

무선 센서 망에서 이동 싱크 지원을 위한 지역 수정 기반 멀티캐스팅 기법

(Local Update-based Multicasting
Scheme for Mobile Sinks in
Wireless Sensor Networks)

이 정 철 [†] 박 호 성 [†]
(Jeongcheol Lee) (Hosung Park)

오 승 민 [†] 정 주 현 [†]
(Seungmin Oh) (Juhyun Jung)

박 수 창 [†] 이 의 신 [†]
(Soochang Park) (Euisin Lee)

김 상 하 ^{**}
(Sang-Ha Kim)

요 약 한 소스로부터 다수의 싱크로의 데이터 멀티캐스팅은 통신 비용 절약 뿐 아니라 효율적인 에너지의 사용을 위해 이루어진다. 무선 센서 네트워크에서, 지금까지의 멀티캐스팅 위한 방안들은 대부분 하나의 소스와 다수의

고정적인 싱크들 사이의 최적화된 멀티캐스트 트리로 만들어진다. 하지만 전쟁 지역에서의 적군 감지 시스템, 재난 지역 구조 시스템 등의 실질적인 응용들에서, 싱크는 자신의 미션을 수행하기 위해 이동성을 가지고 센서 네트워크를 돌아다닐 것이다. 불행히도 싱크의 이동성은 전체 멀티캐스트 트리의 빈번한 재구성을 초래하고 이것은 제한된 배터리를 가진 센서들의 에너지 고갈을 야기시킨다. 그러므로, 우리는 지역적인 멀티캐스트 트리의 재구성을 통해 다수의 이동 싱크를 지원하는 에너지 효율적인 멀티캐스트 프로토콜을 제안한다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 방안이 기존 연구들 보다 에너지 자원 관리 측면에서 더 효과적임을 보인다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 멀티캐스팅, 싱크 이동성

Abstract Data multicasting from a source to multiple sinks in wireless sensor networks is used to achieve both reducing communication costs and energy efficiency. Almost all existing schemes for the multicasting might be effectively performed by optimal construction of a multicasting tree between a source and multiple stationary sinks. However, in practical sensor applications, sinks could move around on the wireless sensor networks for own missions, such as scouting of soldiers and saving lives of victims by firefighters. Unfortunately, the sink mobility causes frequent entire reconstruction of the multicasting tree and thus it leads to exhaustion of battery power of sensors. Hence, we propose an energy-efficient multicast protocol to support multiple mobile sinks by the local multicast tree reconstruction, called Local Update-based geographic Multicasting for Mobile sinks (LUMM) for wireless sensor networks. Our simulation results show that our scheme for mobile sinks is more efficient in terms of energy resource management than other exist works.

Key words : Wireless sensor networks, Multicasting, Sink mobility

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 값이 싸고, 제한된 전력을 가진 많은 수의 센서 노드들과 수집된 정보를 원하는 싱크들로 구성되어 있으며 센서 노드들은 센싱을 통해 자신 주변의 데이터를 모으거나 멀티 홉 방식을 통한 전송을 수행한다. 이러한 과정들은 재충전이 불가능한 센서 노드의 배터리만을 의존하여 동작한다. 따라서 센서 노드의 효율적인 에너지 사용이 네트워크 수명을 연장시키는 중요한 과제로 자리매김 하였다. 많은 센서 응용들에서, 하나의 데이터 소스로부터 다수의 싱크들로의 전송, 즉 멀티캐스팅은 통신 비용 절약 뿐 아니라 효율적인 에너지의 사용을 위해 이루어지기 때문에 마찬가지로 센서 네트워크의 중요한 이슈가 된다.

현재 무선 센서 네트워크에서 많은 수의 위치 정보

· 이 논문은 2008년도 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었음
· 이 논문은 2009 한국컴퓨터종합학술대회에서 '무선 센서 망에서 이동 싱크 지원을 위한 위치기반 멀티캐스팅 방안'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과
jcleee@cclab.cnu.ac.kr
hspark@cclab.cnu.ac.kr
smoh@cclab.cnu.ac.kr
jhjung@cclab.cnu.ac.kr
winter@cclab.cnu.ac.kr
eslee@cclab.cnu.ac.kr

^{**} 종신회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수
shkim@cnu.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2009년 8월 13일

심사완료 : 2009년 11월 3일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 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: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제1호(2010.1)

기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들이 제안되었는데[1-4] 이들은 대부분 한 소스로부터 다수의 싱크 사이의 효율적인 멀티캐스트 트리를 만드는 방법에만 초점이 맞추어져 있기 때문에 이동 싱크를 지원하기에 취약한 문제점을 지니고 있다. 실제적인 많은 수의 센서 응용, 예를 들어 전쟁 지역에서의 적군 감지 시스템, 재난 지역 구조 시스템 등에서, 싱크는 고정적이지 않고 이동성을 가지기 쉽다. 다시 말하면, 싱크는 센서들 사이를 돌아다니며 정보를 수집하는 것이다. 만약 이러한 기존 멀티캐스트 프로토콜들에 이동 싱크가 적용된다면, 이를 지원하기 위해 전체적인 멀티캐스트 트리의 빈번한 재구성이 필요해진다. 또한 이동 싱크의 수가 증가한다면 이 문제점들은 더욱 심각해 질 것이다. 불행히도 이러한 문제들은 제한된 배터리를 가진 센서들의 에너지 고갈을 야기시키며 결국 전체 네트워크의 수명을 저하시키는 효과를 초래한다. 따라서 이동 싱크를 위한 멀티캐스팅 방안을 제공하는 것은 또 다른 중요한 과제가 된다.

그러므로, 우리는 본 논문에서 무선 센서 네트워크의 위치정보를 기반한 라우팅 방안에서 수가 많고, 이동성을 갖는 특징을 지닌 싱크들을 효과적으로 지원하는 방법을 다루고자 한다. 주요 아이디어는 싱크가 이동할 때마다 멀티캐스트 트리를 전체적으로 재구성 하지 않고 지역적인 트리의 수정 만을 수행하는 것이다. 각각의 지역 재구성은 스타이너 방법(Steiner Method)을 시도하여 만들어진 멀티캐스트 트리의 분기점 노드들에 의해 이루어진다. 하지만 이러한 지역적인 트리의 수정이 전체 멀티캐스트 트리의 최적화(optimality)를 항상 보장하지는 못하는 문제점은 여전히 가지고 있다. 이 문제의 개선을 위해 우리는 RLR(Recursive Local Reconstruction)이라 명명한 루트(소스)를 향한 연속적인 지역 트리 재구성 방안과 GRT(Global Reconstruction with another Threshold)라 명명한, 지역 트리 재구성 임계값과 전체 트리 재구성 임계값을 각각 따로 관리하는 방안을 제안한다. 결과적으로, 우리의 방안은 지역 트리 재구성을 통해 싱크의 이동성을 지원하고, 전체 트리 재구성 방안들을 통해 트리의 최적화를 지속적으로 유지한다. 주요 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 네트워크의 모델에 대해 설명할 것이다. 제안된 방안과 알고리즘에 대한 부분은 3장에서 설명한다. 시뮬레이션 결과는 4장에 나타나 있으며 5장은 이 논문의 결론을 포함한다.

2. 네트워크 모델

제안된 방안에서, 각각의 노드들은 GPS[5]나 Localization 알고리즘으로 인하여 자신의 위치정보를 알 수 있다고 가정한다. 우리는 또한 에너지 소비를 정의하기 위해 위치상의 거리 $dist(a,b)$ 를 사용한다. 센서 노드들

이 균일하게 센서 필드에 뿌려졌을 때, 노드 a와 b 사이의 통신에 사용되는 에너지 비용은 노드 a와 b의 거리에 비례한다. 따라서 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Energy_COST(a,b) \propto dist(a,b) \quad (1)$$

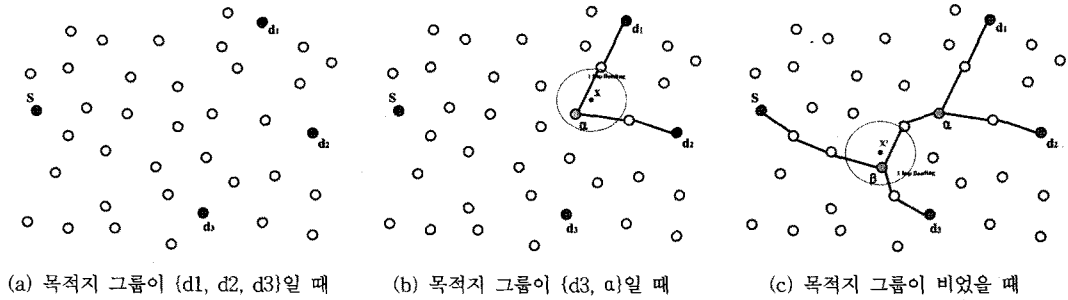
3. 제안 방안

제안 방안은 무선 센서 네트워크에서 스타이너 트리를 사용해 다수의 이동 싱크를 지원하는 에너지-효율적인 멀티캐스트 트리를 구성한다. 시작에 앞서, 우리는 스타이너 방법을 사용해 멀티캐스트 트리의 분기점들을 계산하고자 한다. 이것은 계산된 분기점(Steiner Point)이 시작점에서 나머지까지의 가장 짧은 거리의 총 합을 의미하기 때문이다. 그러므로 이러한 스타이너 방법은 한 소스로부터 모든 목적지들까지의 직접적인 전송보다 적은 비용을 소모한다.

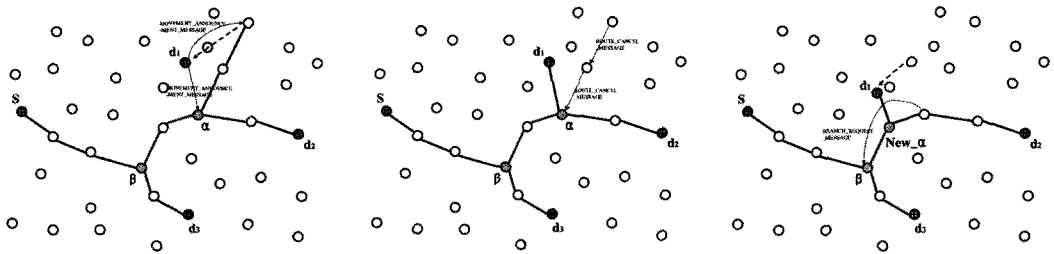
그러나 한 소스에서 모든 목적지까지의 전통적인 스타이너 트리를 구하는 문제는 NP-hard라고 알려져 있기 때문에, 이를 위해 우리는 먼저 3개의 노드만을 사용하여 연속적으로 스타이너 분기점을 계산하는 방법을 사용한다. 이 솔루션은 NP-hard 한 스타이너 트리 문제를 다항식으로 풀어낼 수 있는 시간(Polynomial Time) 안에 효과적으로 다룰 수 있게 한다.

3.1 멀티캐스트 트리 구성 단계

소스는 모든 목적지(싱크)들의 위치 정보를 미리 알고 있거나 쉽게 얻을 수 있다고 가정한다. 기본적인 시나리오는 목적지 그룹 중에서 선택된 두 싱크와 소스와의 스타이너 분기점을 계산하고, 이 위치에서 가장 가까운 노드를 전송 분기 노드로 선택한다. 소스는 위치 기반 라우팅(Geographic Routing)을 통해 계산된 스타이너 분기점으로 두 싱크의 위치 정보를 담은 메시지를 전송한다. 그 후 해당 위치에서의 1 홉 플러딩 과정을 통해 거리상 가장 가까운 노드가 소스에게 자신의 위치 정보를 담은 응답 메시지를 보내게 된다. 또한 이 노드는 자신과 두 싱크와의 링크를 연결하고 이 후 그 노드는 분기 노드로 동작하게 된다. 즉, 이러한 경로들은 멀티캐스트 트리에 더해지는 것이다. 그 후 두 싱크는 목적지 그룹에서 제외되며 새로 선정된 분기 노드가 목적지 그룹에 포함된다. 목적지 그룹이 비어있을 때 까지 동일한 과정을 반복하면 소스와 싱크들간의 멀티캐스트 트리가 완성된다. 이 과정에서 가장 중요한 이슈는 목적지 그룹에서 어떤 싱크들을 먼저 선택하는가이다. 우리는 이를 위해 소스와 가장 큰 BOD(Benefit of Distance) 값을 갖는 두 싱크를 먼저 선정한다. 여기에서, BOD는 소스에서 유니캐스트 전송을 통해 두 싱크로 각각 전송했을 때의 총 거리의 합에 비해 계산된 분기점을 통해 전송



(a) 목적지 그룹이 {d1, d2, d3}일 때 (b) 목적지 그룹이 {d3, α}일 때 (c) 목적지 그룹이 비었을 때
 그림 1 멀티캐스트 트리 구성 단계의 예



(a) d1이 local movement일 때 1 (b) d1이 local movement일 때 2 (c) global movement 일 때
 그림 2 싱크 d1이 이동했을 때, 분기 노드 α는 싱크의 이동량과 자신의 임계값과의 비교를 통해 d1의 이동성 종류를 알아낼 수 있다. local movement인 경우, α는 d1과의 새로운 링크를 설정한다. 하지만 global movement인 경우에는 분기 노드의 재설정 과정이 수행된다.

했을 때의 거리상의 차이(이득값)을 의미한다. 예를 들어 소스 S에서 목적지 d1, d2로의 멀티캐스팅에서의 BOD 값은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$BOD Wa = \{ \text{dist}(S, d1) + \text{dist}(S, d2) - (\text{dist}(S, a) + \text{dist}(a, d1) + \text{dist}(a, d2)), \quad (2)$$

여기에서 Wa(Weight of a)는 {S, d1, d2}의 BOD 값을 의미하며 이 값은 분기 노드 a 와 소스 노드에 각각 저장된다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 소스 S에서 목적지 d1, d2, d3로의 멀티캐스트 경로는 분기 노드 α와 β에 의해 이루어진다. 결과적으로 센싱된 데이터는 이렇게 만들어진 멀티캐스트 경로를 따라 위치 기반 라우팅 프로토콜(Geographic Routing Protocols), 예를 들어 GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing Protocol)[5]과 같은 프로토콜들을 통해 전송된다. 소스는 센싱된 데이터의 패킷의 헤더에 싱크들과 분기점들의 모든 위치 정보를 담을 필요가 없이 단지 자신이 담당하는 싱크들의 개수만을 담아 각 분기점들이 자신이 몇 번째 단계에 속해 있는지 알 수 있게 한다. 이는 기존 연구들[1,2]이 공통적으로 가지고 있는 싱크의 수가 증가할수록 멀티캐스트 데이터의 헤더가 급격히 증가하는 문제점을 해결한다.

실제 응용에서 싱크는 고정적이지 않고 이동성을 가질 것이다. 우리는 싱크가 이동할 경우 이렇게 만들어진

멀티캐스트 트리가 더 이상 유효하지 않음을 주목했다. 이 문제의 해결을 위해 우리는 멀티캐스트 트리의 재구성을 싱크가 있는 지역만으로 한정하고자 한다. 좀 더 상세히 설명하면, 분기점들은 자신의 바로 아래의 하위 노드들(싱크 혹은 하위 분기노드)에게 각각 자신의 위치 정보만을 추가적으로 덧붙여 데이터를 전달한다. 이러한 정보들은 이들의 하위 노드들의 이동성을 지원하기 위해 사용된다.

3.2 싱크 이동성 지원

제한된 방안에서는 멀티캐스트 트리의 지역적인 부분을 한 분기점과 그가 담당하고 있는 두 목적지(하위 분기점 또는 싱크)로 생각한다. 또한 싱크는 그 움직임의 정도를 싱크의 상위 분기점이 가지고 있는 임계값에 기준하여 Local Movement / Global Movement 로 구분한다. 그림 2(a)에서 볼 수 있듯이, 싱크는 이동할 때마다 주기적으로 부모 노드와 자신의 상위 분기점에 자신의 변경된 위치 정보를 담은 메시지를 보낸다. 이것을 MOVEMENT_ANNOUNCEMENT_MESSAGE라고 명한다. 이후에 부모 노드는 자신으로부터 분기점까지의 역 경로를 멀티캐스트 트리에서 삭제하는 ROUTE_CANCEL_MESSAGE를 전송한다. 분기 노드는 싱크의 새로운 위치를 등록하고, 위치 기반 라우팅 프로토콜

(Geographic Routing Protocol)을 사용하여 자신의 두 목적지에 데이터를 전달한다. 하지만 싱크의 움직임이 커질수록, 분기점은 더 이상 싱크에게 최적화(Optimality)를 주지 못하는 문제점이 발생할 수 있다. 즉, 분기 노드의 재설정(Branch Reselection)이 필요하게 된다. 다시말해서, 분기 노드는 싱크의 움직임이 Global Movement일 경우 멀티캐스트 트리의 최적화 유지를 위해 자신이 아닌 새로운 위치의 분기 노드를 통해 데이터를 전달하도록 멀티캐스트 트리를 수정한다. 이 과정은 그림 2(b)를 통해 알 수 있다.

우리가 다루어야 할 중요한 이슈는 분기 노드의 임계값을 어떻게 정하는가이다. 우리는 다음의 식에 따라 분기 노드가 효과적인 임계값을 갖도록 한다.

$$\text{Threshold } x = (\text{BOD} + \text{EBC}), \quad (3)$$

BOD(Benefit Of Distance)는 그의 위치에서 분기함으로써 얻어지는 거리상의 이득이며, EBC(Expected Branch-reselection Cost)는 분기 노드 재설정(Branch Reselection)을 수행하기 위해 요구되는 비용이다. 다시말해서 EBC는 현재 분기 노드로부터 한 단계 상위 분기 노드에게 재설정을 요구하는 추가 메시지 비용과 스타이너 방법으로 계산된 최적화된 분기점에서 실제 노드를 찾기위한 1 홉 브로드캐스팅 비용을 합한 값이 된다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{EBC} = \text{dist}(\text{Current Branch}, \text{High-level Branch}) + \pi^2, \quad (4)$$

여기에서 π 은 센서 노드의 전송 범위이다. 결과적으로 각각의 분기 노드들은 위의 식들을 통해 임계값을 얻는다. 그리고 이 임계값과 자신이 담당하는 하위 노드들의 유니캐스팅 거리의 비교를 통해 분기 노드 재설정 여부를 판단한다. 유니캐스팅 거리의 합은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Local_unicasting_cost} \\ l = \text{dist}(\text{branch node}, \text{its_dest}_1) \\ + \text{dist}(\text{branch node}, \text{its_dest}_2). \end{aligned} \quad (5)$$

제안된 알고리즘은 싱크의 이동성을 지역적인 트리의 수정 과정을 수행함으로써 해결하지만, 이것들이 전체 멀티캐스트 트리의 최적화를 항상 보장해 주기는 어렵다. 즉, 이를 위해 처음 멀티캐스트 트리를 구성한 것처럼 전체 트리를 재구성할 필요성이 나타나는 것이다. 그러므로 우리는 다음의 두가지 추가적인 방안들을 통해 전체 트리의 최적화를 지속적으로 유지한다.

3.3 재귀적 지역 재구성

재귀적 지역 재구성(Recursive Local Reconstruction)의 가장 큰 특징 중 하나는 분기 노드 재설정을 이동 싱크의 이동처럼 노드의 이동으로 간주한다는 점이다. 또한 각 지역 트리의 재구성은 소스(루트)까지의 재

표 1 싱크 이동성 지원 알고리즘

```

If MOVEMENT_ANNOUNCE_MESSAGE
Parent node→ Send a ROUTE_CANCEL_MESSAGE
If Local_unicasting_cost l < threshold x
Then (movement type is local)
  Branch node→ Setting a new link to destination
Else (movement type is global)
  Process the branch reselection(Global Movement)
  {Branch node→ Send location of its destinations
    to high-level branch node
  High-level branch node→ find a new branch
    node
  New branch node→ Setting a new link to
    destination }
end
  
```

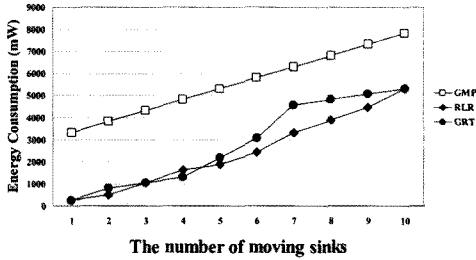
설정에 연속적으로 영향을 미친다. 즉, 멀티캐스트 트리 재구성이 각 지역에서부터 독립적으로 수행되어 소스 방향으로 재귀적으로 이루어질 수 있도록 하는 것이다.

3.4 임계값을 통한 광역 트리 재구성

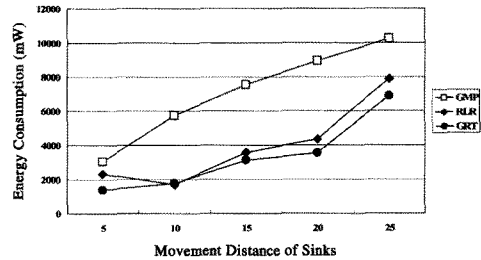
임계값을 통한 광역 트리 재구성(Global Reconstruction with another Threshold)은 RLR에 비해 단순한 방법으로 멀티캐스트 트리를 재구성한다. 이것은 소스가 또 다른 임계값을 가지고 전체 트리 재구성 여부를 판단하는 것이다. 다양한 센서의 응용들로 인해, 우리는 네트워크 관리자가 모든 센서 노드가 필드에 뿌려지기 전에 이러한 광역 임계값을 미리 설정한다고 가정한다. 또한 우리는 각 지역에서 해당 분기 노드가 싱크의 Global Movement를 알리는 메시지를 상위 분기 노드 뿐 아니라 소스에게까지 알리게 하고자 한다. 이때 GRT는 RLR 처럼 재귀적인 과정을 수행하지 않는다. 오직 목적지가 싱크일 경우에만 분기 노드 재설정이 이루어진다. 소스는 Global Movement로 인한 분기점 재설정 횟수만을 추가로 저장하고, 이 정보가 GRT의 재구성 임계점을 넘지 않을 때까지는 전체 멀티캐스트 트리를 재구성 하지 않는다. 광역 임계값을 이용한 단순한 방식을 통한 멀티캐스트 트리 재구성은 추가 부하 비용의 증가를 최소화 할 수 있게 한다.

4. 시뮬레이션 결과

이번 장에서, 우리는 제안된 방안 RLR과 GRT를 GMP[2]와의 시뮬레이션 과정을 통해 분석한다. 시뮬레이션은 네트워크 시뮬레이터 Qualnet 3.8을 사용한다. 센서 노드들의 모델은 MICA2의 제원을 따른다. 시뮬레이션 시나리오는 1000×1000 m의 지역에 일정하게 뿌려진 300 개의 노드들로 구성된다. 한 데이터 소스는 싱크에게 매 2 초 마다 한번씩 데이터 패킷을 전송한다. 싱크의 이동은 랜덤 웨이 포인트(Random way point)



(a) 이동하는 싱크의 수 증가에 대한 에너지 소비 그래프



(b) 싱크의 이동거리 증가에 대한 에너지 소비 그래프

그림 3 이동 싱크의 수와 이동거리 증가에 대한 에너지 소비 그래프

를 따른다. 시뮬레이션 시간은 500 초 동안 이루어졌다. 모든 시뮬레이션은 싱크들의 이동에 따른 전체 멀티캐스트 트리의 수정을 일정 시간에 한 번으로 제한한다. 왜냐하면 GMP[2]에서, 전체 멀티캐스트 트리의 재구성 이 싱크의 움직인 횟수에 비례하기 때문에 비교를 위해 이를 단순화하여 분석한다. 그림 3(a)는 하나의 소스에서 10개의 싱크들로의 멀티캐스트 트리에서 일정 시간마다 한번에 움직인 싱크들의 수를 증가시킨 그래프이다. 우리 방안들은 GMP[2]에 비해 약 두 배 정도의 에너지 효율적인 모습을 보였다. 7개의 싱크가 이동하는 시점에, GRT가 급격한 에너지 증가율을 보인 것은 광역 임계점을 넘어 전체 멀티캐스트 트리의 재구성 과정을 통해 트리 최적화를 유지하기 때문이다. 그러므로 그 이후의 에너지 소비 증가 비율은 안정된 모습을 보임을 알 수 있다.

그림 3(b)는 하나의 소스에서 10개의 싱크들로의 멀티캐스트 트리에서 일정 시간 동안 싱크의 이동량의 변화를 통한 에너지 소비량 그래프이다. 우리 방안들은 GMP에 비해 에너지 소비 측면에서 전체적으로 효과적이었음을 보였고, GRT는 RLR에 비해 상대적으로 적은 에너지 소모를 보인다. 이것은 GRT가 RLR에 비해 상대적으로 적은 제어 부하를 가지고 있기 때문이다. 에너지 소비 증가 비율은 GMP[2]가 일정한 증가 비율을 보인 것에 비하여 싱크의 이동이 20m를 넘어설 때 제안된 두 방안 모두 급격히 증가했음을 알 수 있다. 이것은 지역적인 멀티캐스트 트리의 수정을 위해 분기 노드들과 주고 받는 메시지의 양이 급격히 증가하기 때문으로, 계속 되는 다음 연구 과제로서 이러한 점을 해결하고자 한다.

5. 결론

우리는 싱크의 이동성이 빈번한 전체 멀티캐스트 트리의 재구성을 일으키며 또한 이것은 센서의 배터리 고갈을 초래하는 문제를 주목한다. 그러므로 지역적인 멀티캐스트 트리 재구성을 통해 이동 싱크들을 지원하는 에너지 효율적인 멀티캐스트 프로토콜을 제안한다. 제안

방안의 주요 아이디어는 싱크의 이동성을 Local Movement와 Global Movement로 구분하는 효과적인 임계값 선택이다. 이를 통해 지역적인 멀티캐스트 트리 재구성을 수행하고, 결과적으로 이동 싱크를 지원할 수 있게 된다. 또한 루트까지의 재귀적인 지역 트리 재구성인 RLR(Recursive Local Reconstruction)과 광역 임계값을 설정하는 GRT(Global Reconstruction with another Threshold)를 통해 전체 멀티캐스트 트리의 최적화를 유지하고자 한다. 향후 연구 과제로, RLR과 GRT의 계산 부하를 분석하고자 한다. 제안 방안은 시뮬레이션을 통해 기존 연구들에 비하여 이동 싱크를 지원하기 위한 비용을 상당히 감소시킴을 보였다.

참고 문헌

[1] J. Sanchez, P. Ruiz, J. Liu, and I. Stojmenovic, "Bandwidth-Efficient Geographic Multicast Routing for Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, vol.7, no.5, pp.627-636, May 2007.

[2] S. Wu and K. S. Candan, "Demand-Scalable Geographic Multicasting in Wireless Sensor Networks," *Computer Communications*, vol.30, pp.2931-2953, Oct. 2007.

[3] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "TTDD: A Two-tier Data Dissemination Model for Large-Scale Wireless Sensor Networks," in *Proc. of the 8th Annual ACM/IEEE Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'02)*, pp.148-159, Sep. 2002.

[4] H. S. Kim, T. F. Abdelzaher, and W. H. Kwon, "Minimum-Energy Asynchronous Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," in *Proc. of the 1st ACM Int'l Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'03)*, pp.193-204, Nov. 2003.

[5] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in *Proc. of the 6th Annual ACM/IEEE Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00)*, pp. 243-254, Aug. 2000.