

# 도로 네트워크 기반 이동체의 통합 색인

<sup>0</sup>정명호\*, 장용일\*, 박순영\*, 오영환\*\*, 배해영\*

\*인하대학교 컴퓨터·정보공학과

\*\*나사렛대학교 정보통신학과

e-mail: mhjeong@dblab.inha.ac.kr

## A Unified Index of Moving Objects in Road Networks

<sup>0</sup>Myeong-Ho Jeong\*, Yong-Il Jang\*, Soon-Young Park\*, Young-Hwan Oh\*\*, Hae-Young Bae\*

\*Dept. of Computer Science & Information Engineering, Inha University

\*\*Dept. of Information & Communication, Korea Nazarene University

### 요 약

최근 이동체 관리 기술 중 물류 및 차량 관리, 응급 서비스 등 실세계에 많이 응용되는 도로 네트워크(도로, 철도 선로 등) 기반 이동체 관리에 대해 많은 연구가 진행되었다. 도로 네트워크를 따라 움직이는 이동체는 이동 영역이 한정되어 있기 때문에, 이러한 특징을 반영한 현재 위치 색인 및 과거 위치 색인이 개발되었다. 그러나 실세계 응용에서는 이동체의 과거 및 현재 위치를 모두 필요로 하는 경우가 많아서 두 개의 색인을 별도로 유지하여야 하며, 이는 비효율적인 노드탐색 비용을 유발하고 색인 사이에 공통된 부분이 존재함에도 불구하고 중복된 유지를 해야 한다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 도로 네트워크 기반 이동체의 통합 색인을 제안한다. 제안 색인은 도로 네트워크 기반 이동체의 현재 위치 색인 및 과거 위치 색인의 공통된 부분인 도로 네트워크를 저장·관리하는 부분을 공유하여 색인 유지 비용을 줄이며, 현재 및 과거 위치 질의에 대해 불필요한 노드 탐색 비용도 감소시킨다. 또한 과거 및 현재 위치 색인을 통합함으로써 효율적으로 과거 위치 정보를 생성·저장하는 것이 가능해진다.

### 1. 서론

최근 이동체 관리 기술 중, 물류 및 차량 관리, 응급 서비스 등 실세계에 응용이 많이 되는 부분인 도로 네트워크(도로, 철도 선로 등)를 따라 움직이는 이동체에 대한 연구는 최근 이동체 관리 기술 중 중요한 이슈가 되었으며, 데이터 모델 및 색인, 질의처리 등에 대한 연구가 진행되었다[1, 2, 3, 4, 5, 6].

도로 네트워크에 기반한 이동체는 이동 영역이 도로 네트워크에 한정되어 있기 때문에, 이러한 특징을 반영하여 기존의 색인을 이용하는 것보다 공간 활용도 및 성능을 향상시킨 색인들이 제안되었으며 크게 현재 위치 색인과 과거 위치 색인으로 분류된다. 현재 위치 색인으로는 [3]가 있으며, 과거 위치 색인으로는 [4]와 [6] 등이 있다.

실세계 응용에서는 이동체의 과거 및 현재 위치를 모두 필요로 하는 경우가 많아서 두 개의 색인을 별도로 유지하여야 하며, 이는 비효율적인 노드탐색 비용을 유발하고 두 개의 색인을 유지함에 따른 별도의 부가비용을 필요로 하는 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 기존의 연구로, 과거, 현재 및 미래 위치 질의를 위한 통합 색인이 있다[3]. 하지만 이는 일반적인 2차원 평면상의 이동체를 대상으로 하였기 때문에 도로 네트워크에 기반한 이동체에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 도로 네트워크 기반 이동체의 현재 위치 색인 및 과거 위치 색인의 공통된 부분인 도로 네트워크를 저장·관리하는 부분을 공유하여 색인 유지 비용을 줄이고 현재 및 과거 위치 질의에 대해 불필요한 노드 탐색 비용도 감소시킨 새로운 통합 색인을 제안한다. 이는 또한 과거 및 현재 위치 색인을 통합함으로써 효율적으로 과거 위치 정보를 생성·저장하는 것이 가능해진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련 연구로, 통합 색인에 대한 연구 및 도로 네트워크 기반 이동체 색인에 대해 설명한다. 3장에서는 제안하는 도로 네트워크 기반 이동체의 통합 색인(URN-Tree: Unified Road Network Tree)에 대한 내용을 다룬다. 4장에서는 제안 색인을 이용한 질의 처리에 대해 설명한다. 5장은 제안 색인의 성능 평가이다. 끝으로 6장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 통합 색인에 대한 연구

기존의 이동체 색인은 시간 도메인에 따라 구분되어 있고, [그림 1]과 같이 실제 응용에서 이는 불필요한 비용을 필요로 한다는 문제가 제기되었으며, 이를 해결하기 위해 이동체의 과거 위치를 표현하는 선분과 현재 위치정보를 나타내는 시간에 대한 선형함수를 통합하여 하나의 색인에 유지함으로써 색인을 별도로 유지할 때 발생하는 불필요한 노드 탐색 및 부가 비용이 발생하는 문제를 해결한 색인이 제안되었다[7]. 하지만 이는 기존의 2차원 평면상의 이동체를 대상으로 연구되었기 때문에 도로 네트워크에 기반한 이동체 색인에는 적합하지 않다.



[그림 1] 별도의 색인 유지 시 질의 처리 비용

#### 2.2 도로 네트워크 기반 이동체 색인

도로 네트워크 기반 이동체의 현재 위치 색인으로 IMORS(Indexing Moving Objects on Road Sectors)가 있다. 이는 질의 처리 성능 향상을 위해 최대한 동적인 부분(이동체 갱신 시 바뀌는 부분)을 줄이는 목적으로 도로 네트워크를 이용하였다. 색인의 구조는 크게 정적인 부분과 동적인 부분으로 나뉜다. 정적인 부분은 도로 네트워크 데이터를 라인 세그먼트로 쪼개어 R\*-Tree에 저장한 부분이고, 동적인 부분은 R\*-Tree의 단말 노드 엔트리에 대응되는 블록(Road Sector Blocks)으로, 이 블록에 이동체 데이터 블록(Data Blocks for Moving Objects)에 해당하는 이동체를 가리키는 포인터를 저장한다. 이 색인은 새로운 이동체의 위치가 이전 위치에 해당하는 라인 세그먼트를 벗어날 때에만 색인에 갱신하는 정책을 사용하여 이동체 갱신 시에 부하를 감소시킨다[3].

본 연구는 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음

도로 네트워크 기반 이동체의 과거 위치 색인으로 MON-Tree(Moving Objects in Networks Tree)가 있다. 색인의 구조는 top R-Tree 하나와 다수의 bottom R-Tree로 이루어진다. top R-Tree에 도로 네트워크 데이터를 IMORS와는 다르게 폴리라인의 MBR로 저장하고, 각각의 단말 노드 엔트리에 대응되는 bottom R-Tree에 이동체의 위치정보를 저장한다. 해시 구조를 통해 대응되는 bottom R-Tree를 빠르게 찾을 수 있는 기능을 제공한다. 실제 폴리라인 데이터는 별도의 자료로 저장한다. 이 연구에서는 디스크 기반의 색인 사용 시, 성능 평가를 통해 질의 처리 성능이 폴리라인과 라인 세그먼트 간의 차이가 거의 없다는 것을 증명하였다[6].

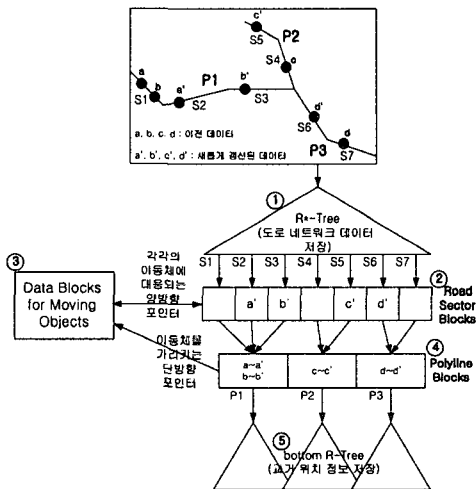
위에서 언급한 두 색인은 도로 네트워크를 정적인 부분으로 분류, 별도의 색인으로 구축하여 관리한다는 공통점을 갖고 있기 때문에 현재 및 과거 위치 색인을 통합한 색인을 구축하여 관리하면 정적인 부분에 대한 공간 절약을 이룰 수 있다.

### 3. URN-Tree(Unified Road Network Tree)

본 장에서는 제안 기법인 도로 네트워크 기반 이동체의 통합 색인을 URN-Tree(Unified Road Network Tree)로 정의하고, 이 색인에 대한 구조 및 질의 처리에 대해 설명한다.

#### 3.1 URN-Tree의 구조

URN-Tree의 전체적인 구조는 [그림 2]와 같으며, 현재 위치 색인 및 과거 위치 색인 은 정적인 부분인 R\*-Tree를 공유한다. 이와 같은 구조를 통해 따로 관리 하는 것에 비해 불필요한 노드 탐색 비용 및 색인 저장 공간을 줄일 수 있다. 또한 현재 및 과거 위치 색인을 통합함으로써 과거 위치 정보 생성 또한 이 색인에 통합하여 관리하는 것이 용이해진다. 현재 위치 정보는 라인 세그먼트 단위로 관리하지만, 과거 위치 정보는 폴리라인 단위로 관리한다. 이는 과거 위치 정보를 폴리라인으로 저장함으로써 색인의 길이를 상대적으로 줄이고, 이동체의 갱신 시 I/O 비용을 줄이기 위함이다.



[그림 2] URN-Tree의 구조

각각의 세부적인 구조를 살펴보면 다음과 같다.

#### ① R\*-Tree

IMORS와 동일하며, 도로 네트워크를 라인 세그먼트로 나누어 여기에 저장한다.

#### ② Road Sector Blocks

IMORS의 구조에서 확장되어 대응되는 Polyline Block의 포인터를 추가적으로 가진다. 이는 과거 위치 정보 생성을 폴리라인 단위로 하기 위함이다.

#### ③ Data Blocks for Moving Objects

이동체 데이터들을 저장하는 블록이다. 블록에 유지되는 각각의 이동체 데이터 구조는 [그림 3]과 같다.

mo_id	(x, y)	RSB_pointer	time	attributes
-------	--------	-------------	------	------------

[그림 3] 이동체 데이터의 구조

mo\_id는 이동체의 id이다.  
(x, y)는 이동체의 현재 위치 값이다.  
RSB\_pointer는 대응되는 Road Sector Block을 가리키는 포인터이다.  
time은 현재 시간을 의미한다.  
attributes는 기타 속성들을 의미한다.

#### ④ Polyline Blocks

이동체의 갱신이 일어날 때 Road Sector Block으로부터 과거 정보를 받아 과거 위치 색인에 적합한 형태로 변환하여 저장하는 기능을 가지며, 현재 위치 색인과 과거 위치 색인과의 버퍼 역할을 하여 I/O비용을 감소시키는 역할을 한다. 생성하는 이동체 데이터의 구조는 [그림 4]와 같으며, 블록에 일정량의 데이터가 쌓이면 이를 과거 위치 색인에 반영한다.

mo_id	begin_position	end_position	begin_time	end_time
-------	----------------	--------------	------------	----------

[그림 4] 이동체의 과거 위치 데이터 구조

mo\_id는 이동체의 id이다.  
begin\_position 및 end\_position은 폴리라인 내의 위치값으로, 이는 폴리라인의 길이를 기반으로 한 값을 저장한다.  
begin\_time 및 end\_time은 이동체의 시간 범위이다.

#### ⑤ bottom R-Tree

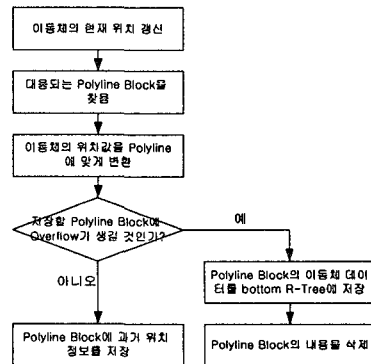
이동체의 과거 위치를 저장·관리하는 색인으로, Polyline Blocks에서 생성하는 데이터를 저장한다. 폴리라인 당 대응되는 트리가 하나씩 존재한다.

### 4. 질의 처리

#### 4.1 삽입 질의 처리

이동 객체가 자신의 현재 위치를 갱신하면 Polyline Blocks는 이전 위치값과 현재 위치 값을 이용하여 과거 위치 정보를 생성한다. 이렇게 생성된 과거 위치 정보는 일정량이 되면 디스크 기반의 색인인 bottom R-Tree에 저장된다. 삽입 과정의 자세한 내용은 [그림 5]와 같다.

라인 세그먼트 단위의 현재 위치 정보를 과거 위치 정보로 변환하는 과정에서 폴리라인 단위의 값으로 바꾸기 때문에, 라인 세그먼트 단위로 저장할 때보다 상대적으로 bottom R-Tree의 저장 공간을 줄인다. 또한, 메인 메모리 기반인 Polyline Block에 과거 위치 정보를 모았다가 갱신하므로, 디스크 I/O 비용을 감소시킨다.



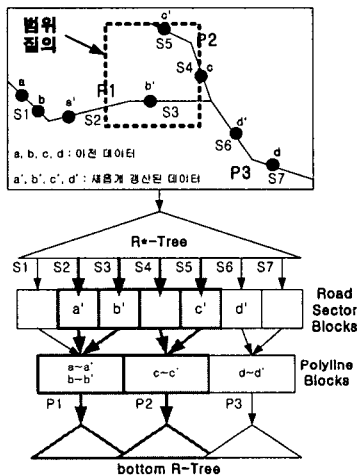
[그림 5] URN-Tree의 삽입 과정

4.2 검색 질의 처리

이 색인에서 지원하는 질의는 범위 질의(Range Query)이다. 이는 시간 범위 및 공간 범위를 인자로 받고, 이동체를 결과로 받는 질의로, 예는 다음과 같다. "시간 범위 (t1, t2) 사이에 공간 범위 (x1, y1, x2, y2) 사이를 지난 이동체를 구하라".

현재 위치 색인 및 과거 위치 색인은 둘 다 공간 범위 질의를 수행하기 위한 R\*-Tree를 공유하여 사용하기 때문에, 현재 위치 및, 과거 위치 질의 뿐만 아니라 현재부터 과거 시점까지의 질의도 한번의 과정으로 수행이 가능하다.

질의 처리 과정은 [그림 6]과 같다. 먼저, R\*-Tree에서 공간 범위 (x1, y1, x2, y2)에 대응되는 Line Segment를 찾은 후, 이에 해당하는 Road Sector Block, Polyline Block 및 bottom R-Tree를 찾는다. 시간 범위에 따라 검색 범위가 제한되는데, 현재 위치 검색은 Road Sector Block에서, 과거 위치 정보는 Polyline Block, bottom R-Tree, 또는 둘 다 검색을 처리한다. 이러한 처리 방법을 통하여, 2.1장에서 제기된 문제점인 불필요한 노드 순회 비용을 감소시킨다.



[그림 6] URN-Tree의 검색 과정

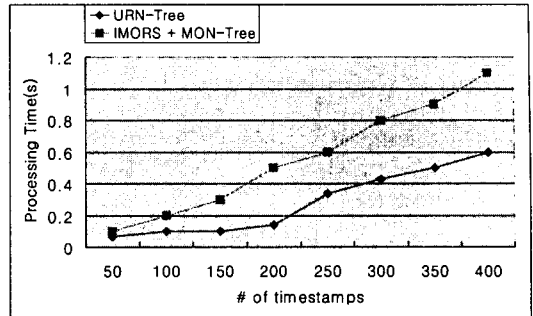
5. 성능 평가

본 평가에서는 성능 평가를 위해 인천광역시 지도 데이터를 이용하였다. 이동 객체는 자체 개발한 생성기로 생성하였다. 성능 평가 환경은 [표 1]과 같다.

[표 1] 성능 평가 환경

컴퓨터	IBM PC Compatible
CPU	Intel Pentium 4, 2.4GHz
메인 메모리	1GB
디스크	7200RPM, 80GB
운영 체제	MS Windows XP Professional
개발 환경	MS Visual C++ 6.0

질의 유형은 현재 및 과거 위치 질의로써 예는 다음과 같다. "지금부터 과거 t까지 영역 (x1, y1, x2, y2)를 지난 이동체를 구하라". [그림 7]은 통합 색인과 두 색인을 따로 구축한 것(IMORS와 MON-Tree)에 대한 질의 처리 성능 평가이다. 공간 영역은 0.3km<sup>2</sup>로 제한하였으며, 이동체는 5초에 한번씩 갱신되는 것으로 하였다. x 축은 t에 해당하는 값으로, 5초에 한번씩 갱신되는 것을 1로 하였다.



[그림 7] URN-Tree와 IMORS + MON-Tree의 질의 처리 성능 비교

위의 성능 평가 결과를 통해 제안한 통합 색인이 두 색인을 따로 두어서 관리하는 것보다 불필요한 노드 탐색 비용을 줄여서 질의 처리 성능을 향상시킬 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 도로 네트워크 기반 이동체의 통합 색인인 URN-Tree (Unified Road Network Tree)를 제안하였다. 이는 기존의 도로 네트워크 기반 이동체의 과거 및 현재 위치 색인을 통합하여 두 색인을 따로 관리하는 경우의 문제점인 색인 유지 비용 및 불필요한 노드 탐색 비용을 감소시키며, 이동체의 과거 위치 정보 갱신 시 발생하는 I/O 비용을 줄이기 위해 Polyline Blocks 라는 자료구조를 이용하여 효율적으로 과거 위치 정보를 생성·저장하는 것이 가능해진다.

향후 연구 방향은 미래 위치 질의 처리를 가능하게 제안한 색인을 확장하는 것이다.

참고 문헌

- [1] Dimitris Papadias, Jun Zhang, Nikos Mamoulis, Yufei Tao, Query Processing in Spatial Network Databases. VLDB 2003.
- [2] C. S. Jensen and D. Pfoser. Indexing of network constrained moving objects. In Proc. of the 11th Int'l. Symp. on Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS), 2003.
- [3] K. Kim, S. Kim, T. Kim, K. Li, Fast indexing and updating method for moving objects on road networks. In Proc. of the 4th Intl. on Web Information Systems Engineering Workshops (WISEW'03).
- [4] R. Frenzos, Indexing Moving Objects on Fixed Networks. In Proc. of the 8th Int'l. Symp. on Spatial and Temporal Databases (SSTD), 2003, 289-305.
- [5] R. H. Güting, V. T. Almeida, and Z. Ding. Modeling and querying moving objects in networks. Technical Report 308, Fernuniversität Hagen, Fachbereich Informatik, 2004.
- [6] V. T. Almeida, R. H. Güting, Indexing the Trajectories of Moving Objects in Networks. 16th Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSTBM'04), 2004.
- [7] 전희철, 안성우, 김진덕, 홍봉희, 이동체 데이터베이스에서 과거, 현재 및 미래 위치 질의를 위한 통합 색인. 정보과학회 2003년 추계학술대회, VOL. 30 NO. 2-2 121-123 2003. 10.