

도로 네트워크에서의 효율적 궤적 관리 방법

이원철, 신성현, 이상민

강원대학교 컴퓨터 과학과

{woncheol⁰, shshin, smrhee }@kangwon.ac.kr

Efficient Management Method of Moving Object Trajectories in Road Networks

Won-Cheol Lee⁰, Sung-Hyun Shin, Sang-Min Rhee

Dept. of Computer Science, Kangwon National University.

요 약

본 논문은 도로 네트워크에서 연속적으로 발생하는 이동객체의 위치정보를 효율적으로 보고, 저장하는 방법을 제안한다. 또한 저장된 위치정보를 기반으로, 과거의 궤적정보를 정확히 추정하고, 추정된 이동객체의 궤적을 사용하여, 과거 임의의 시점에서 이동객체의 위치를 추정하는 방법을 제안한다. 이를 위해, 도로 네트워크에서의 이동객체 및 도로 네트워크의 데이터 모델을 정의하고, 이동객체의 위치정보 저장 및 추정을 위한 전체적인 프레임워크를 제안한다. 제안한 프레임워크 하에서 Dijkstra의 최단경로 알고리즘을 이용하여 위치 정보를 효율적으로 저장 및 추정하는 방법을 제안한다.

1. 서 론

이동통신 기술, GPS(Global Positioning System), RFID와 같은 위치 측정 및 전달 기술의 발전에 따라, 이동객체에 대한 관심이 증가하고 있다. 최근에는 위치기반서비스(Location-Based Service) 및 텔레매틱스 분야에서 활발한 연구가 진행 중이다. 특히, 실생활에 적용되는 도로네트워크 상의 이동객체에 대한 연구의 관심이 점차 증가하고 있다.[1-5]

전통적인 이동객체에 대한 연구는 주로 유클리디안 공간에서 이루어졌다.[6-8] 그러나, 도로 네트워크의 제한된 이동경로로 움직이는 이동객체가 등장하면서 전통적인 연구와는 다른 방법의 궤적 연구가 이루어 졌다. 도로 네트워크에서 이동객체의 궤적을 도로 세그먼트 리스트로 표현하는 방법이 제안되었고, 또한 색인방법[1,4], 유사성 계산방법[9] 그리고 궤적 간략화 방법[3]이 전통적인 연구와는 다른 방법으로 연구되었다.

본 논문에서는 도로네트워크에서 발생하는 이동객체의 궤적을 효율적으로 보고, 저장하는 방법을 제안한다. 또한 저장된 데이터를 이용하여 과거의 궤적을 정확히 추정하고, 과거 임의의 시점에서의 위치 정보를 추정하는 방법을 제안한다. 이를 위해 도로 네트워크에서의 이동객체 데이터 모델 및 도로네트워크 데이터 모델을 정의한다. 정의된 데이터 모델을 이용하여 이동객체의 위치 정보 저장 및 궤적 추정을 위한 전체적인 프레임워크를 제안한다. 이러한 프레임워크 하에서 Dijkstra의 최단경로 알고리즘을 이용하여 이동객체의 위치정보를 효율적으로 저장하고 추정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 관련연구 및 연구 동기를 설명한다. 제3장에서는 Dijkstra의 최단 경로 알고리즘을 이용한 위치저장 및 추정방법을 제안한다[10]. 마지막으로 제4장에서는 결론과 향후 연구를 기술한다.

2. 관련연구 및 연구 동기

2.1 관련연구

본 논문에서는 도로 네트워크에서 발생하는 이동객체의 궤적 정보를 효율적으로 저장하고, 저장된 위치정보를 이용하여 과거궤적을 정확히 추정하는 방법을 제안한다. 이와 관련된 연구로는 이동객체의 궤적 표현 방법, 궤적 색인 방법, 궤적 유사성 계산 방법 그리고 궤적의 간략화 방법 등이 있다.

이동객체의 궤적은 다음과 같이 3가지 방법으로 분류할 수 있다.[11] 첫째, 비제한 이동이다. 이 비제한 이동이란 이동객체의 이동경로에 제한이 없는 것이다. 전통적으로 유클리디안 공간에서 궤적표현 방법이다. 이는 시간의 흐름에 따라, 제한없이 위치를 이동한 객체의 위치정보로서, 2차원 공간에서의 연속된 점으로 표현된다. 이 연속된 점들을 다항식, 스플라인, 저차원 변환의 방법을 사용하여 궤적 추정하였다. 둘째, 제한 이동이다. 이는 이동객체의 이동에 제한영역이 존재하는 것이다. 예를들어, 보행자들이 이동을 할 때 건물과 같은 제한영역은 이동경로가 되지 못한다. 셋째, 네트워크 이동이다. 이는 도로 네트워크와 같이 이동경로가 정해져 있는

것이다. 즉 이동 객체가 제한된 경로로만 이동할 수 있는 것이다. 최근에는 도로네트워크에서 궤적을 세그먼트 리스트로 표현하는 방법이 연구 되었다[1,2,5].

궤적 색인 방법은 크게 유클리디안 공간에서의 궤적 색인 방법과 도로 네트워크 상의 색인 방법으로 분류된다. 유클리디안 공간에서의 색인 방법은 주로 R-트리의 확장트리 방법이 연구 되었다. 그러나 도로 네트워크에서의 색인기법은 도로 네트워크의 제약적인 특성을 반영한 방법으로써, R-트리와 같이 색인 구성시 갱신 및 검색 성능을 고려하였다. 도로네트워크에서의 대표적인 색인 방법으로는 2DR-트리와 1DR-트리를 결합한 FNR(Fixed Network R)-트리가 있고, FNR-트리에서 상위 2차원의 R-트리를 탐색하는 문제점을 해결하기 위해 MON-트리가 제안되었다. MON-트리는 트리 탐색시 비용을 줄이기 위해 해쉬 테이블을 이용하였다.

궤적의 유사성 계산 방법도 유클리디안 공간에서의 유사성 계산방법과 도로 네트워크상의 유사성 계산 방법이 연구되었다. 두 방법 모두 시공간을 고려하여 유사한 궤적을 찾는 방법이다. 유클리디안 공간에서의 유사궤적은 궤적간의 거리를 계산하는 방법이 주로연구 되었다. 그러나, 도로네트워크상의 유사성은 도로네트워크 세그먼트를 이용하는 계산하는 방법을 사용하였다.

궤적의 간략화 방법은 저장된 위치 정보 데이터를 줄이기 위한 방법이다. 유클리디안 공간에서의 위치정보 간략화 방법은 시계열 데이터의 유사시퀀스 매칭에서 연구된 저차원 변환 등을 적용할 수 있다. 도로 네트워크에서 연구된 간략화 방법은 이동객체의 움직임을 그래프로 표현하고, 이 그래프의 개수를 줄이는 방법이 연구되었다. 최근에는 POI(Points Of Interest) 기반으로 표현되는 이동 객체의 위치정보를 줄이는 방법이 연구되었다.

2.2 연구동기 및 문제정의

도로 네트워크상의 이동객체의 위치정보가 일정한 시간간격으로 업데이트 된다고 가정하면, 보고되는 시간간격이 너무 길 경우 궤적 정보를 잃어 버리게 되고, 너무 짧은 시간간격으로 빈번하게 보고가 되면 불필요한 정보를 저장하게 된다. 그러나 위치 정보를 교차로와 같은 위치 결정점에서만 보고 받게 되면 최소한의 데이터로 궤적을 정확히 표현할 수 있고, 불필요한 정보를 저장하지 않을 수 있다.

그림 1은 도로 네트워크에서의 궤적을 표현한 것이다. 궤적 TR1은 교차로 지점에서 위치 정보를 보고 받아 궤적을 표현한 것이다. 교차로는 다음 이동방향을 결정하는 곳이므로 궤적 표현에 있어 매우 중요하다. 이를 **위치 결정점 (The decision position)**이라 한다. 그러나, 위치 A는 교차로가 아님에도 불구하고, 위치 A에서 위치 데이터를 보고 받지 않았다면 이 자동차가 A를 통과했는지, B를 통과했는지 알 수 없을 것이다. 우리는 A, B와 같이 위치를 결정짓는 점을 **위치 선택점(The choice**

position)이라고 정의한다. 그러나 위치 C' 와 위치 D'에서의 위치 정보를 모두 저장할 필요가 없다. 왜냐하면 이구간은 다른 선택경로가 없기 때문이다.

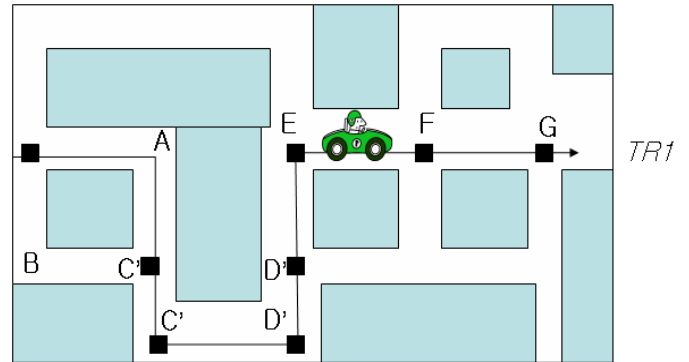


그림 1. 교차로 기반 궤적 표현

위치 E,F,G를 지나는 궤적은 E에서 F까지 최단거리이므로 F의 위치를 저장할 필요가 없다. Dijkstra와 같은 최단거리 알고리즘을 사용하면 추정가능하기 때문이다. 그러나 위의 방법을 사용하여 위치 정보를 저장할 때, 특정시점에서 심한 교통정체 구간이 존재한다면, 궤적으로만 정확한 과거 위치 추정을 할 수 없다. 예를 들어, 그림1의 구간 F에서 G까지가 특정 시점에서 심한 정체 구간이었다고 가정한다면, 과거의 위치를 추정할 때, F의 위치정보가 없기 때문에 잘못된 위치를 추정할 수 있다. 즉, 구간FG에서만 속도가 느리게 계산되는 것이 아니라, 구간 AG의 속도가 느리게 계산되기 때문이다. 따라서 위치 추정을 위하여 속도 정보를 알아야 한다.

그림 2는 네트워크 기반의 위치데이터를 표현한 것이다. 그림과 같이 이동객체의 위치는 객체가 존재하는 도로 아이디, 시간, 속도로 표현된다. 그리고 이 정보를 기반으로 출발점으로부터 임의의 시점까지의 거리를 다음 식으로 간단히 계산할 수 있다.

$$QueryPosition = Velocity \times Time$$

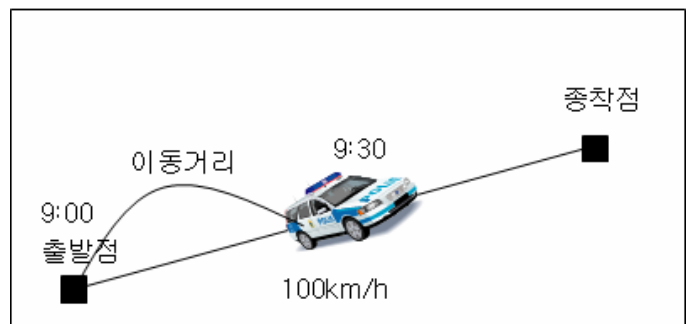


그림 2. 네트워크 기반의 위치 데이터

3. 위치 저장 및 추정 방법

본 장에서는 도로네트워크에서 위치 정보를 저장 및 추정하기 위한 전체적인 프레임워크를 제안한다. 이를 위해 도로 네트워크에서 이동객체의 데이터 모델을 정의한다. 그리고 데이터를 저장하는 방법과 추정하는 방법을 제안한다.

3.1 도로 네트워크의 데이터 모델

본 논문에서는 도로 네트워크를 그래프 기반으로 2차원으로 표현한다. 그리고 이동객체의 위치정보 2차원으로 표현한다. 기존에 사용된 2차원 그래프 모델[13]을 확장하였다. 그래프 기반의 2차원 모델은 도로 네트워크를 점(Vertex)과 간선(Line)의 연결로 표현한다. 즉 선은

(LineId, StartV, EndV, Length, Max.Speed, Min.Speed)

로 구성되며, 점은 (VertexID, X, Y, Adj.list)로 구성된다. 표1과 표2는 이러한 표기법에 따라 선과 점의 데이터 예제를 나타낸 것이다.

표1. 간선 데이터 예제

LineId	StartV	EndV	Length	Max.Speed	Min.Speed
L1	100	200	350	80	40
L2	200	300	100	80	40
L3	300	400	90	70	40

표2. 점 데이터 예제

VertexID	X-coordinate	Y-coordinate	Adj.List
100	110	110	200,198,300
200	118	150	100,300
300	130	120	200,400,150

표1의 간선 데이터 예제에서 최소 속도 값은 이동객체의 위치 정보를 입력 받을 때 심한 정체구간을 판단하기 위해서 입력된 것이다. 그리고 점 데이터 예제에서의 인접리스트는 Dijkstra 알고리즘으로 빠르게 궤적을 추정하기 위하여 인접 리스트를 추가하였다.

이동객체의 위치정보는 (Oid, time, VertexId)로 구성된다. 본 논문에서의 위치 정보는 점 위치에서만 위치 정보를 보고 받는 것으로 가정한다. 점 위치에서만 위치 정보를 받아도 충분히 위치추정이 가능하기 때문이다. 또한 점에 대한 지정은 교차로와 위치 추정이 불가능한 위치선택점에 대해서도 지정한다.

3.2 동작 프레임워크

동작 프레임워크는 크게 두 가지 과정으로 구성된다. 첫째 위치 정보를 효율적으로 저장하는 과정이다. 둘째, 저장된 위치 정보로 궤적을 추정하는 과정이다.

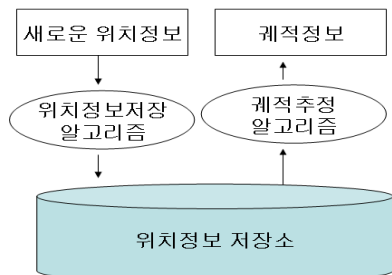


그림3. 제안된 프레임 워크

그림 3은 위치 정보를 저장 및 추정하기 위한 전체적인 프레임워크를 나타낸다. 그림을 보면, 우선 위치 정

보 저장소에 각 이동객체에 대한 위치 정보를 저장한다. 그리고 위치 정보 저장 알고리즘은 보고된 위치 정보의 저장 여부를 판단한다. 즉 추정 가능한 위치 정보는 저장하지 않고 추정가능하지 않는 위치정보 또는 급격한 속도의 변화가 있는 위치정보는 저장한다. 그리고 궤적 추정 알고리즘은 저장된 위치정보를 기반으로 임의 시점의 궤적을 추정한다.

3.3 위치 저장 방법

위치 저장 방법은 보고된 이동객체의 위치 정보를 저장하는 방법이다. 위치 결정점 및 위치선택점에서 보고된 이동객체의 위치정보를 저장할 때 먼저 보고된 위치가 위치선택점인지를 판단한다. 만약 위치선택점이라면 저장을 하고 그렇지 않다면, 최단거리를 통해서 이동했는지를 확인한다. 최단거리를 통해 이동을 했다면, 다음으로 최소속도보다 늦게 도착하거나 최대 속도보다 빠르게 이동했는지를 확인한다. 만약 제한된 속도를 벗어나게 되면 위치정보를 저장하고, 그렇지 않으면 이전에 저장된 위치정보를 삭제하고 보고된 위치 정보를 저장한다. 그림 4는 새로운 위치정보가 보고되었을 때 위치를 저장하는 알고리즘이다.

Algorithm Save_Position(Old 0, time t, VertexId Vid)

- (1) IF Vid = Choice position then
- (2) Insert(0,t,Vid);
- (3) Else IF Passroad = ShortestPass then
- (4) IF Avg.Speed < Max.Speed or Avg.Speed > Min.Speed then
- (5) Delete(Previous 0,t,Vid) and Insert(0,t,Vid);
- (6) Else insert(0,t,Vid)
- (7) Else insert(0,t,Vid)

그림 4. 위치 저장 알고리즘

3.4 궤적 추정 방법

궤적 추정 방법은 보고된 위치 정보와 데이터 모델을 통해 임의 시점에서의 위치를 추정하는 방법이다. 먼저 임의 시점과 가장 인접하게 보고된 점 좌표를 찾는다. 그리고 간선 데이터의 속도 값을 이용하여 위치를 추정한다. 그림 5는 임의 시점에서 이동객체의 위치 정보를 추정하는 알고리즘이다.

Algorithm Find_Position(Old 0, time t)

- (1) Find nearest Vid;
- (2) Find LineId ;
- (3) Compute_positon(time t) using Speed;

그림 5. 위치추정 알고리즘

4. 결론

본 논문은 도로 네트워크에서 이동객체의 위치 정보를 효율적으로 저장하고, 저장된 위치 정보를 기반으로 궤적을 추정하는 방법을 제안하였다. 이를 위해, 데이터 모델을 정의하였고, 위치정보의 저장 및 추정을 위한 전체적인 프레임워크를 제안하였다. 또한 위치 정보를 저장하는 알고리즘과 저장된 데이터로 궤적을 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 향후 연구로는 실험을 통하여 제시한 방법의 우수성을 입증하는 것이다.

참고문헌

[1] Paradias, D., Zhang, J., Mamoulis, N., and Tao Y., "Query Processing in Spatial Network Databases", *Proc. Of the 29th Int'l Conf. on Very Large Data Bases*, Berlin, pp. 802-813. Germany, 2003.

[2] Baek, J.-h., Won, M.-H., "Generating Trajectories on Road Networks", *Proc. Of the Int'l Conf. on ,Mechatronics and Information Technology,* Gigu, Japan, Dec. 2007.

[3] 황정래, 강혜영, 이기준, " 도로 네트워크상의 이동객 체 궤적의 간략화", 개방형정보시스템학회 논문지, Vol.9, No.3, pp. 51-65, 2007. 12.

[4] 안성우, 안경환, 배태욱, 홍봉희, "이동체 데이터베이스에서 도로 네트워크를 이용한 불확실 위치 데이터의 질의처리," 정보과학회 논문지D, Vol.33, No.3, pp.283-298, 2006. 6.

[5] Jensen, C, S., Kolar,J., Pedersen, T, B., and Timko, l., "Nearest Neighbor Queries in Road Networks", In *Proc. Int'l Symp. 11th on Advances in Geographic Information Systems,* pp.1-8, Nom. 2003.

[6] Franklin, W. R., "Applications of Analytical Cartography", *Cartography and Geographic Information Systems*, 2000.

[7] Yu, B., Kim, S.-H., Bailey,T., and Gamboa., R., "Curve-Based Representation of Moving Object Trajectories", In *Proc. Int'l Symp. on Data Engineering and Applications*, July 2004.

[8] Cai, Y., and Ng, R. T., "Indexing Spatio-Temporal Trajectories with Chebyshev Polynomials", In *Proc. Int'l Conf. on Data Management ACM SIGMOD*, Paris, France, pp.599-610, June 2004.

[9] Vlachos, M., Gunopulos, D., and Kollios, G., "Robust Similarity Measures for mobile Object Trajectories," In *Proc. Int'l Workshop. on Databases and Distributed Systems*, Aix-en-Provence, France, Sept. 2002.

[10] Dijkstra, E. W., "A Note on Two Problems in Connection with Graphs," *Numeriche Mathematik*, Vol. 1, pp.269-271, 1959.

[11] Pfoser, D., "Indexing the Trajectories of Moving Objects ," *Bulletin of IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering*,

[12] 백지행, 원정임, 김상욱, "도로 네트워크에서의 유사 궤적 클러스터링", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, Vol. 33, No. 2 pp.256-260, 2006.