

# 데이터 기반 교통 흐름 시스템 다이내믹스 환경 모델 생성 및 추론 기법

김태환<sup>o</sup>, 조은호, 신용준, 배두환  
한국과학기술원

{ghks0830, proseuche}@kaist.ac.kr, {yjshin, bae}@se.kaist.ac.kr

## Data-Driven Traffic Environment System-Dynamics Model Generation & Inference Method

Tae-Hwan Kim<sup>o</sup>, Eunho Cho, Yong-Jun Shin, Doo-Hwan Bae  
School of Computing, Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST)

### 요 약

무인 자동차나 스마트 시티에 대한 관심이 높아져 도로 교통 시뮬레이션의 수요가 증가하고 있으며, 이를 위해 현실적인 교통 흐름 환경 모델 생성이 필요하다. 시뮬레이션을 위해 교통 환경 모델을 제작한 연구가 있지만, 실제 교통 흐름에 대한 이해가 부족한 경우 현실을 모사하는 시뮬레이션 모델을 생성하는 것은 어렵다. 그러나 최근 활용 가능한 공공 데이터가 다양해져 실제 교통 상황을 측정된 데이터를 누구나 얻고 활용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 데이터를 기반으로 교통 흐름 환경 모델을 생성하는 알고리즘을 제시한다. 데이터에 기반하여 교통 흐름을 모사하는 환경 모델을 시스템 다이내믹스로 표현하고, 유전 알고리즘을 사용하여 데이터에 나타나지 않는 교통 흐름의 행동 메커니즘을 추론한다. 제안된 모델 생성 기법을 평가하기 위해 국내 공공 교통 데이터를 사용해 사례 연구를 진행한다.

### 1. 서론

스마트 시티, 지능형 교통 시스템과 무인 자동차에 관한 관심이 증가함에 따라 교통 환경 시뮬레이션에 대한 수요가 증가하고 있으며 이를 위해 현실적인 교통 흐름을 모사하는 환경 모델이 필요하다. 현실적이며 시뮬레이션 가능한 환경 모델 생성을 위해서는 관심 지역의 교통 흐름과 시뮬레이터에 관한 전문적인 지식이 필요하므로 해당 지식이 부족한 경우에 교통 흐름을 시뮬레이션하고 분석하기는 쉽지 않다. 그러나 최근 많은 공공기관에서 충분한 양의 공공 데이터를 제공하고 있으며, 이러한 방대한 데이터를 활용하여 대상 환경을 분석하고 이해할 수 있다. 따라서 본 논문은 데이터를 이용하여 교통 흐름 시뮬레이션을 위한 환경 모델을 생성하는 알고리즘을 제시한다. 본 논문은 교통 흐름을 시스템 다이내믹스 모델로 표현하며 데이터에 기반하여 유전 알고리즘으로 교통 흐름의 행동 메커니즘을 추론한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 선행 연구를, 3장에서는 본 논문의 이론적 배경을 소개한다. 4장에서는 데이터 기반 교통 흐름 환경 모델 생성 알고리즘을 제시하며, 5장에서는 사례 연구로써 공공 데이터를 이용해 모델을 생성하고 검증한다.

6장에서는 본 논문의 결론을 짓는다.

### 2. 선행 연구

현실적인 교통 흐름 모델[1]과 시뮬레이터[2]는 교통 시뮬레이션에 필수적이며, 이는 교통 정책의 타당성을 검증하거나[3], 교통 흐름과 주변 요인의 관계성을 분석하는 데 사용될 수 있다. 이를 위해 시뮬레이션이 가능한 교통 환경 모델이 필요하며 복잡계를 간단한 구성으로 모델링하여 분석하고 시뮬레이션할 수 있도록 하는 모델인 시스템 다이내믹스[4]가 활용되었다. 교통 흐름[5], 혹은 교통 흐름에 따른 CO2 배출량[6] 분석, 그리고 택시 관리 시스템[7]을 위해 시스템 다이내믹스 모델을 생성한 연구들이 있다. 그러나 시스템 다이내믹스를 이용한 모델링 연구 대부분은 모델링을 위해 교통 환경에 대한 이해를 전제하고 있으며 대량의 환경 데이터를 모델링에 활용하는 방법을 제시하지 않는다. 또한, 실제 교통 데이터와 시스템 다이내믹스를 이용하여 현실적인 교통 흐름 모델을 효율적으로 생성하는 기법이 부족하다. 본 논문에서는 기존 연구와 달리 교통 환경에 대한 이해를 공공 데이터로 대체하며, 현실적인 교통 환경 시스템 다이내믹스 모델을 생성하는 알고리즘을 제안한다.

### 3. 이론적 배경

#### 3.1. 시스템 다이내믹스

시스템 다이내믹스는 시스템의 여러 구성 요소 간의 관계를 분석함으로써, 복잡계의 현상을 이해하는 데 사용되는

\* 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-차세대 정보 컴퓨팅기술개발사업의 지원(NRF-2017M3C4A7066212)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 SW중심대학사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2016-0-00018)

모델이다[4]. 시스템 다이내믹스 모델링을 위해서는 Stock & Flow diagram의 작성이 필요하고, Stock과 Flow는 각각 시스템 및 환경을 구성하는 요소와 이들 간의 관계를 나타낸다. 시스템 다이내믹스는 간단한 구성 요소로 복잡한 시스템을 모델링하고 이를 시뮬레이션 할 수 있다는 장점이 있다.

3.2. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 최적 해에 가까운 답을 찾기 위해 사용하는 알고리즘이다. 풀어야 할 문제에 대한 해를 유전자로 표현하고, 각 유전자가 최적 해에 가까운지 평가하는 적합도 함수(fitness function)를 설정한다. 세대마다 적합도 함수를 이용해 다음 세대로 전이될 유전자를 결정하고, 전이된 유전자에 돌연변이, 교배 등의 연산을 가해 다음 세대의 유전자를 생산한다. 이를 반복하여 최적 해에 가까운 유전자를 찾는다.

4. 교통 흐름 환경 모델 생성 및 추론 기법

이번 장에서는 교차로의 교통 흐름 시스템 다이내믹스 모델을 생성하고 데이터에 기반해 모델 내부 행동 메커니즘을 유전 알고리즘으로 추론하는 알고리즘을 보인다.

4.1. 교차로의 시스템 다이내믹스 모델 생성

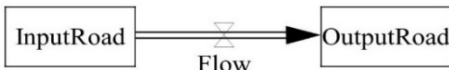


그림 1. 교차로의 시스템 다이내믹스 기본 구조

그림 1은 교차로의 시스템 다이내믹스 모델의 기본 구조이다. 각 도로의 교통량을 Stock으로, 각 도로 간 차량 이동을 Flow로 표현한다.

In	D F IR OR	List of traffic data of each roads List of traffic flows (input road, output road) List of the input road index of D List of the output road index of D
Out	SD	System dynamics
1	<b>Begin</b>	
2	Initialize: SD is a new System Dynamics Model.	
3	Initialize: SD.stocks is an empty list.	
4	<b>for</b> i := 0 to length(D) + length(IR) <b>do</b>	
5	SD.stocks.append(Stock(Initialized value = 0))	
6	<b>for</b> i := 0 to length(IR) <b>do</b>	
7	newFlow := Flow(i + length(D), IR[i])	
8	SD.AddFlow(newFlow, i + length(D), IR[i])	
9	<b>for</b> i := 0 to length(F) <b>do</b>	
10	source, target := F[i]	
11	newFlow := Flow(source, target)	
12	SD.AddFlow(newFlow, source, target)	
13	<b>for</b> i := 0 to length(OR) <b>do</b>	
14	newFlow := Flow(OR[i], None)	
15	SD.AddFlow(newFlow, OR[i], None)	
16	<b>for</b> i := 0 to length(IR) <b>do</b>	
17	SD.stocks[i + length(D)].setEquation(D[IR[i]])	
18	<b>return</b> SD	
19	<b>End</b>	

그림 2. 교차로의 시스템 다이내믹스 모델 생성 알고리즘

그림 2는 위에서 보인 모델의 기본 구조를 토대로 특정 교차로의 교통 흐름 시스템 다이내믹스 모델을 생성하고 데이터에 기반하여 모델을 초기화하는 알고리즘이다. 각 도로의 교통 데이터(D), 교차로의 정보(F, IR, OR)를 기반으로, Stock과 Flow를 가지는 시스템 다이내믹스 모델(SD)을 반환한다.

4~5번 줄은 교차로의 모든 도로의 개수와 Input road의 개수

합만큼 Stock을 만들고, SD.stocks에 추가하는 것을 보여준다. Input road의 개수만큼 Stock을 추가로 만들어주는 이유는 교차로로 들어가는 Flow를 만들어주기 위함이다. 6~8번 줄에서는 추가로 만든 Stock과 Input road 간의 Flow를 생성하여, 각 Stock에 연결한다. 9~12번 줄에서는 도로 간의 연결 구조(F)에 기반하여 Input road와 Output road 간의 Flow를 생성하고 각 Stock에 연결한다. 13~15번 줄에서는 Output road에서 나가는 Flow를 생성하고, 해당 Stock에 연결한다. 16~17번 줄에서는 교통 데이터를 분석하여 교차로로 들어가는 Flow의 시간에 따른 식을 설정하여 준다.

4.2. 교차로 모델의 교통 흐름 메커니즘 추론

In	D F SD GAC	List of traffic data of each roads List of traffic flows (input road, output road) System dynamics Genetic algorithm configurations
Out	Genes	List of behavior mechanism genes
1	<b>Begin</b>	
2	Initialize: Genes is an empty list	
3	<b>for</b> t := 0 to maxTimeUnit <b>do</b>	
4	Goal := GoalGeneration(D, t)	
5	pop := RandomPopulation(GAC, F)	
6	<b>for</b> g := 0 to generation <b>do</b>	
7	pop := Selection(pop, GAC)	
8	pop := Crossover(pop, GAC)	
9	pop := Mutation(pop, GAC)	
10	bestIndividual := Evaluation(pop, Goal)	
11	Genes.append(bestIndividual)	
12	<b>return</b> Genes	
13	<b>End</b>	

그림 3. 교차로 환경 모델의 교통 흐름 메커니즘 추론 알고리즘

그림 3의 알고리즘은 4.1장의 알고리즘에서 생성한 시스템 다이내믹스 모델(SD), 교차로의 교통 데이터(D), 교차로의 도로 간 연결 정보(F)와 유전 알고리즘 상수 집합(GAC)을 이용하여 교통 흐름 메커니즘을 추론한다.

이 알고리즘에서 gene은 교차로 내 Flow의 개수를 길이로 가지는 list이다. 해당 list 내의 변수는 특정 InputRoad에서 OutputRoad를 잇는 Flow로 이동하는 차량의 비율을 결정한다.

4번 줄에서는 교통 흐름 메커니즘의 올바른 추론 여부 확인을 위한 특정 시간 t의 목표 교통량을 데이터를 기반으로 구한다. 5번 줄에서 임의의 population을 생성하고, generation만큼 7~9번 줄을 실행한다. 7~9번 줄은 유전 알고리즘의 Selection, Crossover, Mutation을 수행한다. 적합도 함수는 해당 gene으로 시스템 다이내믹스의 Flow 별 차량 이동량을 결정하고, 시간 t의 시스템 다이내믹스의 시뮬레이션 결과와 목표 교통량 간의 차이를 평가한다. 10~12번 줄은 시간마다 최적의 gene을 누적하여 반환한다. 반환된 gene으로 시스템 다이내믹스 모델 내 Flow의 시간별 차량 이동량을 결정하여 현실 데이터와 유사한 교통 흐름을 보이는 모델을 얻을 수 있다.

5. 사례 연구

5.1. 대상 교통 환경과 실험 설정

4장에서 보인 알고리즘을 검증하기 위하여 경부고속도로와 평택제천고속도로가 만나는 분기점인 안성JC의 교통 데이터를 기반으로 교통 흐름 시스템 다이내믹스 모델을 생성하였다.

경기도 교통정보센터<sup>1</sup>에서 제공하는 2017년 10월 1일부터 2018년 9월 30일까지의 평일 일반차로 교통량 데이터를 사용하였다. 표 1은 교통 흐름 메커니즘 추론 알고리즘의 유전 알고리즘 설정(GAC)을 나타낸다. 실험 대상 데이터와 구현은 오픈소스 저장소에 공개한다<sup>2</sup>.

표 1. 유전 알고리즘 설정값

Number of Generations	100
Number of Populations	10
Crossover Probability	0.5
Mutation Probability	0.6
Elitism Probability	0.8

다른 교통량(y축)을 나타내며 목표 데이터(Target data)와 추론된 교통 흐름 모델의 시뮬레이션 결과를 비교한다. 유전 알고리즘의 세대가 지날수록 목표 데이터와 유사한 행동을 보이도록 모델이 진화됨을 보인다. 안성JC의 각 도로 평균 교통량은 시간당 약 1230~3100대였으며, 100세대 동안 생성된 모델의 시뮬레이션 결과와 목표 교통량 데이터 간의 평균 오차는 1.64~5.59%였다. 이는 평균 50대 이하의 오차로 실제 교통량을 모사하는 교통 흐름 모델이 생성되었음을 의미한다. 이 사례 연구를 통해 본 논문의 알고리즘으로 교차로의 교통 흐름 모델을 생성할 수 있으며, 데이터에 기반하여 현실의 교통 흐름을 모사하는 시뮬레이션을 수행할 수 있음을 보였다.

6. 결론

본 연구는 실제 교통 데이터를 기반으로 교통 흐름 시스템 다이내믹스 모델을 생성하는 알고리즘을 제시하였다. 또한, 사례 연구를 통해 본 알고리즘으로 생성한 환경 모델로 데이터를 통해 알 수 있는 현실의 교통 흐름을 모사하는 시뮬레이션이 가능함을 보였다. 본 연구에서 제시된 알고리즘은 현실의 교통 흐름에 대한 이해가 부족하여도 데이터에 기반하여 효율적으로 교통 흐름 모델을 생성하고 시뮬레이션할 수 있도록 한다. 이는 실제 교통 환경을 분석하거나 이를 고려하여 교통 정책을 평가하는 등에 사용될 수 있을 것이다. 후속 연구로서 교통량 외에 차량의 속도나 도로 점유율과 같은 추가 요소를 모델에 포함하는 방법에 대해 고안할 것이다.

참고 문헌

[1] Menneni, S., Sun, C., Vortisch, P. "Microsimulation calibration using speed-flow relationships". *Transportation Research Record*, 2088(1), 1-9. 2008.

[2] 한영탁, 전수민, 신세정 외. "대한민국 고속도로를 위한 교통 분석 및 시뮬레이션 시스템". *정보과학회 컴퓨터의 실제 논문지*, 22(9), 426-440. 2016.

[3] 오민수, 권순민, 오철. "미시교통시뮬레이션을 이용한 WIM 기반 과적단속 체계 운영 효과 평가 방법론 개발 및 적용". *한국도로학회논문집*, 20(5), 129-140. 2018.

[4] Pruyt, E., Cunningham, S., Kwakkel, J. H., et al. "From data-poor to data-rich: system dynamics in the era of big data". In *32nd International Conference of the System Dynamics Society, Delft, The Netherlands, 20-24 July 2014; Authors version*. The System Dynamics Society. 2014.

[5] 배진희, 박희성. "시스템 다이내믹스를 이용한 지속가능한 교통시설 인과지도 개발". *대한토목학회논문집*, 35(4), 953-959. 2015.

[6] Wen, L., Bai, L., Zhang, E. "System dynamic modeling and scenario simulation on Beijing industrial carbon emissions". *Environmental Engineering Research*, 21(4), 355-364. 2016.

[7] Wang, H., Zhang, K., Chen, J., et al. "System dynamics model of taxi management in metropolises: Economic and environmental implications for Beijing". *Journal of environmental management*, 213, 555-565. 2018.

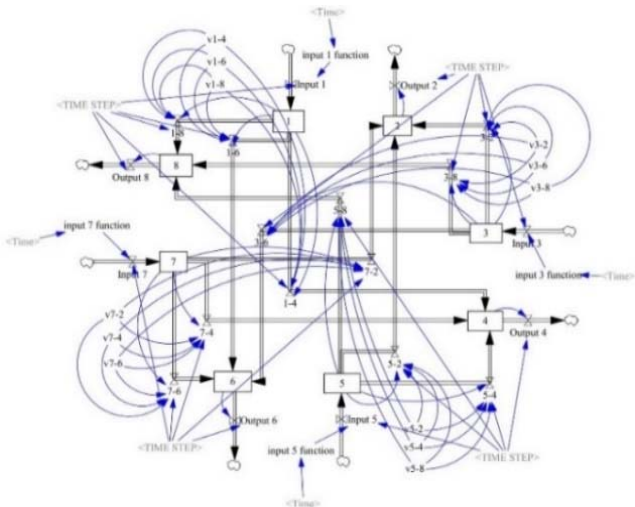


그림 4. 안성JC의 교통 흐름 시스템 다이내믹스 모델

5.2. 생성된 시스템 다이내믹스 모델과 시뮬레이션 결과

그림 4는 4장에서 보인 교차로의 시스템 다이내믹스 모델 생성 알고리즘에 따라 만들어진 안성JC의 시스템 다이내믹스 모델이다. 안성JC의 구조대로 진행 방향이 구분된 8개 도로(Stock)과 12개의 교차로 내의 도로 간 차량 이동(Flow)으로 이루어져 있다.

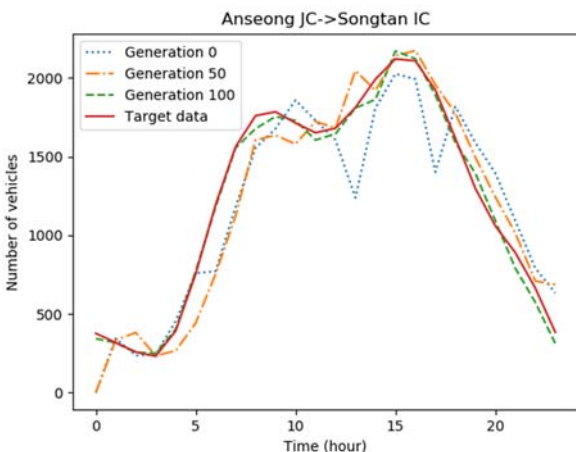


그림 5. 생성된 시스템 다이내믹스 모델의 시뮬레이션 결과

그림 5는 위에서 생성된 시스템 다이내믹스 모델의 내부 행동을 4장에서 보인 교통 흐름 메커니즘 추론 알고리즘으로 추론하고 시뮬레이션 한 결과이다. 이는 한 도로의 시간(x축)에

<sup>1</sup> 경기도 교통정보센터 - gits.gg.go.kr

<sup>2</sup> github.com/yongjunshin/Environment-Model-Generation