

도로 네트워크를 이용한 불확실 위치데이터의 질의 처리

배태욱⁰, 안경환^{*}, 홍봉희⁰

부산대학교 컴퓨터공학과⁰

한국전자통신연구원 텔레매틱스연구단 LBS연구팀^{*}

{btwzone, bhhong}@pusan.ac.kr⁰, mobileguru@etri.re.kr^{*}

Query Processing of Uncertainty Position using Road Networks

Taewook Bae⁰, Kyoungwan An^{*}, Bonghee Hong⁰

Dept. of Computer Engineering, Pusan National University⁰

LBS Research Team, Telematics Research Division, ETRI^{*}

대표적인 현재 및 미래 위치 색인인 TPR-Tree는 이동 객체의 위치 좌표와 속도 벡터 정보를 이용하여 시간에 대해 선형적으로 이동 객체의 현재 및 미래 위치를 예측한다. 그러나 이동 객체의 이동 방향 및 속도가 특정한 임계값을 벗어날 경우에는 서버로 새로운 위치 보고를 수행하기 때문에, 차량과 같이 이동 방향과 속도가 빈번하게 변하는 환경에 적용할 경우 서버로 잦은 보고를 필요로 하게 되어 통신 비용을 크게 증가시키는 문제가 있다. 통신 비용을 일정하게 유지하기 위한 방법으로 이동 객체의 보고를 일정한 시간 간격으로 수행하게 하는 방법이 있다. 그러나 일정한 시간 간격으로 이동 객체의 위치 보고가 수행되는 환경에서는 보고 간격 사이에 속도와 방향의 변화에 대한 선형적인 위치 예측 시에 오차가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 일정한 시간 간격으로 이동 객체의 위치 보고가 수행되는 환경에서 보고 간격 사이에 이동 객체의 이동 속도와 방향의 변화에 대한 불확실성을 반영하기 위하여 도로 네트워크를 이용한 이동 객체의 불확실 위치데이터의 질의 처리 기법을 제시한다.

1. 서론

무선 통신기술의 발달과 GPS 기술의 발달로 인해 이동 객체들의 위치 기반 서비스(LBS: Location Based Service)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 위치 기반 서비스는 다수의 클라이언트인 이동 객체가 자신의 위치 정보를 서버로 전송하고, 서버에서는 이동 객체들의 보고된 위치 정보를 효율적으로 검색, 저장하기 위한 이동 객체 색인이 필요하다. 그리고 텔레매틱스 산업의 성장으로 물류 및 차량 관리, 응급 상황, 차량 도난과 같은 상황 시 차량의 현재 위치 정보를 빠르게 서비스하기 위하여 현재 및 미래 위치 색인에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

대표적인 현재 및 미래 위치 색인으로는 TPR-Tree가 있다. TPR-Tree는 연속적으로 이동하는 이동 객체의 위치 정보의 보고 횟수를 최소화하기 위하여 이동 객체의 속도와 방향이 특정한 임계값 이상 벗어날 경우에만 서버로의 위치 보고를 수행하고 이동 객체의 새로운 보고가 있기 전까지는 이동 객체의 마지막에 보고된 속도와 방향정보를 이용하여 시간에 대해 선형적으로 이동 객체의 위치를 예측한다. 그러나 차량과 같이 이동 객체의 속도와 방향의 변화가 빈번한 환경에서는 서버로 잦은 보고를 필요로 하게 된다. 따라서 서버로의 위치 보고는 무선 통신으로 이루어지며 이는 통신 비용을 크게 증가시키는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 이동 객체의 보고를 속도와 방향이 특정한 임계값을 벗어날 경우가 아닌 일정한 시간 간격을 가지고 서버로 위치 보고를 수행하면 통신 비용을 일정하게 유지할 수 있다. 그러나 일정한 시간 간격으로 이동 객체의 위치 보고가 이루어질 경우 보고 간격 사이에 이동 객체의 속도와 방향의 변화로

인해 선형적인 위치 예측 시에 예측 오차가 발생한다.

이 논문에서는 일정한 시간 간격으로 이동 객체의 위치 보고가 수행되는 환경에서 보고 간격 사이에 이동 객체의 이동 속도와 방향의 변화에 대한 불확실성을 반영하기 위하여 도로 네트워크를 이용한 이동 객체의 불확실 위치데이터의 질의 처리 기법을 제안한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련 연구를 소개하고, 3장에서는 대상 환경과 문제 정의를 설명한다. 4장에서는 불확실 위치데이터의 질의 처리 기법을 기술하고, 5장에서는 실험 결과에 대해 분석한 내용을 기술한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

2. 관련연구

이동 객체에 대한 색인은 크게 과거 위치 색인과 미래 위치 색인으로 나눌 수 있다. 지금까지는 이동 객체의 과거 위치에 대한 연구가 활발히 진행되었고, 최근 들어 이동 객체의 미래 위치 색인에 대한 연구[1, 2]가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 현재 및 미래 위치 색인인 TPR-Tree[1]는 다차원 색인인 R-Tree 기반의 색인으로 비단말 노드의 엔트리 정보로 BR(Bounding Rectangle)과 BR의 각 방향에 대한 속도 벡터, 그리고 참조 시간을 저장한다. 질의 시에 참조 시간과 예측 시간과의 차이를 속도 벡터에 곱하여 이동 객체의 미래 위치를 시간에 대해 선형적으로 예측함으로써 연속적으로 이동하는 이동 객체의 위치 정보의 보고 횟수를 최소화하였다. 그리고 이동 객체의 위치가 시간에 대해 선형적으로 예측된 위치 내에 있음을 보장하기 위하여 이동 객체의 속도와 방향이 특정한 임계값을 벗어날 경우에 새로운 위

치 보고를 수행한다. 그러나 이동 객체가 차량과 같이 속도와 방향의 변화가 빈번할 경우에는 서버로의 위치 보고가 잦아지게 되어 통신 비용을 크게 증가시키는 문제가 있다.

3. 대상 환경 및 문제 정의

3.1 대상 환경

이 논문에서는 도로 네트워크를 따라 이동하는 차량과 같은 이동 객체가 일정한 시간 간격으로 자신의 위치 정보를 서버로 전송한다. 서버에서는 클라이언트인 이동 객체의 위치 정보를 저장하고, 서버는 사용자의 질의 요청이 오면, 저장되어 있는 이동 객체의 위치 정보를 이용하여 응답하는 환경을 대상으로 하고 있다.

3.2 문제 정의

이동 객체의 위치 정보가 일정한 시간 간격으로 보고되는 환경의 경우 위치 예측 시에 다음과 같은 문제가 있다.

첫째, 일정한 시간 간격으로 이동 객체의 위치 정보가 보고되면 보고 간격 사이에 이동 객체의 속도와 이동 방향이 변할 경우에는 [1, 2]와 같이 시간에 대해 선형적인 예측 질의 시에 잘못된 결과를 반환할 수 있다. [1, 2]의 선형적인 예측 방법은 이동 객체의 마지막으로 보고된 위치 정보를 이용하기 때문에 이동 속도와 방향의 변화로 인한 예측 오차를 반영하지 못하기 때문이다.

둘째, 유클리디언 공간 질의 처리에 따른 예측 오차가 발생할 수 있다. 그림1에서처럼 시간에 대해서 선형적인 예측 시에 유클리디언 거리로는 20m이지만 실제 네트워크 거리로는 40m로 잘못된 예측을 할 수가 있다. 그림2는 유클리디언 거리와 네트워크 거리와의 관계이다. 즉, 임의의 두 지정 사이의 유클리디언 거리(DIST_E(a, b))와 네트워크 거리(DIST_N(a, b))사이에는 DIST_E(a, b) ≤ DIST_N(a, b) 관계가 성립하므로 차량과 같이 도로 네트워크를 따라 이동하는 이동 객체의 예측 질의 시에 네트워크 거리를 고려한 질의 처리가 필요하다.

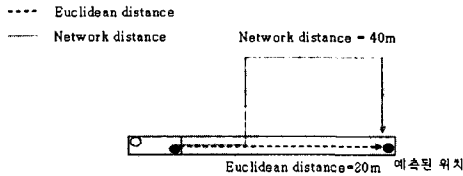


그림 1 Euclidean 공간 질의 처리에 따른 예측 오차

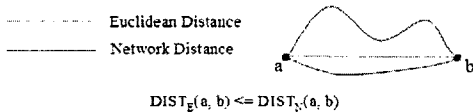


그림 2 Euclidean Distance와 Network Distance

4. 불확실 위치 데이터의 질의 처리

3장에서 언급한 문제를 해결하기 위해 4장에서는 이동 객체의 속도와 방향의 불확실성을 반영하기 위해 도로 네트워크를 이용한 질의 처리 기법을 제시한다. 그림3과 같이 전체 구조는 네트워크 세그먼트를 위한 2차원 R-Tree와 이동 객체의 위치 정보를 위한 2차원 R-Tree로 구성된다. 질의 처리기는 사용자의 질의 요청이 왔을 때 이동 객체 색인과 도로 네트워크 색인 정보를 이용하여 질의에 응답한다.

4.1 색인 구조

이동 객체 색인은 TPR-Tree와 같이 R-Tree 기반이며 TPR-

Tree와 달리 비단말 노드의 엔트리에 속도 벡터 값을 저장하지 않는다. 이는 보고 간격 사이에 이동 객체의 속도 값이 변할 경우 이를 반영할 수 없기 때문에 비단말 노드의 엔트리에 최소경계 사각형(Minimum Bounding Rectangle, MBR)과 참조시간(MBR, T_{ref})을 저장한다. 단말 노드의 각 엔트리는 이동 객체의 위치 좌표와 참조 시간(X, Y, T_{ref})으로 구성된다. 비단말 노드의 참조 시간은 자식 노드의 엔트리 중에서 가장 오래된 참조 시간을 저장한다. 즉 보고 시간이 가장 오래된 이동 객체의 새로운 보고가 있을 경우에만 부모 노드의 참조 시간이 갱신된다.

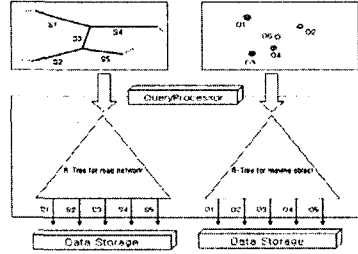


그림 3 전체 구조

네트워크 세그먼트를 위한 색인은 2차원 R-Tree를 이용하여 색인하고 Data Storage에는 그림4와 같이 각 네트워크 세그먼트의 식별자와 기하 정보, 네트워크 클래스, 인접 세그먼트들의 리스트, 해당 세그먼트의 네트워크 거리를 저장한다. 네트워크 클래스는 특정 도로마다 이동 객체가 이동할 수 있는 최대 속도를 나타낸다. 예를 들어, 일반 도로와 고속 도로를 구분하여 질의 시에 이동 객체의 속도 변화에 대한 불확실성을 반영한다.

SID	S.Point	E.Point	Class	Adj.List	Distance
-----	---------	---------	-------	----------	----------

그림 4 네트워크 세그먼트 데이터

4.2 도로 네트워크를 이용한 질의 처리

제한한 색인을 이용하여 이동 객체의 위치 보고가 일정한 시간 간격으로 수행되는 환경에서 도로 네트워크를 이용한 이동 객체의 불확실 위치데이터에 대한 질의 처리 기법을 제시한다. 알고리즘1은 도로 네트워크를 이용한 질의 처리 알고리즘이다.

질의 처리는 우선 이동 객체 색인을 이용하여 유클리디언 공간 질의를 수행한 후 반환된 후보 객체들에 대해서 네트워크 공간 질의를 수행한다. 질의 영역이 QR, 질의 시간이 QT라 할 때 이동 객체 색인의 비단말 노드의 엔트리인 MBR을 각 방향으로(QT-T_{ref})시간만큼 유클리디언 거리로 확장시킨다. 확장 속도는 가장 큰 제한 속도를 가지는 네트워크 클래스의 속도로 확장시킨다. 따라서 이동 객체의 속도가 변화더라도 확장된 MBR안에 항상 포함이 된다. 그리고 확장된 MBR이 QR과 교차된다면 단말 노드에 도달할 때까지 같은 방식으로 해당 엔트리의 하위 노드에 대해 QR과 교차하는지를 검사하고 단말 노드에 도달하면 해당 노드에 포함된 이동 객체들을 결과로 반환한다.

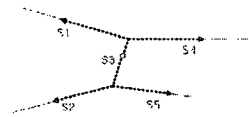


그림 5 네트워크 세그먼트와 이동 객체의 이동 방향

반환된 결과에 포함된 각 이동 객체 m에 대해서 마지막으로 보고한 위치에 있는 세그먼트를 검색한다. 검색된 세그먼트로부

터 ($QT - m.T_{ret}$) 시간 이내에 해당 이동 객체가 네트워크 거리로 이동했을 때 질의 영역 QR에 포함되는지를 검사하게 된다. 그림 5에서와 같이 이동 객체의 이동은 도로 네트워크를 따라서 이동하기 때문에 네트워크 세그먼트의 인접 리스트를 이용하여 이동 객체의 이동 가능한 모든 방향을 고려한다. 따라서, 보고 간격 사이에 이동 객체의 이동 방향이 바뀌더라도 이를 반영할 수 있다. 그리고 각 세그먼트를 이동하는데 소요되는 시간 SP는 해당 세그먼트 클래스의 속도 이동했을 때 소요되는 시간으로 계산한다. 세그먼트를 이동하고 남은 시간 RT가 0이아기 될 때까지 계속해서 인접한 세그먼트를 방문하여 QR에 도달가능한지를 검사한다.

```

Algorithm NetworkRangeQuery
Input : Query Region QR, Query Time QT
Output : Moving object Set RS
BEGIN
Candidate set CS = EuclideanRangeSearch(QR, QT);
Network segment set NS = RangeSearch(QR);
FOR EACH m IN CS DO
Network segment N = FindSegment(M);
IF NS contains N THEN return RS += M;
Calculates distance Di, spend time SPi for each side
Remained time RTi = QT - SPi;
IF (RTi ≥ 0) THEN
IF (TraverseNetwork(N, RTi, NS)) THEN RS += M;
END FOR
END

Algorithm TraverseNetwork
Input : Network segment N, remained time RT, network segment set NS
BEGIN
Adjacency List AL = GetAdjacencyList(N);
FOR EACH n IN AL DO
IF NS contains n THEN RETURN True;
calculate distance D, spend time SP
Remained time RT = QT - SP;
IF (RT ≥ 0) THEN TraverseNetwork(n, RT, NS)
END FOR
END
    
```

알고리즘 1 네트워크 질의 처리

5. 실험 평가

5.1 실험 세부 사항

각 알고리즘 및 색인은 C#으로 구현하였고, 윈도우 2003에서 1GB의 메인 메모리, CPU는 Pentium IV 3.06Ghz의 환경에서 실험하였다. 그림6은 실험에 사용된 독일의 oldenburg시의 도로 네트워크이며, 데이터 집합은 brinkhoff 네트워크 데이터 생성기 [3]를 사용하였다. 그리고 사용된 이동 객체 수는 100,000개 이고 이동 객체의 마지막 보고 시간을 T0라고 했을 때 T1~T7 시간에 대해서 각각 1000개의 점 질의(Point Query)와 전체 영역에 대해 1%, 5%, 10%, 20%의 크기를 가진 영역 질의(Range Query)를 수행하였다.

5.2 실험 결과

그림7은 유클리디언 공간 질의로 검색된 이동 객체 수와 네트워크 공간 질의를 수행하여 검색된 결과 수를 비교한 것이다. 예

를 들어 T1시간에 점질의를 수행한 결과 네트워크 질의 결과 수는 유클리디언 거리로 검색된 이동 객체 수의 11%정도이다. 즉 유클리디언 거리로 필터링(filtering)된 후보 객체들을 도로 네트워크를 사용하여 질의 처리를 수행했을 때 예측 질의 결과로 반환되는 후보 객체 수를 크게 줄임으로써 질의 정확도를 크게 향상시킴을 보여준다. 그리고 데이터 생성기에 의해 생성된 이동 객체 데이터들의 실제 T1~T7에서의 위치를 비교한 결과 질의 조건을 만족하는 이동 객체들은 예측 질의 결과로 반환된 후보 객체에 모두 포함되었다.

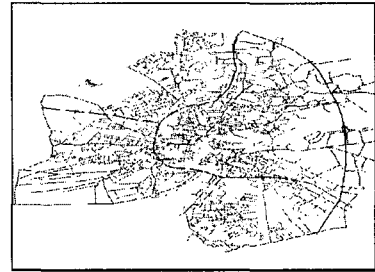


그림 6 Oldenburg 시의 도로 네트워크

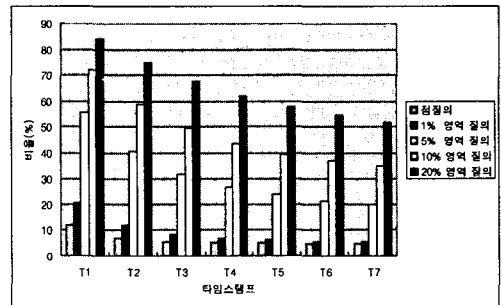


그림 7 유클리디언 거리와 네트워크 거리 검색 결과 비교

6. 결론 및 향후 연구

이 논문에서는 도로 네트워크의 인접성과 클래스 정보를 사용하여 이동 객체의 속도와 방향의 불확실성을 반영한 질의 처리 기법을 제시하였다. 유클리디언 공간상에서의 질의 처리가 아닌 실제 이동 객체들이 이동하는 네트워크 거리로써 질의 처리를 수행함으로써 질의 정확도를 크게 향상 시킴을 보였다.

향후 연구로는 이 논문에서 제시한 질의 처리 기법에 대한 성능 향상을 위한 연구와 도로 네트워크를 사용한 다양한 질의 형태에 대한 연구가 필요하다.

7. 참고 문헌

[1] S.Saltis, C.S.Jensen, S.T.Leutenegger, and M.A.Lopez " Indexing the Positions of Continuously Moving Objects" , In Proc. ACM SIGMOD on Management of data, pp331-342, 2000.

[2] Y. Tao, D. Papadias, and J. Sun. " The TPR*-Tree: An Optimized Spatio-temporal Access Method for Predictive Queries" VLDB, pp178-193, 2003.

[3] Thomas Brinkhoff, " Generating Network-Based Moving Objects", Scientific and Statistical Database Management, pp253-255, 2000.