

# RFID 태그 객체의 위치 추적을 위한 구간 데이터 모델

반재훈\* · 홍봉희\*\*

\*경남정보대학 · \*\*부산대학교

## An Interval Data Model for Tracing RFID Tag Objects

Chae-Hoon Ban\* · Bong-Hee Hong\*\*

\*Kyungnam College of Information & Technology · \*\*Pusan National University

E-mail : chban@kit.ac.kr\* · bhong@pusan.ac.kr\*\*

### 요 약

RFID 시스템에서 태그의 위치를 추적하기 위해서는 태그의 궤적을 모델링하고 색인으로 구성해야 한다. 궤적은 태그가 판독기의 인식영역으로 들어갈 때와 나갈 때 보고되는 두 개의 시공간 위치를 연결한 선분으로 표현될 수 있다. 만약 태그가 판독기의 인식영역에 들어와 나가지 않는 경우에 태그의 궤적은 인식영역에 들어올 때만 보고된 점으로 표현된다. 따라서 태그가 판독기에 머물고 있다는 정보를 표현할 수가 없으므로 질의 처리 시 이러한 태그를 찾기 위해 질의영역을 확장해야 하는 문제가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 이 논문에서는 RFID 태그의 궤적을 위한 구간 데이터 모델을 정의한다. 이 모델에서는 태그의 궤적을 시간에 종속적인 선분인 동적 구간과 시간에 고정적인 선분인 정적 구간으로 표현하여 태그의 궤적을 효율적으로 찾을 수 있게 한다. 또한 수학적 모델링을 통해 구간 데이터 모델의 질의 처리 비용이 우수하다는 것을 증명한다.

### ABSTRACT

For tracing tag locations, a trajectories should be modeled and indexed in radio frequency identification (RFID) systems. The trajectory of a tag can be represented as a line that connects two spatiotemporal locations captured when the tag enters and leaves the vicinity of a reader. If a tag enters but does not leave a reader, its trajectory is represented only as a point captured at entry. Because the information that the tag stays in the reader is missing from the trajectory represented only as a point, we should extend the region of a query to find the tag that remains in a reader.

In this paper, we propose an interval data model of tag's trajectory in order to solve the problem. Trajectories of tags are represented as two kinds of intervals; dynamic intervals which are time-dependent lines and static intervals which are fixed lines. We also show that the interval data model has better performance than others with a cost model

### 키워드

RFID, Tag, Trajectory, Data Model, Query Processing

### 1. 서론

RFID(Radio Frequency IDentification)는 각종 물품에 소형 칩인 태그(Tag)를 부착하고 사물의 정보와 주변 환경 정보를 판독·해독기능이 있는 판독기(Reader)를 통해 인식하여 무선주파수로 전송·처리하는 비접촉식 인식시스템이다. RFID는 항만/물류/유통, 군사, 식품/안전 등 비즈니스 영역에 킬러 애플리케이션으로서 막대한 파급 효과를 끼칠 전망이다[1].

태그를 부착한 실 개체(이하 태그)는 이동체

(moving object)와 유사하게 시간에 연속적으로 이동하므로 태그의 궤적을 추적하기 위해서 이동체를 위한 시공간 데이터 모델을 적용할 수 있다. 이동체가 보고한 두 개의 시공간 위치를 연결하는 선분으로 궤적을 표현하는 것과 같이 태그가 판독기에 들어올 때와 나갈 때 보고되는 시공간 위치를 이용하여 태그의 궤적을 선분으로 표현할 수 있다[2].

그러나 이러한 궤적의 모델링 기법을 사용하는 경우에 판독기의 인식영역에 들어와 머무는 태그를 찾기 위해 질의영역을 확장해야 하는 문제가

발생한다. 만약 태그가 판독기에 머무는 경우에 궤적은 태그가 판독기에 들어갈 때 보고한 시공간 점으로만 구성된다. 따라서 시공간 점은 태그가 판독기에 머문다는 정보를 표현할 수 없으므로 이러한 태그를 찾기 위해 질의영역을 확장해야 하는 문제가 발생한다. 따라서 판독기에 머무는 태그를 표현할 수 있는 새로운 방법이 제시되어야 한다.

이 논문에서는 위와 같은 문제를 해결하기 위하여 구간 데이터 모델을 정의한다. 이 모델에서는 태그의 궤적을 시간에 종속적인 선분인 동적 구간(dynamic interval)과 시간에 고정적인 정적 구간(static interval)으로 표현한다. 따라서 판독기에 머무는 태그의 궤적은 시간에 종속적인 동적 구간으로 표현하여 태그를 효율적으로 찾을 수 있게 한다. 또한 제안된 모델과 기존 방법을 수식으로 정의하고 성능비교를 통하여 제안된 모델의 우수성을 입증한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 기술하며 3장에서는 대상 환경 및 태그의 궤적 표현으로 인해 발생하는 문제를 정의한다. 4장에서는 구간데이터 모델을 정의하며 5장에서는 제안된 모델과 기존 방법을 수학적 모델링하여 성능을 비교함으로써 우수성을 입증한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 기술한다.

## II. 관련 연구

이동 객체의 데이터 모델은 이동 객체의 현재 및 미래 위치와 관련된 MOST(Moving Object Spatio-Temporal)[3]와 이동 궤적을 표현하는 시공간 데이터 모델(Spatio-Temporal Data Model)[2]로 나눌 수 있다.

MOST 모델은 시간 함수를 이용하여 이동 객체의 현재 및 미래 위치를 표현한다. 그래서 매번 반복되는 데이터베이스 갱신으로 인한 성능 저하의 문제점을 해결한다. 즉, 명시적 변경 없이 질의 시간에 따라 변화하는 동적 속성(dynamic attributes)을 이용하여 미래 위치를 계산하고 질의를 처리한다. 그러나 이 모델은 이동을 기술하는 정확한 시간 함수를 찾기가 어렵다는 문제점이 있다. 태그의 경우 속도나 방향 정보를 획득할 수 없기 때문에 MOST 모델은 적합하지 않다.

시공간 데이터 모델은 2차원 공간과 시간 차원을 동시에 고려하며 이동 객체를 시간이 지남에 따라 위치가 변화하는 3차원 시공간 객체로 정의한다. 이 모델은 연속적 모델과 이산적 모델로 나뉘어진다. 연속적 모델은 이동 객체를 무한개의 점 집합을 가진 곡선으로 표현하며, 이산적 모델은 이동 객체를 유한개의 점 집합을 가진 다중선(polyline)으로 표현한다. 이동 객체 데이터베이스에 위치 정보를 저장하기 위해서는 객체의 궤적을 3차원 선분(line segment)들의 집합으로 정의하는 이산적 모델을 이용한다.

## III. 대상 환경 및 문제 정의

RFID 시스템은 태그와 판독기 그리고 호스트 서버로 구성된다. 태그는 컨테이너나 팔레트와 같은 실 개체에 부착되어 판독기 사이를 이동하며, 판독기는 인식영역에 들어오거나 나가는 태그의 정보를 수집한다. 태그가 인식영역에 들어오면 Enter 이벤트가 발생하며 반대로 태그가 인식영역을 빠져나가면 Leave 이벤트가 발생한다[1].

RFID 시스템의 태그는 이동체와 유사한 특징을 가진다. 즉, 이동체가 이동하면서 시간에 연속적으로 자신의 위치를 변경하듯이 태그도 판독기의 인식범위에 들어가거나 빠져나가며 자신의 위치를 변경한다. 따라서 태그의 위치 추적을 위해 이동체의 궤적 모델링 기법을 적용할 수 있다.

이동체에 대한 기존 연구에서는 궤적을 두 개의 시공간 위치를 연결한 선분으로 표현한다. 이동체가  $t_i$ 의 시간에  $(x_i, y_i)$ 의 위치를 보고하고  $t_{i+1}$  시간에  $(x_{i+1}, y_{i+1})$ 의 위치를 보고하는 경우에 궤적은 두 개의 시공간 위치를 연결하는 선분인  $(x_i, y_i, t_i), (x_{i+1}, y_{i+1}, t_{i+1})$ 로서 3차원 시공간 좌표에 표현된다[2].

이 논문에서는 태그의 단일궤적을 다음과 같이 정의한다. 정의에서  $tid$ ,  $rid$ ,  $t$ 는 3차원 공간의 각 축을 의미하며  $tid_i$ 는 태그의 식별자,  $rid_j$ 는 판독기의 식별자,  $t_{enter}$ ,  $t_{leave}$ 는 각각 Enter와 Leave 이벤트의 발생 시간을 의미한다.

**정의 1:** 판독기  $rid_j$ 에서의 태그  $tid_i$ 의 궤적  $tr$   
 $tr = \{(tid, rid, t) \in R^3 \mid tid=tid_i, rid=rid_j, t_{enter} \leq t \leq t_{leave}\}$

태그를 위해 기존 연구에서 사용한 궤적의 표현 방법을 사용하면 판독기에 머무는 태그를 찾기 위해 질의영역을 확장해야 하는 문제가 발생한다. 만약 태그가 판독기의 인식범위에 들어와 나가지 않고 머무는 경우에는 질의 수행 시에 질의의 결과임에도 불구하고 질의의 후보가 될 수 없다.  $t_{now}$ 를 현재 시간이라 가정하고  $t_{enter}$ 와  $t_{leave}$ 를 Enter 이벤트와 Leave 이벤트의 발생시간이라 가정하자. 만약  $t_{enter} \leq t_{now} < t_{leave}$ 이면 Enter 이벤트만 발생하고 Leave 이벤트는 발생하지 않게 된다. 이 경우 궤적은 Enter 이벤트 시에 보고된 시공간 위치인 점으로만 표현되므로 판독기에 머물러 있다는 정보를 표현할 수 없다. 따라서 질의 수행 시 이러한 태그를 찾기 위해 질의영역을 확장해야 하는 문제가 발생한다.

예를 들어 그림 1-(a)와 같이 판독기  $rid_1$ 에 태그  $tid_1$ 이 시간  $t_0$ 에 들어와  $t_1$ 에 빠져나간다고 가정하자. 정의 1에 따라 궤적은 그림 1-(b)의  $tr_1$ 과 같이 두 개의 시공간 위치를 연결한 선분으로 표현된다. 만약 태그가 판독기  $rid_2$ 에 시간  $t_2$ 에 들어와 빠져나가지 않으면 태그의 Leave 이벤트는 발생하지 않게 된다. 따라서 궤적은  $tr_2$ 와 같이 Enter 이벤트 발생시에 보고된 시공간 위치인 점

으로 표현된다. 그림 1-(b)의  $R_1$ ,  $R_2$ 와 같이 특정 시간에 판독기  $rid_1$ 과  $rid_2$ 에 위치하는 태그를 찾는 질의를 수행한다고 가정하자. 질의가 수행되면  $tr_1$ 은 질의영역  $R_1$ 에 포함되어 찾을 수 있으나  $tr_2$ 는 현재 시간  $t_{now}$ 에  $rid_2$ 의 내부에 머물러 있음에도 불구하고 그 정보를 표현할 수 없으므로 질의영역  $R_2$ 의 결과에서 제외되어 진다. 따라서 이러한 태그를 찾기 위해서는 질의영역  $R_2$ 를 확장해야 하는 문제가 발생한다.

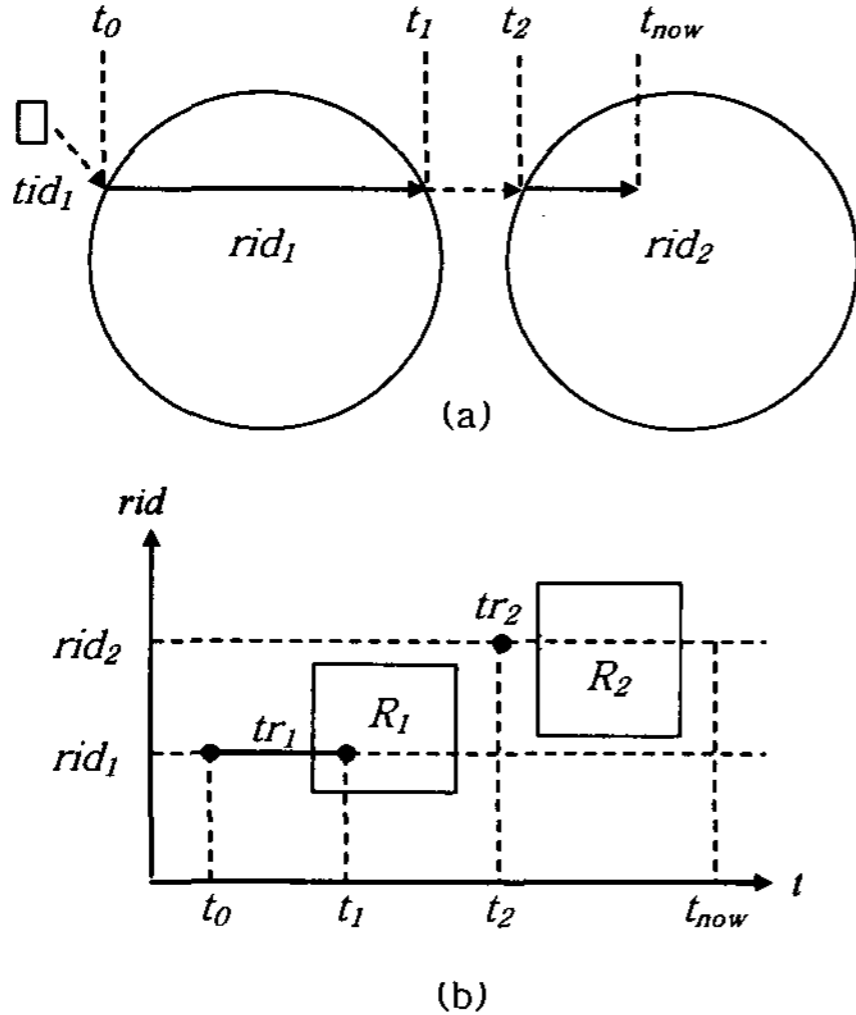


그림 1. 판독기에 머무는 태그의 문제발생

이 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 태그의 궤적을 위한 구간 데이터 모델을 제시한다. 이 모델에서는 태그의 궤적을 시간 축 길이가 시간에 종속적인 동적 구간과 시간에 고정적인 정적 구간으로 정의한다. 따라서 Enter 이벤트만 발생한 태그의 궤적은 시간에 종속적인 선분으로 표현되므로 질의영역을 확장할 필요 없이 질의를 효율적으로 처리할 수 있다.

#### IV. 구간 데이터 모델

태그가 호출 영역 안으로 들어가면, Enter 이벤트가 발생하고, 이때  $t_{enter}$  값을 알 수 있다. 그러나 언제 호출 영역 밖으로 나올지 모르기 때문에  $t_{leave}$  값은 아직 알 수 없다. 현재 위치 질의, 예를 들어 태그가 현재 어느 판독기의 호출 영역에 들어 있는지를 알기 위해서는 태그의 현재 상태를 데이터베이스에 유지하고 있어야 하므로, Enter 이벤트가 발생할 시에  $t_{leave}$  값을 표현할 방법이 필요하게 된다.

이 논문에서는 시간에 따른 태그의 궤적을 다음과 같이 두 종류의 구간인 정적 구간과 동적 구간으로 분류하여 정의한다. 다음의 정적, 동적 구간의 정의를 위하여 이 논문에서는 태그 식별자  $tid$ , 판독기의 식별자  $rid$  및 시간  $t$ 를 3차원의

각 축으로,  $tid_i$ 는 태그의 식별자,  $rid_j$ 는 판독기의 식별자  $t_{enter}$ 를 Enter 이벤트의 발생시간,  $t_{leave}$ 를 Leave 이벤트의 발생시간,  $t_{now}$ 를 현재 시간으로 가정한다.

**정의 2:** 동적 구간(dynamic interval)  $dl = \{(tid, rid, t)R^3 \mid tid=tid_i, rid=rid_j, t_{enter} \leq t \leq t_{now}\}$ .  
**정의 3:** 정적 구간(static interval)  $sl = \{(tid, rid, t)R^3 \mid tid=tid_i, rid=rid_j, t_{enter} \leq t \leq t_{leave}\}$ .

태그가 판독기에 들어오면 동적 구간이 생성되며 시간 구간의 끝 값은 현재시간을 나타내는  $t_{now}$ 로 변경된다. 따라서 동적 구간의 시간 축 길이가  $dl_t = \{t \mid t_{enter} \leq t \leq t_{now}\}$ 가 되며  $t_{now}$ 에 의해 시간 축 길이가 계속해서 변하게 된다. 판독기에 들어와 아직 빠져나가지 않은 태그의 궤적이 시간에 종속적인 선분으로 표현되므로, 질의영역의 시간 구간 최소값을  $t_{query}$ 라 하고  $t_{enter} \leq t_{query} \leq t_{now}$  이라 하면 항상  $dl_t \ni t_{query}$ 를 만족하여 질의를 처리할 수 있다.

만약 태그가 판독기를 빠져 나가게 되면 시간 구간의 끝 값은  $t_{leave}$ 로 변경되어 정적 구간이 된다. 이 경우 정적 구간의 시간 축 길이가  $sl_t = \{t \mid t_{enter} \leq t \leq t_{leave}\}$ 가 되며 질의영역의 시간구간 최소값이  $t_{enter} \leq t_{query} \leq t_{leave}$ 인 경우  $sl_t \ni t_{query}$ 를 만족하여 질의를 처리할 수 있다.

예를 들어, 그림 2-(a)와 같이 태그가 판독기에  $t_{enter}$ 시간에 들어와  $t_{leave}$ 시간에 빠져 나간다고 가정하자.  $t_{enter} \leq t_{now} < t_{leave}$ 인 경우에 태그의 궤적은 그림 2-(b)와 같이 태그가 아직 판독기를 빠져 나오지 않았으므로 시간 축 범위가  $[t_{enter}, t_{now}]$ 인 동적 구간이 되어 질의 처리가 가능하다.  $t_{enter} \leq t_{leave} < t_{now}$ 인 경우에는 태그가 그림 2-(c)와 같이 판독기를 빠져 나왔으므로 궤적은 시간 축 범위가  $[t_{enter}, t_{leave}]$ 인 정적 구간이 되어 질의 처리가 가능하다. 따라서 위와 같이 태그의 궤적을 정적 구간, 동적 구간으로 정의하면 언제나 질의처리가 가능하다.

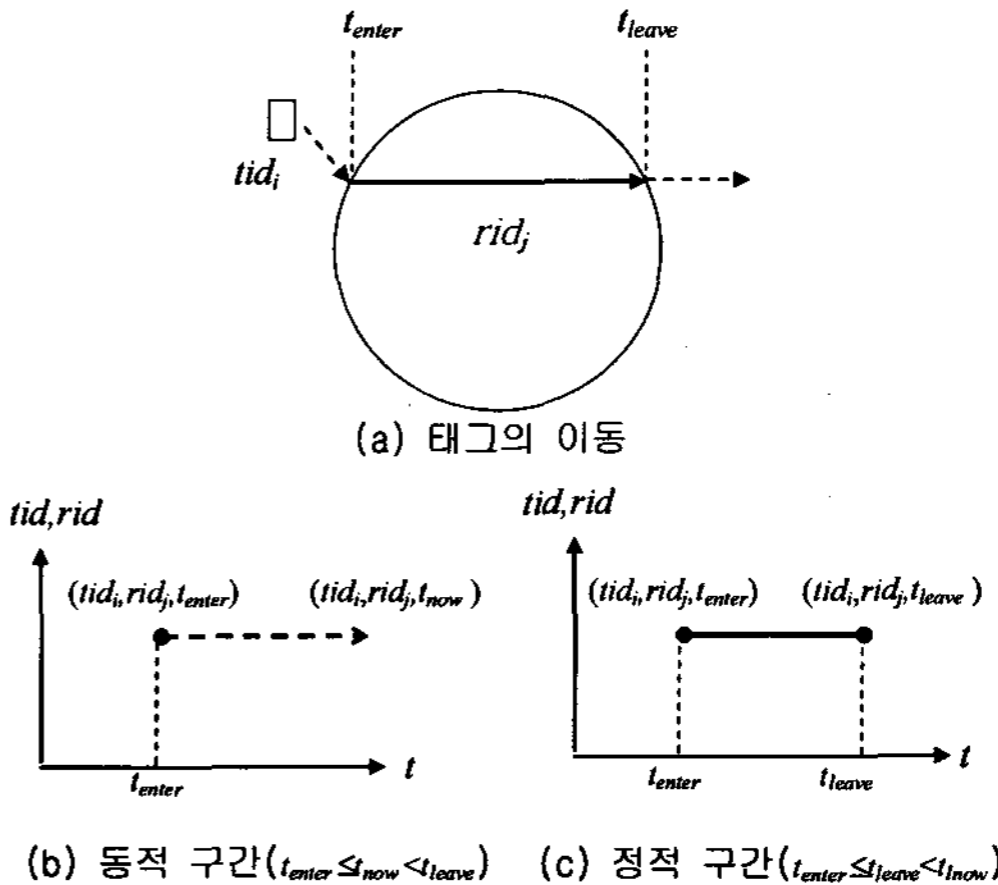


그림 2. 구간 데이터 모델

V. 구간 데이터 모델의 질의 처리 비용

구간 데이터 모델을 이용하여 질의를 처리하는 경우에 질의 처리 비용을 비교하기 위하여 [4]에서 제시한 비용 모델을 이용한다. [4]에서는 점질의 비용을 수식 (1)과 같이 색인을 구성하는 모든 단말 노드의 면적의 합으로 정의하였으며 영역질의 수식 (2)와 같이 점질의 확장으로 모든 단말 노드를 질의영역만큼 확장한 후 면적을 합한 것으로 정의하였다. 이 논문에서도 이러한 개념을 사용하여 구간 데이터 모델을 사용할 때와 사용하지 않을 때의 질의 처리 비용을 비교한다.

$$P(0,0) = \sum_{i=1}^N n_{i,x} \times n_{i,y} \text{----- (1)}$$

$$P(q_x, q_y) = \sum_{i=1}^N (n_{i,x} + q_x) \times (n_{i,y} + q_y) \text{---- (2)}$$

그림 3은 구간 데이터 모델을 사용하지 않은 경우에 질의 처리 비용을 나타낸 것이다. 수식을 단순화 하기 위하여 시간과 판독기 식별자 축으로 나타내었다. 그림과 같이 질의영역이  $q_{rid}$ ,  $q_t$ 인 경우에 판독기에 머무는 태그를 찾기 위하여 질의영역을 시간축으로 확장평균길이  $l$ 만큼 확장하여야 질의처리가 가능하다. 따라서 구간 데이터 모델을 사용하지 않는 경우에 질의 처리 비용은 수식 (3)과 같다.

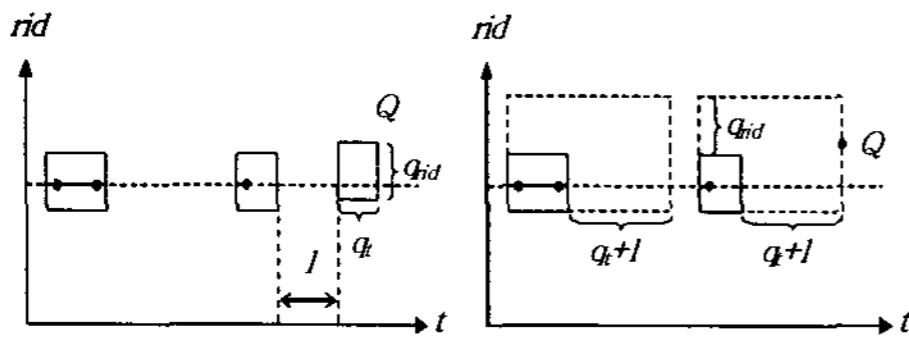


그림 3. 구간데이터모델이 아닌 경우 질의처리

$$P(q_{rid}, q_t) = \sum_{i=1}^N (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t + l) \text{---- (3)}$$

그림 4는 구간 데이터 모델을 사용하여 판독기에 머무는 태그를 동적 구간으로 표현한 경우에 질의 처리 비용을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 동적 구간을 포함하는 노드의 수를  $j$ 라고 하면 이 노드들은 동적 구간을 포함하므로  $l$ 만큼 확장되게 된다. 또한 나머지 노드들은 동적 구간을 포함하지 않으므로 확장되지 않는다. 따라서 구간 데이터 모델을 사용하는 경우에 질의 처리 비용은 수식 (4)와 같다.

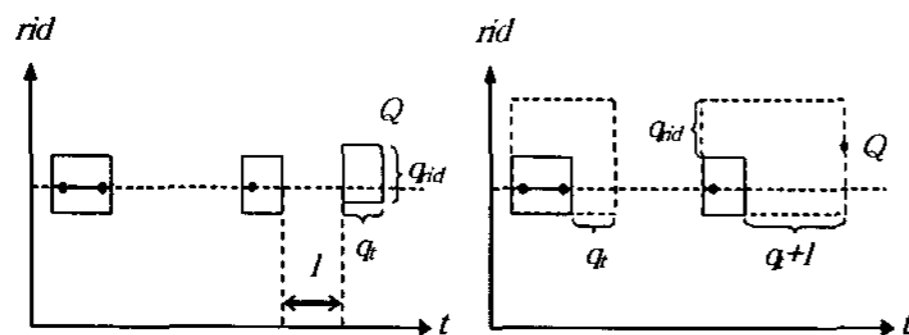


그림 4 구간데이터 모델의 질의 처리 비용

$$P(q_{rid}, q_t) = \sum_{i=1}^j (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t + l) + \sum_{i=j}^N (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t) \text{-- (4)}$$

두 경우의 질의 처리 비용을 비교하기 위하여 수식 (4)에서 (3)을 감산하면 아래와 같이 수식이 전개되며 항상 0보다 작게 된다.

$$(4)-(3) = \sum_{i=1}^j (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t + l) + \sum_{i=j}^N (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t) - \sum_{i=1}^N (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t + l) = \sum_{i=1}^j (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t + l) + \sum_{i=j}^N (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t) - \sum_{i=1}^j (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t + l) - \sum_{i=j}^N (n_{i,rid} + q_{rid}) \times (n_{i,t} + q_t + l) < 0$$

따라서 구간 데이터 모델을 사용하여 판독기에 머무는 태그의 궤적을 동적 구간으로 표현하는 경우에 질의 처리 비용이 효율적임을 수식을 통해 알 수 있다.

VI. 결론 및 향후 연구

이 논문에서는 태그의 위치 추적을 위해 궤적을 표현하는 방법을 제시하였다. 기존 궤적의 표현방법의 문제점을 소개하고 문제 해결을 위해 구간 데이터 모델을 정의하였다. 이 모델에서는 태그의 궤적을 시간에 종속적인 동적 구간과 시간에 고정적인 정적 구간으로 표현하였다. 또한 제안된 모델과 기존 방법을 수식으로 정의하고 성능비교를 통하여 제안된 모델의 우수성을 입증하였다. 향후 연구로 구간 모델을 기반으로 태그의 궤적을 색인하는 방법에 대한 연구와 효율적인 질의 처리 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] K. Romer, et al., "Smart Identification Frameworks for Ubiquitous Computing Applications" Proc. of Pervasive Computing and Communications, pp. 256-262, 2003  
 [2] Y. Theodoridis, et al., "Spatio-Temporal Indexing for Large Multimedia Applications", In International  
 [3] Y. Theodoridis, et al., "On the generation of spatiotemporal datasets," Proc. of Int'l Symposium on Spatial Databases, pp. 147-164, 1999.  
 [4] Kamel and C. Faloutsos, "On packing R-trees," Int'l Conf. on Information and Knowledge Management, pp. 490-499, 1993.