

# USN환경에서 효율적인 공간영역질의를 위한 적응형 영역 집계 인덱스 기법

## Adaptive Range Aggregation Index Method for Efficient Spatial Range Query in Ubiquitous Sensor Networks

이 연\* / Yan Li, 어상훈\*\* / Sang-Hun Eo, 조숙경\*\*\* / Sook-Kyoung Cho  
이순조\*\*\*\* / Soon-Jo Lee, 배해영\*\*\*\*\* / Hae-Yeong Bae

### 요약

본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서의 공간 영역 질의를 효과적으로 처리하는 공간 영역 집계 인덱스 기법을 제안한다. 새로운 정보화 패러다임인 네트워킹과 컨버전스 기반의 유비쿼터스 환경의 중요성이 부각되면서 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서의 에너지 효율적인 실시간 공간 질의에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서 네트워크에서 공간영역질의는 사용자가 지정한 일정한 시간 동안의 특정 지리적 영역의 온도, 습도 등 스칼라 데이터를 감지한다. 공간 질의를 효과적으로 수행하기 위하여 Rectangle 기반의 SPIX기법 등 공간 인덱스 기법들이 많이 진행되었지만 기존 연구에서는 공간 영역질의의 질의 결과 값 전달 경로를 질의 전달 경로의 역방향으로 지정하였다. 센서 네트워크의 공간 영역 질의에서 질의 영역 내의 센서들은 대부분이 인접되어 있지만 질의 전달 경로가 틀리면 질의 영역 내에서 집계되지 못하고 전달되므로 불필요한 에너지를 낭비하게 된다. 본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크에서 공간 영역 질의를 수행 할 때 질의 영역 내에서 센서 노드들 간의 통근거리를 고려하여 질의 결과 값 전달 경로를 재선정하고, 적응적으로 집계 영역 내에서 집계 연산을 하여 질의 결과 값을 전달하는 인덱스 기법을 제안한다. 성능평가를 통하여 제안 기법이 기존 기법보다 우월함을 보여주었다.

### Abstract

In this paper, an adaptive range aggregation spatial index method is proposed for spatial range query in ubiquitous sensor networks. As the ubiquitous sensor networks are the new information-oriented paradigm, many energy efficient spatial range query methods in ubiquitous sensor networks environment are studied vigorously. In sensor networks, users can monitor environment scalar data such as temperature and humidity during user defined

■ 논문접수 : 2007.7.18      ■ 심사완료 : 2007.8.30

\* 인하대학교 정보공학과 석사 과정 (leeyeon@dblab.inha.ac.kr)

\*\* 인하대학교 정보공학과 석박통합과정 (eosanghun@dblab.inha.ac.kr)

\*\*\* (주)KGI 재직 중 (skyo@dreamwiz.com)

\*\*\*\* 서원대학교 컴퓨터교육학과 조교수 (sjlee@sewon.ac.kr)

\*\*\*\*\* 교신저자 인하대학교 컴퓨터공학부 교수 (hybae@inha.ac.kr)

time and spatial ranges. In order to execute spatial range query efficiently, rectangle based index methods are proposed, such as SPIX. But they define the return path as the opposite of its query transmit path. However, the sensor nodes in queried ranges are closed to each other, they can't aggregate the sensed value in a queried range because their query transmission paths are different. As a result, the previous methods waste energy unnecessarily to aggregate sensing data out of the queried range. In this paper, an adaptive aggregation index method is proposed that can aggregate values in a user defined range adaptively by using its neighbor information. It is shown that sensor power is saved efficiently by using the proposed method over the performance evaluation.

**주요어 :** 센서 네트워크, 공간 영역 질의, 공간 인덱스

**Keyword :** Sensor networks, Spatial range query, Spatial index

## 1. 서론

유비쿼터스 센서 네트워크 환경은 기하학적으로 분포된 많은 센서들을 이용하여 지속적인 환경 분석, 실시간 재난재해 방지 및 원격제어 시스템 등 응용서비스에 기반이 되는 데이터를 제공한다 [1-3]. 센서 노드들은 주변 환경 정보를 감지하고 센싱된 데이터를 기지국 서버에 전달하고 최종적으로 사용자 응용프로그램에 전달된다. 특히 사람의 손이 닿기 어려운 사막, 보호 동물의 서식지 등 넓은 지역에 센서 노드를 설치하면 위험 지역에 적은 비용으로 실시간 정보를 얻을 수 있어 효과적으로 유용한 정보를 추출하고 분석하여 자연생태 환경을 모니터링 할 수 있도록 기초 데이터를 제공한다 [4,5].

유비쿼터스 센서 네트워크 환경은 사용자 응용프로그램, 공간데이터베이스 및 스트림 처리기, 기지국과 넓은 영역에 구축된 센서들로 구성된다. 사용자의 응용프로그램은 전체 유비쿼터스 센서 네트워크에 실시간 정보 알람, 위치 추적, 일정한 시간 동안의 환경 정보 요청 등 질의를 보낸다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서 사용하는 공간 데이터베이스는 사용자가 보낸 질의를 최적화하여 기지국에 전달하며 기지국은 질의 영역에 따라 요청되는 영역 또는 전체 센서 네트워크에 질의를 전달한다. 질의를 전달 받은 노드는 질의의 요청사항에 따라 주변 환경

데이터를 센싱하고 센싱된 결과 값을 기지국에 다시 전달한다. 기지국과 공간 데이터베이스에 있는 스트림 데이터 처리기는 센서 노드에서 전달 받은 데이터 스트림을 처리하여 사용자 응용프로그램에 전달하여 전체 질의 과정을 종료한다 [6,7].

센서 노드는 이 과정에서 상대방 노드로부터 질의를 받고, 전달 또는 수행하고, 질의 결과를 받고 다시 상위 노드에 전달하는 일을 한다. 그러나 센서 노드는 제한된 자원과 한정된 에너지를 가지고 있는 배터리를 이용하여 작동하기 때문에 센서 노드가 제한된 수명을 갖게 되고, 전체 센서 네트워크의 수명을 늘리기 위하여 센서 노드들의 배터리 사용 효율성을 우선 고려하여야 한다. 연구에 따르면 센서 노드 사이의 한 번의 통신비용은 한 번의 메모리에서의 cpu 연산비용의 10배 이상 된다고 한다 [8]. 따라서 저 전력인 센서 네트워크 환경에서 대량 데이터의 전송은 전력을 많이 소모하므로 센서 네트워크에서 센싱된 모든 데이터를 기지국으로 전송하지 않고, 센서 노드에서 집계연산을 하여 데이터 전송량을 줄이는 In-Network query 기법이 연구되었다 [9]. 즉 기지국 서버에서는 센서 네트워크에 공간 질의를 전파하여 질의가 저 전력 무선 네트워크 환경에서 분산, 효율적으로 수행되어 최대한 집계 계산된 결과 값만을 기지국에 전파하는 기법이다.

공간 영역 질의를 수행 할 때 센서 네트워크에서

In-Network 집계 기법은 질의를 효과적으로 수행하기 위한 기법중의 하나로써 전통적인 공간인덱스 기법인 R-tree에 기반한 지리적 위치정보를 사용하여 질의 전달 비용을 줄이는 기법이 많이 연구되었다[10-13]. 공간영역 질의를 효과적으로 수행하기 위하여 제안된 기법으로는 TinyDB에서 사용하고 있는 SRT 기법, R-tree에 기반한 공간 질의를 지원하는 SPIX(Spatial Index) 기법, R-tree에 기반하여 pre-aggregation하는 DSTree(Distributed Sensor Tree) 인덱스 기법 등이 있다[14]. DSTree는 센서 네트워크 환경에서의 분산된 R-tree 인덱스를 사용한 집계연산 기법이다. DSTree는 R-tree의 노드 삽입, 삭제 연산을 사용하여 동적으로 노드의 추가 및 삭제를 구현하였고, 트리의 부모노드에서 자식 노드의 데이터를 집계하여 데이터 전송량을 줄인다. 그러나 Rectangle과 Rectangle의 헤더 노드들이 다음 상위 레벨의 자식노드가 되어 새로운 Rectangle을 구성하므로 서로 가까이 있지 않는 Rectangle 헤더는 네트워크로 연결되지 못하게 되어 일부 노드들이 네트워크에 연결되지 못한다[15]. SRT기법은 각 노드들의 x좌표 값을 기준으로 질의를 해당 노드의 자식 노드에 전달해야 되는지를 판단하여 최대한 적은 노드에 질의를 전달하는 기법이다[16,17]. SPIX 기법은 센서 네트워크에서 공간 질의를 수행하기 위하여 MBR을 갖는 R-tree를 사용하여 각 센서 노드를 R-tree의 노드로 하고, 부모 노드와 자식 노드가 서로의 포인터를 가지고 있어 데이터를 전송할 수 있다[18]. 하나의 서브 R-tree는 자신의 자식 노드에서 센싱된 값을 부모노드에게 전달된다. 기존 연구들에서는 질의 전달 과정에서 최대한 적은 노드들에 질의를 전달할 수 있도록 지리정보를 이용하여 질의 전달여부를 판단한다. 그러나 질의 결과 값을 집계 연산하여 기지국에 전달하는 과정에 대해서는 고려하지 않고 있어 질의 결과 값을 질의 전달 경로의 역방향으로 전달한다. 그러므로 질의 영역이 기지국과 멀리 떨어진 영역일 경우 질의 결과 값의 집계 연산은 질의된 공간 영역에서 충분히 집계될 수 없게 되어 불필요한 에너지 낭비

가 있게 된다.

본 논문에서는 센서 네트워크 환경에서 공간 영역질을 효과적으로 수행하기 위한 적응형 영역 집계 인덱스 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 제안 알고리즘을 사용하여 질의된 공간 영역의 센서 노드들의 질의 결과 값 전달 경로를 재지정 한다. 질의 영역내의 모든 센서 노드들은 질의영역 내에서 통신 거리의 제한을 받으므로 모든 노드들의 결과 값을 집계할 수는 없겠지만 자신의 neighbor노드 정보를 사용하여 최대한 공간집의영역 내에서 질의 결과 값을 집계하여 상위 레벨에 전달한다. 그러므로 질의 영역 내에서 적응적으로 집계연산을 할 수 있어 질의 결과 값 전달과정에서의 전체 통신비용을 줄인다. 제안 기법은 센서 네트워크의 트리 구조가 깊고, 질의된 영역이 얇고 넓을 수록 효율적이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 논문의 제2장에서는 센서 네트워크에서 영역질을 효과적으로 수행하기 위하여 진행된 기존 연구에 대하여 살펴보고, 제3장에서는 적응형 영역 집계 인덱스 기법의 인덱스 구성 및 구축과정을 소개하고 제안 기법을 사용하여 공간 영역 질의를 처리하는 과정을 보여준다. 제4장에서는 성능평가를 통해 제안 기법이 기존 공간 영역 질의 처리 기법 보다 우월함을 검증 및 분석한다. 마지막으로 제5장에서 결론 및 향후 연구를 기술한다.

## 2. 관련연구

본 장에서는 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에 대하여 설명하고 센서 네트워크에서 공간 질의를 처리하기 위한 기존 기법을 살펴본다.

### 2.1 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서의 공간 영역 질의

유비쿼터스 환경 구축에 대한 사회적인 관심이 높아지면서 유비쿼터스 환경을 구축하는 여러 솔루션 중에서 통신 능력을 갖고 있으며 일정한 메모리 및 자체 CPU를 갖는 센서를 이용하여 센서 네트워크

크 내에서 일부 질의를 수행하는 In-Network 기법이 제안되었으며 따라서 센서 노드에서 수행 할 수 있는 질의 규범에 대한 연구도 많이 진행되었다. 센서 네트워크에 대한 질의에는 네트워크 내 사용자가 지정한 이벤트가 발생하면 질의 결과를 기지국에 보내어 알리는 이벤트기반 질의, 일정한 시간 동안의 네트워크의 상태를 모니터링 할 수 있는 상태기반 질의 등이 있다. 그 중 네트워크내의 모든 센서 노드들을 대상으로 하는 질의도 있고, 일정한 영역에 대한 질의도 있다.

지금까지 연구된 센서 네트워크에서의 질의어는 대부분이 데이터베이스에서의 SQL을 기본으로 한다. 본 논문에서는 제안 기법의 연구 및 성능평가 시 Cougar[9]에서 제안된 센서 네트워크에서의 질의 모델을 기반으로 한다. Cougar에서 제안한 질의 모델은 <그림 1>과 같다.

```

Select {attributes, aggregates }
From {sensor type}
Where {predicate}
Group by {attribute}
Having {predicate}
Duration {begin time, end time}
Every {time interval}
    
```

<그림 1> 센서 질의 모델

<그림 1>에서의 질의 모델에서 Select, From, Where 절은 SQL에서의 의미와 같은 의미를 가진다. Select절은 응용프로그램이 질의하려는 집계값을 명시하고, From은 여러 가지 요소를 센싱하는 센서에 대하여 응용프로그램이 센서 타입의 테이블을 명시한다. Where절은 질의영역 등 질의조건을 명시하고, Group by절은 지정 어트리뷰트의 조건에 의해 센싱된 데이터를 분류한다. Having절은 사용자가 지정한 조건에 의해 지정되지 않은 그룹을 제거하며, Duration은 사용자 질의에서 지정한 시작 시간과 끝 시간을 지정하고, Every는 센서

가 데이터를 센싱하는 빈도를 지정한다.

일정한 영역에 대한 공간질의의 예를 보면 생태 보호지역의 환경상황을 모니터링하는 응용프로그램에서 발생하는 "A자연 생태보호지역의 오늘 오후 1시~6시 사이의 공기 평균온도는 몇 도?"등 형식이 있게 된다.

```

Select AVG(value)
From Temperature S
Where S.loc IN [(50,100), (200,400)]
Duration [1:00, 6:00]
Every 30m
    
```

<그림 2> 공간 영역 질의의 예

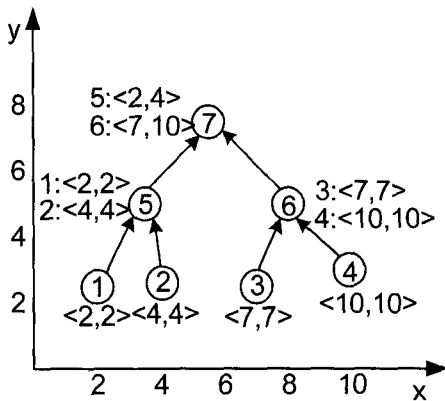
<그림 2>에서의 질의는 지도에서 좌표 값이 (50,100), (200,400) Rectangle 영역 내에 있는 온도 센서가 측정한 측정값을 1시부터 6시까지 30분 간격으로 센싱하여 평균값을 구하는 질의이다.

## 2.2 센서 네트워크에서의 공간 질의 처리 기법

센서 네트워크에서 센서 노드가 센싱한 데이터를 얻기 위하여 전달되는 질의를 센서 질의라고 한다 [7]. 넓은 영역에 분포된 센서 노드들에서 센싱된 데이터를 얻는 방법에는 센서 노드가 데이터를 전달할 필요가 있을 때 Broadcast하여 기지국에 보내는 Push방법과 센서가 특정 데이터에 대한 센서 질의에 응답하여 해당 데이터만 전송하는 Pull방법이 있다[6]. Pull방식 중 In-Network방식은 센서 질의에 대하여 센서 노드 내부에서 질의의 일부분을 계산 처리하여 결과 값을 전달하는 방식으로 특정 지리적 공간 질의를 수행할 때 효율적이다 [8-11]. In-Network 집계방식을 사용하여 에너지를 최소한 사용하려면 노드 내부에서 부분적 집계연산을 하고, 질의 전달 및 질의 결과 값 전달 과정에서의 통신 메시지 발생 횟수도 줄여야 한다 [12]. 즉 센서 네트워크 환경의 모든 센서에 질의를 전달하거나 질의 결과를 전파하지 않고 공간 영

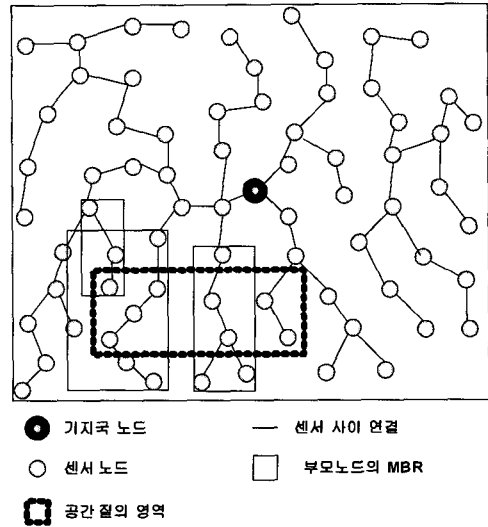
역 질의에서 요청된 질의 영역에 있는 센서 노드들에만 질의를 전달하며 그 과정에서 최대한 적은 센서 노드를 사용하여야 한다.

공간 영역 질의를 효과적으로 수행하기 위하여 센서 노드의 위치 정보를 사용하여 통신 메시지 횟수를 줄이는 DSTree, SRT, SPIX 등 많은 센서 노드 공간 인덱스 기법들이 연구되고 있다 [13-18]. 그 중 SRT인덱스 기법은 TinyDB에서 사용되고 있는 인덱스 기법으로서 센서 노드의 X좌표 값을 기준으로 트리를 구축한다. SRT 기법에서는 <그림 3>과 같이 부모 노드는 자식 노드들의 X좌표 값 범위를 저장하고 있어 질의를 전달할 때 전달 영역과 부모 노드가 저장하고 있는 범위를 비교하여 질의의 전달 여부를 판단한다. 질의를 전달 받은 노드는 질의 결과 값을 계산하고 질의를 전달 받은 상위 노드에 자신의 결과 값을 전달하게 된다.



<그림 3> SRT 인덱스 기법

SPIX 기법에서는 <그림 4>에서와 같이 공간 질의를 위한 전통적인 인덱스 기법인 R 트리 구조에 기반한 각 센서 노드들을 R-tree의 자식 및 중간 노드로 하는 트리구조를 구축한다. 부모노드는 자식노드의 MBR을 저장하고 있으므로 사용자의 질의를 전달할 때 공간 영역 질의를 수행 할 때 SPIX 인덱스를 사용하여 질의된 영역에 포함된 센서들에 질의를 전달하고 질의 결과 값을 역방향으로 기지국에 전달한다.



<그림 4> SPIX 인덱스 기법

그러나 SPIX 기법에서는 하나의 Rectangle 내에서 해당 Rectangle의 데이터를 수집 및 집계하고, 외부 Rectangle과 통신하는 헤더 노드와 자식 노드 사이의 멀티 홉 관계를 허락 하였으므로 질의된 영역이 두 개 또는 여러 개의 Rectangle의 부분 집합 일 경우 집계연산을 위한 에너지 소모가 많은 단점이 있다.

### 3. 적응형 영역집계 인덱스 기법

본 장에서는 공간 영역질의를 효과적으로 수행하기 위하여 적응형 영역집계 인덱스기법을 제안한다. 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서 여러 응용프로그램들은 센서 네트워크에 실시간 모니터링을 위한 이벤트 질의, 환경 분석을 위한 특정 지역의 집계 질의 등 다양한 질의를 요청하게 된다. 본 논문에서 제안하는 기법은 후자인 환경 분석을 위한 특정 지역에서의 집계 질의를 에너지 효율적으로 처리하는 기법이다.

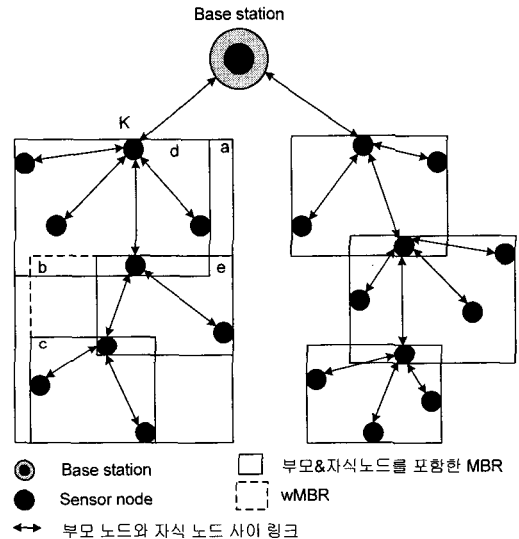
본 논문에서 고려하는 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서의 센서 노드는 이동성을 고려하지 않는 고정 센서이며 배터리를 사용하여 구동하는 에너지 효율성을 고려하여야 하는 센서이다. 또한 각 센서 노

드는 자신의 위치좌표 값을 가지고 있어 사용자가 요청하는 영역 질의를 센서 네트워크 환경 내부에서 In-Network질의로 처리할 수 있다. 알고리즘의 설계 및 구현 과정에서 센서 네트워크에 대한 사용자의 질의 처리과정에서의 센서 노드의 동적인 추가 및 삭제를 고려하지 않는다. 본 장의 3.1절에서는 적응형 영역집계 인덱스의 구조에 대하여 설명하며, 3.2절에서는 적응형 영역집계 인덱스의 구축 과정을 설명한다. 3.3절에서는 제안 인덱스를 사용하여 공간 영역질의를 수행하는 과정을 설명한다.

### 3.1. 적응형 영역집계 인덱스 구조

본 논문에서 제안하는 인덱스 구조는 유비쿼터스 센서 네트워크에서 기지국을 루트 노드로 하고 센서 노드를 각각의 internal node 또는 terminal 노드로 하여 노드들 사이 또는 노드와 기지국 사이의 무선 통신 연결로 트리 구조를 구성한다. 센서 네트워크에서의 인덱스 구조는 공간 영역 질의 처리 과정에서 질의 전달 및 질의 결과 값을 전달하는 경로를 효과적으로 구성하여 전체적인 센서 네트워크의 메시지 전달 횟수를 줄임으로써 센서 노드의 수명을 연장 한다. 트리를 구성하는 부모 노드와 자식 노드는 센서 네트워크의 센서 노드로서 서로를 가리키는 양방향 링크로 연결되어 있다. 이런 부모 노드와 자식노드는 서로 통신가능 거리 범위에 있는 노드들로서 하나의 노드는 동시에 두 개 또는 두 개 이상의 부모노드를 가질 수 없다. 하나의 부모노드를 중심으로 부모노드와 해당 노드의 모든 자식 노드를 포함하는 노드들은 하나의 MBR(Minimum Bounded Rectangle)을 가지며 그 정보는 부모노드에 저장된다. 또한 부모 노드는 상위 레벨에서 다른 센서 노드의 자식 노드로서 상위 레벨의 MBR에 포함된다. 따라서 하나의 MBR 내에서 부모 노드와 자식노드는 한 홉 통신거리를 가지게 되며 멀티 홉은 허용되지 않는다. 그러므로 전체 인덱스의 트리 구조는 완전트리가 아닌 상위 레벨에 leaf노드가 있는 트리구조가 된다. 부모 노드는 자식노드와의 통신을 위하여 모든 자식 노드

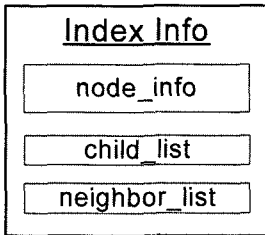
의 통신 가능한 식별정보와 위치 정보 및 자식 노드의 MBR를 가지고 있으며 자식 노드가 하위 레벨에서의 부모 노드일 경우 그 노드가 가지고 있는 wMBR(whole MBR)을 가지게 된다. 여기에서 wMBR는 해당 노드 자신과 모든 자식 노드 및 자식 노드의 모든 자식 노드를 포함하는 MBR을 가리킨다. 이 wMBR정보는 공간 질의 처리 과정에서 자신의 자식 노드에 질의를 전달해야 되는지를 판단하는데 사용된다. 다음 <그림 5>는 제안 인덱스 구조를 보여준다.



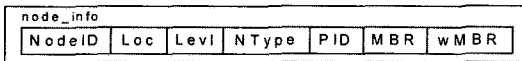
<그림 5> 인덱스 트리 구조

다음 <그림 6>에서는 센서 네트워크의 인덱스를 구성하는 각 노드에서 가지고 있는 구조를 보여 준다. 각 센서 노드는 센서 인덱스 트리를 구축하고 질의를 효과적으로 수행하기 위하여 자신의 노드 정보를 저장하는 node\_info와 자식 노드 정보를 저장하는 child\_list, 이웃 노드 정보를 저장하는 neighbor\_list를 저장하고 있다.

node\_info는 센서 노드의 기본 정보를 저장하고 있으며 상위 레벨에서 질의를 받게 되면 node\_info의 정보를 보고 자식노드에 질의를 전파해야 되는지를 판단한다. 다음 <그림 7>은 센서 노드의 node\_info에 저장되는 변수들의 구조를 설명한다.



<그림 6> 센서 노드의 인덱스 정보 저장 구조



<그림 7> 센서 노드의 node\_info구조

<그림 7>에서 센서 노드가 저장하고 있는 NodeID는 센서 노드의 고유 아이디이며 유일한 식별자이다. Loc는 센서 노드가 위치한 지리위치 좌표 값으로서  $\langle x, y \rangle$  형식으로 표현된다. Lev은 노드가 전체 센서 네트워크에서의 레벨 값인데 기지국을 레벨 0인 노드로 하여 그 다음 레벨, 즉 기지국의 바로 이웃 노드가 레벨 1인 노드가 된다. 이 값은 센서 네트워크가 구축되면서 인덱스가 구축되는 과정에서 레벨 값이 지정된다. 그러므로 해당 노드의 부모노드의 Lev값은 자신의 Lev값보다 1 큰 값을 갖게 되고, 해당 노드의 자식노드의 Lev 값은 자신의 Lev값보다 1 작은 값을 갖게 된다. NType은 두 가지 값을 가지는데 센서 노드가 terminal node인지, internal node인지를 식별하는 인자이다. 이 변수는 초기화 상태에서는 terminal node로 지정되고, 해당 노드가 인덱스 구축과정에 부모노드로 선정되면 internal node값을 갖는다. PID는 해당 센서 노드의 부모 노드를 가리킨다. 인덱스 구축과정에서 해당 노드가 부모 노드를 선택하게 되면 그 노드의 NodeID를 PID로 갖는다. MBR는 해당 노드가 부모노드일 경우 자신 노드와 모든 자식 노드를 포함하는 최소 MBR를 갖게된다. 즉 NType이 internal node일 때 값을 가지게 되고, terminal 노드일 경우에는 Null값을 가지게 된다. wMBR는 해당 노드가 부모 노드인 동시에 자식노드 중 하나 이상의 노드가 하위레벨의 부모노드일 경우 이런 조건을 만족하는

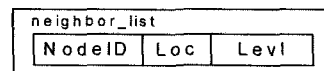
모든 자식노드가 가지고 있는 wMBR와 자신의 MBR을 커버할 수 있는 최소 MBR이다. 만약 해당 노드가 부모노드이지만 자식 노드들이 모두 terminal node이면 자신의 MBR 값을 가진다. 즉 해당 노드가 internal노드일 경우에는 NULL값을 갖게 된다.



<그림 8> child\_list 구조

인덱스 구축 과정에서 자식 노드가 부모 노드를 선정하면 선정된 노드에 자신의 정보를 보내주며 이러한 정보를 받은 부모노드는 해당 정보를 child\_list에 저장하게 된다. child\_list는 센서 노드의 저장 공간에서 스택구조로 저장된다. <그림 8>은 child\_list에 저장한 하나의 자식 정보를 보여준다. child\_list에서 NodeID는 해당 노드를 부모노드로 선정한 자식 노드의 NodeID이고, Loc는 자식 노드의 위치 정보이며, wMBR는 해당 자식노드를 포함한 모든 하위 노드들을 커버하는 MBR로써 질의 전달 과정에 해당 노드의 자식 노드에 질의 전달 여부를 결정하는 판단 기준이 된다.

neighbor\_list는 자신의 바로 이웃 즉 한 홑 떨어진 거리에 있는 노드들의 정보를 스택 구조에 저장하며 인덱스 구축과정에서 자신의 주변 노드 정보를 수집한다. 이 정보는 질의 결과 값을 전달하는 과정에서 사용하게 된다. 다음 <그림 9>는 neighbor\_list를 구성하는 하나의 item의 저장 구조를 설명한다.



<그림 9> neighbor\_list 구조

neighbor\_list에서 NodeID는 이웃노드로 판정된 노드의 아이디이며, Loc는 이웃 노드의 위치 정보이며, Lev은 이웃 노드의 레벨 정보이다. 그 중 Loc와 Lev 정보는 센서 노드가 질의 결과 값을

전달할 때 자신의 질의 결과 값 전달 여부를 판정하는데 사용된다.

### 3.2. 적응형 영역집계 인덱스 구축과정

적응형 영역집계 인덱스는 센서 네트워크가 구축될 때 같이 구축되고 센서 노드의 추가 및 삭제 될 때만 업데이트 된다. 인덱스 구축과정에서는 인덱스 구축 메시지를 각 센서의 노드에 전달하고, neighbor\_list를 구축하며 부모노드를 선정하는 세 가지 일을 하게 된다. 이 과정을 인덱스 구축 메시지 전파 단계와 부모노드 선정단계로 구분한다. 그 중 인덱스 구축 메시지는 Ms\_build\_index메시지로 표현되며 이 단계에서는 메시지의 broadcast와 neighbor\_list의 구축 두 가지를 동시에 수행된다. 부모노드의 선정과정은 전파단계가 끝난 다음 시작한다.

#### 3.2.1. 전파단계

전파단계에서 기지국 노드는 인덱스 구축 메시지인 Ms\_build\_index 메시지를 센서 네트워크에 broadcast한다. 센서 노드 중 Ms\_build\_index메시지를 기지국에서 직접 전달 받으면 자신의 lev값을 1로 설정한다. 센서 노드는 Ms\_build\_index메시지를 받으면 센서 노드의 CPU를 사용하여 다음 <알고리즘 1>을 수행한다.

Ms\_build\_index메시지에는 NodeID와 위치정보 loc이 포함된다. 이 과정에서 센서 노드는 build\_index메시지를 보내오는 노드를 이웃 노드로 인식하고 해당 정보를 자신의 neighbor\_list에 추가한다. 이웃 관계는 상호이웃관계이므로 build\_index메시지를 받은 노드는 상대방 노드에게 메시지를 받았다는 received메시지를 보내며 동시에 자신의 아이디와 위치정보 <NodeID, loc>를 보낸다. 센서 노드는 build\_index메시지를 보내고, wait\_time시간 동안 주변의 received메시지를 받지 못하면 즉 <알고리즘 1>의 결과 값이 FALSE이면 자신이 terminal node임을 판단하고 node\_info의 NType의 값을 terminal로 정하고

알고리즘 1: 인덱스 구축 전파 알고리즘

```

Input: 센서 노드 v,
       Ms_Build_Index메시지에 포함된 NodeID,
       Ms_Build_Index메시지에 포함된 Loc
output: BOOL: 불리언
Procedure IBBroadcast(sensor node v, NodeID, Loc)
begin
1:  if NodeID not in v.neighbor_list
2:  | NodeID & Loc add to v.neighbor_list
3:  | send Ms_IBReceived to NodeID
   endif
4:  add v.NodeID, v.Loc to Ms_Build_Index to make new one
5:  broadcast new Ms_Build_Index
   //listening for Wait_time
6:  for received Ms_IBReceived
7:  | if received NodeID in v.neighbor_list
8:  | | receivedCont++ // 메시지를 받은 neighbor노드의 수
   | endif
   endifor
9:  if receivedCont = 0
10: | return FALSE
   endif
11: elseif
12: | return TRUE
   endif
end
    
```

다음 단계인 부모노드 선택단계를 시작하게 된다.

#### 3.2.2. 부모노드 선정

이 단계에서는 모든 센서 노드가 자신의 부모노드를 선정하게 되는데 위 단계에서 terminal노드로 판정된 노드에서부터 시작된다. 부모 노드 선택기준은 연결도 즉 통신거리가 짧은 노드를 선택 또는 여분의 에너지를 많이 가지는 노드를 선택하는 등 여러 가지 기준이 있는데 본 논문에서는 다음 <알고리즘 2>를 사용하여 기지국과 가까운 노드를 부모노드로 선택한다.

단말 노드가 기지국으로 가는 거리를 최대한 줄임으로써 질의 전달 또는 질의 결과 값의 전달 과정에 발생하는 메시지를 줄일 수 있다. terminal노드는 전파 단계에서 구축된 neighbor\_list에서 기지국과 제일 가까운 노드를 선정하여 자신의 부모노드로 하고 부모노드 선정 메시지인 MS\_PSelect 메시지를 상대방 노드에 전달한다. 또한 자신의 node\_info에서 PID를 해당 노드의 nodeID로 한다. MS\_PSelect메시지를 받은 노드는 해당 노드의



알고리즘 2: 부모 선정 알고리즘

```

Input: 센서 노드 v
output: NodeID
Procedure SelcParentN(sensornode v)
begin
1: distance = MaxDistance
2: for v.neighbor_list
3:   disNB = getDistance(neighbor, BS)
4:   if disNB < distance
5:     distance = disNB
6:     NodeID = veighbor.NodeID
   endif
endfor
7: return NodeID
end
    
```

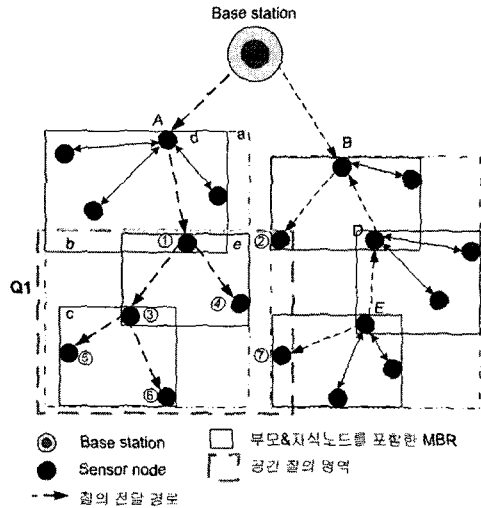
정보를 자신의 child\_list에 추가한다. 동시에 부모의 MBR 정보와 wMBR정보를 갱신한다. 이렇게 부모노드와 자식 노드 사이의 양방향 링크가 만들어진다. 모든 노드가 부모노드 선정과정을 마치면 즉 기지국에서 기지국의 neighbor노드에서 MS\_PSelect메시지를 받으면 마지막으로 각 노드의 Level값을 지정하고 인덱스 구축과정을 마친다.

3.3. 공간 영역 질의 처리 과정

응용프로그램에서 보낸 여러 질의는 기지국인 루트노드에서 최적화되고 루트노드에서부터 <QID, Region, Attribute, OPP, Time, Frequency> 형식의 질의 요소를 센서 네트워크에 전달하게 된다. QID는 기지국인 루트노드에서 받은 질의에 대하여 유일한 아이디를 부여하여 질의를 구분하는 유일한 식별자이다. Region은 질의하려는 공간 영역이고, Attribute는 검색하려는 변수이다. OPP는 질의의 연산자 즉 <MAX, MIN, AVG, SUM, COUNT> 등이 될 수 있다. Time은 질의 기간이며 센서 노드가 센싱해야 되는 <Start Time, End Time>을 갖게 되고, Frequency는 센서 노드가 센싱하는 주기이다. 센서 네트워크에서의 공간 영역 질의 처리과정은 질의 전달 과정, 질의 수행과정, 질의 결과 값 집계 및 전달과정 세 단계를 나누어 진행 된다.

**step 1 :** 기지국에서부터 제안 인덱스 구조와 정보를 사용하여 해당 영역의 센서로 질의를 전달한다. 센서 노드의 wMBR와 질의에서의 Region이 중첩이 되는지를 검토하여 오버랩 되는 부분이 없으면 자식 노드에 전달하지 않고, 오버랩 되는 부분이 있을 경우 child\_list의 자식 노드의 wMBR와 오버랩 되는 즉 질의 영역을 포함 또는 부분 포함하고 있는 자식 노드를 선택하여 해당 자식노드에 질의를 전달한다. 이렇게 질의 영역에 있는 모든 노드에 질의가 전달되게 된다.

다음 <그림 10>에서와 같이 공간영역 Q1에 대하여 질의가 발생되면 질의는 다음 그림에서 표시된 인덱스의 경로를 따라 노드 1~7번에 전달된다.



<그림 10> 공간 영역 질의의 전달 과정

<그림 10>에서 사용자의 질의는 기지국을 통하여 우선 센서 노드 A와 B에 전달된다. 센서 노드 A와 B는 질의 영역을 자신의 wMBR와 질의 영역을 비교하여 중첩 영역이 있음을 체크한다. 다시 자식 노드의 MBR 중 중첩이 있는 노드인 1, D, 2번 노드에 질의를 전달한다. 1번, D 노드는 다시 자신의 wMBR와 비교하여 중첩이 있음을 체크하고 자식 노드의 MBR와 중첩이 있는 노드 3, 4, E노드

에 질의를 전달한다. 같은 방법으로 노드 5, 6, 7에 전달된다. 이렇게 사용자의 영역 질의는 질의 영역에 있는 노드인 1~7번 노드에 정확하게 전달된다.

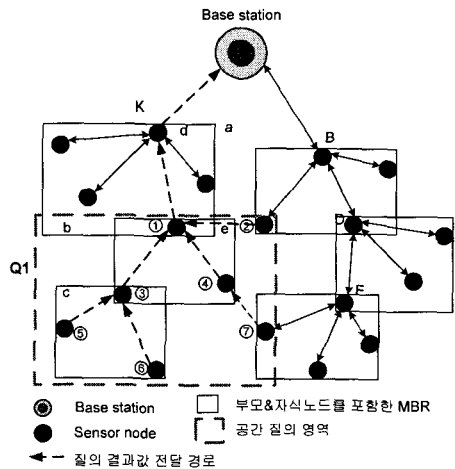
**step 2 :** 질의 영역에 포함되는 노드들은 질의를 전달 받고 질의를 수행 및 집계연산을 한다. 센서 노드는 질의에서 요구된 어트리뷰트, 연산, 빈도수 및 질의 시간에 맞추어 환경 데이터를 센싱한다. 센서 노드는 항상 동작하는 것이 아니고 노드의 에너지를 적게 사용하기 위하여 사용자가 질의 요청한 시간에만 주변 데이터를 센싱한다. 또한 자신의 데이터와 하위레벨에서 전달된 데이터의 집계연산을 수행하고, 다음 단계를 위한 준비를 한다.

**step 3 :** 질의에서 요청한 영역의 노드들은 데이터를 센싱한 다음 질의 결과 값을 기지국에 전달한다. 이 과정에서 전송 메시지를 줄이기 위하여 질의 전달 받은 경로 즉 인덱스에서 지정한 부모노드에 결과 값을 바로 전달하지 않고, 결과 값을 전달 할 경로를 선택하게 된다. 센서 노드는 다음 <알고리즘 3>를 사용하여 질의 결과 값 전달 노드를 선택한다. 우선 자신의 부모 노드가 질의 영역에 포함되었는지를 체크하여 부모 노드가 질의 영역에 포함되면 부모 노드를 질의 결과 값 전달 할 대상 노드로 선정한다. 만약 부모 노드가 질의 영역에 포함되지 않았을 경우 질의 대상 노드는 자신의 neighbor 노드들 중에서 질의 영역에 포함되고 또한 Level값이 자신의 Level보다 작은 노드가 있는지를 검색한다. 이러한 노드가 검색되면 그 노드를 질의 전달 대상 노드로 선정한다. 만약 이러한 노드가 검색되지 않으면 자신의 부모노드를 질의 결과 값 전달 노드로 선정한다. 질의 영역에 있지 않는 노드는 질의 결과 값을 전달 받으면 같은 질의에 대한 집계 값을 계산하여 자신의 부모노드에 전달한다.

```

알고리즘 3: 질의 결과 전달경로 선정 알고리즘
Input: 센서 노드 v
       공간 영역 질의 Q
output: returnN
Procedure SelcReturnN(sensornode v, query Q)
begin
1: if v.PID in Q.MBR
2:   return v.PID
   endif
3: for neighbor_list
4:   if neighbor.Level < v.Level
5:     return = neighbor.NodeID
   endif
   endfor
6: return v.PID
end
    
```

다음 <그림 11>은 공간 질의 영역에 있는 노드는 <알고리즘 3>를 사용하여 결과 값 전달 경로를 선정한 결과를 보여준다. 7번, 2번 노드는 자신의 부모노드가 질의 영역에 속하지 않으므로 위 규칙에 의하여 질의 결과 값을 각각 노드 1번, 4번에 전달한다. 노드 3, 4, 5, 6번은 부모노드가 질의 영역 내에 있으므로 질의 결과 값을 부모노드에게 전달한다. 1번 노드는 부모노드가 질의 영역에 있지 않고, 또한 neighbor노드 중 Level이 같고 질의 영역 내에 있는 2번 노드가 자신에게 질의 결과 값을 전달하였으므로 질의 결과 값을 부모노드에 전달하게 된다. 이렇게 구성된 질의 결과 값 전달 경로는 질의가 끝날 때 센서 노드의 메모리에서 지워진다.



<그림 11> 질의 결과 값 전달 경로

<그림 11>에서 2번 노드와 7번 노드는 기존 질의 전달 경로를 사용하여 결과 값을 전달하지 않고 <알고리즘 3>를 사용하여 지정된 노드에 질의 결과를 전달한다. <알고리즘 3>를 사용하여 만들어진 2번 노드의 질의 결과 값 전달 경로는 1번 노드에 메시지를 전달하겠지만, 그렇지 않을 경우 자신의 부모 노드인 B번 노드에 메시지를 전달하게 된다. <알고리즘 3>은 공간 질의 영역의 모든 노드들이 질의 결과를 최대한 집계하여 전달하게 한다. 공간 질의 영역에서의 질의 결과 값을 최대한 집계하여 전달하면 질의 결과 값을 전달하기 위한 불필요한 통신비용을 줄일 수 있다. 그러나 센서 노드들의 위치를 파악하는 인덱스를 통해 질의가 전달되었을 경우 질의 영역에 있는 센서 노드들과 연결되는 질의 영역 밖의 부모노드가 하나 또는 하나 이상이 된다. 그러므로 제안 기법에서는 질의 영역 밖으로 연결되는 노드들을 최대한 줄이고자 이웃 노드정보를 이용하여 질의 전달 노드를 재선정한다. <알고리즘 3>를 사용하여 질의 결과 전달경로를 재설정함으로써 절약되는 메시지 전달 회수는 센서 노드들이 많이 분포되고, 질의 영역이 기지국에서 멀리 떨어져 있어 많은 노드를 경과해야 기지국에 도달하는 경우 보다 많아진다.

#### 4. 성능 평가

본 장에서는 적응형 영역집계 기법의 성능을 평가하기 위하여 센서 네트워크 시뮬레이션 도구인 Avororal을 사용하여 센서 네트워크 환경을 시뮬레이션하여 구축하였다[19]. 시뮬레이션 환경에서 센서 노드들은 다음 <표 1>의 시나리오에서처럼 설정하였다.

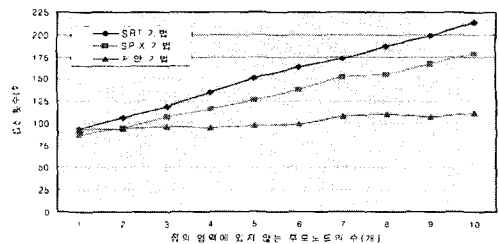
<표 1> 시뮬레이션 환경 설정

환경변수	설정 값
기지국의 개수	1
센서 노드의 개수	400
네트워크 범위	100m * 100m
센서 노드의 배치	랜덤
초기 센서 에너지	500줄
센서 노드의 이동성	이동성 없음

시뮬레이션 환경은 하나의 기지국과 400개의 센서 노드를 가지고 있으며, 전체 센서 노드 및 기지국은 100m \* 100m의 정사각형 영역에 랜덤으로 생성된다. 전체 센서 노드는 시뮬레이션 환경에서 서로 통신 가능하며 기지국과 연결 안 되는 노드는 존재하지 않도록 하였다. 제안 기법에서 하나의 Rectangle에 최대 8개의 센서 노드가 포함될 수 있다. 센서 노드들은 인덱스 구축 및 질의 수행과정에 배터리가 고갈되는 현상이 발생되지 않게 하기 위하여 초기 센서노드의 에너지 값을 500줄로 설정 하였다. 또한 시뮬레이션 환경에서 센서 노드는 고정 센서이며 센서 노드에 전달되는 질의는 모두 공간 영역 질의이다.

본 장에서는 적응형 영역집계 기법의 성능이 우월함을 보여주기 위하여 제안 기법과 TinyDB의 SRT기법, SPIX기법과 비교 평가하였다.

<표 1>에서의 시뮬레이션 환경에서 센서 노드의 개수를 400으로 고정하고, 공간 질의 영역에서 자신의 부모노드가 질의 영역에 있지 않는 노드의 개수를 1~10개까지 증가시키면서 공간 질의 영역이 40m\*20m인 공간 영역에 대하여 AVG질의를 수행하였다. 다음 <그림 12>는 질의 수행과정에서 발생하는 통신비용의 변화를 보여준다.

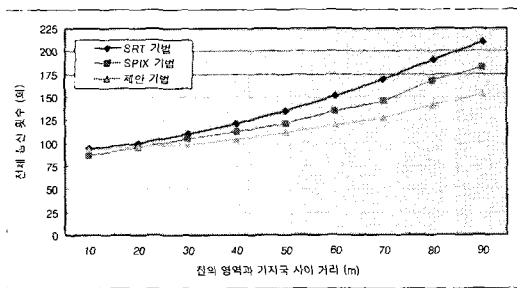


<그림 12> 일정한 영역질의에 대한 통신 횟수

<그림 12>에서 40m\*20m의 질의 영역에서 센서 노드 중 부모노드가 질의 영역에 있지 않는 노드의 수를 1~10까지 증가하였을 때 제안 기법은 거의 변화가 없었다. SRT 기법과 SPIX 기법은 질의 영역에 있지 않는 부모노드의 수가 1~10까지 증가하였을 때 전체 통신 횟수가 거의 선형으로 증

가하였다. 부모노드가 질의 영역에 있지 않는 노드의 수가 증가하면 그만큼 질의 영역 내부에서 집계 연산을 하지 못하게 된다. 그러므로 제안 기법을 사용하였을 경우 통신 가능한 범위 내에서 최대한 질의 영역 내부에서 집계연산을 하여 질의 영역 외부의 노드에 결과 값을 전달하기 때문에 기존 기법보다 적은 통신비용을 사용한다.

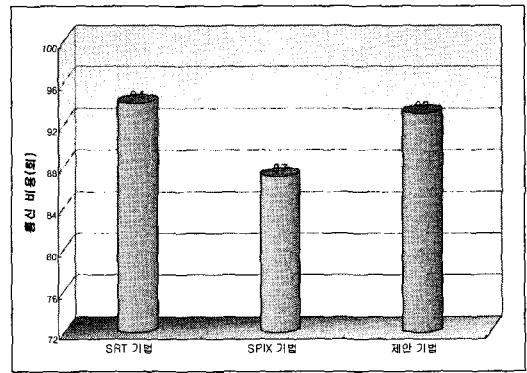
다음 그래프에서는 공간 질의 영역의 위치가 기지국에서 가까운 위치에서부터 먼 위치까지 이동하는 과정에 공간 질의를 수행하는데 발생하는 메시지 횟수를 비교하였다. 제안기법을 TinyDB의 SRT 기법과 SPIX 기법과 비교하였으며 과정에서 공간 질의 영역은 40\*20m인 사각형 영역이다. 평가용 질의는 1회의 AVG질의이다. 질의 영역과 기지국 사이의 거리는 질의 영역에서 기지국과 제일 멀리 떨어져 있는 점과 기지국과의 거리로 정하였다. 성능 평가에서는 기지국과 센서 사이의 거리가 10~90m까지 증가하는 과정에서 공간 영역 질의를 수행하기 위한 통신비용을 비교하였다. 다음 <그림 13>은 수행 결과를 그래프로 보여주고 있다.



<그림 13> 공간 영역 질의에 대한 통신 비용

<그림 13>에서처럼 공간 영역 질의의 영역이 기지국과 멀리 떨어져 있으면 통신비용이 증가하게 된다. 그 원인은 질의 영역이 기지국과 멀리 떨어졌기 때문에 증가되는 통신비용도 있겠지만 질의 영역에 대한 인덱스의 분산도도 일정한 영향을 주기 때문이다. 제안 기법은 인덱스 트리의 분산도에 적응성이 높으므로 질의 결과 값을 공간 영역 내에서 최대한 집계하기 때문에 지리 정보에 기반한 인덱

스 분산도의 영향을 거의 받지 않는다. 그러므로 위 <그림 13>에서처럼 SRT 기법에 대하여 최대 30%의 성능 증가를 보여주었고, SPIX 기법에 비교하면 최대 25%의 성능 증가를 보여주었다. 그러나 질의 영역이 기지국과 가까이 있을 때 기존 기법인 SPIX 기법과 SRT 기법보다 많은 통신 에너지를 사용한다.



<그림 14> 질의영역이 기지국과 가까울 때의 통신비용 비교

<그림 14>는 위에서 기술한 두 번째 실험에서 질의영역이 기지국과 10m 떨어졌을 때의 실험 결과이다. <그림 14>에서 보면 제안 기법은 SPIX 기법보다 많은 통신비용을 소모하였다. 그 원인은 질의 영역이 기지국과 가까이 있을 때 센서 노드가 기지국에 데이터를 전달하는 경로가 짧기 때문에 제안 기법의 경우 질의 전달 경로를 선택하기 위하여 통신비용을 소모하게 되는 비용이 기존 기법들이 질의를 질의 전달 경로의 역방향으로 바로 전달하는데 사용되는 통신비용보다 많게 된다. 그러나 질의영역이 기지국과 가까울 때에는 센싱된 데이터의 전달 경로가 짧기 때문에 제안 기법이 기존 기법보다 많은 통신비용을 사용하더라도 그 차이가 크지 않다. 그러므로 제안 기법은 전체 네트워크의 통신비용을 줄일 수 있으므로 기존 기법보다 효율적이다.

## 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서 공간 영역 질의를 수행할 때 센서들의 에너지를 줄이기 위한 적응형 영역집계 인덱스 기법을 제안하였다. 본 논문의 3장에서는 적응적 영역 집계 기법의 구축과정을 전파단계와 부모노드 선정 과정으로 나누어 설명하였고 적응적 영역집계 기법을 사용하여 공간 영역 질의를 수행하는 과정에서는 질의 전달, 질의 수행 및 질의 결과 값 전달과정으로 나누어 설명하였다. 제안 기법은 센서 네트워크에서 적응형 영역집계 기법에서는 인덱스 경로를 사용하여 질의를 전달하고, 질의 결과 값 전달 경로는 기존 기법들에서처럼 질의 전달 경로의 역방향으로 하지 않는다. 적응형 영역집계 기법에서는 통신거리를 고려하여 이웃노드 정보를 저장하고, 이웃노드 정보를 사용하여 동적으로 질의 결과 값 전달 경로를 지정하여 질의 영역에서 최대한 집계연산을 한다. 센서 노드들은 통신거리의 제한을 받므로 질의 영역 내에서 모든 노드들에서 센싱된 데이터를 집계하지는 못하고 제안 알고리즘을 사용하여 적응적으로 질의 결과 값을 집계한다. 그러므로 제안 기법은 공간 질의 영역에서 질의 영역의 외부와 연결하는 노드의 수를 최대한 줄여 질의 영역 내부에서 적응적으로 집계연산 하기 때문에 전체 질의 수행 과정에서의 통신 메시지 전달 횟수를 줄였다. 성능평가를 통하여 제안 기법이 공간 영역 질의를 수행함에 있어서 기존기법보다 인덱스 트리의 분산도에 적응성이 강하며 최대 30%의 성능이 향상됨을 보여주었다.

향후 연구로는 센서 네트워크에서 제안 기법을 사용하는 중첩된 공간 영역에 대한 효율적인 질의 처리 기법 및 센서 노드의 임의의 추가 및 삭제를 고려하는 동적인 센서 네트워크에 적용하도록 연구를 진행할 것이다.

## 참고문헌

1. Alexandru Coman, Mario A. Nascimento, and Jörg Sander, "A Framework for Spatio-Temporal Query Processing over Wireless Sensor Networks," Proceedings of the VLDB 2004 DMSN, 2004, pp. 104-110.
2. R. R. Brook, P. Ramanathan, and A. Sayeed, "Distributed Target Tracking and Classification in Sensor Networks," Proceedings of the IEEE, Vol. 91, No. 8, 2003, pp. 1163-1171.
3. B. Babcock, S. Babu, M. Datar, R. Motwani, and J. Widom, "Models and Issues in Data Streams," Proceedings of ACM Symposium on Discrete Algorithms, 2002, pp. 1-16.
4. W. B. Heinzelman, A. L. Murphy, H.S. Carvalho, and M. A. Perillo, "Middleware to Support Sensor Network Applications," Journal of IEEE Network, Vol. 18, No. 1, 2004, pp. 6-14.
5. Karl Aberer, Manfred Hauswirth, and Ali Salehi, "A Middleware for Fast and Flexible Sensor Network Deployment," Proceedings of the 32nd International Conference on VLDB on Data mining & stream processing, 2006, pp. 1199-1202.
6. X. Liu, Q. Huang, and Y. Zhang, "Combs, Needles, Haystacks: Balancing Push and Pull for Discovery in Large-Scale Sensor Networks," Proceedings of SenSys, 2004, pp. 122-133.
7. P. Bonnet, J. Gehrke, and P. Seshadi, "Towards Sensor Database Systems," Proceedings of the International Conference on Mobile Data Manage, 2001, pp. 3-14.
8. Wei Yu, Thang Nam Le, Jangwon Lee, and Dong Xuan, "Query Aggregation for Providing Efficient Data Services in

1. Alexandru Coman, Mario A. Nascimento,

Sensor Networks,” Proceeding of IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, 2004, pp. 31-40.

9. P. Bonnet, J. Gehrke, and P. Seshadi, “Querying the Physical World,” Journal of IEEE Personal Communications on Special Issue Networking Physical World, 2000, pp. 10-15.

10. H. Gupta, Z. H. Zhou, S. R. Das, and Q. Gu, “Connected Sensor Cover: Self-Organization of Sensor Networks for Efficient Query Execution,” Journal of IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), Vol. 14, Issue 1, 2006, pp. 55-67.

11. J. Considine, F. Li, G. Kollios, and J. Byers, “Approximate Aggregation Techniques for Sensor Databases,” Proceedings of ICDE, 2004, pp. 449-460.

12. Y. Yao, and J. Gehrke, “Query Processing in Sensor Networks,” Proceedings of the 1st Biennial Conference on Innovative Data Systems Research, 2003, pp. 1-12.

13. S. H. Eo, S. Pandey, S. Y. Park, and H. Y. Bae, “Energy Efficient Design for Window Query Processing in Sensor Networks,” Proceeding of APWeb Workshops, 2006, pp. 310-314.

14. S. Pandey, H. S. Kim, S. H. Eo, and H.Y. Bae, “Systolic Query Processing for Aggregation in Sensor Networks,” Proceedings of UIC, 2006, pp. 536-545

15. S.Y. Park, and H. Y. Bae, “Using Pre-aggregation for Efficient Spatial Query Processing in Sensor Environments,” Proceedings of IDEAL, 2005, pp 25-31

16. S. Madden, M. J. Franklin, J. M.

Hellerstein, and W. Hong, “The Design of Acquisitional Query Processor for Sensor Networks,” Proceedings of SIGMOD, 2003, pp. 491-502.

17. S. Madden, M. J. Franklin, and J. M. Hellerstein, “TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Network,” Journal of ACM Transactions on Database Systems, Vol. 30, No. 1, 2005, pp 122-173.

18. A. Soheili, V. Kalogeraki, and D. Gunopulos, “Spatial Queries in Sensor networks,” Proceedings of the 13th Annual ACM International Workshop on Geographic Information Systems GIS, 2005, pp. 61-70.

19. B. L. Titzer, D. K Lee, and J. Palsberg, “Avorora: Scalable Sensor Network Simulation with Precise Timing,” Proceedings of IPSN, 2005, pp. 477-482.

**이 연**

2006년 중국 중경우전대학교 지리정보공학과(이학사)  
 2006년~현재 인하대학교 정보공학과(석사과정)  
 관심분야 : 공간 데이터베이스, 공간 데이터웨어하우스, 지리정보 시스템, USN 환경에서의 질의처리

**어상훈**

2003년 인하대학교 컴퓨터공학부(공학사)  
 2003~현재 인하대학교 정보공학과(석박 통합과정)  
 관심분야 : 공간 데이터베이스, 공간 데이터웨어하우스, USN 환경에서의 질의처리, 유비쿼터스 환경에서의 데이터 처리

**조속경**

1990 인하대학교 전자계산학과(이학사)  
 1994년 인하대학교 전자계산공학과(공학석사)  
 2002년 인하대학교 전자계산공학과(공학박사)  
 2003년 3월 ~ 2006년 8월 인천대 강의전담 교수  
 2006년 9월 ~ 2007년 8월 인하대 지능형 GIS 센터 연구원  
 2007년 9월 ~ 현재 (주)KGI  
 관심분야 : 데이터베이스, 실시간 데이터베이스 시스템, 공간 데이터베이스 시스템, 데이터베이스 시스템의 보안

**이순조**

1985년 인하대학교 전자계산학과(이학사)  
1987년 인하대학교 전자계산학과(이학석사)  
1995년 인하대학교 전자계산학과(공학박사)  
1995년~1997년 대림대 전자 계산과 교수  
1997년~현재 서원대학교 컴퓨터교육학과 조교수  
관심분야 : 데이터베이스, 실시간 데이터베이스 시스템, GIS, 데이터베이스 시스템의 보안

**배해영**

1974년 인하대학교 응용물리학과(공학사)  
1978년 연세대학교 대학원 전자계산학과(공학석사)  
1989년 숭실대학교 대학원 전자계산학과(공학박사)  
1985년 Univ. of Houston 객원교수  
1992년~1994년 인하대학교 전자계산소 소장  
1982년~현재 인하대학교 컴퓨터공학부 교수  
1999년~현재 지능형 GIS연구센터 센터장  
2000년~현재 중국 중경우전대학교 대학원 명예교수  
2004년~2006년 인하대학교 정보통신대학원 원장  
2006년~현재 인하대학교 대학원장  
관심분야 : 분산 데이터베이스, 공간 데이터베이스, 지리정보 시스템, 멀티미디어 데이터베이스 등