

Cellular Automata모형을 이용한 시뮬레이션 및 동적 통행배정에 관한 연구

A Study on Simulation and Dynamic Traffic Assignment using Cellular Automata Model

권순실

(서울시립대, 석사과정)

이승재

(서울시립대, 부교수)

목 차

I. 서론	3. OD별 차량진입모듈
1. 연구배경 및 목적	4. 차량이동모듈
2. 연구범위 및 방법	5. 최단경로 탐색 모듈
II. 이론적 배경	IV. 모형의 분석 및 결과분석
1. Cellular Automata 이론의 기본개념	1. 적용 네트워크
2. 차량추종모형	2. 모형의 적용 결과 및 분석
III. 모형의 구축	V. 결론 및 향후연구과제
1. 전체 프로그램 수행 체계	참고문헌
2. 네트워크 생성모듈	

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국내에서 도시의 교통혼잡은 더 이상 도로의 신설과 확장에 의해 해결하기에는 한계에 와있으며, 예전부터 도로운영의 효율 향상과 수요관리에 관심을 가져 왔다. 도로의 효율적인 활용을 위한 정책수립을 위해 교통상황을 미리 예견할 수 있는 분석 도구, 즉 시뮬레이션 모형의 개발은 꾸준히 이루어져 왔다. 지금까지 개발되어 활용되고 있는 거시적(Macroscopic) 시뮬레이션 모형은 복잡한 교통현상을 정확히 분석하기에는 한계점을 내포하고 있다. 그러므로, 개별차량의 행태를 반영하면서 대규모 네트워크에 적용이 가능한 시뮬레이션 모형 개발이 필요하다. 현재 여러 교통선진국들에서는 차량행태모형에 기반을 둔 대규모 네트워크 시뮬레이션 모형을 개발하고 있으며, TRANSIMS, INTEGRATION 등의 여러 모형이 개발되어 실용화되고 있다.

실시간으로 교통상황을 파악하고 해결할 수 있는 동적 통행배정모형의 개발이 요구되어 왔는데, 최근 지능형 교통체계(ITS: Intelligent Transportation

System) 개발에 따른 운전자의 동적통행행태 분석의 필요에 따라 동적 통행배정모형의 개발이 더 활발하게 이루어지고 있다. 기존의 동적 통행배정모형은 링크통행비용을 단지 교통량에 의해 계산한다. 이는 다수의 변수를 가지고 변화하는 교통현상을 제대로 반영할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

본 연구의 목적은 크게 2가지로 구성된다. 첫째, 대규모(large-scale) 가로망에 개별차량의 행태를 반영할 수 있는 시뮬레이션 모형을 구축하고, 더 나아가 도시 가로망의 교통특성을 잘 설명할 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하는 것이다. 둘째, 구축된 시뮬레이션 모형을 이용하여 링크 상에서 발생하는 교통현상을 고려하여 보다 현실적인 링크통행비용을 예측할 수 있다. 이를 통해 기·종점(OD)교통량을 기반으로 한 동적 통행배정모형을 개발한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 개발한 시뮬레이션 모형은 K. Nagel 과 M. Schreckenberg가 1992년에 발표된 Cellular Automata 모형을 기초로 하였다.

주요모듈구성은 네트워크 생성모듈, 차량진입모듈, 차량추종모듈, 최단경로 탐색모듈로 구성되어 있다.

적용에 대한 평가는 TOY NETWORK를 대상으로 평가하며, 네트워크 평형상태에 이르는 것과 교통류 현상을 반영하는지를 보인다.

II. 이론적 배경

1. Cellular Automata 이론의 기본 개념

Cellular Automata모형에 기반을 둔 차량행태모형은 1992년 Nagel K. and Schreckenberg M.에 의해 처음 시도되었으며 현재까지 활발한 연구가 진행되고 있는 실정이다.

Cellular Automata 모형은 가로망을 차량한대 점유할 수 있는 cell단위로 나눈 다음, cell 내부의 차량 점유상태에 따라 간단한 수학적 모형 즉, 차량추종모형과 차로변경모형을 적용하여 개별 차량들을 연속적으로 업데이트 시키면서 차량흐름을 확산시키는 개념을 지닌 모형으로 여러 교통현상의 분석에 있어 짧은 Computing Time을 요구하고, 차량을 움직임을 그래픽으로 나타낼 경우 차량의 cell 점유상황정보 {0,1}과 속도정보만을 가지고 그래픽 표현이 가능하므로 다른 미시적 모형에 비하여 적은 Computing Memory를 필요로 한다. 또한 여러 교통상황 및 가로망구조에 맞는 다양한 모형을 적용시킬 수 있는 구조를 지니고 있어 대규모 네트워크를 미시적으로 시뮬레이션 하는데 타당한 모형이다.

Cellular Automata에 기반을 둔 차량행태모형은 기본적으로 Cellular Automata모형에서 기본개념을 가져 왔지만 교통분야에 접목을 시키기 위하여 많은 부분이 수정되어 개발되었다.

차량행태모형에 사용된 cell의 공간적 구조는 차량한대가 점유할 수 있는 공간, 즉 차량길이와 최소 차두거리에 의해 결정되며, cell의 상태값은 차량점유상황에 따라 {0,1}의 값을 갖는다. 그리고 cell을 점유한 각 차량들은 하나의 속성값을 갖게 되는데, 이는 속도를 의미한다. 이 때의 속도는 일반적으로 사용되는 m/s나 km/h의 값이 아니라 cell/s로 표현되며, 0 ~ 5cell/s의 범위값을 갖게 된다. 5cell/s의 값은 차량이 가질수 있는 최대속도를 뜻하며 일반적인 cell길이 7.5m를 적용할 경우 135km/h해당되는 속도이다. 다음 <표1>은 이동 Cell 개수별 속도를 계산한 표이다.

<표 1> 이동Cell개수별 표현 속도

이동cell 개수	속도(km/h)
1	27
2	54
3	81
4	108
5	135

2. 차량추종모형의 개념

차량은 기본적으로 자신이 가질 수 있는 최대속도까지 가속하기를 원하며, 앞차량과의 차두거리에 따라 자신의 속도로 결정된다.

규칙 1 Acceleration Rule	$V \rightarrow \min [V+1, V_{max}]$
자신이 가질 수 있는 최대속도보다 현재속도가 작다면 가속	
규칙 2 Deceleration Rule	$V \rightarrow \min [V, g_n]$
전방차량과의 거리가 영향을 미칠 수 있는 범위 안에 존재하면 g_n 만큼 속도 감속	
규칙 3 Randomization	$V \rightarrow [V-1, 0]$ with P_{noise}
차량은 확률 P_{noise} 를 가지고 자신의 속도를 1만큼 감속	
규칙 4 Movement Rule	New cell = Current Cell + V
차량은 V 속도를 가지고 전방으로 움직임	

여기서,

$$v = \text{차량의 속도(cell/s)}$$

$$v_{max} = \text{차량이 가지는 최대속도(cell/s)}$$

$$g_n = \text{주행차로 전방 차두거리(cell)}$$

$$p_{noise} = \text{차량이 불규칙적으로 감속하는 비율}$$

$$\text{New cell} = \text{차량이 } (t+1) \text{시간 후에 존재하게 될 cell위치}$$

$$\text{Current cell} = \text{차량이 } t \text{시간에 존재하고 있는 cell위치}$$

1) 결정론적(Deterministic) CA차량추종모형
결정론적 모형의 가속-감속-이동의 3단계 이동 규칙만을 가진다. 결정론적 CA차량추종모형은 최대속도에 도달할 때까지 단위 가속 셀 단위(ac)로 가속하게 되며, 만일 차량의 속도가 전방 선행차량과의 점유되지 않은 셀의 개수(g_n)보다 크면 g_n 의 속도로 감속하면서 산정된 속도만큼 이동(Hopping)하게 된다. 따라서 결정론적 CA차량추종모형은 차량의 가속단계에서 단위 셀 길이의 급격한 가속을 하게 되며, $g_n \geq 1$ 일

경우 무조건적인 가속을 보이게 되어 용량이 지나치게 높게 나타나 비현실적이고, 감속단계에서 g_n 만큼의 속도로 감속하게 되어 현실적인 차량의 감속을 설명하지 못 한다.

2) 확률적(Stochastic) CA차량추종모형

확률적 CA차량추종모형의 이동규칙은 결정론적 CA차량추종모형을 기반으로 무작위화(Randomization)단계를 포함하는 가속, 감속, 무작위화, 이동의 4단계로 구성된다. 무작위화를 통한 차량의 가 - 감속은 결정론적 CA차량추종모형이 설명할 수 없는 가속소음을 설명하면서 용량 및 차량의 이동행태를 결정하게 되며, 무작위화의 적용형태에 따라 여러모형이 있다. 그 중 NaSch모형을 살펴본다.

K. Nagel과 M. Schreckenberg은 결정론적 CA차량추종모형의 수정으로 다음과 같은 4단계 CA차량추종모형을 제시하였다. 결정론적 CA모형의 가속(1단계)-감속(2단계)-이동(4단계)의 단계는 같으며 아래 단계 3에서 차이를 보인다.

단계 3 : 무작위화 (Randomization)

$$v_{t+1} = \max \{ v_{t+1} - ac, 0 \}$$

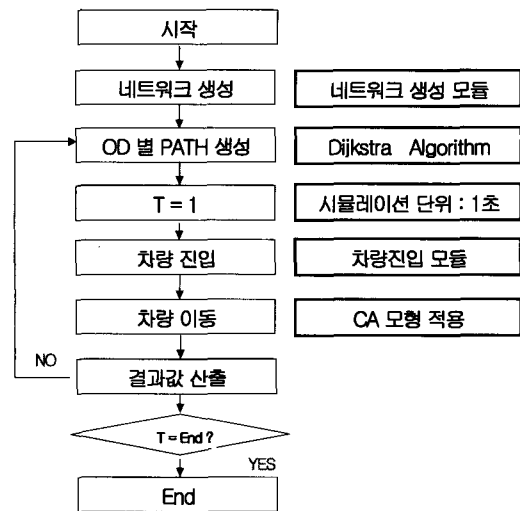
$$\text{if} (p_{noise} \geq p_{random})$$

NaSch 모형은 가-감속 규칙에 의하여 갱신된 속도에 대하여 무작위화를 이용한 감속규칙을 통하여 차량의 속도를 감속시키게 된다. 따라서 차량의 가속은 정지한 차량의 경우 전방에 점유되지 않은 셀이 일개 이상 ($g_n \geq 1$)이 될 경우 p_{noise} 와 발생된 확률값에 따라 출발하게 되며, 차량의 가속-주행-감속간에 발생하는 가속소음을 설명하게 된다. 이러한 p_{noise} 의 기능을 추가함으로써 용량부분을 설명하게 된다.

III. 모형의 구축

1. 전체 프로그램 수행 체계

본 모형의 구성은 네트워크 생성모듈, 최단경로 탐색 모듈, 차량 진입 모듈, 차량 이동모듈, 결과값 생성 모듈로 구성되어 있다. <그림1>은 본 모형의 전체적인 흐름도를 보여준다.



<그림 1> 전체 모형의 흐름도

2. 네트워크 생성 모듈

네트워크는 노드(node)와 링크(link)로 구성되며, 본 연구에서는 cell을 기반으로 구축된 모형이기 때문에 링크는 cell로 나뉘어진다. 노드는 차량 발생 노드와 연결노드로 구분하였고, 링크는 차량 발생 링크, 연결 링크, 본선분기 링크, 차량도착 링크로 구분하였다.

<표 2> Node Type

Node Type	설명
1	차량발생노드
2	연결노드

<표 3> Link Type

Link Type	설명
1	차량 발생 링크
2	연결 링크
3	차량 도착 링크

3. OD별 차량진입모듈

OD는 시간단위로, 차종은 승용차만으로 이루어져 있는 것으로 가정하였다. 그리고 차량을 발생할 때 차량이 갖는 최대 속도값을 설정하도록 하였다.

차량 발생은 시뮬레이션 기본 시간인 1초 단위로 발생되며, 발생확률을 준 후, 발생확률이 추출확률이 클 경우 유입 차로 진입공간을 탐색 후 진입 공간이 있으면 차량을 진입한다.

4. 차량 이동모듈

차량 이동모듈은 TRANSIMS에서 개발한 Cellular Automata 의 차량추종 모형을 따른다. 이 중, 확

물적(Stochastic) CA차량추종모형 중 NaSch모형 (Nagel and Schreckenberg's model)을 따른다.

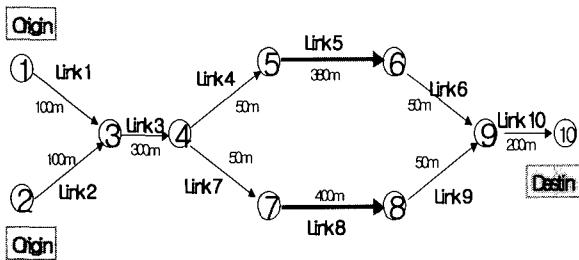
5. 최단경로 탐색 모듈

최단경로 알고리즘은 발생한 모든 차량에 대해서 Time Slice 마다 수행해 준다. Time Slice는 네트워크의 크기에 따라 조정할 수 있으며, 모든 출발 노드에서 모든 도착 노드까지를 탐색하며, 모든 노드에서는 모든 도착 노드까지의 최단경로에 대한 정보를 저장하게 된다. 최단 경로 알고리즘 중 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 탐색하였다. 링크 비용의 산정은 링크 내 각 차량의 평균속도를 계산하여 사용하였다.

IV. 모형의 분석 및 결과분석

1. 적용 네트워크

다음은 본 모형을 적용한 네트워크 자료이다.



<그림 2> 적용 네트워크

<표 4> 적용 네트워크 입력자료

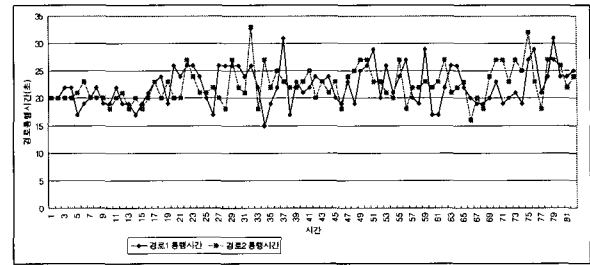
Link ID	From Node	To Node	Length	Cell Count	LINK TYPE
1	1	3	100	20	1
2	2	3	100	20	1
3	3	4	300	60	2
4	4	5	50	10	2
5	5	6	380	76	2
6	6	9	50	10	2
7	4	7	50	10	2
8	7	8	400	80	2
9	8	9	50	10	2
10	9	10	200	40	3

2. 모형의 적용 결과 및 분석

아래 그래프는 경로1과 경로2를 지나가는 시간대별 교통량을 표현했다. 여기서, 경로1은 Link5를 지나가는 것을 의미하고, 경로2는 Link3을 지나가는 것을 의미한다. 경로1과 경로2를 지나가는 교통량이 조금씩

변동을 보이는 것은 확률적 CA모형에서 보일 수 있는 것이다.

경로1과 경로2의 통행시간이 비슷한 것으로 보아 네트워크의 평형상태를 반영한다고 볼 수 있다.



<그림 3> 경로1, 경로2 통행시간

V. 결론 및 향후연구과제

첫째, 도시부 네트워크 적용에 더 근접하기 위해 신호 모듈을 추가하여 적용할 것이다.

둘째, 단일 차로에서 다차로의 차량을 표현하기 위하여 묶음(Packet)방식을 사용한다. 차량의 표현은 묶음(Packet)방식을 이용하여 현대의 개별차량이 실제 차로수(n) 만큼의 차량을 의미한다.

셋째, 강남구 네트워크에 적용하여 모의실험을 해보고, 실제 데이터와 비교한다.

참고문헌

- 장현호, 2002, "CA모형을 이용한 대규모 가로망 구간통행시간 예측에 관한 연구" 서울시립대학교 대학원 교통공학과
- Traffic and Granular Flow 97, edited by M. Schreckenberg & D. E. Wolf, Springer, 1997
- Traffic and Granular Flow 99, edited by D. Helbing H. J. Herrmann, M. Schreckenberg, D. E. Wolf, Springer, 1999
- M. Schreckenberg, A. Schadschneider, K. Nagel, N. Ito, Discrete stochastic models for traffic flow, Physical Review E. Copyright (1995) by The American Physical Society
- K. Nagel et al, "Two-lane traffic rules for cellular automata": A systematic approach, Physical Review E. Copyright (1998) by The American Physical Society
- Traffic flow theory: Stephan Krauss, Kai Nagel, and Peter Wager, The mechanism of flow breakdown in traffic flow models