

다중 질의 색인기법과 무선 센서를 이용한 환경정보 모니터링 시스템 구현

김 정 이*, 이 강 호**

Implementation of Environmental Information Monitoring System using Multi-Query Indexing Technique and Wireless Sensor

Jung-Yee Kim*, Kang-Ho Lee**

요 약

무선 센서 네트워크 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심 분야로서, 그 활용도가 다양해 이와 관련된 많은 연구 개발이 이루어지고 있다. 무선 센서 네트워크는 매우 작은 크기의 독립된 무선 센서들을 물리적 공간에 배치하여 주위의 온도, 빛, 가속도 등의 정보를 무선으로 감지, 관리할 수 있는 기술이다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 지속적 환경 데이터 처리의 효율성 및 다중 질의 처리 성능을 높이기 위해 공간색인 기법을 이용한 다중 질의 색인 처리를 제안, 구현하였다. 다중 질의 색인 시스템은 미리 정의된 다중 질의를 이용하여 색인 구조를 생성하고, 센서 네트워크에서의 센서 데이터를 입력으로 받아서 생성된 색인 구조를 통해 센서 데이터가 해당되는 질의를 출력해 주는 시스템이다. 시스템 구축을 위한 무선 센서 노드로서 Mote 플랫폼 중에서 MICAz와 운영체제인 TinyOS를 이용하여 환경 정보를 탐지하고 다중 질의 색인 처리하였다.

Abstract

Wireless Sensor Network(WSN) is considered as a core technology necessary for Ubiquitous computing, with its numerous possible applications in many practical areas, is being researched and studied actively by many around the world. WSN utilizes wireless sensors spatially placed to gather information regarding temperature, light condition, motion and change in speed of the objects within their surrounding environment. This paper implements an environmental information monitoring and indexing system based on spatial indexing technique by constructing a WSN system. This Multi-Query Indexing Technique coupled with wireless sensors provides an output based on the pre-defined built-in data index and new input from the sensors. If environment data is occurred, system have to perform a proper action after collecting and analyzing this data. This is the purpose of implementing environment data monitoring system. We constructed environmental application using TinyOS and built tested with MICAz sensor boards. We designed and implemented a monitoring system which detects and multi-indexing process environmental data from distributed sensors.

▶ Keyword : Sensor Network, Wireless Sensor, Multi-Query, Spatio-Temporal Indexing

• 제1저자 : 김정이 • 교신저자 : 이강호

• 접수일 : 2007.11.9, 심사일 : 2007.11.11, 심사완료일 : 2007.11.11.

* 동명대학교 항만물류학부 전임강사 ** 한국재활복지대학 정보보안과 교수

I. 서론

최근, 무선 통신 기술과 하드웨어의 소형화 기술의 발전으로 가볍고, 저전력을 사용하는 저가격의 무선 센서 개발이 가능하게 되었고, 무선으로 상호 통신하며 정보를 주고 받을 수 있는 다수의 센서 노드들을 물리적 환경에 센서를 배치시켜 필요한 정보를 얻는 무선 센서 네트워크의 구성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(1,2). 무선 센서 네트워크에 사용되는 센서는 지능형 센서(smart sensor)라 불리는 데, 제약된 자원을 가진 작은 하드웨어 안에 CPU와 통신 및 센싱 기능을 모두 가지고 있다. 즉, 자율적 컴퓨팅 단말 기능의 수행이 가능한 장치인 것이다. 무선 센서 네트워크는 일정한 센싱 지역(sensing area)에 분산되어 빛, 소리, 온도, 움직임 등의 물리적인 데이터를 감지하고 측정하여 수집한 센싱 데이터를 원거리에 존재하는 수집 노드(sink node)에게 애드혹(ad-hoc)통신을 기반으로 전달하는 초소형 센서 노드들로 구성되는 네트워크로 이 기술은 환경 감시, 생태 조사, 교통 정보, 농업 생산, 건축물 관리, 생산물 유통 등 그 응용 분야가 매우 다양하다(2,3).

센서 네트워크에서 사용자는 자신들이 원하는 정보를 요구하는 질의를 보내어 결과를 얻는다. 사용자가 많거나 한 사용자가 여러 질의를 보내게 되는 경우, 센서 네트워크에서는 여러 질의를 처리해야 하기 때문에 많은 양의 연속적인 데이터와 질의 처리 방법에 따라 에너지의 효율성이 달라질 수 있다. 따라서 센서 네트워크 환경에서의 다중 질의를 처리하는 방법을 연구할 필요가 있다.

본 논문에서는 환경 정보의 모니터링을 목적으로, 미리 정의된 다중 질의를 효율적으로 처리하는 방법을 제시하고 구현하였다. 환경 정보 모니터링 목적의 질의는 사용자가 요구하는 내용이 유사하거나 동일할 가능성이 많다. 이러한 질의들에 색인을 두어 센서 네트워크에서 전달되는 환경 정보가 해당되는 질의로 보다 빠르게 찾을 수 있게 하고자 한다. 이를 위해, 색인 기법 중에서 간격 스킵 리스트와 k-d 트리를 적용한 다중 질의 색인 구조를 구현하였다.

본 논문의 2장에서는 관련연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 다중 질의 성능 개선을 위한 색인 기법을 제시한다. 4장에서는 제시된 기법을 구현, 그 성능을 선형적인 질의 처리방법과 비교하여 성능을 평가한 후, 5장에서 결론을 보인다.

II. 관련 연구

2.1 WSN의 환경정보 모니터링

무선 센서 네트워크는 매우 작은 크기의 독립된 무선 센서들을 건물, 산림, 도로, 인체 등의 물리적 공간에 배치하여 주위의 온도, 조도, 습도, 가속도, 기울기 등의 정보를 무선으로 실시간 감지 및 관리할 수 있는 기술이다(4).

수집될 데이터의 양이 적고, 지속적인 모니터링이 필요하고, 일정한 간격으로 특정 지역에서 발생하는 상황을 감지하는 환경 정보 모니터링 시스템은 기존 유선 통신을 이용한 환경 감시보다는 유비쿼터스 센서 네트워크 기반에서 무선 노드의 센싱 기술을 이용하는 것이 효율적이다(5).

무선 환경정보 모니터링의 한 예로, 지하철역이나 각종 대형의 공공시설물 등에 설치되어 센서 네트워크를 통해 신속하게 화재 발생 또는 가스 누출을 경고함과 동시에 화재 발생 지점 근처의 일정한 장소에 설치된 지능형 화재 대피 휴대용 조명 등 세트의 위치를 주위 사람에게 알림으로써 신속한 대피 및 가스 제거와 함께 자체 초기 화재 진압 활동을 할 수 있게 하는 센서 네트워크 기반의 화재 감지 휴대 조명 시스템을 제안되었다(6). 터널 모니터링 시스템에서는 터널 내부의 화재, 침수, 진동, 출입자 통행 감지를 위해서 감지 센서를 설치하여 관측되는 정보를 근거리 통신 모듈을 이용하여 게이트웨이로 전달한다. 코드 분할 다중접속 방식을 사용, 서버와 통신을 하고 웹서비스 기술에 의해 터널의 상태를 언제 어디서나 24시간 감시할 수 있다. 무선 센서를 통해 이 방법은 기존의 유선방식보다 효과적으로 터널 내부 상태를 모니터링 할 수 있다(7).

2.2 공간 색인 기법

색인 기법은 방대한 양의 데이터를 효율적으로 검색하기 위한 중요한 구성 요소이다. 공간 색인 기법은 공간 데이터를 처리하거나 효율적인 검색 기능을 제공하기 위한 색인 기법이다.

k-d 트리(8)는 k차원 공간의 점들을 이용하여 공간을 분할하는 이진 트리 기반의 데이터 구조이다. k-d 트리의 각 노드들은 자식 노드 또는 null 값을 가리키는 두 개의 포인터 값을 가지고 있으며, 단말 노드에 데이터를 저장하고 있다. k-d 트리는 검색을 위한 탐색 공간을 줄이는 효과가 있어 탐색해야 할 데이터의 양을 감소시켜 탐색 성능을

향상시키는 장점을 갖고 있다. (그림 1)은 2차원 공간 데이터가 저장된 2-d 트리의 예이다.

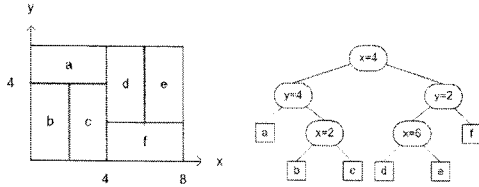


그림 1. 2-d-tree의 예
Fig. 1. Example of 2-d-tree

R-tree(9)은 대표적인 공간 색인으로서 공간 객체를 최소 경계 사각형(MBR : Minimum Bounding Rectangle)을 사용하여 표현하고 저장하는 균형 트리 구조의 색인으로서 B-tree에 대해서 n차원으로 확장한 모델이다. (그림 2)는 19개의 2차원 MBR을 가진 R-tree를 보여주고 있다. R-tree는 공간 객체를 색인에 삽입 시에 최소 영역 확장 정책을 사용하여 노드를 선택하며, 노드 오버플로우가 발생시에는 분할되는 노드가 최소 영역을 갖도록 분할한다. 그러나, R-tree는 노드 간의 중첩이 심하고, 많은 사각 공간(dead space)을 가지고 있어 새로운 삽입 및 분할 정책을 사용한 R*-tree가 제안되었다.

R*-tree(10)는 R-tree의 변형으로서 삽입시 영역만을 고려하는 단점을 보완하기 위하여 단말 노드를 선택할 때 R-tree와는 달리 최소 중첩 확장 정책을 사용하며, 노드 분할시 둘레와 중첩을 고려한 새로운 분할 정책을 제안하였다. 또한, 사각 공간을 최소화하기 위한 재삽입 전략을 제안하였다. 그러나 R*-tree의 분할 알고리즘을 사용하더라도 노드간의 중첩이 심하다는 문제가 있다.

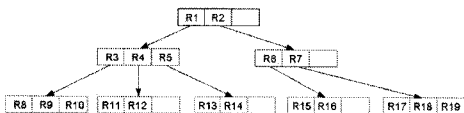
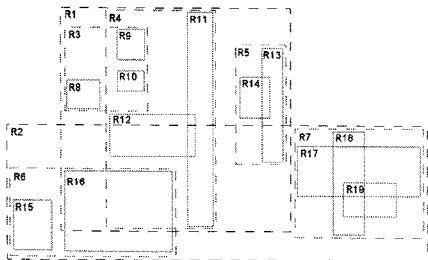


그림 2. R-tree의 예
Fig. 2. Example of R-tree

R+-tree(11)은 절단-기반(clipping-based) 방법을 사용하여 노드간의 중복을 허용하지 않는 색인구조로서 점 질의(point query) 성능이 우수하다. 그러나 절단으로 인하여 CPU 비용이 증가하고 색인의 크기가 증가하는 문제점 때문에 R*-tree보다 영역 질의의 성능이 나쁘다는 결과가 제시되기도 하였다.

2.3 간격 스킵 리스트

질의가 어떤 간격에 포함되는지를 확인하는 방법으로 가장 쉽게 생각할 수 있는 방법은 모든 간격을 리스트에 저장하여 리스트를 순차적으로 확인하여 질의가 포함되는지를 확인하는 것이다. 이보다 더 효율적인 방법들 중에 간격 스킵 리스트가 있다.

간격 스킵 리스트(Interval Skip List)[12]는 질의 중 결과 값이 점으로 나타내어지는 질의를 포함할 수 있는 모든 간격을 찾기 위한 데이터 구조이다. 스킵 리스트는 연결 리스트와 유사하나 리스트의 각각의 노드가 하나 이상의 포인터를 갖는다는 점이 다르다. 스킵 리스트에서 값은 오름차순으로 구성된다. 레벨 I에 있는 한 노드의 포인터는 다음 레벨 I인 노드를 가리키거나, I-1레벨의 다른 포인터를 가리킬 수 있다. (그림 3)은 스킵 리스트의 예로서, 모든 범위의 끝점을 스킵 리스트의 노드에 저장하여 구성한 것이다.

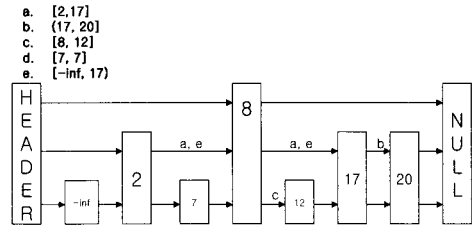


그림 3. 간격 스킵 리스트의 예
Fig. 3. Example of Interval Skip List

스킵 리스트의 검색은 리스트 안의 노드의 최대 레벨 I가 있는 헤더에서 탐색키를 가지고 시작한다. 레벨 I의 노드가 가리키는 값 y가 탐색키 K보다 크거나 같으면 I는 I-1이 되고, 그렇지 않으면 y의 다음 노드 키가 탐색키 K와 같을 때까지 반복하여 검색을 수행한다.

III. 시스템 설계

연속으로 발생하는 센서 데이터 처리를 위해 본 논문에서 제안하는 기법은 다음과 같다. k-d 트리처럼 정의된 질의를 분석하여, 질의에 사용된 속성의 빈도와 속성의 수를 이용한 트리를 생성한다. 이는, 속성을 계층적으로 배치하여 겹침 관계를 최소화하고 여러 개의 속성이 사용된 질의에 대한 처리를 원활하게 한다. 생성된 트리를 통해서 분할된 데이터들은 각각의 영역 안에 비슷한 값을 지닌 값들끼리 모여지게 되는데, 이 안에서 해당하는 질의를 찾을 때 사용되는 구조는 간격 스킵 리스트 구조를 사용하였다. (그림 4)는 제안한 색인기법에서 사용되는 트리노드와 간격 스킵 리스트의 데이터 항목, 생성될 색인 구조의 일부분이다. 질의에서 가장 높은 빈도의 light 속성을 루트로 한 트리를 생성하되, 루트로 사용되는 값은 k-d 트리처럼 사용된 속성값의 중간값을 사용하여 적절한 데이터의 분배가 가능하게 하였다. 다음 레벨의 노드들도 빈도순으로 트리에 추가된다. 트리 노드의 Left_ISL과 Right_ISL은 해당 노드의 조건에 따라 분기되어 조회될 간격 스킵 리스트의 주소이다. 즉, 조도가 30 미만이 데이터의 경우는 Left_ISL로 이동하여 해당 간격 스킵 리스트를 탐색, 조건을 만족하는 질의 목록을 출력하게 하였다. 대부분의 색인 구조들이 관계 연산자를 색인 구조에 포함하지만, 본 시스템에서는 간격 스킵 리스트의 Region Query_list와 Point Query_list를 이용하여 관계 연산을 저장하지 않고도 같은 결과를 얻을 수 있도록 하였다. 즉, value가 25라면, 관련 속성값은 25인 경우의 질의 목록은 Point Query_list에, 25보다 작은 값인 경우의 질의 목록은 Region Query_list에 보관하도록 설계하였다.

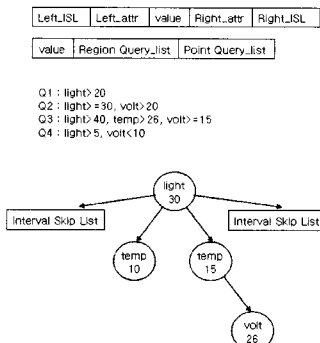


그림 4. 노드와 다중 질의 색인 구조
Fig. 4. Node and Multi-Query index Structure

IV. 구현 및 성능 평가

4.1 시스템 구현

다중 질의 처리를 위해 본 연구에서는 TinyOS 기반의 NesC를 통해 데이터를 수집하고 VC++를 이용하여 색인 구조를 구현하였다. (그림 5)는 TinyDB에서 수집을 원하는 데이터 항목을 선택하여, 1분을 간격으로 데이터를 수집하도록 질의를 설정하고, 그 결과 값을 그래프로 보여주는 실행화면이다.

색인 구조는 미리 정의된 질의를 입력받아 생성되어지며, 수집된 데이터는 생성된 트리를 따라가며 탐색을 한다. 데이터가 질의 조건을 만족시키는 경우 해당 질의 번호를 결과 값으로 출력해주게 된다. (그림 6)은 1개의 센서 데이터가 색인 구조의 탐색을 통해 만족하는 질의의 목록을 출력한 실행화면이다.

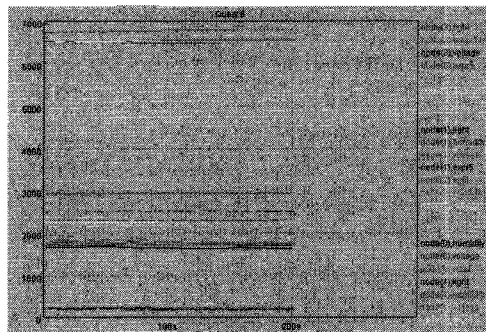
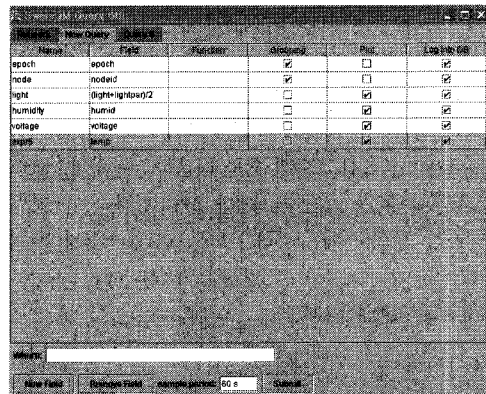


그림 5. TinyDB 질의 결과
Fig. 5. Result of Query to TinyDB

```

*****
** Multi-Query index Search **
*****
nodeID : 2 light : 514 temp : 6670 volt : 2548

Result Query : 1
Result Query : 2
Result Query : 3
Result Query : 5
Result Query : 17
Result Query : 9
Result Query : 10
    
```

그림 6. 센서 데이터 질의 결과
Fig. 6. Query Result of Sensor Data

4.2 성능 평가 결과

성능 평가를 위해 17개의 질의를 미리 정의하여 색인 구조를 만들어 두고, TinyDB 환경에서 수집한 데이터 8000개를 2000개씩 나누어 4번에 걸쳐 성능 테스트를 하였다. 비교를 위해 순차적으로 다중 질의를 탐색할 경우와 제안된 색인 구조를 이용한 탐색을 동일한 조건에서 수행하였고, 센서 데이터 값이 질의 조건을 만족하는 질의를 모두 찾는데 소요되는 시간을 누적하여 성능을 비교 평가하였다. (그림 7)은 쿼리를 수행한 후 누적된 탐색 시간과 처리 레코드 수를 보여주는 결과화면이고, <표 1>은 (그림 7)과 같이 수행한 결과를 처리 데이터 수에 따라 정리한 성능 평가 수행 결과이다. 소요시간은 센서 데이터 하나가 해당하는 모든 질의를 탐색할 때 소요된 시간으로 단위는 ms이다.

```

*****
** Linear Search **
*****
nodeID : 0 light : 236 temp : 6884 volt : 2942

Result Query : 2
Result Query : 3
Result Query : 5
Result Query : 9
Result Query : 17

총 누적 센서 데이터의 수 = 8000
총 누적 경과 시간은 : 84015

*****
** Multi-Query index Search **
*****
nodeID : 0 light : 236 temp : 1560 volt : 2942

Result Query : 2
Result Query : 3
Result Query : 6
Result Query : 7
Result Query : 9

총 누적 센서 데이터의 수 = 8000
총 누적 경과 시간은 : 50417
    
```

그림 7. 성능 평가 결과
Fig. 7. Result of Performance Test

표 1. 성능평가 결과
Table 1. Result of Performance Test

센서 데이터 수	소요시간	
	순차탐색	색인 탐색
2000	26252	16158
4000	48765	28856
6000	71077	40282
8000	84015	50417

순차탐색과 제안 색인 구조를 이용하여 탐색할 경우 장시간 누적한 결과를 보면 색인 구조를 이용한 것이 소요시간이 적게 드는 것을 알 수 있다. 또한 센서 데이터의 수가 많을수록 시간차이가 점차 많이 생기는 것을 알 수 있다. 이는 모든 질의 조건을 탐색할 필요 없이 색인에서 사용된 트리의 높이만큼만 검색하여 불필요한 검색의 수를 줄임으로서 성능이 향상된 것으로 볼 수 있다.

V. 결 론

센서 네트워크에서 무수한 센서들의 통신으로 이루어진 네트워크로 주로 모니터링 시스템에 사용되어진다. 이러한 센서 네트워크는 배터리 기반의 전원과 소형 장치 제약성, 제한된 메모리를 고려하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 센서 네트워크의 특성을 고려하여 다중 질의를 효율적으로 처리할 수 있는 방법으로 다중 질의 색인 기법을 제안하고 구현하였다.

모니터링 시스템에 미리 정의된 다중 질의를 간격 스킵 리스트와 k-d-tree를 이용한 새로운 색인 구조를 제안하여 센서 네트워크의 데이터를 보다 효율적으로 빠르게 해당 질의를 탐색할 수 있도록 연구하였다. 이를 통해 순차적인 질의 처리 속도에 비해 제안 색인 구조를 이용할 때 데이터의 처리 속도가 향상되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 모니터링 조건이 많은 시스템일수록 색인 구조 사용할 필요가 있다.

향후에는, 미리 정의된 질의 외에 질의가 업데이트될 때, 이를 색인 구조에 반영할 수 있는 방법과 해당 색인 구조를 센서에서 바로 처리할 수 있는 방법에 대해 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] Vijay Anand Sai Ponduru Archana Bharathidsan. Sensor network: An overview. Technical report, University of California, Davis.

[2] M. Tubaishat, S. Madria. Sensor Networks : An Overview. IEEE Potentials, April/May 2003.

[3] 김기형, 정원도, 박준성, 서현곤, 박승민, 김홍남, "IEEE802.15.4기반의 유비쿼터스센서네트워크기술", 전자공학회지, 제31권 12호, pp. 1582-1591

[4] Tarik Arici, Yucl Altunbasak, "Adaptive Sensing for Environment Monitoring Wireless Sensor Networks" in IEEE Communications Society, 2004

[5] 이기욱, 성장규, "유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 상황 정보 모니터링 시스템 구현", 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제11권, 제5호, pp259-265, 2006.

[6] 김성호, 육의수, "무선 센서 네트워크 기반 지능형 화재 감지/경고 시스템 설계", 퍼지및지능시스템학회논문지, 17권, 제3호, pp310-315, 2007.

[7] 김형우, 한진우, "무선 센서 네트워크를 이용한 터널 모니터링 시스템", 한국정보통신설비학회학술대회논문지, pp91-94, 2006.

[8] Bentley, J. L. "Multidimensional binary search trees used for associative searching", Commun, ACM 1975

[9] A. Guttman, "R-trees: A Dynamic index structure for spatial searching", ACM SIGMOD Conference, p47-54, 1984.

[10] N. Beckmann and H. P. Kriegel, "The R*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles", In Proc. ACM SIGMOD, p323-331, 1990.

[11] T. K. Sellis, N. Roussopoulos and C. Faloutsos, "The R+-tree: A Dynamic Index for Multi-Dimensional Objects", Proceedings of the 13th VLDB Conference, p 507-518, 1987.

[12] Eric N. Hanson, Theodore Johnson. "The Interval Skip List: A Data Structure for

Finding All Intervals That Overlap a Point", In Workshop on Algorithms and Data Structures(WADS), pp. 153-164, 1991.

저자소개



김정어

1990년 경성대학교 전산통계(이학사)
 1994년 경성대학교대학원 전산통계학과(이학석사)
 2005년 부산대학교 지형정보협동과정 박사과정 수료
 2001년~2006년 2월 동명대학 컴퓨터정보처리과 교수
 2006년 3월~현재 동명대학교 항만물류학부 교수



이강호

1986년 중앙대학교 전자공학과 공학석사
 1991년 중앙대학교 전자공학과 공학박사
 1990년~2000년 대덕대학 사무자동화과 교수
 2000년~2003년 송호대학 정보산업계열 교수
 2003년~현재 국립한국재활복지대학 정보보안과 교수 <관심분야> 정보보안, 디지털 영상처리