

C.A 모형을 적용한 에이전트 기반 실시간 교통정보 제공에 대한 영향분석

The Impact of real-time information using Agent based simulation
by cellular automata model

임현철

(한국건설기술연구원, 연구원)

최선희

(한국건설기술연구원, 과학기술연합대학원대학교, ITS공학 석사과정)

김성현

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

백남철

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

Key Words : 실시간 교통정보, Cellular Automata모형, Agent 기반

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성
2. 연구 내용 및 방법

II. 이론적 고찰

1. C.A 모형
2. 에이전트 기반모형

III. 모의실험

1. 모의 네트워크 구축
2. 전제 및 주요 가정
3. 결과분석

IV. 결론

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

지능형 교통체계(ITS) 도입 이후 교통정보 제공의 전략적인 운영은 시스템의 제어 효율을 결정하는 주요한 요소가 되었다. ITS시스템에서 제공하는 서비스는 물리적 검지시스템으로부터 검지된 실시간 교통정보를 활용하게 되며, 제공된 교통정보에 의한 운전자의 반응으로 교통 상황은 동적으로 변동하게 된다. 즉, 개별 운전자들은 실시간 교통정보에 대응하여 전략적으로 의사 결정을 하고 이는 다시 교통상황의 변화를 가져오게 된다.

따라서, ATIS(Advanced Traveler Information System)의 잠재적인 편익과 실시간 교통정보의 영향을 분석하기 위해서는 수집된 검지정보를 가공하여 제공되는 교통정보 대한 운전자의 반응과 그 효과에 대한 연구가 이루어져야 한다.

제공되는 교통정보의 수집·가공·제공 방법과 정보의 품질에, 따라서 교통상황의 제어 효과는 달라지게 되며 교통정보에 반응하는 운전자의 행태에 따라서도 교통상황은 동적으로 변하게 된다.

ITS는 교통에 첨단기술을 적용하여 기존도로의 효율을 극대화하고 운전자의 편의도모, 이동성·안전성 확보 등을 목표로 도입, 추진되어 오고 있다. 그러나 ITS 시스템에서 제공하는 동적 교통정보에 대한 영향은 운전자의 행태 및 제공정보의 특성을 고려하여 이루어지지 않고 있다.

즉, ITS는 교통 혼잡을 완화할 수 있는 높은 잠재력을 가진 첨단 기술력을 보유하고 있음에도 불구하고 ITS 시스템에서 제공하는 정보에 대한 운전자의 행태는 충분히 검토되고 있지 않다. 이는 결과적으로 적절한 정보를 제공하지 못함으로써 정보로 인한 부 영향을 가져오는 현상을 가져오기도 한다.

Ben Akiva(1991)의 연구에 의하면 이러한 현상은 다음과 같은 3가지로 나타낼 수 있다.

- 과포화(Oversaturation) : 운전자에게 과다의 정보를 유출할 경우, 운전자는 정보를 무시하고 단순계층적 방법으로 의사결정을 하게 된다. 따라서 교통정보는 개별운전자에 대해 적정하게 제공되어야 한다¹⁾.
- 과도반응(Overreaction) : 제공 교통정보에 대해 다수의 운전자가 반응하여 갑자기 혼잡이 한 곳에서 다른 곳으로 전이되는 현상을 말한다. 이러한 현상은 교통상황의 진동을 가져온다. 즉, 통행시간이 긴 혼잡한 경로보다는 덜 혼잡한 경로로 차량이 이동하게 되며 이는 다시 혼잡을 야기시키고 통행시간을 증가시키게 된다²⁾.
- 과집중(Concentration) : 출발지와 목적지가 같은 운전자들은 그들의 신호와 상황에 대한 인지가 다르므로 노선 배정에 대한 분산을 가져온다. 제공되는 교통정보는 이러한 분산을 줄일 수 있다³⁾.

1) Adler, J., Blue V., 1998.

2) Bonsall, P., 1992.

따라서, 이와 같은 정보의 역효과로 인한 부정향을 제거하고 ITS 시스템의 잠재적인 편익을 극대화시키기 위해서는 시스템에서 제공하는 교통정보의 특성과 이에 대한 운전자의 반응을 고려하여 교통정보의 제공전략을 수립하여야 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 운전자 행태 및 제공 교통정보의 특성에 대한 영향을 분석하기 위하여 지점 검지 정보 및 프로브 차량에 의한 정보를 활용하여 통행시간을 산출하였다. 또한 운전자의 개별 행태를 반영할 수 있는 에이전트 기반의 시뮬레이션을 구축하여 분석하였다.

시뮬레이션에 사용된 C.A(Cellular Automata) 모형은 차량간의 상호 반응 및 운전자 개별 특성을 미시적으로 묘사하고 개별 운전자들의 정보에 대한 전략적 반응을 에이전트(agent) 기반으로 구현할 수 있다.

모의시험에서는 크게 교통정보의 실시간 갱신정도, 교통정보를 대한 운전자의 행태, 자료의 수집 및 제공주기에 의한 영향을 분석하였다.

II. 이론적 고찰

1. C.A 모형

1950년대 이후 교통류에 대한 유체역학적 접근이 소개되었다. 이는 연속류에서 비교적 교통량이 적은 층류로부터 증가하는 차량 밀도에 의한 정체시 충격파 (shock wave)의 전이현상을 성공적으로 묘사하였다. C.A(Cellular Automata) 모형⁴⁾은 연속류에서 발생하는 이러한 현상을 현실적으로 묘사하는 동시에 개별 차량의 상호작용을 미시적으로 묘사하고 있다.

또한 이동거리와 속도를 정수단위로 나타내어 모형 구현 시 뛰어난 연산속도를 가지고 있다. C.A모형은 1차원의 L개의 지점(i)을 갖는 배열을 기반으로 묘사되며 각 지점은 한 개의 셀을 표현한다. 각각의 지점은 한 차량에 의해서 점유되거나 비 점유되며 속도(v)는 0과 최대속도(V_{max}) 사이의 정수로 표현된다. C.A 규칙은 다음과 같이 4단계의 연속적이고 평행한 절차에 의하여 수행된다.

- 1) 가속(Acceleration) : 현재 차량의 속도가 최대속도(V_{max})보다 작고 선행차량과의 차간 간격이 $v+1$ 보다 크다면, $v \rightarrow v+1$
- 2) 차간 간격에 의한 감속(Slowing down) : 만약 속도를 가지고 지점 i에 존재하는 차량의 선행차량이 $i+j$ ($j < v$)에 존재한다면, $v \rightarrow j-1$
- 3) 확률적(Randomization) 운전자특성에 의한 속도감소 : 개별 운전자의 행태를 반영하는 확률 p를 가지고 개별 차량의 속도가 0보다 크다면 $v \rightarrow v-1$
- 4) 차량이동(Car motion) : 각각의 차량은 v 셀수 만큼 이동

C.A 모형은 차량의 연속적인 흐름에서 링크상의 i 지점에 대하여 다음과 같이 지점 밀도 및 교통유율, 평균속도 정보를 수집할 수 있다.

$$\bar{\rho}^T = \frac{1}{T} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+T} n_i(t) \quad \text{<식 1>}$$

여기서,

$\bar{\rho}^T$: T 시간단위의 지점 밀도

T : 일정 시간단위, i : 링크상의 지점(셀)

$n_i(t)$: 시각 t에서 i 번째 셀의 점유 유무

점유시 1, 비 점유시 0

$$\bar{q}^T = \frac{1}{T} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+T} n_{i,i+1}(t) \quad \text{<식 2>}$$

여기서,

\bar{q}^T : T 시간단위의 교통유율

$n_{i,i+1}(t)$: 시각 t에서 i와 i+1셀의 차량 통과유무,

통과차량이 존재하면 1 아니면 0

$$v_{AVE} = \frac{1}{N} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+T} v_{i,i+1}(t) \quad \text{<식 3>}$$

여기서,

v_{AVE} : T 시간단위의 평균속도

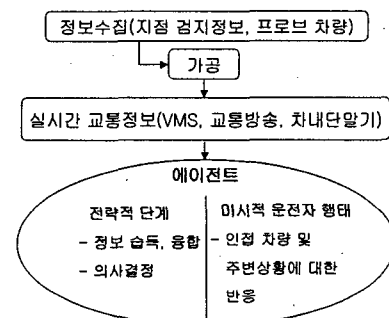
N : 분석단위시간 동안의 총 통과차량

$v_{i,i+1}(t)$: 시각 t에서 i와 i+1셀을 통과하는 차량 속도

2. 에이전트(Agent)기반 모형

여기에서는 개별차량이 주체적으로 정보를 받아들이고 의사결정을 수행하는 에이전트 기반의 모형을 구축하였다. 운전자는 선행차량과의 상호작용 및 주변상황에 대한 자극에 반응하여 주행하는 동시에 실시간 교통정보를 습득하고 이에 대한 의사결정을 수행하게 된다.

본 모형에서 각각의 에이전트(차량 운전자)들은 미시적 주행행태를 묘사하는 단계와 정보를 습득, 융합하여 의사결정을 내리는 전략적 단계를 수행하게 된다.



<그림 1> 에이전트 기반 모형

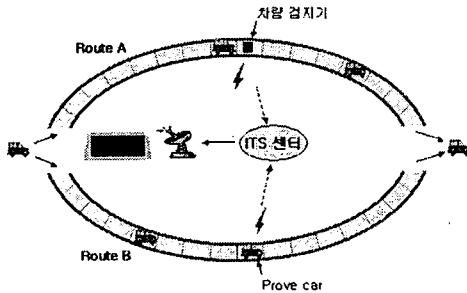
3) Arnott, R., de Palma, A., Lindsey, R., 1991.

4) Kai Nagel, Michael Schreckenberg, 1992

III. 모의실험

1. 모의 네트워크

본 모의실험에서는 링크길이가 3,000개의 셀로 이루어진 두 개 루트의 네트워크를 구축하였다. 셀의 크기는 정체 시 차량 한 대의 점유 공간인 7.5m(차량길이 4.5m, 최소차간 간격 1.5m)로 설정하였다. 링크길이는 A, B 모두 $L=3,000$ 셀(22.5km)이며 최대속도 $V_{max}=5$ 셀(135km)이다.



<그림 2> 모의 네트워크

2. 전제 및 주요 가정

1) 운전자 그룹

운전자는 크게 2 그룹으로 가정하였다. 첫째는 교통정보를 사용하지 않는 운전자(p_{non}) 그룹이다. 이들은 교통정보 수신 장치(차내단말기 등)의 부재로 정보의 습득이 불가능하거나 정보를 습득하더라도 이를 무시하고 자신의 경험적 판단을 우선시 하는 운전자이다. 본 모의실험에서 교통정보를 활용하지 않는 운전자는 각각 $p_A, p_B (= 1 - p_A)$ 의 확률로 경로 A, B를 선택한다고 가정하였다.

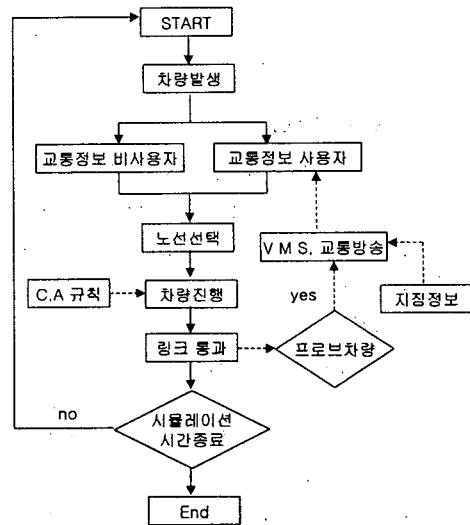
둘째는 교통정보를 사용하는 운전자(p_{ATIS}) 그룹이다. 이들은 VMS(가변정보판), 교통방송, 차내단말기 등을 통하여 실시간 교통정보를 습득하고 이를 이용하여 합리적인 경로를 선택한다. 본 시험에서는 교통정보를 활용하는 운전자 그룹은 모두 통행시간이 적은 경로를 선택한다고 가정하였다.

2) 통행시간 정보 유형

운전자에게 제공되는 교통정보는 통행시간이며 이는 두 가지 방법으로 수집되는데 첫째는 프로브 차량을 통한 통행시간 정보이다. 경로를 벗어나는 차량이 프로브 차량(p_{pro})일 경우 자신의 통행시간 정보를 센터에 전달하게 된다. 통행시간 정보는 경로를 벗어나는 프로브 차량의 최근 20대의 통행시간의 평균값으로 가공되며 이는 VMS(가변정보판), 교통방송, 차내 단말기 등을 통하여 운전자에게 전달하게 된다.

둘째는 링크의 중간지점(1500번째 셀)에서 수집주기 동안 검지되는 차량의 평균 통행속도정보를 활용하였다. 이는 <식 3>를 통하여 수집주기 당 산출되는 지점통행속도를 통행시간

(L / v_{AVE}) 정보로 가공하여 제공하였다.



<그림 3> 시뮬레이션 순서도

3) 구현 방법

<그림 2>와 같은 2-루트 네트워크에서 링크 A, B 모두 $L=3,000$ 셀(22.5km)이며 최대속도 $V_{max} = 5$ 셀(135km)이다. 시뮬레이션 시간단위는 1초이며 각각의 시험에서 40,000초의 running time을 시행하였으며 모형은 MS사의 MFC를 사용하여 구축하였다.

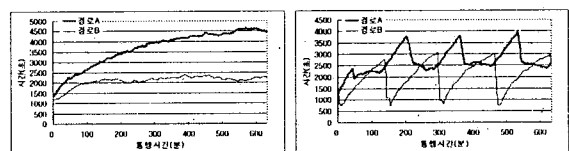
3. 결과분석

1) 운전자의 행태에 대한 분석

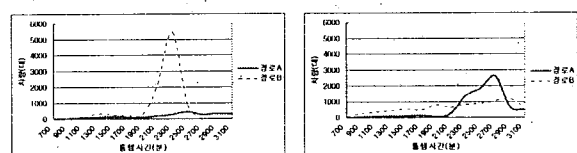
교통정보를 활용하는 운전자의 비율(p_{ATIS})에 따른 영향을 분석하기 위하여 p_{ATIS} 가 0.2인 경우(case 1)와 p_{ATIS} 가 0.7인 경우(case 2)를 비교·분석하였다. 교통정보를 활용하지 않는 운전자는 완전교통정보제공에 대한 인식을 하지 못한다는 점과 유고상황, 통행집중의 현상을 반영하여 경로 A에 집중적으로 통행량이 배정된다고 가정하였다.

case 1) $p_{pro} : 0.7$ $p_A : 0.9$, $p_{ATIS} : 0.2$

case 2) $p_{pro} : 0.7$ $p_A : 0.9$, $p_{ATIS} : 0.7$



<그림 4> case1(좌), 2(우)의 통행시간



<그림 5> case1(좌), 2(우)의 단위 통행시간 당 교통량

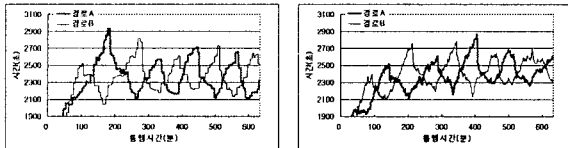
<그림 4>에서와 같이 교통정보의 사용자가 전체의 약 20%인 경우(case1)보다 70%인 경우(case2)가 시간의 진행에 따라 노선 A와 B사이의 통행시간이 진동하는 것을 보여준다. 또한 완전교통정보를 인식하지 못한 운전자들이 특정경로에 집중할 때 교통정보를 사용하는 운전자가 많을수록 총 통행시간이 줄어드는 것을 <그림 5>를 통하여 알 수 있다.

2) 프로브 차량 수집정보 비율에 대한 영향분석

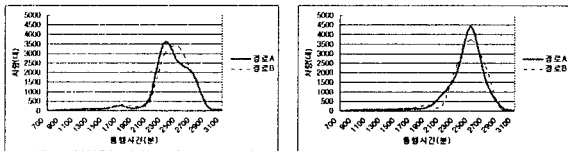
수집 데이터의 양이 많아질 때, 즉 프로브 차량의 비율이 높아질 때의 영향을 분석하였다.

case 1) $p_{ATIS} : 0.5, p_A : 0.5, p_{pro} : 0.2$

case 2) $p_{ATIS} : 0.5, p_A : 0.5, p_{pro} : 1$



<그림 6> case1(좌), 2(우)의 통행시간



<그림 7> case1(좌), 2(우)의 단위 통행시간 당 교통량

<그림 6>에서와 같이 프로브 차량의 비율이 높을수록 노선 A, B에 대한 통행시간의 진동주기는 짧아지고 진동폭은 적어지는 현상을 나타내었다. 또한 전체적인 통행시간 분포는 <그림 6>에서와 같이 프로브 차량의 비율이 높을수록 균등한 통행시간을 갖는 것으로 나타났다.

3) 지점검지정보의 수집주기에 대한 영향분석

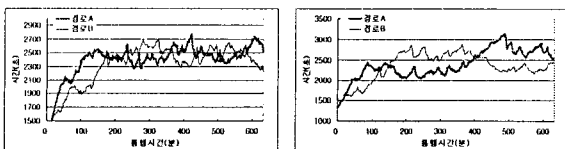
제공하는 통행시간 정보를 프로브 차량 대신 링크 중간 지점(1500번째 셀)의 지점 평균속도를 사용하였다. 지점평균속도는 주기 당 그 지점을 통과하는 모든 차량의 평균통행속도를 의미하며 여기에서는 수집주기를 5분, 10분, 15분 단위로 설정하여 비교, 분석하였다.

모든 case에 대하여 $p_{ATIS}:0.5, p_A:0.5, p_{pro}:1$ 로 일정하며, 지점정보 수집주기는 case 별로 다음과 같다.

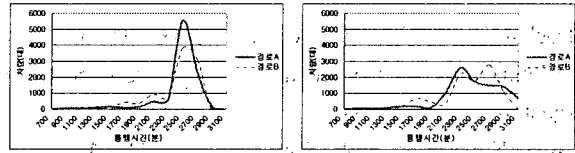
case 1) 지점정보 수집주기(Cycle) : 5분(300초)

case 2) 지점정보 수집주기(Cycle) : 10분(600초)

case 3) 지점정보 수집주기(Cycle) : 15분(900초)



<그림 8> case1(위,좌), 2(위,우), 3(아래)의 통행시간



<그림 9> case1(위,좌), 2(위,우), 3(아래)의 단위 통행시간 당 교통량

<그림 8>에서와 같이 수집주기가 짧을수록 노선 A, B의 통행시간의 진동주기와 진동 폭이 짧아지는 것으로 나타났다. 이는 정보의 갱신주기가 짧을수록 통행 배정의 평형에 가까워지는 것을 나타낸다. <그림 9>에서는 수집주기가 길수록 전체 통과차량의 통행시간이 보다 완만한 분포를 갖는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 실시간 교통정보제공에 대한 운전자의 행태, 제공정보의 특성에 대한 영향 분석을 위해 운전자가 정보를 습득하고 의사결정을 내릴 수 있는 에이전트기반의 모의시뮬을 실시하였다. 시험결과 실제 교통현상에서 발생할 수 있는 특정 경로로의 통행집중의 상황에서 실시간 교통정보를 활용하는 운전자가 많을수록 총 통행시간이 짧아지는 것으로 나타났다.

또한 정보의 수집주기가 짧고 정보갱신이 실시간적으로 이루어질수록 통행시간은 균형상태의 근처에서 짧은 진동주기 및 진동 폭을 갖는 것으로 나타났다.

그러나 본 연구에서는 확장된 네트워크에 대한 시험을 시행하지 못하였으며 교통정보를 받아들이는 운전자의 다양한 행태를 반영하지 못하였다.

본 연구에서의 실시간 교통정보에 대한 운전자의 행태 및 교통정보의 특성 분석은 향후 ATIS 시스템의 효과분석 및 제어전략 수립에 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Adler, J., Blue, V., 1998. Toward the design of intelligent traveller information systems. Transp. Res. C 6, 157
2. Arnott, R., de Palma, A., Lindsey, R., 1991. Does providing information to drivers information to drivers reduce traffic congestion. Transp. Res A 25A, 309.

3. Ben_Akiva, M., de Palma, A., Kaysi, I., 1991. Dynamic network models and driver information systems. *Transp. Res. A* 25, 251
4. Bonsall, P., 1992. The influence of route guidance advice on route choice in urban networks. *Transportation* 19, 1-23
5. Joachim Wahle, Ana Lucia C. Bazzan, 2002 The impact of real-time information in a two-route scenario using agent-based simulation
6. Kai Nagel, Michael Scheckberg, 1992, A cellular automaton model for freeway traffic
7. Nagel, K., Wolf, D., Wanger, P., Simon, P., 1998. Two-lane traffic rules for cellular automaton: A systematic approach. *Phys. Rev E* 58, 1425.