

# 도로 네트워크 기반 이동 객체의 궤적 데이터 생성

김보련, 이상현, 이기준  
부산대학교 컴퓨터공학과  
e-mail : [brkim,shlee,lik@isel.cs.pusan.ac.kr](mailto:brkim,shlee,lik@isel.cs.pusan.ac.kr)

## Generating Trajectory of Road Network-Based Moving Objects

Bo-Ryun Kim, Sang-Hyun Lee, Ki-Joune Li  
Dept. of Computer Science, Pusan National University

### 요 약

텔레매틱스 서비스를 위한 많은 어플리케이션들이 개발 됨에 의해 테스트를 위한 도로 네트워크 기반의 이동객체 궤적데이터의 필요성이 증대되고 있다. 본 논문에서는 도로 네트워크 상의 이동객체들의 실 궤적 데이터와 유사한 합성 궤적 데이터를 구축하기 위한 방법론을 제안한다. 그리고 실제 구현 결과와 실 데이터와의 속도 패턴을 비교하여 실 데이터와의 유사성을 보인다.

### 1. 서론

최근 정보 통신의 발전 및 디지털화에 따라 관심이 고조되고 있는 텔레매틱스는 최근 지능형교통시스템(ITS)과 접목하여 더 나은 서비스를 제공하기 위해 다양한 기술들이 연구되고 있다.

다양한 서비스들을 구현하기 위해 많은 어플리케이션들이 개발되고 있는데 이는 구현 시스템의 구조나 알고리즘에 대해 적합한 평가를 할 수 있는 대량의 테스트 데이터가 필요하게 된다. 효율성이나 타당성 등을 증명하고자 할 때 테스트를 수행하게 되고 다양한 실험 데이터를 이용한 성능 평가나 기존의 방법들과의 비교 분석 과정은 새로운 알고리즘 제안이나 시스템 개발에서 중요한 단계가 된다. 실 데이터는 수집하는 데 시간과 노력, 비용이 많이 들 뿐 아니라 우리가 요구하는 이동체, 즉 차량의 위치 정보는 사생활 침해의 측면에 관한 고려도 필요하다. 또한 위치정보는 계속적으로 변하는 데이터이므로 한번 수집한 데이터의 신뢰성은 수집된 그 시간에만 국한될 수 있다. 그러므로 합성 데이터의 생성이 필요하게 된다. 합성 데이터는 특정 조건하의 성능 평가가 가능하여 분석에 쉬울 뿐 아니라 확장성(Scalability)에 관한 평가에도 유리하다. 그러나 이 합성 데이터가 실제 이동체의 움직임의 중요한 특성들을 반영하지 못한다면 부

정확한 성능 측정이 될 것이다. 그래서 좀더 실제에 가까운 합성 데이터의 생성이 필요하다.

기존의 몇몇 연구들 중에서 이러한 필요성을 인식하여 위치 데이터 생성에 관한 방법들이 제시되었다. 그 중 네트워크 상의 이동객체 생성기로 가장 많이 언급되고 있는 것으로 T. Brinkhoff의 도로 네트워크 기반 이동객체 데이터 생성기[1,2]가 있다. 이는 지리적으로 연결된 네트워크로 모두 진행 가능하도록 구현되어 있다. 도로 네트워크는 지리적으로는 연결되어 있지만 진행할 수 있는 연결과 그렇지 못한 연결이 있고 유턴이 가능한 경우도 있다. 그리고 한 도로 세그먼트 상에서도 이동 객체의 속도는 계속적으로 변하는데 Brinkhoff는 등속도 운동을 가정하고 있다. 본 연구에서는 이런 점을 보완한 궤적 생성 방법을 제안한다. 이동객체 움직임의 가속, 감속, 등속의 기본적인 모델에서 한발 더 나아가 좀 더 자연스러운 모델을 적용하고 앞쪽의 차량의 상태가 뒤쪽 차량에 영향을 주어 교통의 지체를 표현하는 방법 등 실제 이동체의 움직임에 가까운 움직임을 생성하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 기존의 이동객체 데이터 생성에 관한 방법들을 살펴보고 3 장, 4 장에서는 설계방향과 구체적인 생성 규칙에 대해 서술한다. 5 장에서는 실제 데이터와의 유사성을 보인다.

마지막으로 6 장에서는 향후 연구에 대해 논하고 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

본 장에서는 이동체 위치 데이터 생성에 관한 연구와 네트워크 기반의 궤적 데이터 생성에 관한 기존의 연구에 대해 살펴 보도록 한다.

### 2.1 이동체 위치 데이터 생성

기존의 이동체 위치 데이터 생성에 관한 연구로는 정규 분포, 가우스 분포 등에 기반하여 임의의 데이터를 생성하는 GSTD(Generation SpatioTemporal Dataset)[3], 실제 시나리오를 고려한 Oporto[4] 등이 있다. GSTD는 기본적인 공간 분포, 즉 정규 분포나 가우스 분포 등에 의한 객체의 이동 거리 및 방향을 설정한다. 데이터 형태로 점 객체뿐 아니라 사각형 객체도 생성시킬 수 있다. 데이터의 개수 및 분포, 이동 정도를 사용자로부터 입력 받아 계산한다. 그러나 임의로 생성된 객체이므로 특정 분포를 따르는 이동 형태 이외의 이동 객체 속성을 고려한 데이터를 생성할 수 없다. Oporto는 이동 객체를 위한 실제적인 시나리오 생성을 해 준다. 실제 객체의 속도, 방향, 분산, 크기 등의 변수를 사용하여 다양한 시나리오를 생성할 수 있으며 이를 시간의 흐름에 따라 보여준다.

### 2.2 네트워크 기반의 궤적 데이터 생성

Brinkhoff 데이터 생성기 [1,2]는 대표적인 네트워크 기반 궤적 생성기이다. 전체적인 객체 생성 흐름은 다음과 같다. 이동객체가 생성되면 그 초기위치와 도착 위치를 정해서 그 사이의 패스를 결정한 후, 일정한 시간 간격 별로 객체의 위치를 생성하여 도착점에 도달하면 소멸하는 과정을 거친다. 그리고 외부 객체(external object)라는 방해 요소를 적용하였다. 이 객체 영역 안에 있는 이동객체의 속력은 외부 객체의 영향을 받아 감소될 수 있도록 구현되어 있다. 그러나 다음과 같은 단점이 있다.

- 지리적인 토폴로지와 실제 교통 토폴로지가 동일하지 않은 특성을 반영하지 못했다.
- 이동체는 교차로에서 대체로 대기시간을 갖는다. 그러나 전혀 멈춤 없이 이동하도록 설계되었다.
- 하나의 세그먼트 상에서 객체는 등속도 운동을 하도록 설계되어 다양한 속도 변화를 표현하지 못했다.
- 정체에 관한 고려가 없다.

본 연구에서는 위와 같은 단점을 보완하여 도로 네트워크와 이동체 움직임의 특징을 반영한 네트워크 기반 궤적 생성방법을 제시하고 구현하였다.

## 3. 궤적 데이터 생성 설계 방향

본 연구에서는 다음과 같은 점을 고려하여 이동 궤적을 생성하였다.

- 실 도로 정보와 토폴로지를 반영하였다.

- 이동체가 하나의 세그먼트 위에서도 다양한 속도를 가지도록 속도 모델을 적용하였다.
- 이동체는 교차로에서 대기시간을 갖도록 생성하였다.
- 정체를 표현하기 위해 규칙을 적용하였다.

### 3.1 도로 기반의 궤적 데이터

본 연구에서는 도로 네트워크 기반의 궤적 데이터 생성이 목적이므로 실 세계의 도로 정보를 이용하였다. 네트워크 정보를 임의로 생성시키는 것은 복잡한 작업일 뿐 아니라 실제 정보를 이용하는 것에 비해 현실성이 떨어진다. 네트워크를 세그먼트와 교차로의 연결로 보고 객체들이 세그먼트 위를 이동하는 형태로 궤적을 생성 하였다. 도로 네트워크 기반의 궤적 데이터는 전체 데이터 공간이 유클리디안 공간이 아닌 도로 네트워크 공간이다. 그러므로 유클리디안 공간을 기반으로 한 위치 표현  $(x, y)$ 으로는 속도, 가속도, 거리 등을 정확히 알 수 없다. Meratnia[6]는 이 점을 보완하기 위해 네트워크 기반의 표현 방법을 제시하였다. 이를 참고로 본 연구에서는 객체의 위치를  $(x, y)$ 가 아닌  $(segmentID, offset)$ 으로 표현한다.

### 3.1 궤적 생성 State Machine

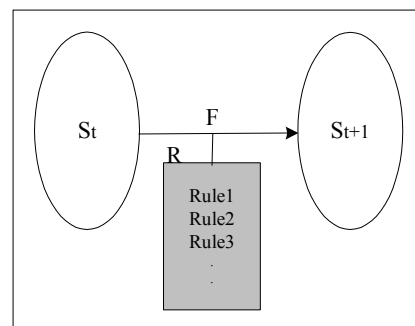
이동 객체의 위치는 시간의 흐름에 따라 그 상황에 영향을 받아 결정된다. 본 연구에서는 궤적 생성을 한 시점에서 다음 시점으로 흐를 때 각각을 상태로 보아 이전 상태의 영향으로 다음의 상태를 결정되는 state machine 으로 보았다. 그리하여 객체의 위치에 영향을 주는 요소들을 각각의 규칙으로 정의하였다. 이 규칙들은 4 장에서 보인다. 시간  $t+1$  에서의 이동 객체의 위치는  $t$  시간의 위치에 상황에 맞는 규칙을 적용하여 얻은 값으로 결정된다. 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$F(S_t, R) = S_{t+1}$$

$$S_t = \{ (moID, p_t, v_t) \mid$$

*moID* : Moving Object ID,  
*p<sub>t</sub>* : Position (SegmentID, Offset)  
*v<sub>t</sub>* : Moving Object Velocity }

$S_t$ 는  $t$  시간에서의 상태,  $R$ 은 생성 규칙의 집합,  $p_t$ 는  $t$  시간에서의 객체의 위치를 의미한다. 생성 규칙은 객체의 위치나 속도에 영향을 주는 요인을 정하여 정의하였다.



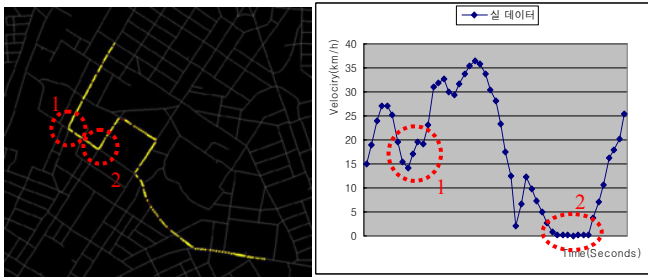
(그림 1) State Machine

그림 1 은 state machine 의 적용 형태를 보인다. 궤적 데이터의 생성은  $S_t$  상태에서 규칙  $R$  의 영향을 받아  $S_{t+1}$  상태로의 변화로 계속적으로 이루어진다.

**3.3 실제 상황과 유사한 데이터 생성**

실제 환경에서의 움직임과 유사한 움직임을 표현하기 위해서 도로 네트워크 특징과 이동체의 특징을 고려하여야 한다. 3.2 에서 언급한 규칙들을 정의할 때 이 특징들이 잘 고려된다면 실제 상황에 유사한 데이터를 생성할 수 있다.

그림 2 는 실제 차량의 위치와 속도 데이터를 얻어 나타낸 궤적 데이터와 그 속도 그래프이다. 궤적 데이터의 점선 부분의 속도 패턴은 오른쪽 그림의 점선 부분에서 볼 수 있다. 이 결과로 실제 차량의 움직임이 어떤 특징을 보이는 지 알 수 있다. 점선 부분 1 은 커브로 인하여 속도가 감소했다 증가한 형태를 보이고 점선 부분 2 는 교차로에서 신호등 등으로 인하여 정지했다가 출발하는 형태를 보인다.



(그림 2) 실 궤적 데이터와 속도 그래프의 예

이와 같이 대부분의 차량은 커브나 교차로에서 속도를 감소했다 증가하는 움직임을 보인다. 그리고 그 도로의 최대 허용 속도를 대체로 넘지 않으며 교통량이 늘어나면 지체가 발생하여 차량의 속도가 감소하게 된다. 이런 특성들을 고려하여 다음 장에서 규칙들을 정의한다.

**4. 생성 규칙의 정의**

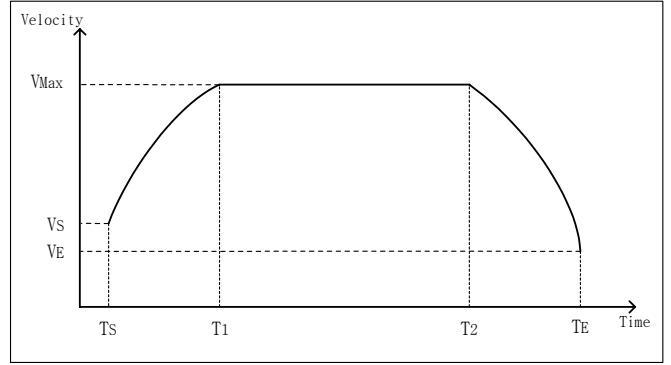
3.2 에서 언급한 객체의 위치나 속도에 영향을 주는 요소들을 정의한 생성 규칙에는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 하나의 세그먼트 위에서 이동체들의 가속, 등속, 감속의 기본적인 속도 변화 모델
- ② 지체를 표현하기 위한 앞차와의 거리나 속도를 고려한 속도 감소

이 생성 규칙들을 아래에서 자세히 살펴본다.

**규칙 1. 세그먼트에 기반한 속도 모델**

기존의 연구에서는 차량의 속도는 기본적으로 가속, 등속, 감속의 가속도의 크기가 일정한 패턴으로 고려하였다. 그러나 본 연구에서는 실제적인 속도 데이터를 생성하기 위해 하나의 세그먼트를 그 단위로 하여 발생하는 속도 패턴을 그림 3 과 같이 부드러운 곡선 형태의 속도 그래프로 가정한다.



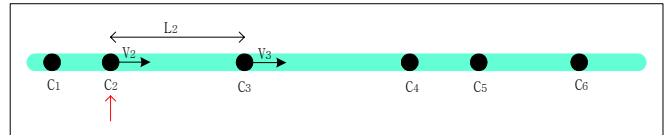
(그림 3) 한 세그먼트 상의 속도 모델

차량은  $T_S$  시간에  $V_S$  의 속도로 출발하여 그 세그먼트의 최대속도  $V_{Max}$  에 도달한 시간  $T_1$  부터  $T_2$  까지 등속도 운동을 하다가  $T_E$  시간에 세그먼트 끝에 다다르게 된다. 가속, 감속하는 동안의 가속도 변화량은 일정하다. 가속도의 변화량을  $\Delta a$ , 초기 가속도를  $a_i$  라고 하면 가속도는  $a(t) = \Delta a \cdot t + a_i$  이다. 이 식을 시간에 관해 적분을 함으로써 속도와 움직인 거리에 관한 식을 얻을 수 있다. 그림 3 과 같은 속도 그래프를 만족하기 위해서 두 가지 조건을 고려해야 한다.

- ①  $T_E$  시간까지 이동한 거리는 세그먼트 총 길이와 같다.
- ② 속도  $V$  는  $V_{Max}$  를 넘지 않는다.

**규칙 2. 같은 세그먼트 상의 다른 객체 영향에 따른 속도 변화**

본 연구에서는 차량 하나하나의 움직임이 모여 전체 도로 네트워크 상의 차량 움직임이 나타난다고 보았다. 두 번째 규칙은 차량 자신의 속도의 변화를 주변 상황이나 다른 차량의 상태를 통해 판단하여 실제 정체 때의 움직임에 유사하게 생성하기 위한 것이다. 예를 들어 신호등이 빨간 불로 바뀌었을 경우 신호등에 가까운 차량부터 속도의 감속이 일어나기 시작하여 연쇄적으로 뒤쪽 차들의 속도 감소가 일어나게 된다. 즉 차량 하나 하나를 원자로 보아 앞차가 뒤차에 영향을 주고 그 차는 그 뒤차에 영향을 주는 식으로 움직임도 확산되어 나간다고 생각하여 같은 세그먼트 상에 있는 앞차의 속도와 거리 등을 고려하여 속도를 조절하였다.



(그림 4) 같은 세그먼트 상의 객체

그림 4 는 규칙 2 를 설명하기 위한 예이다. 객체 6 개가 왼쪽에서 오른쪽으로 같은 세그먼트 상을 움직인다고 가정하자. 그림은 객체들의  $t_a$  시간에 속도와 위치를 나타낸다. 규칙 1 에서 본 속도 모델에 따른  $C_2$  의  $t_a$  시간의 속도는  $V_2$  이고 바로 앞 객체  $C_3$  와의 거리는  $L_2$ ,  $C_3$  의 속도는  $V_3$ ,  $C_2$  앞의 모든 객체( $C_3, C_4,$

$C_5, C_6$ )에 대한 평균속도를  $V_{avg}$ 라고 하자.

이 때  $C_2$  객체의  $t_{a+1}$  시간의 속도가 어떻게 결정되는지 보자.  $C_2$ 가 원래의 속도 모델에 따라 시간 간격 ( $t_{a+1} - t_a = \Delta t$ ) 동안 이동한 거리를  $l_{org}$ ,  $t_{a+1}$ 에  $C_2$ 객체의 속도가  $V_{avg}$ 로 변했다고 가정했을 때의 거리를  $l_{avg}$ ,  $C_3$ 가  $\Delta t$  동안 이동한 거리와  $L_2$ 를 더한 거리를  $l_{C3}$ 라고 하자.  $C_2$ 객체가  $\Delta t$  동안 이동한 거리는 이 중 가장 작은 값이 된다. 그리고 속도는 첫 번째 경우가 선택되면 원래의 속도 모델에 따른 속도가, 두 번째 경우는  $V_{avg}$ , 세 번째 경우에는 이동한 거리  $l_{C3}$ 를 통해 속도를 계산해 낼 수 있다.

## 5. 실험 및 분석

본 장에서는 본 논문이 제시하는 방법으로 궤적 데이터 생성기를 구현하여 생성 시킨 합성 궤적 데이터와 실 궤적 데이터의 유사성을 비교해본다.

실험에 사용된 도로 네트워크는 부산 연제구 도로 네트워크 데이터를 이용하였다. 세그먼트는 총 1757개이며 교차로는 936개이다.



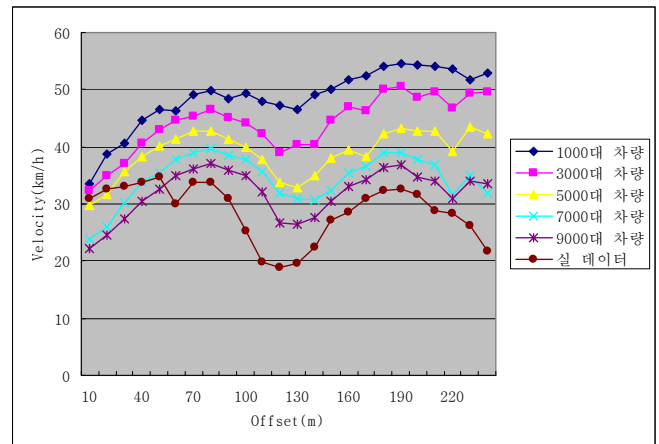
(그림 5) 지정된 경로

실 궤적 데이터는 부산에서 운행된 택시 데이터를 이용하였다. GPS 수신기를 이용하여 실시간으로 위치 데이터를 얻어 내었다. 비교를 위해 임의로 경로를 정하여 이 경로를 지나는 실 궤적 데이터를 택시 데이터에서 선택 해 4 개의 궤적을 얻어냈다. 그림 5에서 표시된 원 부분이 실험을 위해 정한 경로이다. 이 경로의 총 길이는 약 256.5m이다. 오른쪽 아래 교차점에서 왼쪽 위 교차점까지를 실험을 위한 테스트 경로로 정하였다.

반면, 합성 궤적 데이터는 전체 네트워크에 객체를 생성한 후 정한 경로를 지나간 궤적 데이터들을 선택하여 얻었다. 다양한 환경을 실험 하기 위하여 전체 차량 수를 1000 대, 3000 대, 5000 대, 7000 대, 9000 대로 구별하여 500 초 동안 데이터를 생성시켰다. 전체 차량 중 그림 5의 정한 경로를 지나는 데이터는 약 2~3% 비율로 나타났다.

얻어낸 실 궤적 데이터 또는 합성 궤적 데이터들을 정해진 동일한 경로의 시작점에서부터의 거리에 관한 속도 값들을 계산하여 각각에 대해 평균을 구하여 속

도 패턴을 만들었다. 그림 6는 속도 패턴의 결과이다. 합성 궤적 데이터는 생성시킨 총 데이터 수가 많을수록 전체 속도는 줄어들고 속도의 가속, 감속 패턴은 실 궤적 데이터와 유사한 것을 볼 수 있다.



(그림 6) 실 데이터와 합성 데이터의 속도 패턴 비교

## 6. 향후 연구 및 결론

본 논문에서는 도로 네트워크상의 이동객체 궤적 생성 방법과 그 구현을 보였다. 이전까지의 방법과 달리 객체 하나하나가 주변 상황에 따라 다음 위치가 결정된다는 새로운 시각으로 접근함으로써 좀 더 실제적이고 자연스러운 움직임을 나타낼 수 있었다. 향후 연구로는 실제 환경과 유사한 환경에서의 생성을 위해 신호등, 사고 등의 다양한 규칙을 추가해 나갈 계획이다. 그리고 이동체는 이동 패턴에 따라 몇 가지로 나뉜다. 버스와 택시, 자가용 등으로 이동체를 몇 개의 클래스를 정의하고 사용자가 클래스를 선택할 수 있는 방법으로 추가할 계획이다.

## 참고문헌

- [1] T. Brinkhoff, "Generating Network-Based Moving Objects", Proc. 12th International Conference on Scientific and Statistical Database Management, Berlin, Germany, pp.253-255, 2000.
- [2] T. Brinkhoff, "A Framework for Generation Network-Based Moving Objects", GeoInformatica, Vol.6, No.2, pp.153-180, 2002.
- [3] D. Pfoser and Y Theodoridis, "Generating Semantics-Based Trajectories of Moving Objects", Proc. International Workshop on Emerging Technologies for Geo-Based Applications, Ascona, Switzerland, pp.59-76, 2000.
- [4] J. -M. Saglio and J. Moreira, "Oporto: A Realistic Scenario Generator for Moving Objects", GeoInformatica Vol. 5, No.1, pp.71-93, 2001.
- [5] L. Speicys, C. S. Jensen, and A. Kligys, "Computational data modeling for network-constrained moving objects", ACM-GIS, pp. 118-125, 2003.
- [6] N. Meratnia and R. A. de By, "Trajectory Representation in Location-based Services: Problems & Solution", W2GIS, 2003