

센서 네트워크에서의 동적 트리기반의 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘

박형순^o 김시관

금오공과대학교 소프트웨어공학과

roora99@kumoh.ac.kr, sgkim@kumoh.ac.kr

Dynamic Tree-Based Energy-Efficient Routing Algorithm in Sensor Networks

Hyung-Soon Park^o Si-Gwan Kim

Department of Software Engineering, Kumoh National Institute of Technology

요 약

센서 네트워크는 일반적으로 지정된 지역 내에서 흩어져 있는 센서 노드들에 의해 주변 현상을 감지하여 싱크 노드로 전송한다. 각 센서 노드들은 요청된 질의나 사전에 지정된 질의의 결과를 주기적으로 싱크 노드로 전송한다. 하지만, 센서 노드들은 제한된 배터리 용량을 가지기 때문에 영구적인 수명을 보장할 수 없다. 따라서 중복된 데이터는 한번만 전송하거나, 대표 센서 노드가 값을 모아서 전송함으로써 네트워크 수명을 최대로 보장하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 동적으로 데이터 전송 노드를 선정하는 라우팅 트리인 동적 트리기반의 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘(EDRT)을 제안한다. 기존에 제안된 질의 기반 라우팅 트리(QSRT)는 질의의 결과들이 싱크 노드로 전송할 때, 데이터를 부분 집계 및 패킷 합병을 유도하여 데이터 전송 횟수를 줄였다. 본 논문에서는 각 센서 노드가 부모 노드뿐만 아니라 형제 노드 간에도 데이터를 부분 집계 및 패킷 합병을 할 수 있도록 하여 데이터 전송 횟수를 줄이고, 센서 노드의 에너지 소모량도 감소시킨다. 수행된 실험의 결과는 제안된 EDRT가 QSRT보다 향상된 성능을 보여 준다.

1. 서 론

최근 무선 통신 기술과 전자 장비의 발달로 인하여 다양한 기능을 가진 센서 노드(sensor node)가 많이 개발되고 있다[1]. 이러한 센서 노드는 다양한 데이터를 측정하는 센싱 장치(sensing unit), 측정된 데이터를 처리하기 위한 처리 장치(processing unit), 측정된 데이터를 지정된 싱크 노드(sink node)에게 보내기 위한 송수신 장치(transceiver unit), 센서 노드의 전력 공급을 담당하는 전력 장치(power unit) 등으로 구성되어 있다[2]. 이러한 센서 노드들은 다양한 환경에 배치되어 사람이 일일이 확인하지 못하는 변화를 감지하여 줌으로써 사람들에게 유용한 정보를 제공한다

센서 네트워크(sensor network)는 어떤 현상(phenomenon)을 감지하기 위해서 관찰 지역 내에 뿌려진 센서 노드들로 구성된다. 센서 필드(sensor field)에서 감지된 정보는 싱크 노드로 전송되고 싱크 노드는 인터넷(Internet)이나 인공위성 등을 통해서 사용자에게 정보를 전송한다[2]. 센서 네트워크는 군대, 자연과학, 공장, 환경 등 다양한 분야에서 널리 쓰이고 있다. 특히 센서 네트워크는 유독한

화학 물질이 감염된 지역이나 전장과 같이 사람들이 직접 현상을 관찰할 수 없는 위험한 곳에서 유용하게 쓰인다. 하지만, 센서 노드들은 가지고 있는 배터리에 의존하므로 가능하면 소모하는 에너지양을 줄여야 한다 [3]이나 [4]에서와 같이 일정 기간 이상 사람의 간섭이 없어야 하는 서식지 동물들의 형태 관찰에서는 센서 노드의 효율적인 에너지 소모가 더욱 중요하다. 센서 노드에서 소모되는 에너지는 크게 데이터 센싱 에너지, 처리 에너지, 송수신 에너지로 나눌 수 있다. 하지만, 이 중에서 송수신 에너지 소모가 나머지 에너지 소모보다 월등히 많으므로 송수신에 소모되는 에너지양을 줄이는 것이 중요하다[5].

환경 모니터링의 용도로 사용되는 센서 네트워크는 일반적으로 반복적이고 지속적으로 수행된다. 이러한 질의(query) 형태를 연속 질의(continuous query)라고 한다. 연속 질의는 한 번 요청되면 결과 데이터는 지속적으로 베이스 스테이션(base station)으로 전송된다. 따라서 결과 데이터들을 베이스 스테이션으로 전송할 때 소비되는 통신비용을 줄이는 것이 매우 중요하다 [6,7]에서는 네트워크내 프로세싱(in-network processing) 기법을 통

해 메시지 전송 횟수를 줄여 통신비용을 줄이는 것을 보여준다. MIN, MAX, SUM, AVG, COUNT 등 집계 질의 (aggregate query)를 사용하여 부분 집계(partial aggregation) 및 패킷 합병(packet merging)을 수행하여 결과 데이터들이 베이스 스테이션으로 전송되는 동안에 발생하는 통신비용을 줄여준다.

질의 결과 데이터들을 베이스 스테이션으로 모으기 위해 라우팅 트리(routing tree)가 사용된다. 라우팅 트리는 루트 노드에서 질의를 각 센서 노드로 전송하는 과정을 통해 이루어지며, 각 센서 노드들은 부모 노드 및 형제 노드를 선택할 수 있다.

본 논문에서는 질의별로 구성되는 동적 트리기반의 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘(Energy-Efficient Dynamic Routing Tree : EDRT)을 제안한다. EDRT는 결과 데이터를 가진 센서 노드가 여러 부모 혹은 형제 노드 중에서 부분 집계 및 패킷 합병을 유도할 수 있는 센서 노드를 선택하여 메시지를 전송한다 따라서 많은 센서 노드들이 부분 집계 및 패킷 합병을 실시함으로써 메시지 전송 횟수를 줄이고, 각 센서 노드의 에너지 소모량도 줄일 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해 보여준다

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 연구되었던 질의 기반 라우팅 트리[8]에 대하여 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 EDRT 라우팅 트리에 대해 설명한다. 4장에서는 기존의 라우팅 트리와의 성능 평가 결과를 기술한다. 마지막으로 5장에서 결론을 내린다

2. 관련 연구

기존에도 트리 기반의 라우팅 프로토콜이 많이 제안되었으며, 현재까지도 많은 연구가 진행되고 있다 그 중에서 연속질의 환경에서 집계 질의의 데이터들을 에너지 효율적으로 베이스 스테이션으로 모으는 라우팅 트리인 질의 기반 라우팅 트리(Query Specific Routing Tree : QSRT)를 살펴보자. 센서 네트워크에서 트리를 이용한 질의 처리는 질의 분배(query dissemination) 단계와 데이터 수집(data collection) 단계로 구성된다[6]. 질의 분배 단계에서는 사용자가 원하는 데이터 값 즉 질의가 센서 노드들에게 전달이 되며, 같이 트리 구성 메시지도 이 때 함께 전달될 수도 있다. 데이터 수집 단계는 모든 센서 노드들에게 전달된 질의의 조건에 만족하는 센서 노드가 데이터를 사전에 구성된 트리 구조에 맞게 싱크 노드로 전송한다.

각 센서 노드들은 하나 이상의 부모 노드를 가질 수 있다. 데이터 수집 단계에서 각 센서 노드들은 그 중 하나의 부모 노드를 선택해서 전송을 해야 하며 자식으로부터 데이터를 전송 받은 센서 노드는 자신과 상관없이 싱크 노드로 그 데이터를 보내야 할 책임이 있다 따라서 부모 노드를 선정할 때 데이터를 소유하고 있는 부모 노드에게 보낸다면, 부모 센서 노드들은 자식 노드들

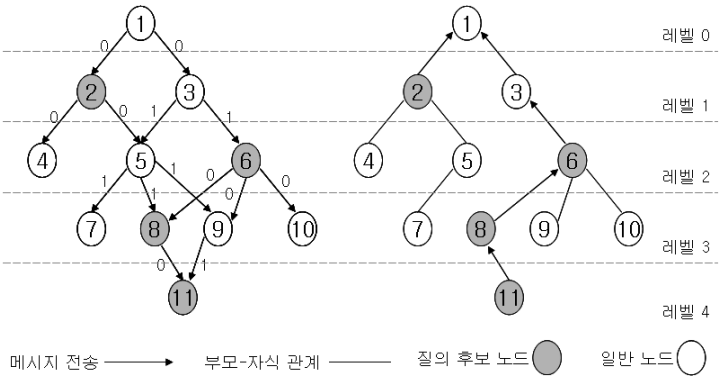


그림 1 질의 전달 및 QSRT 구성 단계의 수행 예

로부터 받은 데이터들과 자신의 데이터를 모아 부분 집계 및 패킷 합병을 수행하여 데이터를 전송함으로써 전송 횟수를 줄일 수 있다. 이에 덧붙여 질의기반 라우팅 트리는 결과 데이터들이 만나는 시점을 앞당겨서 무임승차하는 효과를 얻을 수 있다.

2.1 QSRT 구성 절차

QSRT 구성 절차는 후보 부모 집합 결정 단계와 질의 전달 및 QSRT 구성 단계로 나누어진다. 후보 부모 집합 결정 단계에서는 기존의 트리 구성 단계와 크게 다르지 않다. 차이점은 기존 트리 구성 단계에서는 각 센서 노드는 하나의 부모 노드만 결정하였지만 QSRT에서는 부모 노드가 될 수 있는 모든 센서 노드들을 후보 부모 집합(CP)으로 가진다.

$$CP_i = \{ j : \text{센서 노드 } j \text{는 센서 노드 } i \text{의 이웃 노드,} \\ \text{센서 노드 } j \text{의 레벨} = \text{센서 노드 } i \text{의 레벨} - 1 \}$$

질의 전달 및 QSRT 구성 단계에서는 센서 노드 i 의 CP_i 가 결정된 상태에서, 싱크 노드로부터 질의 Q 가 들어왔을 때, 질의 Q 가 각 센서 노드에게 전달되는 과정에서 질의 Q 에 대한 QSRT가 구성된다. 루트 노드로부터 질의 Q 가 센서 네트워크 전체로 전달되는 과정에서 각 센서 노드들은 자신의 최단 거리(Minimum Distance:MD)를 결정하고 질의 Q 와 함께 MD 값을 자식 노드에게 전송한다. 센서 노드 i 의 질의 Q 에 대한 $MD_{i,Q}$ 는 아래와 같이 정의한다.

$$MD_{i,Q} = \{ 0, \text{센서 노드 } i \text{가 루트 노드이거나 질의 } Q \text{ 후보 노드일 경우} \\ \min\{MD_{j,Q} : j \in CP_i\} + 1, \text{ 이외의 경우} \}$$

즉, 센서 노드 i 가 루트 노드의 경우 최상위 노드이기 때문에 $MD_{i,Q}$ 를 0으로 설정하고, 그 하위 레벨의 각 센서 노드 i 는 CP_i 중 가장 작은 $MD_{j,Q}$ 에 1을 더해 자신의 $MD_{i,Q}$ 로 설정하고, 질의 Q 에 대한 자신의 부모 노드를 j 로 선정한다. 단, 센서 노드 i 가 질의 Q 후보 노드일 경우에는 $MD_{i,Q}$ 는 0으로 설정하고, 자신의 부모 노드를 j 로 선정한다. 이렇게 질의 전달 및 QSRT 구성 단계가 반복 수행되고 나면 질의 Q 에 대한 QSRT가 구성된다.

그림 1은 질의 전달 및 QSRT 구성 단계의 수행 예를 보여준다. 각 센서 노드들은 CP노드로부터 MD를 질의

Q와 함께 수신하여 자신의 MD를 계산하고 그 MD를 자식 노드에게 전송하여 모든 센서 노드들이 질의 Q 및 MD를 가지게 된다. 예를 들어 그림 1에서 5번 노드는 $CP_5 = \{2,3\}$ 을 가질 것이고, $MD_{5,Q}$ 는 $MD_{2,Q}$ 에 1을 더한 1을 가지게 된다. 그리고 부모 노드는 2번 노드로 선정하게 된다. 8번 노드의 경우는 질의 Q 후보 노드이기 때문에 $MD_{8,Q}$ 는 0이 되고, 자신의 부모 노드는 CP_8 중 MD_Q 가 가장 작은 6번 노드가 된다.

2.2 QSRT 데이터 수집 단계

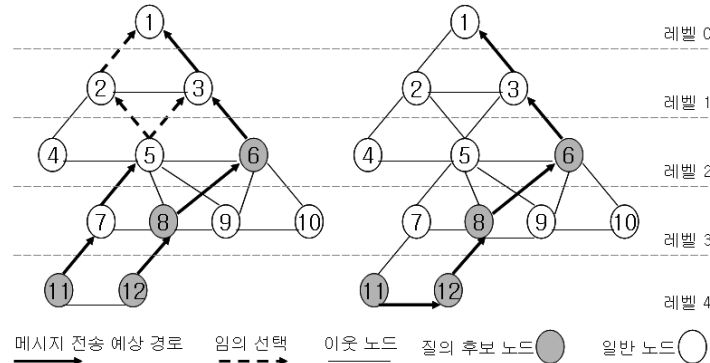
질의 전달 및 QSRT 구성 단계에서 이루어진 질의 Q에 대한 QSRT는 질의의 결과 데이터들을 싱크 노드로 모으는 데이터 수집 단계에서 사용된다 데이터 수집 단계는 라우팅 트리의 하단부에서 시작되어 루트 노드까지 레벨로 데이터를 전송하게 된다 각 센서 노드들이 자신의 레벨에 따라 메시지를 송수신하는 시점을 할당받아 있기 때문에 부모 노드들은 자식 노드들의 데이터 전송 시간 동안 기다렸다가 수신된 노드들만 부분 집계 및 패킷 합병을 수행하여 하나의 메시지로 만들고 질의 Q에 대한 부모 노드에게 메시지를 전송한다[9].

3. 동적 트리기반의 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘

그림 1의 예를 통해 살펴보았듯이 QSRT는 데이터 수집 단계에서 일반 라우팅 트리 FRT 보다 부분 집계 및 패킷 합병의 기회를 촉진시켜 데이터 전송 횟수를 줄일 수 있다는 것을 보여준다.

하지만, QSRT의 경우에는 형제 노드와는 부분 집계 및 패킷 합병의 기회가 주어지지 않는다 즉, QSRT의 경우 부모 노드와 자식 노드 간의 관계에서는 부분 집계 및 패킷 합병의 수행 시점을 앞당길 수 있지만 부모-자식 간의 관계가 아니라면 데이터의 부분 집계 및 패킷 합병은 이루어지지 않는다.

예를 들어, 각 센서 노드들은 후보 부모 노드와 마찬가지로 형제 노드도 존재할 것이다 그림 2에서 보듯이, 각 센서 노드는 전송 범위 내에서 형제 노드를 가질 수 있다. 그림 2(a)의 경우 노드 11은 질의 Q의 후보 노드



(a) QSRT의 데이터 전송 (b) EDRT의 데이터 전송
그림 2 QSRT와 EDRT와의 비교

이지만, 노드 11의 부모 노드들 중에 질의 Q의 후보 노드가 없기 때문에 무임승차 효과를 얻지 못한다 또한 노드 5에서 메시지를 전송할 경우에도 부모 노드의 MD가 같기 때문에 어디를 선택하느냐에 따라서 부모 노드의 level 만큼 데이터를 더 전송해야 한다 하지만 그림 2(b)의 경우에는 각 센서 노드가 후보 형제 노드를 가지며, 형제 노드에게 메시지를 전송함으로써 자신의 level-1 만큼의 메시지 전송 횟수를 줄일 수 있다 이 같은 결과는 각 센서 노드가 자신의 결과 데이터를 또 다른 결과 데이터와 만날 수 있는 노드 쪽으로 전송하되, 부모 노드뿐 만 아니라 형제 노드로 보내는 것이 무임승차의 효과를 최대화할 수 있는 것이다

이렇게 무임승차 효과를 최대화하며 형제 노드 쪽의 정보도 알기 위해서는 형제 노드에서 최단거리에 위치한 결과 데이터 생성 노드까지의 거리 정보까지 고려한다면 결과 데이터를 가장 빨리 다른 결과 데이터 생성 노드까지 전송해 줄 수 있는 부모 혹은 형제 노드를 선택할 수 있다

3.1 EDRT 구성 절차

본 절에서는 질의 메시지가 전달되는 되는 과정을 통해 EDRT가 구성하는 절차를 설명한다 이 과정은 2.1절에서 설명된 QSRT의 구성 절차와 거의 비슷하다 각 질의에 대한 EDRT는 다음 두 단계를 통해 구성된다

- 후보 부모 및 형제 집합 결정 단계
- 질의 전달 및 EDRT 구성 단계

3.1.1 후보 부모 및 형제 집합 결정 단계

이 단계에서는 후보 부모 집합뿐만 아니라 후보 형제 집합도 결정된다. 본 단계는 QSRT 구성 절차에서 후보 부모 집합 결정 단계와 거의 유사하다 단지, 후보 부모 집합 결정 메시지의 level 필드에 따라 후보 부모 집합 혹은 후보 형제 집합으로 결정한다 그림 3은 후보 부모 및 형제 집합 결정 단계의 수행 절차를 보여준다 그림

```

1. 싱크 노드가 후보 집합 결정 메시지를 루트 노드에게 전달
2. 루트 노드는 src_id와 level을 설정 후 이웃 노드들에게 방송
3. 후보 집합 결정 메시지 수신 노드 i
   if ( 노드 i의 level == INVALID_VALUE ) {
       노드 i의 level = 후보 집합 결정 메시지의 level + 1;
       노드 i의 CPi에 후보 집합 결정 메시지의 src_id를 추가;
       후보 집합 결정 메시지의 필드에 자신의 값 설정 후 방송;
   } else if ( 노드 i의 level 결정 ) {
       if ( 후보 집합 결정 메시지의 level == 노드 i의 level - 1 ) {
           노드 i의 CPi에 후보 집합 결정 메시지의 src_id를 추가;
       } else if ( 후보 집합 결정 메시지의 level == 노드 i의 level ) {
           노드 i의 SPi에 후보 집합 결정 메시지의 src_id를 추가;
       }
   }
4. 3번 과정은 모든 센서 노드들의 레벨 값과 후보 부모 집합 및 후보 형제 집합이 결정될 때까지 반복
    
```

그림 3 후보 부모 및 형제 집합 결정 단계의 수행 절차

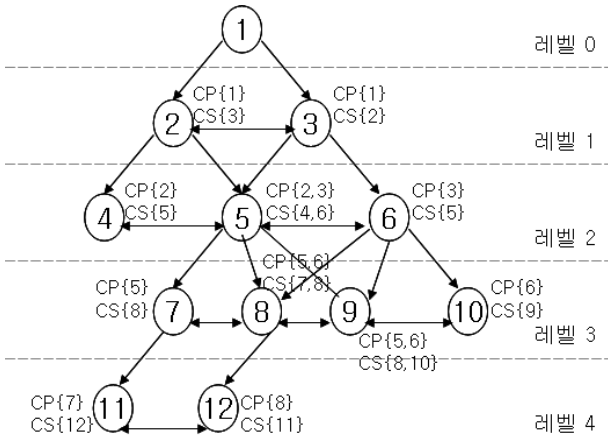


그림 4 후보 부모 및 형제 집합 결정 단계의 수행 예

4는 후보 부모 및 형제 집합 결정 단계가 수행된 예를 보여준다. CP는 후보 부모 집합을 CS는 후보 형제 집합을 나타낸다.

3.1.2 질의 전달 및 EDRT 구성 단계

3.1.1 절에서 설명한 단계를 통해 후보 부모 및 형제 집합이 결정이 되고, 그 이후에 싱크 노드로부터 질의 요청이 들어오면 루트 노드는 요청된 질의 전달과 함께 EDRT를 구성하게 된다. 요청된 질의가 센서 네트워크로 전체로 전달되는 과정을 통해 각 센서 노드가 자신의 MD 값을 결정하고, 전달할 질의 메시지에 자신의 MD 값을 기록하며, 그 질의 메시지를 받은 센서 노드들은 후보 부모 노드들 중에서 가장 작은 MD 값을 가지는 노드를 부모 노드로 선택하여 라우팅 트리를 구성한다 또한 이 MD 값이 포함된 질의 메시지를 형제 노드가 받게 되면, 수신한 메시지의 md 필드의 값이 0일 경우에는 형제 노드의 MD 값을 0을 설정하고, 0이 아닌 경우에는 질의 메시지의 md 필드 값에서 1을 뺀 값을 형제 노드

```

1. 싱크 노드가 요청받은 질의 Q 메시지를 루트 노드에게 전달
2. 루트 노드는 src_id와 md 필드를 설정 후 이웃 노드들에게 방송
3. 질의 Q 메시지 수신 노드 i
   if (질의 Q 메시지의 src_id ∈ 노드 i의 후보 부모 집합) {
     질의 Q의 src_id 노드의 MD 값을 질의 Q 메시지 md로 설정;
     if (노드 i의 후보 부모 집합의 모든 노드의 MD 값이 결정) {
       if (노드 i가 질의 Q의 후보 노드) {
         노드 i의 MD = 0;
       } else {
         노드 i의 MD = MIN(후보 부모 노드들의 MD) + 1;
       }
     }
     질의 Q의 부모 노드는 MIN(후보 부모 노드들의 MD)로 결정;
     질의 Q 메시지의 필드에 자신의 값 설정 후 방송;
   }
   else if (질의 Q 메시지의 src_id ∈ 노드 i의 후보 형제 집합) {
     if (질의 Q 메시지의 md == 0)
       노드 i의 형제 노드 src_id의 MD 값 = 0;
     else
       노드 i의 형제 노드 src_id의 MD 값 = 질의 Q 메시지 md - 1;
   }
4. 3번 과정은 모든 센서 노드들의 부모 노드가 결정될 때까지 반복
    
```

그림 5 질의 전달 및 EDRT 구성 단계의 수행 절차

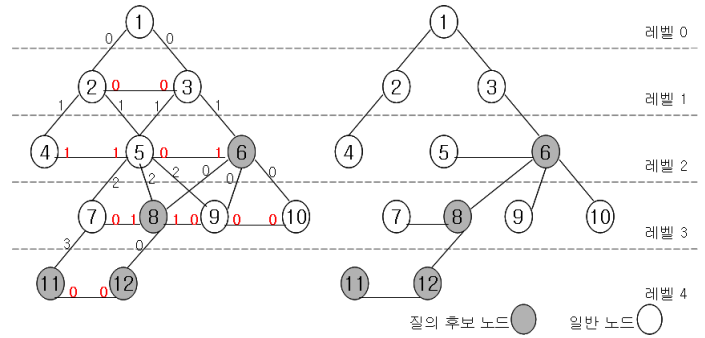


그림 6 질의 전달 및 EDRT 구성 단계의 수행 예

의 MD 값으로 설정한다. 이렇게 반복하여 모든 노드들의 MD 값 및 형제 노드의 MD 값이 정해진다. 그림 5는 질의 전달 및 EDRT 구성 단계의 수행 절차를 기술한다 단계 3에서 각 센서 노드는 모든 후보 부모 노드의 MD 값이 결정이 되면 자신의 MD 값을 계산하여 질의 Q 메시지를 통해 이웃 노드에게 방송한다 이렇게 질의 전달 및 EDRT 구성 단계가 수행되고 나면 질의 Q에 대한 EDRT가 구성된다.

그림 6은 그림 4에 이어 어떤 질의 Q의 요청이 들어왔을 때 질의 전달 및 EDRT 구성 단계가 수행되는 예를 보여준다. 그림 6(a)는 질의 메시지를 통해 부모 MD 값 및 형제 MD 값이 설정된 것을 보여준다. 그림 6(a)에서 노드 5번을 보면, 후보 부모 노드들 중에 가장 작은 MD 값은 1이기 때문에 자신의 MD 값은 2로 설정을 해서 방송한다. 그리고 노드 5번의 질의 Q 메시지를 받은 노드 7번은 MD 값을 3으로 설정한다. 그리고 형제 노드인 노드 4번과 6번은 노드 5번에 대한 MD 값을 질의 Q 메시지의 md 값인 2에서 1을 뺀 1 값으로 설정한다. 그림 6(b)는 각 센서 노드가 MD 값에 따라 부모 노드 또는 형제 노드를 선택한 모습을 보여준다

3.2 EDRT에서의 데이터 수집

각 센서 노드는 싱크 노드에서 보낸 질의 Q에 만족하는 데이터를 다시 싱크 노드로 보내야 한다 이 때 각 센서 노드는 질의 Q를 전파할 때 구성된 트리를 따라서 부모 노드 또는 형제 노드로 각 데이터를 보낸다 싱크 노드로 데이터가 수집될 때, 각 센서 노드들은 데이터를 부분 집계 및 패킷 합병을 수행하고 그 결과를 하나의 메시지 내에 담아서 보낸다

부분 집계 및 패킷 합병을 하여 데이터를 수집하기 위해서 데이터 전송은 라우팅 트리의 하단부에서 시작되어 루트 노드까지 레벨별로 수행된다. 각 레벨에서는 각 센서 노드는 두 번의 전송 기회를 가진다 즉, 각 레벨별로 현 레벨에 존재하는 센서 노드 수의 2배수의 시간을 소비한다. 싱크 노드로 보낼 데이터가 있는 센서 노드는 자신의 부모 노드에 따라서 자신의 전송 시간을 판단한다. 먼저, Phase 1에서는 질의 Q에 대해 센서 노드가 선택한 부모 노드의 MD 값이 0이 아닌 센서 노드가 데이터를 부모 또는 형제 노드에게 전송하며 Phase 2 때는

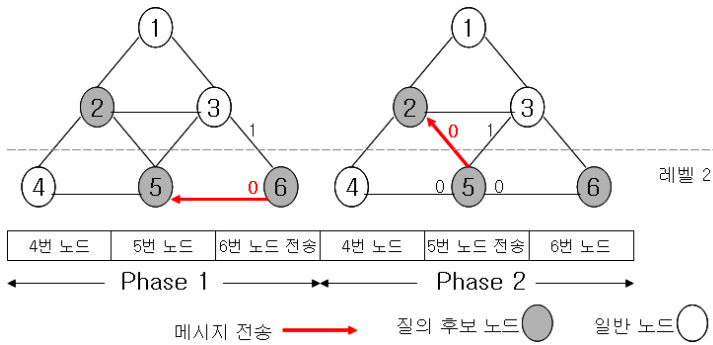


그림 7 데이터 수집 단계에서 데이터 전송 순서

전송할 데이터를 가진 모든 센서 노드가 부모 노드로만 전송한다. 데이터를 전송할 때는 MD 값을 비교하여 더 작은 MD 값을 가진 센서 노드에게 전송하게 되는데 부모 노드 간 또는 형제 노드 간에 MD 값이 같을 경우에는 임의로 선택하여 전송하며, 부모 노드와 형제 노드의 MD 값이 같을 경우에는 부모 노드에게 전송한다 그리고 형제 노드로 데이터를 보낼 경우에는 형제 노드가 먼저 데이터를 보내지 않은 노드에게만 전송한다 이것은 다른 형제 노드가 부모나 형제 노드로 데이터를 전송할 때, 엇들을 수 있기 때문에 가능하다.

그림 7은 데이터 수집 단계에서 같은 레벨에서의 센서 노드 간에 데이터 전송 순서를 보여준다 그림 7에서는 레벨 2의 센서 노드 4, 5, 6번이 있으며, 센서 노드 2, 5, 6번 노드가 전송할 데이터를 가지고 있다 Phase 1에서는 5번 노드가 먼저 데이터를 보낼 기회가 있었지만 자신의 부모 노드 MD 값이 0이기 때문에 데이터를 전송하지 않고 기다리며, 6번 노드는 자신의 전송 시간에 MD 값이 더 작은 5번 노드로 데이터를 전송한다 그리고 Phase 2에서 5번 노드는 자신의 데이터를 부모 노드 중 MD 값이 더 작은 2번 노드로 데이터를 전송함으로써 모든 데이터를 부분 집계 및 패킷 합병하여 하나의 메시지로 1번 노드로 보낸다.

4. 성능 평가

4.1 실험 환경

본 논문에서는 C언어로 시뮬레이션 실험을 수행하여 데이터 수집 단계에서 QSRT와 EDRT를 사용하였을 때의 성능 차이를 비교하였다

표 1 실험에 사용된 기본 설정

파라미터	값 (기본값)
노드 수 (개)	100
통신반경(m)	30
데이터 노드 수 (개)	0 ~ 100 (25)
최초 에너지 (J)	2
송수신 에너지소모량(nJ/bit)	50
데이터 크기(byte)	100
Round	10 ~ ∞ (10)

실험 환경의 설정은 표 1과 같으며, 센서 네트워크는 가로 길이 200m, 세로 길이 200m이다. 각 센서 노드들은 이 센서 네트워크 내에 임의의 위치에 배치된다 두 라우팅 트리의 성능 비교 실험을 동일한 센서 네트워크에서 수행하였다. 실험은 10회를 반복적으로 수행하였으며, 실험의 결과 값들은 평균값을 사용하였다

두 라우팅 트리의 성능 비교는 데이터 전송 횟수 라운드, 각 센서 노드 수명을 사용하였다 라운드는 센서 네트워크에서 어떤 질의에 각 센서 노드로부터 싱크 노드까지 데이터를 모으는 것을 이야기하며 이 때 각 센서 노드들의 전송 횟수 합이 한 라운드의 메시지 전송 횟수가 된다. 각 센서 노드는 결과 데이터들에 대해 부분 집계 또는 패킷 합병하고 그 결과를 하나의 메시지로 전송한다고 가정한다 그리고 각 센서 노드는 질의 전송 및 데이터 수집 단계에서 메시지 송수신 간에 에너지 소모가 발생하며, 각 센서 노드의 센싱 에너지 및 노드 내 처리 에너지는 무시한다고 가정한다

4.2 실험 결과 / 성능 평가

실험은 질의 선택도에 따른 메시지 전송 횟수와 네트워크 수명 내에 데이터 총 전송량을 실험하였다

먼저 질의 선택도에 따른 메시지 전송 횟수 실험은 질의 선택도를 1%부터 100%까지 변화시켜가며 두 라우팅 트리의 성능을 비교하였다 그림 8은 질의 선택도에 메시지 전송 횟수 실험 결과를 보여준다 질의 선택도가 낮거나 아주 높을 경우에는 거의 차이가 나지 않는데 그 이유는 질의 선택도가 낮거나 아주 높을 경우에는 형제 노드로 메시지의 부분 집계 또는 패킷 합병의 수행 횟수의 차이가 크지 않기 때문이다 질의 선택도 실험의 결과 그래프는 EDRT가 QSRT에 비해 최고 7% 정도까지 메시지 전송 횟수가 감소된 것을 보여준다

네트워크 수명 내에서 데이터 총 전송량 실험은 기본 실험 환경에서 처음부터 센서 네트워크의 수명이 종료할 때까지의 싱크 노드로 모이는 데이터양을 두 라우팅 트

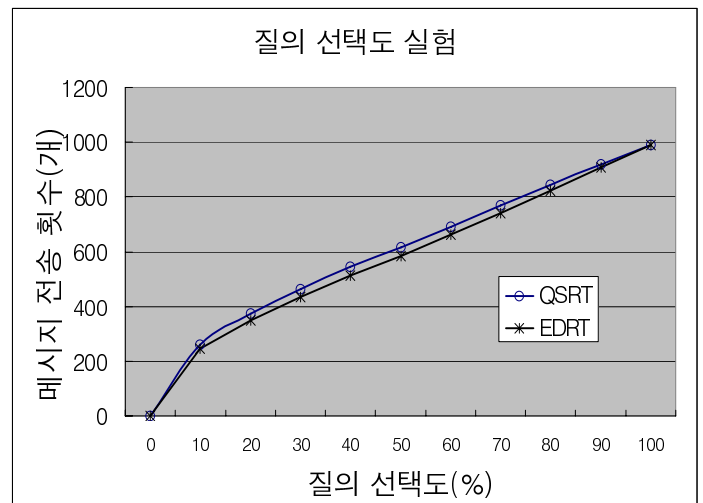


그림 8 질의 선택도에 따른 메시지 전송 횟수 실험 결과

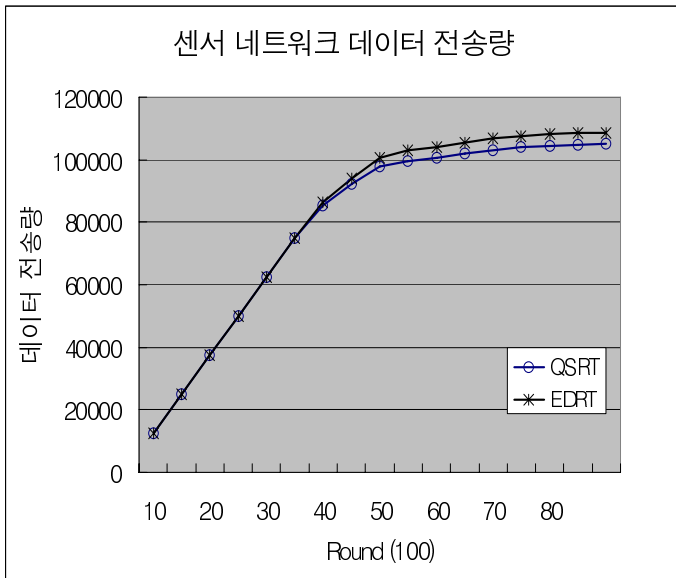


그림 9 센서 네트워크 데이터 전송량 실험

리를 비교하였다. 그림 9는 시간에 따른 데이터 총 데이터 전송량 실험 결과를 보여준다. 최초 3000Round까지는 수명이 다 된 센서 노드가 없기 때문에 동일한 데이터 전송량을 보이지만 시간이 지나면 데이터 전송량에서 차이를 보이기 시작한다. 그 이유는 주요한 자리의 센서 노드가 죽게 되면 그 하위 노드의 데이터는 싱크 노드로 전송되지 못하기 때문이다. 이 실험의 결과 그래프는 센서 네트워크가 종료 후에 EDRT의 싱크 노드가 QSRT의 싱크 노드에 비해 3658개의 데이터를 더 많이 수신했다는 것을 보여준다.

5. 결론

본 논문에서는 질의별로 구성되는 라우팅 트리인 EDRT를 제안하였다. EDRT는 질의의 결과가 싱크 노드로 오는 도중 가능한 한 빨리 각 메시지가 부분 집계 및 패킷 합병의 기회를 앞당기기 위해 부모 노드 및 형제 노드에게 메시지를 전송함으로써 전체 메시지 전송 횟수를 줄인다. 본 논문에서는 시뮬레이션 실험을 통해 EDRT의 우수성을 보였다. 또한 센서 네트워크 실험 결과는 QSRT에 비해 EDRT가 메시지 전송 횟수가 최대 7%까지 줄임으로서 센서 네트워크의 수명을 다 하는 시점에서는 싱크 노드가 수신한 데이터양에서도 3658개의 데이터를 더 많이 수신할 수 있다.

하지만, 제안하는 라우팅 트리는 비정상적인 센서 네트워크에서는 문제가 있다. 예를 들면, 너무 밀집된 환경의 경우, 각 센서 노드가 관리해야 하는 부모 노드 및 형제 노드가 많을 경우에는 제한된 메모리와 처리 능력으로 인해 처리 지연 및 네트워크 부하에 따른 지연 문제가 발생할 수도 있다. 따라서 밀집한 센서 네트워크에서의 센서 작동을 제어하거나 유사한 데이터 처리하는 알고리즘을 접목시켜 확장한다면 위의 문제도 해결할 수

있을 것이다.

참고문헌

[1] J. Hill and D. Culler, "Mica: a wireless platform for deeply embedded networks," IEEE Micro 22(6):12-24, 2002.

[2] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine 2002.

[3] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L. Girod, M. Hamilton, and J. Zhao, "Habitat monitoring: Application driver for wireless communications technology," In ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications in Latin America and the Caribbean, 2001.

[4] P. Juang, H. Oki, Y. Wang, M. Martonosi, L. S. Peh, and D. Rubenstein, "Energy-efficient computing for wildlife tracking: design tradeoffs and early experiences with zebnet," In Proc. of ACM ASPLOS Conf., 2002.

[5] V. Shnayder, M. Hempstead, B. Chen, G. W. Allen, and M. Welsh, "Simulating the Power Consumption of Large-Scale Sensor Network Applications," In Sensys, 2004.

[6] S. Madden, M. Frankln, J. Hellerstein, and W. Hong, "TAG: a tiny aggregation service for ad-hoc sensor networks," In Proc. of OSDI, 2003.

[7] Y. Yao and J. Gehrke, "Query processing for sensor networks," In Proc. of CIDR Conf., 2003.

[8] 송인철, 노요한, 현동준, 김명호, "Energy-Efficient Routing for Data Collection in Sensor Networks," 정보과학회논문지 : 데이터베이스 제33 권 제 2 호, 2006. 4.

[9] S. R. Madden, M. J. Franklin, and J. M. Hellerstein, "TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks," ACM trans. on Database Systems. Vol. 30, No. 1, 122-173, 2005.