

센서 네트워크에서 계층기반 부분 인덱스를 이용한 질의처리

(Query Processing using Partial Indexs based on Hierarchy
in Sensor Networks)

김 성 석 [†] 양 순 옥 ^{**}
(SungSuk Kim) (Sun Ok Yang)

요 약 센서 네트워크에서 센서 노드들은 소형 배터리로 동작하면서 환경에 대한 정보를 수집하는 기능을 가지고 있다. 최근 관련 하드웨어 기술이 발전하고 있지만, 여전히 에너지와 관련된 제약조건이 주요한 고려사항이 되고 있다. 즉 일반적으로 센서 노드의 전원은 교환이나 충전이 곤란한 경우를 가정하고 있으며, 따라서 이러한 상황을 기본 가정으로 하여 응용을 개발하여야 한다. 에너지 소모는 메시지의 전송에 큰 영향을 받게 되므로, 질의처리를 위한 메시지의 수를 줄일 수 있는 알고리즘이 필요하다. 이를 위해서 일반적으로 다른 센서들과 협력하여 관련된 정보를 미리 유지하도록 하여 불필요한 전파를 막게 하는 기법들이 활발하게 연구되고 있다. 본 연구에서는 센서 노드들간의 부모-자식 관계를 이용하여 메시지의 수를 줄일 수 있는 구조를 제안하였다. 즉 부모노드들은 자신의 자식노드들에 대한 위치 정보 및 각 자식들의 자손들을 모두 포함하는 영역정보(MBA)를 유지하도록 한다. 이는 각 노드가 유지해야 할 정보의 양을 줄이면서도 분산 방식으로 정보가 관리될 수 있게 된다. 또한 유지하는 정보의 정확성을 높임으로써 불필요한 메시지의 수를 크게 줄일 수 있게 된다. 마지막으로 다양한 실험을 거쳐 제안한 구조의 이러한 장점을 보여주었다.

키워드 : 센서 네트워크, 인덱스 구조, 라우팅 경로, 실패처리

Abstract Sensors have a function to gather environment-related information operating by small-size battery in sensor networks. The issue related with energy is still an important in spite of the recent advancements in micro-electro-mechanical- system (MEMS) related technology. Generally it is assumed that replacement or rechargement of battery power in sensor is not feasible and a message send operation may spend at least 1000 times battery than a local operation. Thus, there have been several kinds of research efforts to lessen the number of unnecessary messages by maintaining the information of the other neighboring (or all) sensors. In this paper, we propose an index structure based on parent-children relationship to the purpose. Namely, parent node gathers the set of location information and MBA per child. It's named PIH and may allow to process the range query with higher accurate and small size information. Through extensive experiments, we show that our index structure has better energy consumption.

Key words : sensor network, index structure, routing, failure

· 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한 Copyright@2008 한국정보과학회: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-311-B00775)

[†] 정 회 원 : 서경대학교 전자상거래학과 교수
sskim03@skuniv.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수
soyang@korea.ac.kr

논문접수 : 2007년 8월 10일

심사완료 : 2008년 2월 22일

이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 데이터베이스 제35권 제3호(2008.6)

1. 서론

센서 네트워크에서 센서노드들은 소형배터리를 전원으로 동작하면서 환경에 대한 정보를 수집하는 기능을 갖추고 있다. 일정 범위내에서 무선 통신이 가능하고, 제한된 계산 능력을 갖추고 있다[1,2]. 최근 MEMS (micro-electro-mechanical systems) 관련 기술이 발전하면서, 이와 같은 특성을 고려한 무선 애드혹 센서 네트워크의 응용범위가 넓어지고 있다. 대표적인 응용은 일부 영역에 대한 정보를 수집하는 환경 및 거주자 모니터링, 기온, 습도 모니터링, 적군 감시 등이 있다[3]. 이와 같이 센서 네트워크의 가장 기본적인 작업은 특정(혹은 전체) 센서들로부터 정보를 수집하여 전송하는 것이며, 사용자가 특정(혹은 전체) 센서들에게 정보를 요구하면 해당 정보를 수집, 가공하여 최종적인 결과를 전송하는 방식이다. 이때, 특정 센서에게 메시지를 전달하기 위해서는 모든 센서들의 위치 정보를 알고 있는 것이 유리할 수 있다.

이전 시공간 데이터베이스에서 대상 객체들의 위치정보를 효율적으로 관리하기 위해 다양한 인덱스 구조가 제안되었다. 가장 기본적인 방식 중 하나는 R-tree를 기반으로 하는 연구들이다. 이 방식은 대상 객체들의 위치 정보를 이용하여 MBB(Minimum Bounding Box)를 구성하고, 이를 계층적으로 구조화 시킨 구조이다[4]. R-tree 및 관련된 인덱스 구조를 이용할 경우, 다양한 형식의 공간질의를 효율적으로 처리할 수 있게 된다. 하지만 앞서 언급하였듯이, 센서 네트워크는 기존 시공간 데이터베이스와 비교할 때 다음과 같은 특성이 존재하므로, 제안된 기법들을 직접 적용하기가 곤란하다.

- 센서 네트워크의 센서노드들은 제한된 계산 자원을 가지고 있으며(예를 들면 8KB RAM), 배터리의 교환 및 재충전이 일반적으로 곤란하다. 이에 반해 하나의 중앙 노드에서 전체에 대한 인덱스 구조를 유지하기 위해서는 많은 계산량과 메시지 교환을 필요로 한다.
- 인덱스 구조를 생성하는 것 못지않게, 인덱스 정보를 최신으로 유지하는 것도 중요하다. 하지만, 센서 네트워크에서는 결함이 발생할 확률이 높으므로, 쉽게 인덱스 정보가 재구성될 수 있어야 한다.

위의 특징 중에서 본 논문에서 특히 고려하는 점은 메시지 관련 업무는 일반 계산 작업에 비해 에너지 소모량이 매우 크며, 또한 메시지를 전송하는 경우는 전송 받는 경우보다 많은 에너지를 필요로 한다. 즉, 일반적으로 무선 통신 시스템에서 에너지 소모량은 메시지 수신($P_{receive}$)보다 메시지를 전송(P_{send})할 때 더 크게 되며, 그 양은 거리(r)에 반비례하게 된다[5]. 따라서 센서 노드의 에너지의 효율성을 높이기 위해서는 당연히

메시지의 수를 줄일 수 있어야 한다.

$$P_{receive} \propto \frac{P_{send}}{r^\alpha} \quad (1)$$

본 논문에서는 위와 같은 특징을 고려하여, 센서 네트워크에서 질의를 효율적으로 처리할 수 있는 알고리즘을 개발하려고 한다. 구체적으로 센서노드들간의 부모-자식의 계층정보를 기반으로 한 부분 인덱스(PIH : *Partial Index based on Hierarchy*)를 이용한 분산 질의처리 기법을 제안한다. 일반적으로 인덱스 구성 과정은 전파단계와 부모결정단계로 나뉘어진다. 먼저 부모결정 메시지를 전송하는 전파단계를 거쳐 각 노드들은 자신의 부모노드를 결정하게 되며, 일정 시간 후에 그 부모에게 자신의 위치 정보 및 자신의 모든 자손들을 포함한 MBA(minimum bounding area)를 보내게 된다. 각 부모 노드는 자신의 자식 노드에 대한 위치 정보 및 그 자식들의 MBA를 이용하여 자신만의 PIH 정보를 유지한다. 이와 같이 하나의 중앙에서 모든 센서 정보를 관리하는 것이 아니라 각 노드가 자신의 자식들에 대한 위치 및 그 자식들의 MBA 정보만을 유지하도록 한다. 이 과정에서 MBA의 크기를 적게 유지할 수 있다면 정보의 정확성을 높여 불필요한 메시지의 전파를 막을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련 연구 및 시스템 모델에 대하여 간단히 요약한다. PIH 인덱스 생성 방식과 이를 활용하여 질의처리 알고리즘은 3장에서 설명하고, 4장에서는 제안기법에 대한 확장 방안에 대하여 서술하고 있다. 제안한 기법에 대한 성능을 평가하기 위한 실험 결과는 5장에서 설명하고, 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련연구

본 논문에서는 그림 1에서 보여지는 일반적인 센서 네트워크 모델을 가정한다. 네트워크에는 외부와의 상호작용을 담당하는 싱크노드와 일반적인 정보 수집을 담당하는 센서 노드들로 구성된다. 일반적으로 센서 노드들은 소형 배터리와 같은 자원을 이용하여 동작하며, 에너지의 공급이나 교체가 용이하지 않다는 제약조건을 가지고 있다. 외부 사용자의 질의는 인터넷을 통하여 싱크노드를 거쳐 해당 센서 노드에게 전달된다. 본 연구에서 싱크노드는 일반적인 센서들보다 높은 계산능력을 가지고 있으며, 외부와 네트워크로 연결되어 있고, 또한 전력의 제한을 가지지 않는 시스템이라고 가정한다.

싱크노드가 질의를 받게되면 전체 혹은 특정 노드들에게 전달하게 된다. 기본적인 flooding 기법의 경우[6], 메시지를 받은 센서 노드는 다시 이 메시지를 이웃 노드들에게 브로드캐스팅하는 방식이다. 이 기법은 간단하

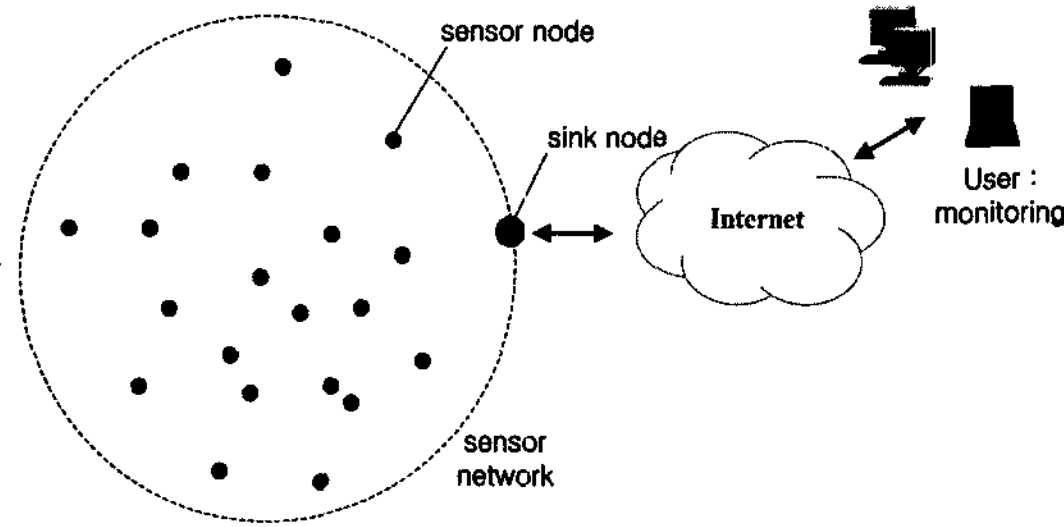


그림 1 무선 센서 네트워크 구조

면서도 올바르게 동작하지만, 메시지의 중복, 자원의 낭비, 동일 영역을 관할하는 센서들간의 상호작용에서 발생할 수 있는 문제점 등이 고려되어야 한다. 특히 노드 내에서 메시지를 전달하는 것은 비슷한 계산처리에 비하여 엄청난 에너지를 소모하게 된다.

지금까지 센서 네트워크의 수명을 연장시키기 위한 연구들은 크게 다음과 같은 세가지 형식으로 진행되어 왔다.

- ① 에너지 인지 프로토콜 개발(energy-aware protocol) : 질의가 제출되면, 각 센서의 에너지 보유 정보를 기반으로 최적화 과정을 수행한다[7,8].
- ② 네트워크내부 연산(In-Network aggregation) : 집계 연산과 같은 일부 응용의 경우, 네트워크 내에서 새로 수집한 데이터가 이전의 데이터와 비교하는 과정을 거쳐 전송되는 메시지의 수를 줄인다[7,9].
- ③ 인덱싱(indexing) : 센서 노드들에 대한 위치 정보를 저장해둠으로써 질의를 해당하는 센서들에게만 전달하도록 한다[10,11].

① 방식은 각 센서 노드에 물리적으로 남은 에너지 양을 고려하여 메시지 전파를 수행하는 방식이므로, 이러한 연구는 본 연구의 방향과 접근방법이 다르므로 고려하지 않는다. ②와 같은 방식은 센서 네트워크 내에서 발생한 특정 이벤트를 외부의 질의에 의해 효율적으로 처리하기 위한 알고리즘 개발과 관련되어 있다. 이에 반해 센서 노드들의 위치 정보를 이용하여 메시지를 효율적으로 처리하려는 연구 방식이 ③번이며, 본 연구도 이 범주에 포함된다.

구체적인 관련연구로서, [7]의 저자들은 데이터가 위치한 곳과 데이터를 얻기 위한 비용을 고려하여, 전력 소모를 최소화하기 위한 질의처리 기법(TinyDB)을 제안하였다. 이 연구는 상위 계층의 질의 최적화를 통한 에너지 절약에 초점을 맞추었을 뿐 실제 메시지 전파와 관련된 부분은 고려대상으로 삼지 않았다. [12] 논문에서는 하나의 센서 노드 근처 노드들은 그 노드와 유사한 값을 가지고 있을 것이라는 가정을 기반으로 SPASS 프로토콜을 제안하였다. 이는 전역 스펙트럼을 유사한

몇개의 하위 스펙트럼으로 구분한 뒤 처리하는 스펙트럼 공유 및 분할 기법이다. 하지만 이 연구는 단순한 속성기반 질의에서 데이터 획득만을 고려하고 있다.

공간질의를 에너지 효율적인 방식으로 수행하기 위하여 질의를 받게되면 미리 얻어진 센서 노드들의 위치 정보를 이용하여 해당 노드들에게만 질의를 전송하기 위한 인덱스 기법도 여러 논문에서 제안되었다. [10]의 연구에서는 모든 센서 노드들의 위치를 R-tree와 유사한 Peer-tree를 이용하여 관리하며, 이를 이용하여 최근접노드 찾기(nearest neighbor) 질의처리 방식 및 실패(failure)처리 기법을 제안하였다. 논문에서 인덱스를 만드는 원리는 전체 센서들의 위치를 개수를 기반으로 MBB(Minimum Bounding Box)를 구성하는 것이다. 하지만 기본적으로 네트워크 내의 모든 센서들에 대한 정보가 있어야만 가능한데, 이는 센서 환경에서 큰 제약 조건이 될 수 있다. [11]의 저자들 역시, 질의의 분산처리를 지원하기 위해 R-tree와 유사한 영역정보(MBA)를 이용한 SPIX 인덱스를 제안하였으며, 이를 기반으로 분산방식의 영역질의 처리 알고리즘을 제안하였다. 저자들은 우선 메시지 전송을 위한 라우팅 경로를 설정할 때, 부모-자식관계를 이용하였다. 자식노드는 부모에게 자신의 모든 자식노드들을 포함하는 하나의 영역 정보를 보내준다. 이후 영역질의가 전송되면 각 센서들은 자신이 유지하고 있는 MBA를 이용하여 질의에 참여할 것인지를 결정하게 된다. 논문 내에서도 이를 위해 MBA 크기가 성능에 미치는 영향을 실험하였다. 하지만 부수적인 정보가 더 제공되지 않는다면 MBA의 크기가 커질 뿐만 아니라, 하나의 센서 통신 범위내의 자식 센서들끼리도 부모-자식 관계가 성립될 수 있는 문제점을 가지고 있다.

3. 제안 기법

본 논문에서는 센서 네트워크에서 영역질의를 수행할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하며, 이는 센서 노드들의 위치 정보를 기반으로 한다. 일반적으로 각 노드들이 많은 정보를 가지고 있다면 질의처리는 훨씬 수월해질 수 있지만, 이를 위해서는 많은 양의 메시지가 교환되어야 하며 이는 에너지 효율성 측면에서 단점이 될 수 있다. 또한 중앙의 한 노드에서 모든 센서 노드들의 위치 정보를 관리하는 것 역시 센서 네트워크에서는 큰 부하가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 각 센서들이 유지하는 정보의 양을 줄이면서도 질의 처리를 수행할 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다.

3장 제안 기법 부분은 크게 센서 노드들의 위치 정보를 분산 관리할 수 있도록 인덱스 정보를 생성하는 부분과, 질의 처리 알고리즘 부분으로 나누어 설명한다.

3.1 PIH 구조

먼저 센서 네트워크와 관련해서 다음과 같은 가정을 한다.

- 사용자로부터 제기된 질의는 싱크 노드로부터 센서 네트워크로 전파된다고 가정한다. 즉, 싱크 노드는 질의를 받아서 센서 노드에 전파하고 최종적인 결과를 받아서 사용자에게 넘기는 역할을 수행한다고 가정한다.
- 센서 네트워크 내의 모든 센서 노드들은 자신의 위치를 알 수 있으며, 자신의 고유한 식별자를 가지고 있다.
- 모든 센서 노드들은 동일한 계산능력, 통신범위, 에너지 양을 가지고 있다.

센서 네트워크에서 센서 노드에 대한 인덱스는 질의가 주어졌을 때, 이 질의에 대하여 어느 센서들이 결과를 생성할 수 있을 것인지를 결정하기 위해 사용되며, 제안하는 PIH 역시 질의처리를 효율적으로 수행할 수 있도록 라우팅 트리를 구성하도록 한다.

PIH를 만드는 과정은 다음과 같이 2단계에 걸쳐 수행된다.

① 통지단계

: 싱크 노드는 다음과 같은 정보를 담고 있는 통지 메시지(NM_i)를 이웃한 센서 노드들에게 전파한다.

통지메시지 (Notification Message: NM)
- Hops : 싱크 노드로부터의 홉 수 (초기값 = 0)
- Loc : NM 메시지를 전파한 센서의 위치 정보 (초기값 : 싱크 노드의 위치 정보)

센서 노드는 NM_i 메시지를 받게 되면 알고리즘 1과 같은 작업을 수행한 후, 수정된 NM 메시지를 계속 전파하도록 한다. 알고리즘 1에서 Hops(NM)은 NM 메시지에 포함된 Hops 값을 의미한다. 이때 Hops 값 비교는 중복된 메시지를 받았을 때, 싱크 노드로부터의 거리를 최소로 하기 위한 것이며, 또한 불필요한 메시지 중복 전파로 인한 에너지 손실을 줄이기 위해서 사용된다. 그리고 그 결과 Thin Rectangle problem을 자연스럽게 해결할 수 있으며[11], 이는 정리 1을 참조하면 된다.

<알고리즘 1> 센서노드가 NM_i 메시지를 받은 후 수행하는 작업

// input : 수신한 NM _i 메시지
// output : 새로운 NM _{i+1} 메시지
IF (이미 다른 NM _j (i≠j) 메시지를 받은 경우)
/* 두 메시지 NM _i , NM _j 의 Hops 값을 비교 */
IF (Hops(NM _i) > Hops(NM _j)) do nothing and exit
Elseif (Hops(NM _i) == Hops(NM _j)) /* Loc 값을

이용 */
자신과 가장 가까운 노드를 부모로 선택한다.
EndIF
EndIF
New_Hops ← Hops(NM) + 1
새로운 Hops 값(new_Hops)과 자신의 위치 정보를 담은 메시지 NM _{i+1} 를 전파한다.

② 부모선택 단계(Parent selection Phase)

싱크 노드가 NM 메시지를 전송할 때 Hops 값을 함께 보낸다. 따라서 각 노드는 받은 Hops 값을 이용하여 아래의 수식과 같이 대기시간(*w_{time}*)을 계산한다. 만약 *w_{time}*만큼 기다려도 어느 노드도 자신을 부모로 결정한 메시지를 전송하지 않는다면 자신을 리프노드로 결정한다.

$$w_{time} \leftarrow (\max_{hop} - Hops_i) \times \kappa \times 2 \quad (2)$$

수식에서 *max_{hop}*은 싱크 노드에서 가장 긴 Hops 값에 대한 추정값이며, Hops_i는 각 센서 노드들이 NM 메시지로 부터 얻은 최소 Hops 값이다. 그리고 κ 는 각 센서에서 메시지를 처리하는데 걸리는 시간이다. 따라서 싱크 노드의 경우, 최대 대기시간인 *max_{hop}*× κ ×2 만큼 기다려야 자신의 자식노드들로부터 부모선택 메시지를 받게 된다.

각 노드에서 위 시간이 되면, 이전에 받은 메시지를 이용하여 부모를 선택해야 한다. 하나 이상의 NM 메시지를 받았다면, 다음과 같은 기준을 따른다.

- 최소 Hops 값을 가진 NM 메시지에 지정된 센서 노드
- 동일한 Hops 값을 가진 NM 메시지를 2개 이상 받았다면, 지정된 센서와 자신과의 거리가 최소인 노드

우선 자신을 리프노드로 결정한 노드는 자신이 선택한 부모에게 다음과 같은 정보를 담은 부모선택 메시지 (PM)를 보낸다.

부모선택 메시지(Parent Selection Message : PM)
- Loc : 자신의 위치
- MBA : 자신의 모든 자손노드들에 대한 MBA들의 집합 (리프 노드의 경우, NULL)
- Max _n : 자신의 자식이 가진 Hops 값 중 가장 큰 값

부모가 PM 메시지를 받게 되면 일단 자신을 부모로 선택한 자식(*c_i*)들의 위치 정보, *c_i*의 모든 자식들을 포함하는 MBA, 그리고 자식들이 보내준 Hops 중 가장 큰 값 정보를 얻게 된다. 물론 자식이 리프 노드인 경우에는 자식을 가지고 있지 않으므로, MBA는 NULL 값을 보내게 된다. 그림 2를 살펴보면 (a)에서는 리프 노드들이 먼저 자신의 부모에게 PM 메시지를 보내는 것을 보여주고 있다. 이때 리프 노드들은 단지 자신의 위

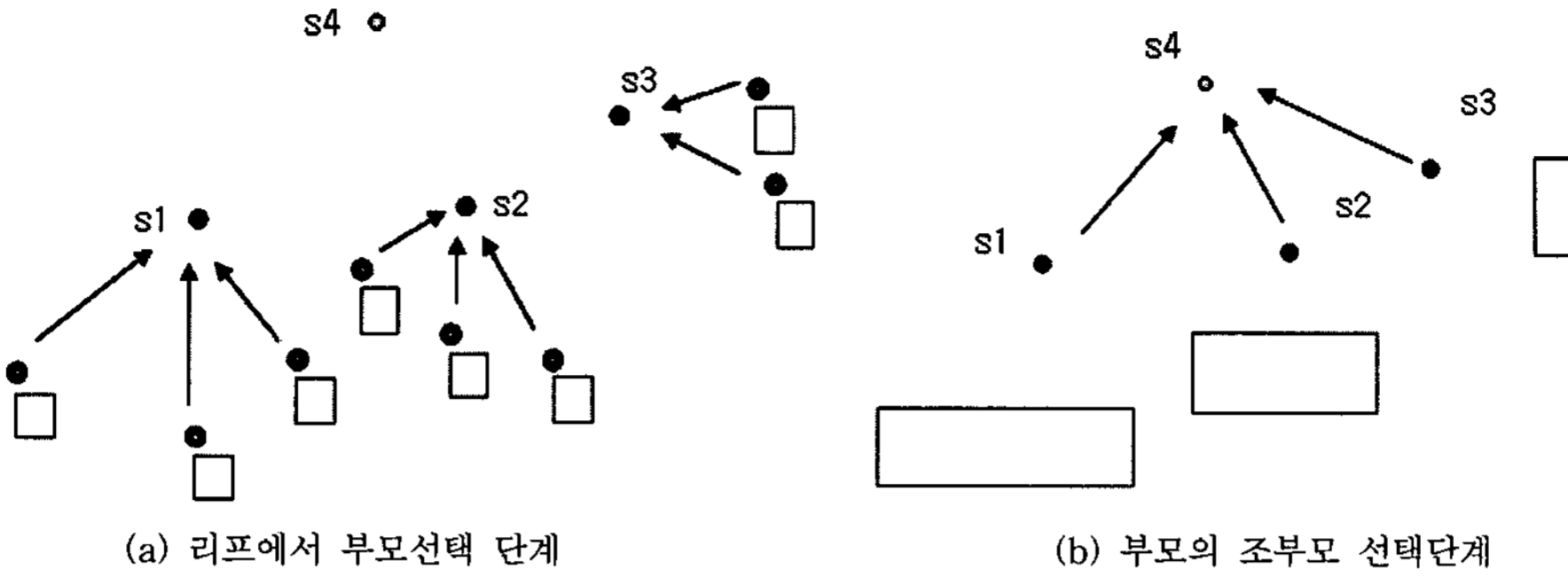


그림 2 부모선택 단계 예제

치와 $MBA(=NULL)$, 자신의 hops 값을 PM에 추가하여 보낸다. 그림 (b)에서는 (a)의 결과 PM 메시지를 받았던 부모들 s_1, s_2, s_3 가 다시 조부모 s_4 에게 메시지를 보내고 있다. 이때 부모들은 역시 조부모 s_4 에게 자신의 위치 정보, 자식 들 중 가장 큰 Hops 값, 마지막으로 자신을 부모로 선택한 모든 자손들을 포함할 수 있는 MBA 영역을 계산하여 보내게 된다. 이와 같이 위치 정보 및 자신의 자식들에 대한 MBA를 보내주게 되면 PM을 위한 메시지의 크기는 다소 증가하지만, 자식들에 대한 영역 정보를 보다 정확하게 파악할 수 있다.

이와 같은 과정은 최종적으로 싱크노드에게 PM 메시지를 전파할 때까지 계속 된다. 여기서 부모는 각 자식별로 최대 Hops 값(Max_h)를 별도로 유지하도록 함으로써, 메시지의 최대 대기 시간을 추정할 수 있다. 이 과정은 싱크 노드를 부모로 선택할 때까지 계속된다.

정리 1. PIH 구조에서는 Thin Rectangle Problem이 발생하지 않는다.

증명. Thin Rectangle Problem이란 그림 3(a)와 같이 A 노드로부터 메시지를 받은 B 노드는 다시 그 메시지를 주변으로 전파하게 되며, 이후 C 노드는 A 노드 대신 B 노드를 부모로 선택하는 경우를 지칭한다. 이 경우에는 인덱스 구성이 왜곡된 방향으로 구성될 수 있어서 불필요한 메시지가 발생할 수 있다. 이에 대하여 본 제안기법에서는 다음과 같이 인덱스를 구성한다. 즉, 그림 3의 (a)처럼 A노드로부터 B, C 노드에게 NM 메시지가 전파되고, 이후 C 노드는 B노드로 부터도 NM

메시지를 받게된다(물론 C노드는 메시지를 받는 순서는 중요하지 않다). C 노드는 A와 B 노드로부터 받은 NM 메시지의 Hops 값을 비교하게 되며, 당연히 A 노드의 Hops 값이 적게 된다. 따라서 메시지를 받게되는 시간적 순서와 관계없이 항상 C 노드는 A 노드를 부모로 선택하게 되며, 따라서 Thin Rectangle Problem은 발생하지 않는다. □

이상과 같은 과정을 거치면서 만들어진 PIH 구조는 기본적으로 모든 노드들에 대한 위치 정보를 하나의 중앙 노드에서 관리하는 것이 아니라, 부모 자식 관계 및 자식 노드들의 MBA 정보를 위주로 하여 분산 유지된다. 따라서 질의를 분산적으로 처리할 수 있는 근거가 마련될 수 있는 것이다. 이러한 PIH 구조는 다음과 같은 특징을 가진다.

- 각 노드들은 자신의 $k(\geq 1)$ 단계의 자식노드들에 대한 위치 정보 및 자식 노드에 대한 MBA 정보를 가지고 있다.
- 각 노드들은 자신의 부모 노드의 위치 정보를 가지고 있다.
- 자신이 싱크 노드로부터 몇 홉만큼 떨어져 있는지를 알 수 있다(Hops_i).

3.2 영역질의 처리

센서 네트워크의 주요한 목적 중 하나가 바로 주변 환경에 대한 정보를 수집하는 것이다. 이러한 환경에서 사용자가 요구하는 질의는 특정 센서 노드에게 메시지를 보내는 경우 보다는 어떤 속성을 만족하는 센서 노드들이 질의를 받고 적절한 결과를 제출할 수 있을 것인지를 결정해야 한다. 예를 들면, “현재 온도가 15-20°C인 지역의 습도는 얼마인가?”와 같은 질의의 경우, 싱크 노드로부터 모든 센서 노드들이 질의에 참여해야 한다. 이와 같이 모든 센서들이 질의에 참여하는 속성기반 질의(attribute-based query)는 이전에 제안되었던 인덱스 구조에 의해 명확한 부모 자식 관계가 설정되어 있으므로 별 무리 없이 수행될 수 있다. 따라서 이 소절에서는 PIH 인덱스를 이용하여 영역질의를 수행할 수

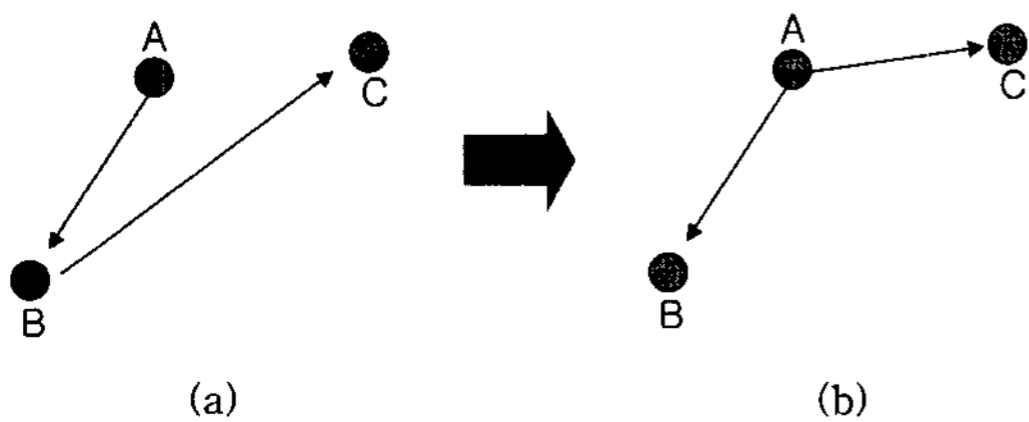


그림 3 Thin Rectangle Problem

있는 알고리즘을 제안한다.

영역질의란 일정 영역에 해당하는 센서들로부터 원하는 데이터를 수집하는 질의를 의미한다. 제안한 PIH 인덱스 구조는 각 노드들이 자신의 자식노드들을 모두 포함하는 MBA 영역에 대한 정보를 유지하도록 한다. 따라서 PIH 인덱스 구조를 사용한다면 영역 질의는 아주 간단하게 처리될 수 있다.

즉 싱크노드가 자식노드들에게 질의를 전달하면, 각 노드는 질의 영역과 자신의 MBA 영역을 비교한다. 만약 겹치는 영역이 없다면, 이는 계속 질의를 자식노드에게 전달해도 유효한 결과값을 얻을 수 없다는 것이므로, 그 질의를 버리면 된다. 그 반대의 경우로써, 교집합이 있다면 - 즉 질의 영역과 자신의 자식 노드가 겹치는 영역이 있다면 자신의 자식 노드들에게 계속 질의를 전달하면 된다. 이때 각 센서들은 자신의 자식 노드들의 위치 및 그 자식의 MBA에 대한 정보를 알고 있으므로, 질의를 실제 수행할 자식 노드들의 식별자를 함께 첨부하여 보낸다.

질의에 대하여 자식들에게 질의를 전달한 경우라면 이전 부모선택 단계에서 얻은 Max_h 를 이용하여 최대 대기 시간(식 (2))만큼 기다린 후 어떤 응답도 오지 않는다면 이것은 자신의 자식들은 해당 영역질의와 무관함을 알 수 있으며 역시 자신도 어떤 일도 수행하지 않는다.

4. 확장 알고리즘

4.1 k-단계의 자식 정보 유지

본 연구는 센서 네트워크의 에너지의 효율성을 높이기 위해 질의처리에 필요한 메시지의 수를 줄이는데 초점을 맞추고 있다. 일반적으로 각 센서들에 대한 여러 정보를 가급적 많이 유지하면 할수록 질의처리에 필요한 메시지의 수는 감소할 수 있다.¹⁾ 하지만 이러한 정보를 유지하기 위한 비용 역시 상당해질 수 있으므로 이에 대한 적절한 균형이 필요하다.

제안하는 PIH 구조는 각 부모노드들이 자신의 자식의 위치정보, 자식들에 대한 MBA 및 최대 Hops 정보를 유지하도록 한다. 이 기법은 각 노드들이 적은 정보를 이용하여 효율적으로 영역질의를 처리할 수 있도록 한다. 하지만 각 노드들이 유지하는 MBA 정보 자체가 오류를 포함할 수 있다. 예를 들어 다음 그림 4를 살펴보자. s_0 노드는 자식인 s_1 의 위치 정보 및 s_1 의 모든 자식들을 포함하는 영역정보를 가지고 있다. 그리고 s_1 노드는 s_2 의 위치 및 그 MBA를 유지한다. 이후 질의에 포함된 영역을 비교하면 자신의 손자노드에서 질의에

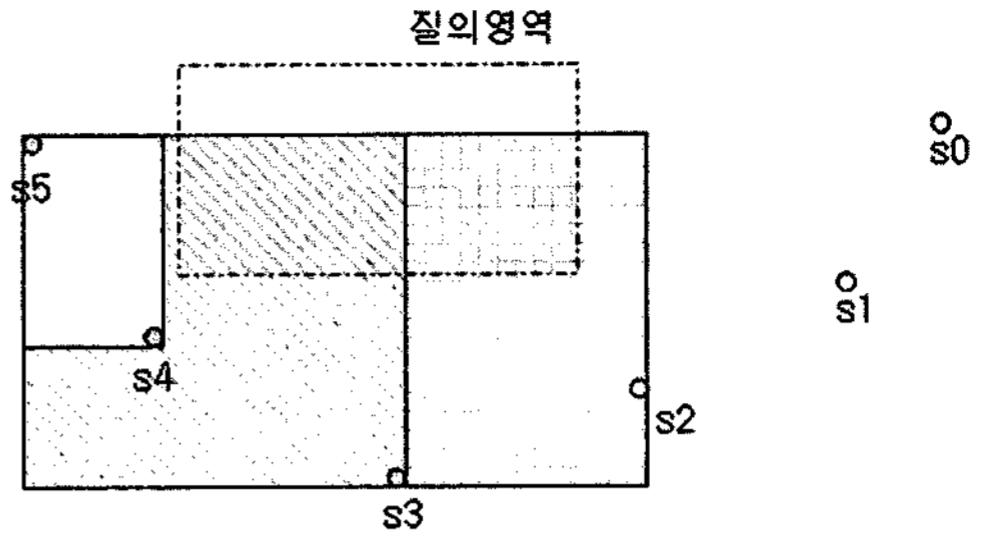


그림 4 MBA 기반 정보의 잘못된 정보의 예

대한 응답을 줄 수 있을 것 같지만, 최종적으로는 어떤 손자 센서에서도 질의영역과 겹쳐지지 않으며 결국 불필요한 메시지의 낭비가 발생한 것이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 각 부모노드들은 자신의 직계자식에 대한 위치 정보 뿐 아니라 k-단계 자식의 위치 정보를 유지하게 하는 방법을 생각할 수 있다. 이 경우, 각 부모노드들은 약간의 저장 공간이 더 소요되는 것 외에 특별한 부하없이 동일하게 동작할 수 있다. 가령 각 노드별로 $k = 3$ 단계의 자식에 대한 위치 정보를 유지하고 있다고 가정한 후, 위의 그림 4와 같은 문제를 생각해보자. 이 경우, s_0 노드는 s_1, s_2, s_3 의 위치 정보 및 s_3 의 모든 자손을 포함하는 MBA를 모두 알고 있으며, 다시 s_1 노드는 s_2, s_3, s_4 노드에 대한 위치 정보 및 s_4 노드의 MBA를 알게 된다. 따라서 질의는 s_0 노드로부터 s_1 노드에게 전파되면 s_1 노드는 이미 s_4 의 위치 정보까지 알고 있으므로, 자신은 이 질의영역과 겹쳐지지 않음을 알 수 있다.

4.2 노드 실패 처리

논문에서 가정하고 있는 센서들은 언제든지 실패가 발생할 수 있다. 기본적으로 PIH 구조는 부모-자식 관계를 이용하여 질의처리를 수행하고 있다. 이 사실은 몇몇 노드에서 실패가 발생하더라도 일부분의 노드에만 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

알고리즘 2 센서노드(S_p)의 실패 처리

```

/*  $S_p$ 노드는 자식 노드  $S_i$ 에서 실패가 발생하였음을 발견
   따라서 자식  $S_i$  노드에 대한  $MBA-S_i$ 를 이용하여
   실패처리를 수행
   input : no, output : Failure_Proc 메시지 */
Failure_Proc 메시지 ← ( $S_p$  노드의 위치,  $MBA-S_i$ )
 $S_p$ 는 Failure_Proc 메시지를 모든 자식노드에게 전파한 후,
대기

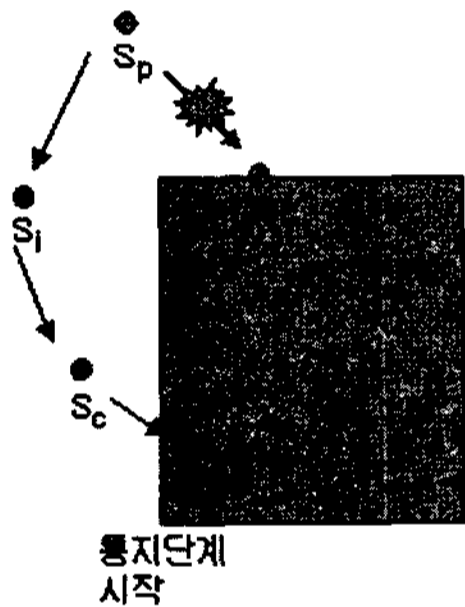
/* Failure_Proc 메시지를 자손 노드( $S_c$ )가 받은 경우
   input : Failure_Proc 메시지 */
IF ( $S_c$ 가 처음으로  $MBA-S_i$ 의 영역내에 포함된 경우)
 $S_c$ 가 싱크노드처럼 통지단계를 시작한다. /* 3.1절 참조 */
이후 최종적으로  $MBA-S_i$  영역내의 노드들만을 대상으로
    
```

1) 즉, 질의의 결과를 생성할 가능성이 있는 자식이 있는 경우에만 질의 메시지를 전파함으로써 불필요한 메시지의 수를 줄일 수 있다.

```

    PIH를 새롭게 구성한 후 부모노드들에게 전파
Else
    IF ((Sc의 MBA ∩ MBA-Si) == NULL) Exit
    Else 자신의 자식 노드가 있다면 계속 Failure_Proc를
        전파
    EndIF
EndIF

/* Sp가 Failure_Proc 메시지를 보낸 후 일정 시간을
    대기한 이후 */
IF (자식으로부터 새롭게 구성된 PIH 정보를 받은 경우)
    자신의 자식에 대한 MBA 정보 갱신
    자신의 부모에게 변경 정보 전달
Else
    싱크노드에게 MBA-Si 정보를 전달하여 동일한 과정을
    수행하도록 요청
EndIF
    
```



현재 여러 논문에서 센서 네트워크의 노드 실패 탐지 기법 개발과 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있으므로, 본 연구에서는 특별한 가정을 하지 않는다[13,14]. 일단 어느 노드(s_i)에서 실패가 발생한 사실을 부모 노드(s_p)가 발견하게 된다면, s_p

는 s_i의 자식을 포함하는 MBA정보를 이용하여 s_i의 자식 노드들 중 통신 가능한 노드 s_c를 찾아낸다. 이는 단순히 s_p의 s_i를 제외한 다른 자식노드들에게 s_i의 MBA 영역에 해당하는 일종의 영역 질의(알고리즘 2의 Failure_Proc 메시지)를 넘겨주는 것과 동일하다. 만약 s_i의 MBA 영역내의 하나의 노드(s_c)라도 s_p의 다른 자식(s_{p'})들과 통신이 가능하다면, s_c 노드를 부모로 하여 MBA 영역내의 다른 노드들에게 다시 PIH 구조를 형성하는 알고리즘을 수행시킨다(3.1절 참조). 그리고 최종적으로 s_c는 s_{p'}에게 부모결정 메시지를 전송하며, 이 과정은 이러한 부모결정 메시지를 받더라도 자신이 유지하는 정보에 변경되지 않을 때까지 반복된다(그렇지 않으면 싱크노드까지 반복된다).

만약 s_p 자식 중 어느 노드도 s_i의 MBA 영역내의 다른 노드와 통신이 가능하지 않다면, s_p는 이를 싱크 노드에게 전달하여 동일한 작업을 수행하여 s_c 노드를 찾도록 한다.

이러한 과정의 결과로 s_c 및 그 자식노드들에 대한 정보 변경은 단지 MBA 영역 내의 노드들 및 s_c의 새로운 부모들에게만 해당하므로 전체 구조를 변경할 필요는 없게 된다.

5. 실험 및 분석

5.1 실험 모델

본 연구에서는 센서 네트워크에서 센서들의 에너지 효율성을 제고하기 위한 방법으로 질의처리에 필요한 메시지 수를 줄이는 알고리즘을 제안하였다. 즉 부모-자식 관계 및 MBA 정보를 기반으로 하여 각 센서들의 위치 정보를 분산 인덱스로 구성하였으며, 이후 질의처리를 수행하도록 하였다. 제안 기법의 성능을 비교평가하기 위하여 비교 대상으로 SPIX 구조[11]를 채택하였는데, 이는 SPIX 구조가 본 알고리즘과 유사한 접근 방식을 취하고 있으며, 영역질의 처리를 주로 다루고 있기 때문이다. 2장 관련연구 부분에서 간단하게 언급하였지만, SPIX 기법과 제안한 PIH 기법은 기본 가정이 매우 유사하다. 즉, 부모-자식 관계를 이용하여 라우팅 경로를 설정하며, 자식은 부모에게 자신 및 자손의 영역 정보를 보내는 방식으로 인덱스 정보를 구성한다. 하지만, SPIX 기법은 인덱스를 구성할 때 유지해야 할 정보의 양을 줄이기 위해, 각 노드별로 자신의 모든 자손들을 포함하는 하나의 MBA 정보만을 유지한다. 따라서 싱크노드와 가까운 노드일수록 MBA 정보가 매우 커지게 되며, 따라서 영역질의가 전송되었을 때, 불필요한 노드들도 이 영역질의에 참여하게 되어 에너지를 사용하게 된다. 이에 반해, 제안하는 PIH 기법은 각 노드들이 유지해야 할 정보의 양은 다소 늘어나지만, 상대적으로 유지하는 MBA 영역의 크기를 줄여서 정확도를 높이도록 하였다. 그 효과를 보이기 위하여 다양한 실험을 수행하였다.

제안기법의 성능을 평가하기 위해 그림 5와 같이 시뮬레이터를 구현하였다. 실험을 위해 LedHat Linux 9.0이 설치된 PC(Pentium Dual Core 3.0 GHz, 2Gbyte memory)에서 Java 언어를 이용하였다. 실험에서는 1000×1000 영역내에 센서의 개수, 질의 영역의 위치와 크기 및 센서의 분포상태 - 균등분포 및 불균등분포(skewed distribution) -를 변화하도록 하였다. 센서들이 균등분포된 경우에는 random하게 각 센서의 x, y 좌표를 생성하였다. 이에 반해 불균등분포의 경우는 특정 경로를 따라서 센서가 촘촘하게 배치되는 효과를 얻기 위해, 특정 영역에 배치될 센서의 비율과 그렇지 않은 영역의 비율을 3:1로 설정하여 센서 노드의 위치를 생성하였다. 실험에서 각 센서의 통신 범위는 5의 크기를 가진다고 가정하였다. 따라서 센서 노드를 생성한 후, 다른 어느 노드와도 통신이 불가능한 노드를 찾아서 다시 센서의 위치를 생성시키는 방식으로 초기 환경을 설정하였다.

앞서 언급하였듯이 싱크노드를 제외한 모든 노드들은 동일한 성능을 가진다고 가정한다.

사용자들은 외부에서 영역 (x1, y1, x2, y2)내에 위치

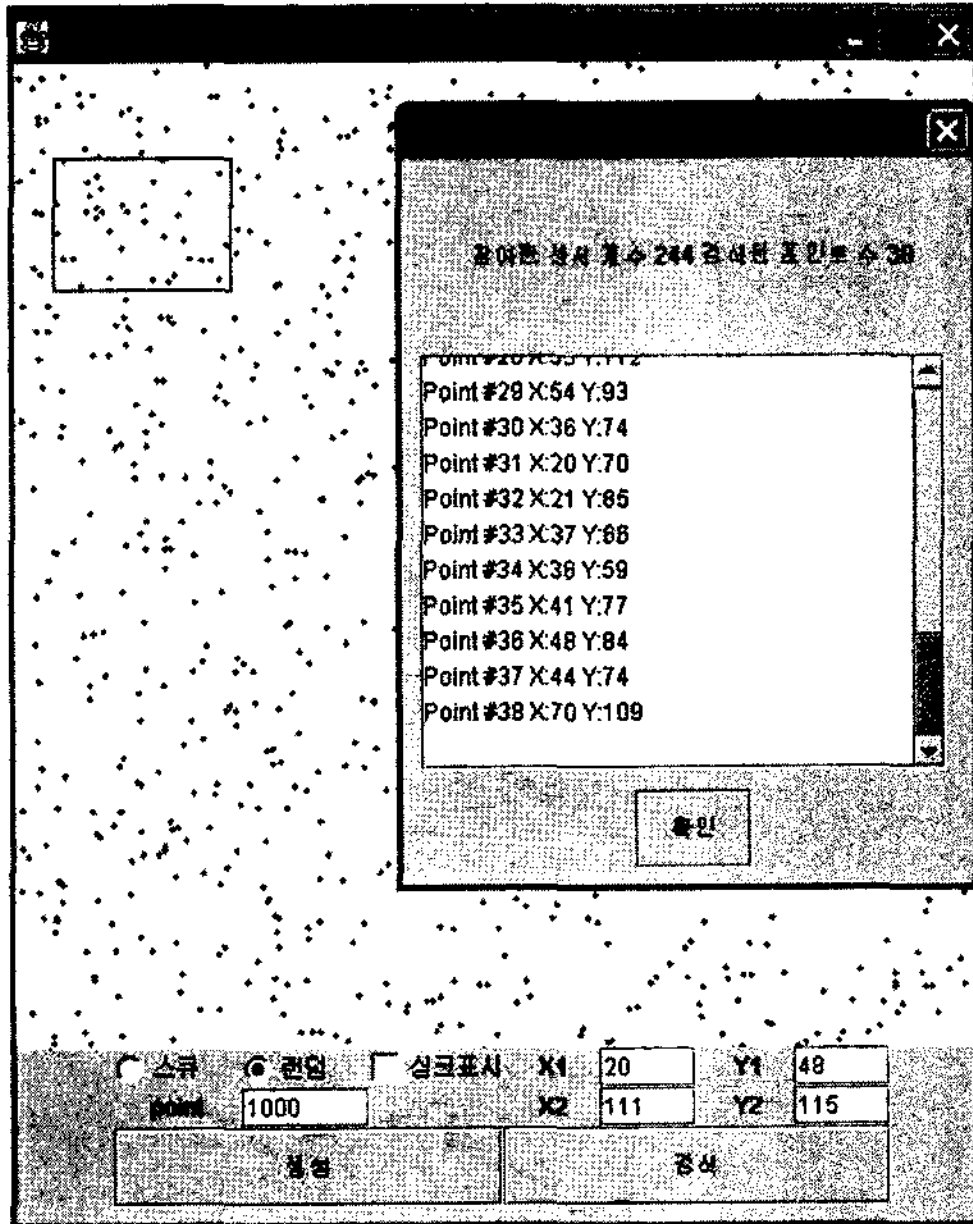


그림 5 실험을 위한 시뮬레이터

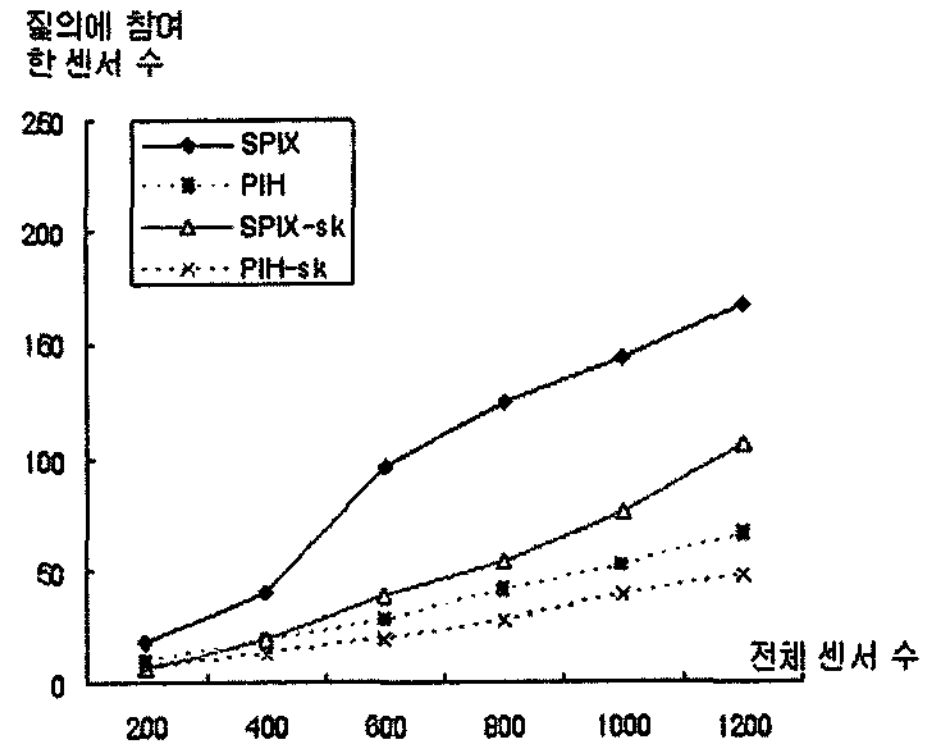
한 센서들의 속성값을 얻기 위해 싱크노드를 통해 질의를 넘긴다. 이 질의를 받게되면 각 센서들은 먼저 자신이 질의 영역내에 위치하고 있어서 이후 응답을 해야하는지, 그리고 이 질의를 다시 자식들에게 전파할 것인지²⁾를 결정한다. 마지막으로 이 실험에서는 센서 실패 및 메시지 전송실패는 고려하지 않았다.

5.2 실험결과

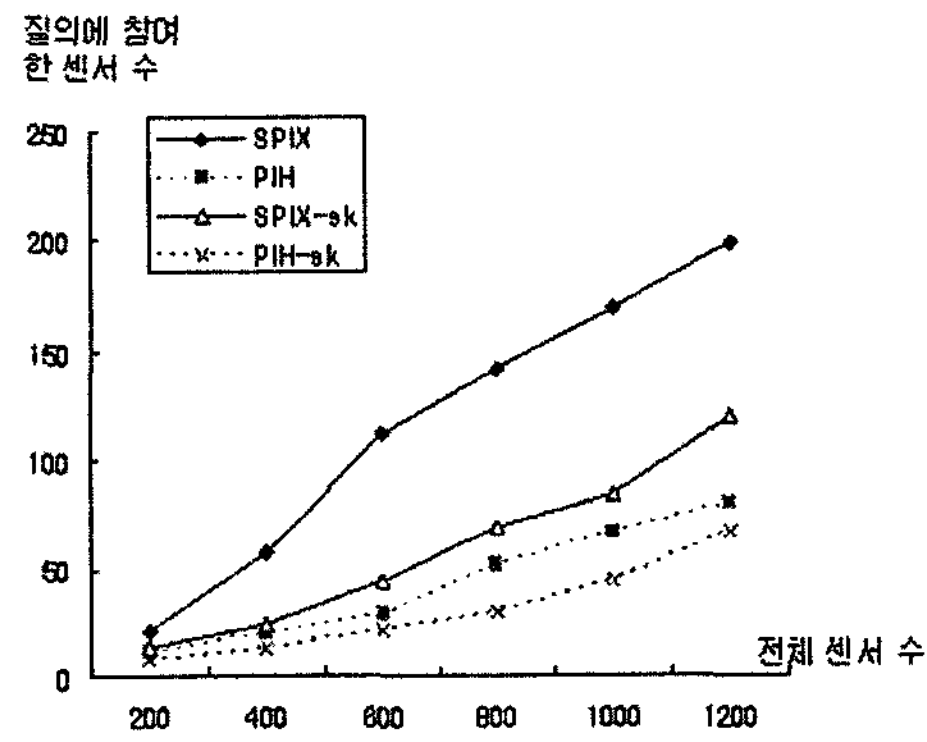
첫 두 실험에서는 제안하는 PIH 구조와 SPIX 구조에 대하여 센서의 개수 및 질의 영역의 크기를 변경하면서 질의처리를 위해 메시지를 전파한 센서의 개수를 측정하였다(응답을 위한 메시지는 고려하지 않았음). 실험 결과에서 '-sk'로 끝나는 것은 센서들의 분포가 불균등분포, 즉 일정 영역에 센서들이 밀집되게 분포한 경우를 의미한다.

먼저 그림 6에서 보여진 실험은 센서의 개수를 변화시키면서 참여하는 센서들의 개수, 즉 하나의 질의에 대하여 메시지를 전파해야하는 센서들의 개수를 측정하였다. 일반적으로 동일한 실험 영역에서 센서들의 개수가 증가한다는 것은 하나의 부모 노드에 여러 자손노드들이 존재할 수 있게 되며, 자연스럽게 각 부모노드의 MBA 값은 커지게 된다. MBA 값이 커진다는 것은 결국 질의 처리를 위해 메시지를 전파해야하는 센서의 개수가 증가하게 되는 이유가 된다. 하지만 하나의 질의 영역내에 위치한 센서들의 개수는 동일하므로, 중간 노

2) 물론 자신의 자식들이 이 질의에 답변을 제공할 가능성이 있다고 결정하는 것은 각 노드가 가진 정보에 의해 결정된다.



(a) 질의 영역 : 10 × 10



(b) 질의 영역 : 30 × 30

그림 6 센서의 개수에 따른 메시지의 수 비교 실험

드들이 유지하는 정보가 정확하면 정확할수록 불필요한 메시지의 전파를 막을 수 있다.

제안하는 PIH 구조는 각 노드가 자신의 자식의 위치 정보 및 그 자식의 모든 자손노드를 포함한 MBA 정보를 유지하도록 하고 있다. 따라서 질의 영역에 자신의 자식들이 포함되지 않을 경우를 SPIX 구조보다 미리 발견할 수 있다. 예를 들면 그림 6(a)에서 1000개의 센서가 균등분포된 상황에서 10x10 크기의 영역질의가 제출되면, SPIX 구조에서는 총 144개의 메시지가 전송되어야 영역내의 모든 센서들에게 질의가 전파된다. 이에 반해 PIH 구조는 단지 66개의 메시지만 전파되면 되므로 약 45%의 메시지만 필요로 한다. 그림에서 보면 센서들이 균등분포일 때에 비해 불균등분포할 때 메시지의 수가 적어지는 것을 알 수 있다. 실험에서 살펴보면 센서들이 불균등하게 분포가 되면 균등분포에 비해 하나의 부모노드 당 자식노드의 개수가 증가된다. 이에 반해 균등 분포에서는 각 노드마다 고른 수의 자식들을 가지게 되어서 자손들을 모두 포함하는 MBA가 싱크노드 가까이 갈수록 매우 커지게 되며, 이는 유지되는 정보의 부정확성을 높여서 불필요한 메시지를 양산시키는

이유가 된다.

그림 6(b)에서는 질의영역을 크게 하고 실험을 한 결과를 보여주고 있다. 질의 영역이 커진다는 것은 부모가 유지하는 자식노드들의 MBA와 겹쳐질 확률이 커지므로 자연스럽게 불필요한 메시지가 증가하게 된다. 그림 6(a)와 비교해볼 때 질의영역이 커지면 전체적으로 불필요한 메시지의 수가 증가했음을 알 수 있다. 예를 들면 SPIX 구조의 경우 센서의 개수가 1000개일 때, 질의 영역이 커짐에 따라 메시지 수가 18% 증가하는 결과를 보여준다. PIH 구조에서는 각 자식별로 MBA를 유지하도록 함으로써 MBA 크기가 SPIX에 비해 상당히 작았으며, 이는 결국 유지하는 정보의 정확성을 높이는 계기가 되었다.

두 번째 실험은 첫 번째 실험과 동일한 상황에서 질의영역의 크기가 미치는 영향을 보다 다양하게 실험하였다. X-축은 전체 영역(1000×1000)에 대한 질의영역의 크기 비율을 의미한다. 가령 0.01은 10×10 영역에 질의 처리를 의미한다. 전체적인 그래프는 이전과 동일하였지만, 한가지 특이한 점은 적은 수의 센서(=400)가 존재하는 그림 7(a)에서 SPIX 구조가 질의영역의 크기에 크게 영향을 받는다는 점이다. 이는 각 센서노드마다 자손노드의 개수가 적더라도 그 정보가 부정확할 경우 제안한 PIH 구조에 비해 그 민감도가 커진다는 것을 의미한다. 그림 6과 그림 7 실험에서 한가지 더 언급할 점은, 두 구조 모두 각 센서들이 유지하는 정보가 MBA를 기반으로 하므로 질의영역이 싱크노드로부터 멀어지면 멀어질수록 더 많은 부모노드들이 자신의 자식 노드에서 질의에 응답할 수 있을 것이라고 결정하고 질의메시지를 전파하게 된다.

즉 싱크노드와 가까운 노드일수록 자손노드에 대한 MBA가 부정확해지게 되며, 이는 결국 불필요한 메시지의 발생으로 이어지게 된다. 이를 줄이기 위해서는 각 노드에서 유지하는 정보가 보다 더 정확해져야 함을 의

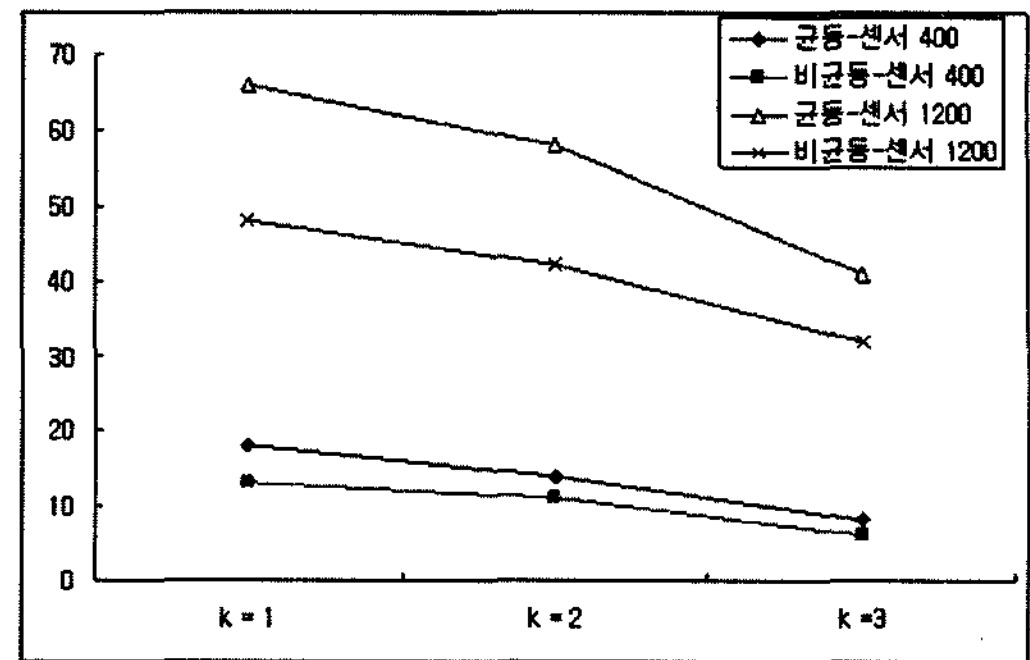
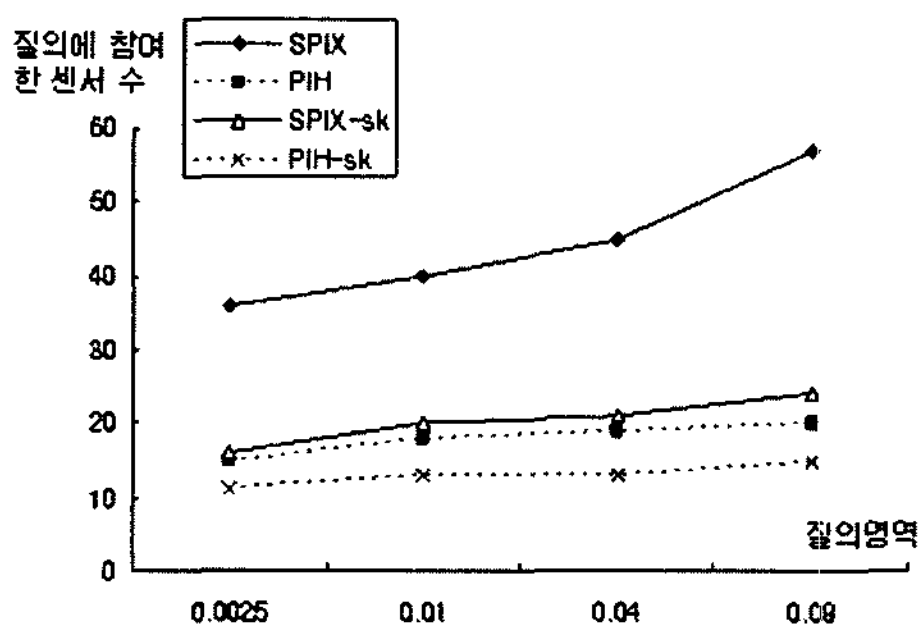


그림 8 PIH 구조에서 k 단계값의 변화에 따른 결과

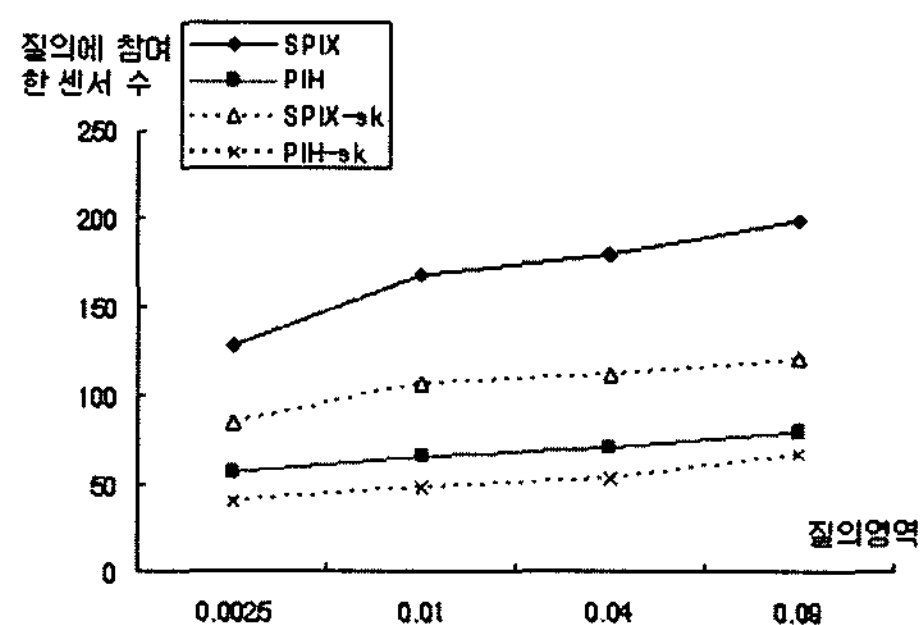
미하게 된다. 이를 위해 마지막 실험인 그림 8에서는 제안한 PIH 구조에서 유지해야 할 정보의 양을 다소 늘림으로써 정보의 정확성을 높이는 실험을 수행하였다. 즉 4.1절에서 언급하였듯이, 각 노드는 자신의 k-단계의 자식에 대한 위치 정보를 유지하도록 PIH 구조를 변경할 수 있다. 이렇게 될 경우 PIH 구조를 생성하는 단계에서 부모에게 전파해야 할 정보의 크기가 커지게 된다. 또한 각 노드는 유지해야 할 정보가 k=1일 때에 비해 상대적으로 많아진다. 이에 반해 유지하는 정보의 정확성은 그림 8과 같이 상당히 커졌음을 알 수 있다. 가령 1000개의 센서가 균등분포하는 상황에서, k=3이 되면 k=1인 경우에 비해 62%의 메시지만 전파되게 되므로 정확도를 상당히 증가시킬 수 있게 된다. 결국 센서 네트워크가 운용되는 환경의 특성을 고려하여 이 값을 적절하게 조절하여야 함을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 과제

기술의 발전과 함께 응용범위가 넓어지고 있는 센서 네트워크는 이전의 다른 시스템 환경과 다른 여러 제약 조건을 가지고 있다. 그 중에서 에너지의 제약조건은 많은 연구에서 고려되고 있다. 본 연구에서는 에너지 소모



(a) 질의 영역 : 10 × 10



(b) 질의 영역 : 30 × 30

그림 7 질의영역의 크기 변화에 따라 메시지의 수 비교 실험

에서 큰 영향을 차지하는 전파 메시지의 수를 줄이기 위한 PIH 구조를 제안하였다. 이 구조는 부모와 자식 관계를 이용하여 필요한 정보를 분산관리하는 기법이다. 특히 부모는 자식 노드 및 그 자손노드에 대한 MBA 정보를 이용하여 유지해야 할 정보의 양을 적게 하면서도 정보의 정확성을 높일 수 있었음을 실험을 통하여 보여주었다. 또한 노드에게 유지하는 정보의 양을 크게 하도록 PIH 기법을 확장할 경우에는 그 정확성이 더 커짐을 알 수 있었다.

하지만 제안 기법 역시 MBA라고 하는 영역정보를 각 센서들이 유지하도록 한다. 따라서 그 영역의 크기가 커진다는 것은 관련없는 영역 정보가 포함되는 것을 의미하여, 이는 영역질의로 인하여 불필요한 메시지가 발생할 수 있음을 의미한다. 4.1절에서 제안하는 방식처럼 각 노드가 유지하는 k-단계의 자식 정보에서 k 값을 크게 한다면 MBA 영역정보의 정확성은 개선되지만, 각 센서가 유지해야 할 정보의 양 역시 커지게 된다. 이는 동적인 상황, 즉 빈번하게 센서 노드 자체의 정보가 갱신되는 경우에는 큰 부하가 될 수 있다. 따라서 향후에는 이러한 제한점을 극복할 수 있도록 제안 기법을 확장하고자 한다.

또한 센서 네트워크에서 질의가 싱크노드를 통해 전파되는 중앙집중 방식이 아니라 분산방식으로 처리할 수 있도록 확장할 수 있는 기법도 찾아야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 102-114, 2002.

[2] 채동현, 한규호, 임경수, 안순신, "센서 네트워크의 개요 및 기술동향", *정보과학회지 제22권 12호*, pp. 5-12, 2004.

[3] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J. Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring," *ACM Int'l Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp. 88-97, 2002.

[4] A. Gutmann, "R-Trees - A dynamic index structure for Spatial Searching", *ACM SIGMOD*, pp. 47-57, 1984.

[5] G. Pottie and W. Kaiser, "Wireless Integrated network sensors," *Communications of the ACM*, vol. 43, no. 5, pp. 51-58, 2000.

[6] W.R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *In Proc. of ACM MobiCom*, pp. 174-185, 1999.

[7] S. Madden, M.J. Franklin, and J.M. Hellerstein, "The Design of an Acquisitional Query Processor For Sensor Networks," *ACM SIGMOD*, pp. 491-

502, 2003.

[8] S. Madden, M.J. Franklin, J.M. Hellerstein, and W. Hong, "Tag: A Tiny Aggregation Service for ad-hoc Sensor Networks," *In Proc. of OSDI*, 2002.

[9] A. Deligiannakis, Y. Kotidis, and N. Roussopoulos, "Hierarchical in Network Data Aggregation with Quality Guarantees," *In Proc. of EDBT*, pp. 658-675, 2004.

[10] M. Demirbas and H. Ferhatosmanoglu. "Peer-to-Peer Spatial Queries in Sensor Networks," *IEEE Int'l Conf. on Peer-to-Peer Computing*, pp. 32-39, 2003.

[11] A. Soheile, V. Kalogeraki, and D. Gunopulos, "Spatial Queries in Sensor Networks," *ACM Symp. on Advances in Geographic Information Systems (GIS)*, pp. 61-70, 2005.

[12] M.H. Ali, W.G. Aref, and C. Nita-Rotaru, "SPASS: Scalable and Energy-efficient Data Acquisition in Sensor Databases," *ACM Workshop on Data Engineering for Wireless and Mobile Access (MobiDE)*, pp. 81-88, 2005.

[13] R. Friedman and G.Tchary, "Evaluating Failure Detection in Mobile Ad-Hoc Networks," *Int'l Journal of Wireless and Mobile Computing*, Vol. 1, no. 8, 2005.

[14] M. Elhadef and A. Boukerche, "A Failure Detection Service for Large-Scale Dependable Wireless Ad-hoc and Sensor Networks," *In Int'l Conf. on Availability, Reliability and Security(ARES)*, pp. 182-189, 2007.



김 성 석

1997년 2월 고려대학교 컴퓨터학과 졸업 (학사). 1999년 2월 및 2003년 2월, 고려대학교 컴퓨터학과 각각 석사 및 박사 졸업. 2001년 3월~2003년 2월 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 겸임교수. 2003년~현재 서경대학교 전자상거래학과 조교수. 관심분야는 분산 트랜잭션 처리, 이동 데이터베이스, 센서 환경에서 데이터 처리



양 순 옥

2002년 2월 고려대학교 대학원 컴퓨터학과(이학석사). 2006년 2월 고려대학교 대학원 컴퓨터학과(이학박사). 2006년 3월~2008년 2월 고려대학교 공과대학 정보통신연구소 연구교수. 2008년 3월~현재 연세대학교 공과대학 BK 21 TMS 정보기술사업단 연구교수. 관심분야는 차세대 이동 네트워크 및 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서의 사용자의 이동성 관리, QoS, 보안, 고성능 컴퓨팅 등임