

센서네트워크에서 이동 센서노드를 위한 색인 및 질의처리+

Indexing and Query Processing for Moving Sensor Nodes in Sensor Networks

김영진*, 장재우

Young-Jin Kim, Jae-Woo Chang

전북대학교 전자정보공학부

{yzkim, jwchang}@chonbuk.ac.kr

요 약

최근 유비쿼터스 환경을 실현하는 기술로서 사물 및 환경 정보를 센싱하여 필요한 정보를 수집 및 분석, 처리하는 센서네트워크 기술에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히, 최근 국내에서는 u-City와 u-Port 사업 등, 범국가적인 차원의 도입을 통해 환경 정보 모니터링, 홈 자동화, 자산 물류 응용 등의 다양한 센서네트워크를 이용한 서비스가 등장하였다. 이러한 기존의 응용서비스는 모든 센서노드가 고정되어 있는 환경에서 응용 대상의 데이터를 수집하는 서비스가 대부분이다. 그러나 동물의 생태 모니터링 등의 응용을 위해서는 센서를 움직이는 대상에 부착하여 이동하는 센서노드로부터 효율적으로 데이터를 수집하기 위한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 이동하는 센서로부터 효율적으로 데이터를 수집하기 위하여 이동노드 색인 기법을 설계한다. 아울러 제안하는 색인 기법을 위한 영역질의 처리 알고리즘을 제시한다.

1. 서 론

현재 유무선 통신 기술의 발전 및 모바일 정보기기의 보편화에 힘입어, 시간과 장소에 제약 없이 서비스를 제공할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 각광받고 있다. 특히 유비쿼터스 컴퓨팅 환경 구현을 위한 기반구조로서 유비쿼터스 센서네트워크(USN) 기술 개발에 대한 관심이 크게 고조되고 있다. 이에 정부는 2005년부터 다양한 유비쿼터스 센서 네트워크 응용 서비스 모델의 발굴 및 이에 대한 현장 적용을 위한 'USN 현장시험'을 추진하여, u-해양, u-건축, u-병원, u-농촌, u-환경, u-시설물관리, u-문화재, u-기상 등 약 10건의 과제에 대한 현장시험을 실시하였다[1]. 대표적인 센서 네트워크 응용 서비스는 (주)에스원에서는 불국사 문화재 관리 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 불국사 및 소장 국보급 문화재 보호를 위

+ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

해 USN 기술을 이용하여 필요한 정보를 실시간 수집·분석함으로써 화재 및 손상 유무(부식, 균열)를 사전에 파악하고 예방한다. (주)옥타컴에서는 센서 네트워크를 이용한 공공장소 환경 모니터링 시스템을 개발하였다. USN 기술을 이용한 온·습도, 미세먼지, CO센서를 설치하여 지하철 역 내 위험요소를 실시간으로 감지하며 또한 위 센서들을 통해 지하철 이용자들에게 쾌적한 환경을 위한 공기 정화기능을 제공한다. 대구디지털산업진흥원(DIP)과 대구 지역기업은 위험관제시스템 (RCS-Risk Control System)을 합동으로 구축하였다. 이 시스템은 차량위치추적(GPS), 전자태그(RFID), USN 기술을 적용한 위험차량에 대한 관리 시스템이다. 차량에 붙여진 위험물 수송차량 관리용 모바일 단말을 통해 위치파악은 물론, 속도, 충돌, 차량전복 상황에 대한 파악이 가능하다. 이 시스템은 대구월드컵경기장 주변에 센서네트워크를 구축, 2011년 세계육상선수권대회의

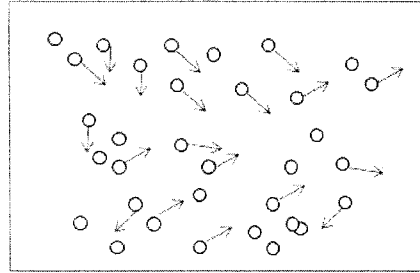
안전관리를 위한 테스트도 마쳐 연내에 상용화될 예정이다.

이러한 대부분의 센서네트워크를 이용한 응용서비스들은 사전에 센서들의 위치를 고정시켜 응용 대상으로부터 데이터를 수집하여 응용서비스를 지원한다. 따라서 응용의 대상이 구축되어 있는 센서네트워크를 통과하는 경우의 서비스로만 제한되며, 이는 유비쿼터스 센서네트워크의 “언제 어디서나”의 특성을 충분히 만족시키지 못한다. 따라서 센서노드의 위치가 고정되어 있지 않고 사람이나 동물 또는 차량에 센서를 부착하여 이동하는 센서노드로부터 응용 대상의 데이터를 수집하는 위치 추적이나 상태 모니터링과 같은 응용 서비스를 위한 지원이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 이동하는 센서노드로부터 효율적으로 데이터를 수집하기 위하여 이동노드 색인기법을 설계한다. 아울러 제안하는 색인구조를 위한 영역질의 처리 알고리즘을 제시한다.

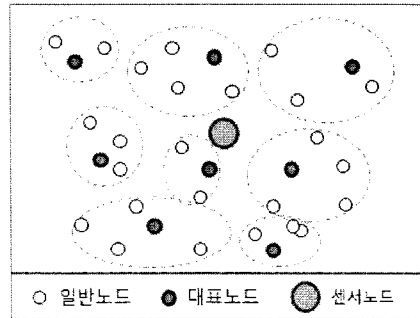
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동 센서노드의 색인 구조 기법을 설계하고, 3장에서는 이동 센서노드의 색인 구조 기법을 이용한 영역질의 처리 알고리즘을 제시한다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 이동 센서노드의 색인 구조

본 절에서는 센서노드의 위치가 고정되어 있지 않고 사람이나 동물 또는 차량에 센서를 부착하여 이동하는 센서노드로부터 응용 대상의 데이터를 수집하여 위치 추적이나 상태 모니터링과 같은 응용 서비스를 위한 이동 센서노드 색인기법을 설계한다. 그림 1(a)는 이동하는 객체에 부착된 센서들이 이동하는 모습을 나타낸다. 그림 1(b)는 이동하는 센서노드의 색인을 나타낸다.



(a) 이동 센서노드



(b) 이동 센서노드의 색인

그림 1. 이동 센서노드의 색인구조

이동 센서노드의 색인은 데이터 수집의 대상이 되는 일반노드, 일반노드들의 지역적 대표로서 해당 지역의 데이터를 수집 및 전송 기능을 하는 대표노드, 마지막으로 최종적으로 집합된 데이터가 전송될 싱크노드로 구성된다. 이동 센서노드의 색인 순서는 다음과 같다. 첫째, 지역적 클러스터 구성이다. 센서노드는 이동하는 대상에 부착되어 여러 위치에 분포된다. 무작위로 흩어져 있는 센서노드의 데이터를 수집할 때, 저 전력의 센서노드로 인해 센서 데이터를 수집하는 지역적 단위인 클러스터 구성은 필수적이다. 따라서 센서노드의 지역적 분포를 통해서 클러스터를 구성하여 데이터를 수집 및 전송의 기능을 수행한다. 둘째, 대표노드 선출이다. 여러 클러스터가 구성될 때, 여러 센서노드들 중 각 클러스터의 대표노드를 선출한다. 선출된 대표노드는 클러스터 내의 센서노드로부터 데이터를 수집하고 싱크노드까지 이웃 클러스터의 대표노드를 통해서 집합된 데이터를 싱크노드까지 전송한다. 또한 이동 센서노드의

특징으로서 현재 클러스터로 부터의 삭제 및 이웃 클러스터로의 삽입이 발생한다. 이러한 경우에 클러스터를 재구성 하고 새로운 대표노드를 선출한다. 마지막은 라우팅 트리의 구축이다. 라우팅 트리는 싱크노드로부터 대표노드까지 질의를 전송 또는 대표노드부터 싱크노드까지 수집된 데이터의 전송을 위한 라우팅 방법이다. 라우팅 트리의 구축을 통해 여러 질의를 효율적으로 수행할 수 있다.

2.1. 클러스터 구성

무작위로 흩어져 있는 센서노드의 데이터를 수집할 때, 저 전력 및 전송 거리 제한의 특징을 가지는 센서노드로 인해 센서 데이터를 수집하는 지역적 단위인 클러스터 구성은 필수적이다. 클러스터의 구성은 초기 클러스터링과 클러스터 멤버의 보통 노드 구성 변화로 인한 클러스터링 재구성으로 나누어진다. 또한, 각 클러스터는 대표노드로부터 가까운 k개의 멤버노드를 유지하며, 최대 MAX_K 개의 노드 및 최소 MIN_K개의 노드를 유지한다. 첫째, 초기 클러스터링은 센서노드가 삽입되면서 전체 보통 센서노드들이 센싱 범위 이내에 하나의 대표노드를 가지도록 클러스터를 구성한다. 초기 클러스터링 알고리즘은 그림 2와 같다.

Algorithm first_Clustering(node)

```

01. //node : 센서노드 정보
02. //MAX_K : 클러스터 멤버노드 개수
03. //MAX_DIST : 대표노드로부터 가장 멀리 떨어진 클러스터내의 멤버노드까지 거리
04. if(전송거리 이내의 대표노드가 비존재){
05.   node를 새 클러스터의 대표노드로 설정
06. }else{
07.   대표노드를 검색
08.   if(대표노드의 멤버노드 개수 == MAX_K){
09.     삽입모드의 Update_Cluster 함수 호출
10.   }else{
11.     대표노드로부터 node간 거리계산
12.     if(대표노드와 node간 거리 >= MAX_DIST){
13.       node를 대표노드의 멤버로 설정
14.       멤버노드의 개수 k를 증가
15.       MAX_DIST를 대표노드와 node간 거리로 갱신
16.     }else{

```

```

24.     node를 대표노드의 멤버로 설정
25.     멤버노드의 개수 k를 증가
26.   }
27. }
28. }

```

End Algorithm

그림 2. 초기 클러스터링 알고리즘

초기 클러스터링 알고리즘은 두 경우로 나누어진다. 첫째, 삽입된 노드의 전송 가능 거리 이내에 클러스터 대표노드가 존재하는 경우이다. 둘째, 삽입된 노드의 전송 가능 거리 이내에 클러스터 대표노드가 존재하지 않는 경우이다. 먼저, 대표노드가 존재하는 경우에는 대표노드가 유지하는 멤버노드의 개수가 하나의 클러스터가 유지하는 최대 멤버노드 개수인 MAX_K와 비교를 수행한다. 만약 MAX_K와 동일하다면 오버플로가 발생하여 클러스터 재구성 함수를 호출하여 클러스터를 분할한다. 만약 MAX_K보다 작다면 대표노드의 멤버노드로 설정하고 대표노드와 삽입된 노드의 거리가 현재 MAX_DIST보다 작다면 MAX_DIST를 업데이트한다. 또한, 삽입된 노드의 전송 가능 거리 이내의 클러스터 대표노드가 존재하지 않는 경우에는 node를 새 클러스터의 대표노드로 설정한다. 둘째, 클러스터링 재구성은 멤버 구성의 변화 즉, 클러스터 내에 새로운 멤버 센서 노드가 삽입되어 최대 멤버노드 개수인 MAX_K를 초과하여 오버플로가 발생하였을 경우와 기존 멤버 센서노드가 이탈하여 최소 멤버노드 개수인 MIN_K의 개수에 미달하여 언더플로가 발생하였을 경우에 발생한다. 클러스터링 재구성 알고리즘은 그림 3과 같다.

Algorithm Update_Cluster(node, mode)

```

01. //node : 삽입 mode시 삽입된 센서노드 정보
02. //mode : 클러스터 재구성 모드(삽입/삭제)
03. if(mode가 삽입){ // 오버플로 발생
04.   대표노드 선출방법을 통해 클러스터 내에서 새로운 클러스터를 대표할 두 개의 대표노드로 선정
05.   각 대표노드는 거리상 가까운 노드를 멤버노드로 선정
06. }else{ // 언더플로 발생
07.   멤버노드의 전송가능 범위내의 이웃 대표노드

```

검색

09. 대표노드의 멤버노드로 설정

10. }

End Algorithm

그림 3. 클러스터 재구성 알고리즘

클러스터링 재구성 알고리즘은 두 경우로 나누어진다. 첫째, 클러스터의 멤버노드의 수가 MAX_K인 경우에 새로운 노드가 삽입되어 오버플로가 발생한 경우이다. 둘째, 클러스터의 멤버노드의 수가 기존 멤버노드가 삭제되어 MIN_K 미만이 되어 언더플로가 발생한 경우이다. 먼저, 오버플로의 경우에는 기존 클러스터내의 멤버노드들 중에 2.2절에서 소개 될 대표노드 선출방법을 통해 새로운 클러스터를 대표할 두 개의 대표노드로 선정한다. 그 후 각 대표노드는 거리상 가까운 노드를 멤버노드로 선정하여 클러스터를 분할한다. 또한, 언더플로의 경우에는 클러스터내의 멤버노드가 전송가능 범위내의 이웃 대표를 검색한다. 검색된 현재의 노드를 대표노드의 멤버노드로 선정하여 클러스터를 병합한다.

2.2. 대표노드 선출

각 클러스터는 클러스터를 대표하는 하나의 대표노드를 가진다. 대표노드는 클러스터 내의 멤버노드들로부터 수집된 데이터를 집합하며, 이웃 대표노드를 통해서 싱크노드까지 집합된 데이터를 전송한다. 2.1절의 클러스터 구성을 통해 초기의 대표노드가 선출되며 이 후, 선출된 대표노드는 다음과 같은 상황으로 인해 대표노드의 변경이 필요하게 된다. 첫째, 멤버노드들로부터 데이터의 집합 및 싱크노드로의 전송으로 인해 에너지가 지나치게 소모되어 더 이상 대표노드의 기능을 수행할 수 없는 경우이다. 둘째, 새로운 노드의 삽입으로 인해 클러스터의 오버플로가 발생하여 클러스터의 분할이 필요한 경우이다. 셋째, 클러스터 내의 멤버노드의 이탈로 인해 클러스터에 언더플로가 발생하여 이웃 클러스터와의 병합이 필요한 경우이다. 위와 같이 대표노드의

선출이 필요한 경우 여러 파라미터를 고려하여 새로운 대표노드를 선출한다. 그림 4는 새로운 대표노드 선출시 고려하는 파라미터를 나타낸다.

- 노드의 초기 에너지에 대한 현재 에너지 비율
- 싱크노드까지의 전송거리
- 이전에 대표노드를 수행한 횟수
- 멤버노드들의 평균이동 속도와의 유사율

그림 4. 대표노드 선출 파라미터

특히, 이동 센서노드를 고려할 때, 클러스터를 이루는 멤버노드들의 평균속도와 유사한 속도를 가지는 대표노드를 선출하여 대표노드가 불필요하게 자주 변경되는 경우를 방지한다.

2.3. 라우팅 트리 구축

본 절에서는 싱크노드로부터 질의를 수행할 대표노드까지 질의를 효율적으로 분배하고 또한, 클러스터 내의 멤버노드들로부터 수집된 데이터의 집합 결과를 에너지 효율적으로 싱크노드로 전송할 수 있도록 하는 라우팅 트리 구축 방법을 제안한다. 라우팅 트리 구축 방법은 다음과 같다. 베이스 스테이션(Base Station)은 라우팅 트리 구성을 위해 라우팅 트리 구성 메시지를 준비하여 싱크노드에게 전달한다. 라우팅 트리 구성 메시지의 포맷은 다음과 같다. <dest_id, src_id, level>. 라우팅 트리 구성 메시지에서 dest_id와 src_id는 각각 라우팅 트리 구성 메시지를 받을 클러스터의 대표노드의 아이디와 보내는 대표노드 아이디를 저장한다. 또한 level은 라우팅 트리 구성 메시지를 보내는 대표노드의 레벨을 저장한다. 싱크노드는 라우팅 트리 구성 메시지로 src_id로 자신의 아이디를 설정하고 level은 0으로 설정한다. dest_id는 방송 주소(broadcast address)로 설정한 후 이 메시지를 이웃 대표노드들에게 방송한다. 각 대표노드는 레벨이 정해지지 않은 상태에서 이웃 노드로부터 라우팅 트리 구성 메시지를 받으면 라우팅 트리 구성 메시지의 level의 값에 1을 더한 값을 자신의 레벨로 설정

하고 라우팅 트리 구성 메시지를 보낸 센서노드를 자신의 부모 노드로 선택한다. 그리고 라우팅 트리 구성 메시지의 src_id 와 level을 각각 자신의 아이디와 레벨로 설정한 후 메시지를 이웃노드에게 다시 방송한다. 이러한 과정은 모든 대표노드들의 레벨과 부모노드가 정해질 때까지 계속된다. 그림 5는 라우팅 트리 구축 시 고려하는 파라미터를 나타낸다.

- 싱크노드로 부터의 거리
- 노드의 위치
- 노드의 이동 속도

그림 5. 라우팅 트리 구축 파라미터
 먼저, 노드의 위치 정보를 통해 싱크노드로 부터 거리가 가까운 대표노드를 상위 레벨로 우선 배정하여 싱크노드로부터 거리가 먼 대표노드들이 상위 레벨의 대표노드를 라우팅하여 싱크노드까지 집합된 데이터를 전송할 수 있도록 한다. 또한, 싱크노드로 부터의 거리가 유사한 대표노드들의 경우에 노드의 이동속도가 적은 노드를 상위레벨로 배정하여 라우팅 트리의 업데이트가 빈번하지 않도록 한다. 위와 같은 라우팅 트리 구축 파라미터를 통해서 에너지 효율적인 라우팅 트리를 구축한다. 그림 6은 이동 센서노드의 예를 나타내며, 그림 7은 그림 6의 이동 센서노드의 라우팅 구축 파라미터를 통해 생성된 라우팅 트리를 나타낸다.

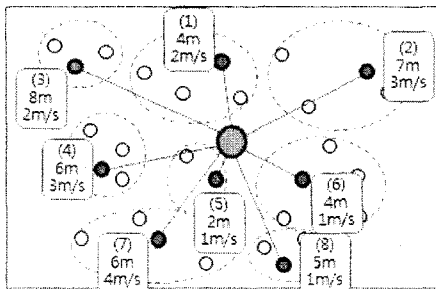


그림 6. 이동 센서노드의 예

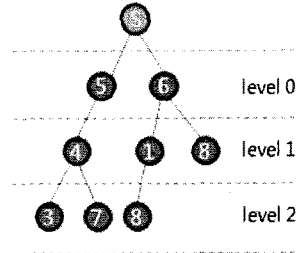


그림 7. 라우팅 트리

3. 영역질의처리

본 절에서는 2.3절에서 제시한 라우팅 트리 구축 방법을 이용하는 영역질의 알고리즘을 제시한다. 센서노드가 이동하는 환경의 영역질의의 예는 “현재 해당 지역에 속한 동물들의 생육 상태를 조사해라.” 또는 “현재 해당 지역 내에 존재하는 차량의 개수를 조사해라” 등과 같은 것이 존재한다.

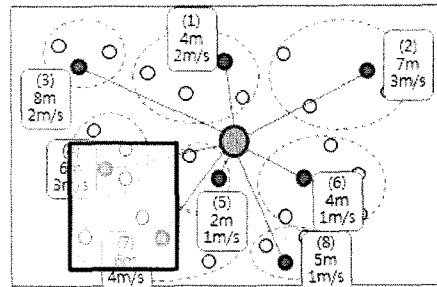


그림 8. 영역질의의 예

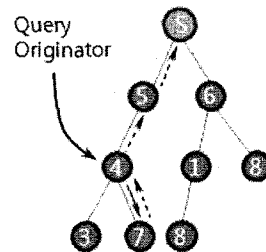


그림 9. 영역질의의 수행 라우팅 트리

그림 8, 9와 같이 영역질의와 라우팅 트리가 주어졌을 때 영역질의의 처리 알고리즘은 그림 10과 같다.

Algorithm RangeQuery(r)

01. // r : 질의영역
02. Query Originator를 통해 영역질의의 내의 최상위 대표노드로 질의를 전송

```

03. for(하위 대표노드가 존재) {
04.   하위 대표노드로 질의를 전송
05.   대표노드의 클러스터 멤버노드로부터 데이터 집합
06. }
07. for(대표노드 != 질의영역내 최상의 노드){
08.   하위 노드로부터 데이터 수신
09.   집합된 데이터를 상위노드로 전송
10. }
11. if(질의영역내 최상의 노드)
12.   싱크노드로 집합된 데이터를 전송
End Algorithm

```

그림 10. 영역질의 처리 알고리즘

첫째, Query Originator(GPSR)[2]는 질의에 포함되는 상위 대표노드로 질의를 전송한다. 즉 그림 9의 라우팅 트리에서 질의에 포함되는 4, 7번 대표노드중 상위 노드인 4번 노드로 질의를 전송한다. 둘째, 질의를 받은 상위노드는 질의에 포함되는 하위노드(7번)로 질의를 전송한다. 셋째, 질의를 수신한 노드는 멤버노드를 통해 데이터를 집합하고 상위노드(4번)로 집합된 데이터를 전송한다. 넷째, 질의 영역내의 상위노드는 수신한 하위노드의 데이터와 자신의 데이터를 집합하여 싱크노드(S)까지 전송하고 질의처리를 종료한다.

4. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 센서를 움직이는 대상에 부착하여 이동하는 센서노드로부터 효율적으로 데이터를 수집하기 위한 이동노드 색인 기법을 설계하였다. 아울러 제안하는 색인 기법을 위한 영역질의 처리 알고리즘을 제시하였다.

향후 연구로는 설계한 이동노드 색인 기법의 구현을 통해 제안한 색인기법 및 영역질의 성능평가를 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] 김창곤, "2006년 USN현장시험 결과 보고서," 한국정보사회진흥원, 2007
- [2] B. Karp and H. T. Kung. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks. MOBICOM, 2003.
- [4] A. Crainiceanu, P. Linga, J. Gehrke, and J. Shanmugasundram. Querying peer-to-peer networks using P-Trees. WebDB, 2004.
- [5] A. Meka and A. K. Singh. DIST: A Distributed index structure for tracking plumes in sensor networks. UCSB-TechReport, 2005