engine, lock-up and gear shift map

2.2.2 차량 에이전트 제어 모델

차량 에이전트는 운전자 에이전트가 판단한 결과에 따라 제어 방식을 선택한다.

1) 차량 에이전트 제어 알고리즘

① 제한 속도 추종 제어

식 (7)을 만족하거나 선행 차량이 없는 경우, 차량 에이전트는 도로의 제한 속도와 현재 차량의 속도와의 오차에 대한 PID 제어를 수행하여, 목표가속도를 다음과 같이 구한다.

$$a_{f-des} = K_P(v_{f-d} - v_f) + K_f \int (v_{f-des} - v_f) + K_D \frac{d}{dt}(v_{f-des} - v_f) \quad (13)$$

② 거리 제어

우선적으로 식 (14)와 같이 차량의 실제속도와 가속도를 이용하여 원하는 차간거리를 계산한다.

$$x_r = \frac{v_r^2}{2 \times a_r} \quad (14)$$

계산된 목표 차간거리와 실제 상대거리와의 오차를 PID 제어를 통해 모델 오차를 보정하여 식 (15)과 같이 최종 목표가속도를 계산한다.

$$a_{f-des} = K_P(x_r - x_{r-des}) + K_f \int (x_r - x_{r-des}) + K_D \frac{d}{dt}(x_r - x_{r-des}) \quad (15)$$

2) 스로틀/브레이크 제어 알고리즘

① 스로틀 제어 알고리즘

목표가속도에 대한 스로틀 제어를 수행하기 위해, 역 차량동역학 모델을 이용한다. 즉, 목표가속도에 대한 목표 엔진 토크와 엔진 속도를 구하고 이를 역 엔진 맵에 입력하여 스로틀 개도를 얻을 수 있다.

$$T_{e-des} = \frac{R(Ma_{f-des} + F_D)}{N_f N_f} \quad (16)$$

$$\omega_{e-des} = \frac{v_f N_f N_f}{R} \quad (17)$$

② 브레이크 제어 알고리즘

목표가속도에 대한 브레이크 압력은 식 (18)을 통해 구할 수 있다.

$$P_{b-des} = \frac{-R(Ma_{f-des} + F_D)}{2K_{\beta} A_{\beta} r_f + 2K_{\gamma} A_{\gamma} r_r} \quad (18)$$

3. 교통 시뮬레이션

본 장에서는 본 연구에서 개발한 교통 시뮬레이션의 타당성을 검증하기 두 가지의 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 구축된 에이전트의 성능 평가를 위한 시뮬레이션과 감·가속도변화에 따른 지체 변화를 시뮬레이션 하였다.

3.1 에이전트 분석 시뮬레이션

에이전트 분석 시뮬레이션은 구축된 에이전트들의 거동을 확인하기 위해 Fig. 11과 같은 상황에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 교통량의 비가 1.0보다 작은 불포화 상태에 대하여 실시하였다. 도로의 제한 속도(u_i)는 60km/h, 혼잡밀도(k_i)는 120 veh/km를 적용하였다. 따라서 $q_{max} = \frac{u_i k_i}{4}$ 라는 관계식에 의해 링크의 포화 교통류는 1800 veh/h이 된다. 교통량(V/C)은 본 시뮬레이션은 0.65를 나타냈다. 입력 교통류는 직진 교통류와 좌우회전 교통류의 두 가지로 구분하며, 좌우회전 교통류는 좌회전 교통류와 우회전 교통류의 교통류율의 평균값을 적용한다. 직진 교통류의 경우는 녹색 시간 동안 직진 교통량이 평균 교통류율로 교차로를 통과한다고 가정한다. 신호는 표 3과 같다. 차량 동역학에 의해 나온 감·가속도 값은 승차감을 고려하여 $-2 \sim -0.2g$ 까지의 범위로 제한하였다. 에이전트 거동 평가를 위해, 차량 번호 76번에 대하여 속도 프로파일을 Fig. 12와 같이 나타내었다.

차량 76번의 경로는 노드 4에서 노드 3, 노드 6을 경유하여 노드 8까지 이다. 차량 76은 시뮬레이션 시간 122초에 노드 4번에서 생성되었으며, 초기 0km/h의 속도에서 최고 가속도로 가속하지만, 선행 차량(차량 70)을 발견하며 거리 제어에 따라 가속한다. 이후에 선행차량을 추종하여 주행하게 되고, 192초에 제한 속도 추종 제어로 9초간 주행 후 교차로 3에 접근하면서 거리 제어에 의해 감속하여 최종 속도 0km/h에 이른다. 시뮬레이션 타임 120초에서 220초까지의 자세한 속도 프로파일과 차량 거동을 Fig. 13에 나타내었다. 운전자 에이전트는 도로의 운전 상황 변화에 따라 제한 속도 추종 제어와 거리 제어를 적절히 선택하며 주행하는 것을 알 수 있다.

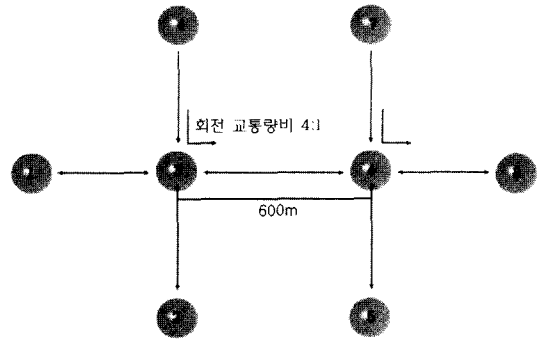


Fig. 11 Condition of the road network for simulation

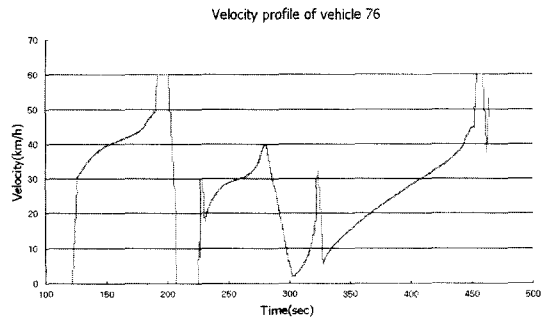


Fig. 12 Velocity profile of the vehicle 76

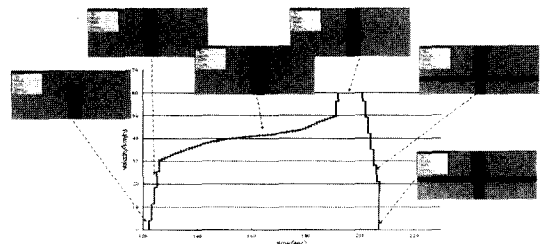


Fig. 13 Velocity profile of the vehicle 76 from 60 second to 200 second

Table 3 Condition of the signal

교차로	청색	주황색	적색	주기
3	74	2	74	150
6	74	2	74	150

3.2 단속류 모델에 대한 가·감속도 및 오프셋 변화에 따른 시뮬레이션

본 절에서는 먼저 차량의 감·가속도를 $-3\% \sim 2\%$ 까지의 범위로 제한하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이는 2002년 ISO/TC204¹⁴⁾에 의해 제정된 감응식순항제어 국제 표준에 따른 것이다. 또한 실제 차량의

운전자 형태 분석을 통한 감·가속도인 -2.89m/s^2 ~ 2.89m/s^2 까지의 범위¹⁵⁾에 의한 시물레이션을 수행하였다. 이상의 조건에서 차량 평균 속도, 지체 변화를 통하여 감응식순항제어를 적용했을 경우 예상되는 교통 상황을 분석하고자 한다. 교차로 모형은 Fig. 11과 같으며, 신호기의 주기는 표 3와 같다. 시물레이션 시간은 1ms로 하였으며, 총 시물레이션 시간은 3600초로 하였다. 도로의 제한 속도(u_j)는

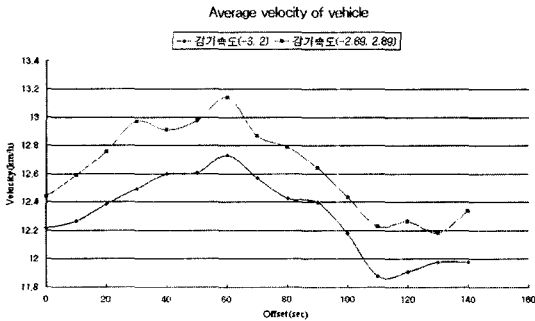


Fig. 14 Average velocity according to acceleration and deceleration

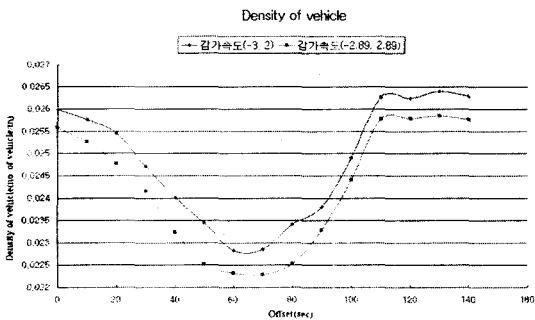


Fig. 15 Density of vehicle according to acceleration and deceleration

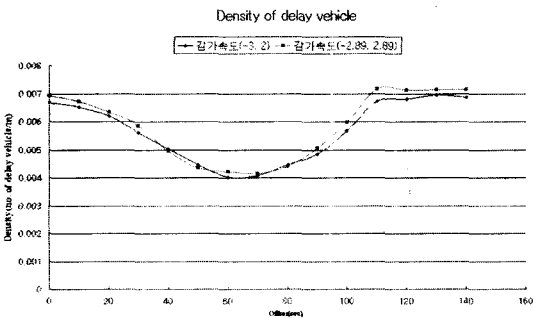


Fig. 16 Density of delay vehicle according to acceleration and deceleration

60km/h, 혼잡밀도(k_j)는 120 veh/km를 적용하였다. Fig. 14, Fig. 15 및 Fig. 16은 각각오프셋 변화에 따른 평균 속도, 차량 밀도, 정체차량밀도를 나타낸다.

Fig. 14에서 차량의 감·가속도가 -2.89m/s^2 ~ 2.89m/s^2 인 경우 -3m/s^2 ~ 2m/s^2 경우 보다 평균속도가 빠른 것으로 나타났다. Fig. 16에서 정체 차량 밀도는 감·가속도변화에 영향을 거의 받지 않지만, 차량 밀도는 감·가속도가 -2.89m/s^2 ~ 2.89m/s^2 인 경우 -3m/s^2 ~ 2m/s^2 경우 보다 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다. 그 이유는 차량의 평균 속도가 높아 시물레이션 구간의 밀도가 낮기 때문이다. 하지만 지체차량 밀도는 시물레이션 조건이 불포화 상태이기 때문에 신호에 결정적인 영향을 받는 것을 알 수 있다. 감응식순항제어의 국제 표준 감·가속도를 적용하였을 경우 실제의 운전자 운전보다는 교통 흐름이 느려짐으로써 전체 교통량은 감소하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 동역학을 이용한 MA 기반 교통 시물레이션을 개발하였다. 그에 따른 에이전트와 환경을 개발하였다. 환경은 도로와 신호기로 구성되었으며, 에이전트는 운전자 에이전트와 차량 에이전트로 구성되었다. 개발된 시스템을 바탕으로 시물레이션을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) MA 기반 교통 시물레이션을 위한 운전자 에이전트를 개발하였다. 운전자 에이전트를 개발하고, 거시적·미시적 자율성을 제공하여 정적·동적 차선 변경을 가능케 하여 시물레이션 현실성을 높였다.
- 2) 에이전트의 현실성을 높이기 위해 차량 동역학을 이용한 차량 에이전트를 개발하였다.
- 3) 단속류 모델에 대한 교통 시물레이션을 수행하였으며, 에이전트 성능 평가를 수행하였다.
- 4) 단속류 모델에 대한 감·가속도와 오프셋 변화에 따른 시물레이션을 수행하고, 타당한 결과를 도출하였다.

이러한 연구 결과를 이용하여 교통 인프라(환경)의 다양한 조건에 대한 컴퓨터 시물레이션을 수행한다면 실제 환경의 구축 전 효율적인 환경 설계를

할 수 있으며, 구축 후에 환경 개선에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구과제로 좀 더 다양한 운전자의 운전 패턴을 분석하여 운전자 에이전트를 개선하고, 다양한 차종에 대한 차량 모델을 개발한다면 더욱 현실적이고 효율적인 시뮬레이션 기법을 개발할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터의 연구비 지원 및 두뇌한국21 사업의 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) K. Y. Cho, S. J. Kwon, C. H. Bae, M. W. Suh, "Vehicle Dynamics Approach to Multi-Agent for Traffic Simulation. I: Development of Traffic Environment," Transactions of KSAE, Accepted, 2004.
- 2) I. Okura, Traffic Engineering, Corona Publishing Co.. Ltd., Tokyo, pp.219-241, 1993.
- 3) K. Yokochi, "Development of microscopic traffic simulator for AHS Evaluation," Proceedings of 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, Toronto, 1999.
- 4) R. Horiguchi, M. Kuwahara, M. Katakura, H. Akahane, H. Ozaki, "A Network Simulation Model for Impact Studies of Traffic Management 'AVENUE Ver.2'," Proceedings of the Third Annual World Congress on Intelligent Transport Systems, Orlando, CD-ROM, 1996.
- 5) M. Sawa, F. Yamamoto, "Validation of NETSIM using Kichijoji Benchmark Dataset," Proceedings of Infrastructure Planning, Nagoya, 2002.
- 6) A. Satoh, M. Namekawa, N. Honda, N. Itakura, T. Nakanishi, "A System Verifying the MITRAM Model," Proceedings of International Congress on Modeling and Simulation (MOD-SIM 95), Vol.4, pp.331-336, 1995.
- 7) S. Russell, P. Norvig, Artificial Intelligence: a Modern Approach, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., pp.347-384, 1995.
- 8) S. F. Ma, G. G. He, S. T. Wang, "A traffic Flow Forecast Supported System Based Multi-agent," IEEE ITS Conference Proceeding, Oakland, USA, 620-624, 2001.
- 9) M. Ueda, S. Tsubono, M. Kuwahara, H. Akahane, H. Ozaki, "Development of a Traffic Simulation Model Incorporating Route Choice," Proceedings of Infrastructure Planning, No.14(1), pp.279-286, 1991.
- 10) P. H. Winston, Artificial Intelligence, Reading, Mass., Addison-Wesley Pub. Co., pp.81- 100, 1992.
- 11) A. Satoh, K. Yikai, "A System for Verifying the MITRAM Model Proc. of Int.," Congress on Modelling and Simulation '95, pp.331-342, 1995.
- 12) M. W. Suh, Y. J. Kim, C. S. Seok, T. G. Kim, "Development of Vehicle Model for Dynamic Analysis of ABS Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.7, No.2, pp.228- 241, 1999.
- 13) M. W. Suh, T. Y. Koo, S. J. Kwon, Y. S. Shin, K. Y. Cho, D.Y. Park, "Development of the SVPG(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground): System Configuration and Application of the Virtual Proving Ground," Transactions of KSAE, Vol.10, No.1, pp.195-202, 2002.
- 14) Explanatory Report, "Road Vehicle-Adaptive Cruise Control Systems-Performance Requirements and Test Procedures," ISO/TC204, 1999.
- 15) J. D. Go, M. S. Jang, "Characteristics and Modeling of Operating Speed at orizontal Curves on Rural Four-Lane Highways," Journal of Transportation Research Society of Korea, Vol.20, No.7, pp.95-105, 2002.