

무선 센서 망에서 이동 싱크를 위한 위치기반 멀티캐스팅 프로토콜

준회원 이 정 철*, 정회원 박 호 성*, 준회원 오 승 민*, 정 주 현*, 임 용 빈*,
종신회원 김 상 하*

Sink-Initiated Geographic Multicasting Protocol for Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks

Jeongcheol Lee* Associate Member, Hosung Park* Regular Member,
Seungmin Oh*, Juhyun Jung*, Yongbin Yim* Associate Members, Sang-Ha Kim*^o Lifelong Member

요 약

무선 센서 네트워크에서, 대부분의 위치 기반 멀티캐스팅 프로토콜들은 하나의 소스가 모든 싱크들의 위치 정보를 얻어온 후 그 정보를 기반으로 데이터 전달 트리를 만든다. 하지만, 이러한 프로토콜들은 모든 싱크들이 자신의 위치 정보를 하나의 소스에 알려주기 때문에 소스 주변 노드들의 집중된 에너지 소비가 나타난다. 이것은 결과적으로 센서 망의 수명을 크게 감소시키게 되며, 만일 싱크가 이동성을 가진다면 이러한 문제는 더욱 심각해진다. 또한 이러한 싱크들의 비동기적인 위치 정보 등록은 멀티캐스트 데이터의 지연 문제를 야기한다. 따라서, 본 논문은 각각의 싱크가 소스까지 독립된 데이터 전달 경로를 형성하고 이들의 비동기적인 병합 메커니즘을 통해 멀티캐스트 트리를 구성하는 싱크 중심 위치기반 멀티캐스팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 트리를 재구성이 지역적으로 이루어질 수 있어 싱크의 이동으로 인한 통신 오류에 강인하며, 다수의 싱크의 업데이트 메시지들을 효과적으로 병합하여 소스 주변의 업데이트 패킷의 집중 문제를 해결한다. 시뮬레이션은 제안된 프로토콜이 기존 연구들에 비하여 평균 데이터 전달 딜레이 및 평균 에너지 소비 측면에서 우월함을 보였다.

Key Words : Sink mobility, Multicast, Geographic Multicasting, Wireless Sensor Networks

ABSTRACT

In this paper, we propose a Sink-initiated geographic Multicast (SIM) protocol to reduce frequent location updates from mobile sinks to a source and to achieve fast multicast tree construction and data delivery. The proposed protocol allows sinks to construct their own data delivery paths to a source node and a multicast tree to be atomically constructed by merging the paths. Then, the source forwards data to the destinations down the multicast tree. This paper also propose a round-based virtual infrastructure with a radial shape for increasing the merging probability of data delivery paths and reducing reconstruction ratio of the multicast tree due to mobility of sinks. Simulation results show that the proposed protocol is superior to previous Source-initiated geographic Multicast (SOM) protocols in term of average data delivery delay and average energy consumption.

I. 서 론

무선 센서 네트워크에서, 위치 기반 멀티캐스팅은

싱크 그룹까지의 데이터 전달 경로를 구성할 때 오직 멤버들의 위치 정보만을 요구하기 때문에 제한적인 자원을 갖는 센서 네트워크의 시나리오에 매우 효과

* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실 ({jcle, hspark, smoh, hjung, ybyim}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr) (° : 교신저자)
논문번호 : KICS2009-12-621, 접수일자 : 2009년 12월 14일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 24일

적으로 알려져 있다¹²⁾.

현재까지 다양한 종류의 위치 기반 멀티캐스팅 방안들이 연구되었는데³⁻⁵⁾, 대부분의 프로토콜들은 소스에서 멀티캐스트 데이터 전달 경로를 구성 (Source-initiated geographic Multicast protocols, SOM) 하는 특징을 지니고 있다. 이들은 다음의 세 가지 단계를 거치며 멀티캐스트 데이터를 싱크들에게 전달한다.

1. 하나의 소스가 모든 싱크의 위치 정보 획득.
2. 소스로부터 데이터 전달 경로 구성.
3. 구성된 트리를 따라 소스에서 싱크들로 멀티캐스트 데이터를 전달.

이러한 방법은 한 번의 복잡한 계산과정을 통해 최적화된 전송 경로를 만들기 때문에, 그것을 계속해서 사용할 수 있는 네트워크 환경, 즉 멀티캐스트의 멤버가 되는 소스와 싱크들이 모두 고정적이고, 지속적인 데이터를 보내려고 할 때 매우 효과적이다.

하지만 실질적인 무선 센서 네트워크의 응용에서 싱크는 일반적으로 이동성을 갖는 특징을 지닌다. 예를 들어, 전장에서 이동하는 군인들의 적 탱크 탐지 모델이나 재난 지역의 소방수들의 생존자 구조 시스템과 같은 응용들이 존재할 수 있다. 이러한 싱크의 이동은 이전에 만들어진 데이터 전달 경로, 즉 멀티캐스트 트리를 지속적으로 사용할 수 없게 하기 때문에 위와 같이 소스에서 멀티캐스트 트리 구성을 시작하는 기존의 프로토콜들은 다음의 문제점들이 발생하게 된다.

첫째, 그림 1 에서 볼 수 있듯이, 모든 싱크들이 자신의 위치 정보를 하나의 소스에게 개별적으로 전달하기 때문에 소스 주변 노드들의 집중된 에너지 소비 (Hot spot)가 나타난다. 이것은 결과적으로 센서 망의 수명을 크게 감소시키게 되며, 만일 싱크가 이동성을 가진다면 이러한 문제는 더욱 심각해진다. 둘째, 소스

는 모든 싱크들의 위치 정보 업데이트가 완전히 끝난 후에야 멀티캐스트 트리를 구성 할 수 있기 때문에, 연속적인 데이터 전달에서의 지연(Delay) 문제가 발생할 수 있다. 다시 말해서, 어떤 하나의 이동 싱크의 위치 정보가 소스에게 업데이트 되었다 할지라도 소스가 멀티캐스트 트리를 구성하기 전까지 소스에서 생성된 멀티캐스트 데이터는 싱크들에게 전달될 수 없다. 이 문제는 처음 멀티캐스트 트리가 만들어질 때 뿐 아니라 싱크의 이동으로 인해 트리의 재구성이 이루어질 때 역시 동일하게 발생한다. 셋째, 싱크의 등록, 탈퇴 및 이동으로 인한 위치 업데이트 메시지는 비동기적으로 계속해서 발생하기 때문에 이동의 주체가 아닌 소스는 멀티캐스트 트리 재구성의 효과적인 시점을 찾기가 매우 어렵다. 예를 들어, 소스가 싱크의 위치 정보를 짧은 시간에 자주 얻어온다면 소스의 데이터는 끊임없이 잘 전송될 수 있지만 빈번한 트리의 재구성이 요구되므로 네트워크 에너지 자원의 심각한 고갈을 야기할 수 있다. 반면에 소스가 싱크의 위치 정보를 긴 시간 간격으로 얻어온다면 트리의 재구성 비용이 적게 소비되지만 이동 싱크에게로의 데이터 전달이 효과적으로 이루어지지 않을 수 있다. 다시 말해서, 기존의 멀티캐스팅 프로토콜들에서, 소스가 얼마만큼의 시간 간격(Time slot) 마다 싱크들의 위치 정보를 얻어와야 하는가에 관한 문제는 멀티캐스팅 프로토콜의 성능에 아주 큰 영향을 주게 된다.

따라서, 본 논문은 각각의 싱크가 소스까지 독립된 데이터 전달 경로를 형성하고 이들의 비동기적인 병합 메커니즘을 통해 멀티캐스트 트리를 구성하는 싱크 중심 위치기반 멀티캐스팅 프로토콜 (Sink-initiated geographic Multicasting protocol, SIM)을 제안한다. 제안된 프로토콜은 멀티캐스트 트리의 구성이 완전히 분산적으로 이루어지며 싱크의 위치 업데이트 메시지가 병합될 수 있기 때문에, 네트워크의 부하가 소스 주변에 집중되는 것을 막아 전체적인 네트워크의 동작시간을 연장시킨다. 또한 지역적으로 멀티캐스트 트리를 재구성하므로 싱크의 이동으로 인한 통신 오류에 강인하다. 이를 위해, 제안된 프로토콜은 방사형의 원형 가상 구조 메커니즘을 사용하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜이 기존 연구들에 비하여 평균 데이터 전달 딜레이 및 평균 에너지 소비 측면에서 우월함을 보였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 제안된 프로토콜에 대하여 설명한다. 3 장은 제안된 프로토콜의 성능을 분석하였고 4 장은 본 논문의 결론이다.

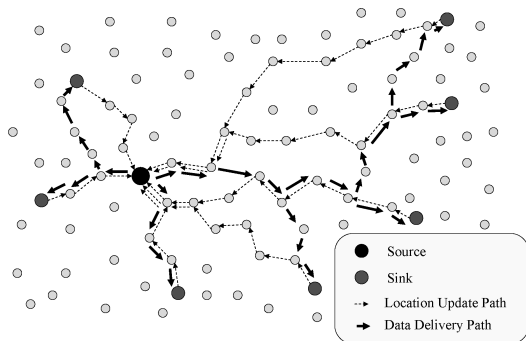


그림 1. 소스 중심 멀티캐스팅 프로토콜 통신의 예

II. 관련 연구

본 논문은 다음의 사항들을 가정한다. 센서 네트워크는 센서 노드들에 의해 밀집된 지역에 뿌려진다. 각각의 센서 노드는 GPS 시스템^[7] 또는 위치 정보 지역화 기술^[8] 등을 통해 자신의 위치 정보를 알 수 있다. 또한 싱크들은 위치 서비스 프로토콜^[9,10]들을 통해 소스의 위치 정보를 쉽게 얻을 수 있다고 가정한다. 센서 네트워크의 일반적인 멀티캐스트 응용에서, 소스는 싱크에 비하여 작은 이동성을 갖는다. 그리고 소스의 수는 일반적으로 싱크의 수에 비해 매우 적다. 따라서 싱크가 소스의 위치 정보를 얻어오는 과정은 소스에서 싱크까지 연속적인 멀티캐스트 전달 측면에서 심각한 추가 부하가 되지 않는다.

2.1 멀티캐스트 데이터 경로 구성

멀티캐스트 데이터 경로는 싱크의 위치 업데이트 메시지가 소스에게로 향해질 때 만들어진다. 싱크는 자신이 속한 가상구조의 특정 영역을 알아낼 수 있으며, 그 후 싱크는 영역의 정보를 포함한 메시지를 가상구조에게 전달한다. 다음의 알고리즘을 통해 이 메시지들이 소스에게로 전달되는 동안, 가상 구조는 멀티캐스트 데이터 경로들이 서로 병합될 수 있도록 도와준다.

2.1.1 싱크가 속한 영역 계산

싱크는 싱크 자신의 위치 정보와 소스의 위치 정보, 그리고 가상 구조의 크기를 결정하는 α 값을 알고 있기 때문에, 제안된 프로토콜의 방사형 원형 구조에서 자신이 속한 영역을 계산하여 알아낼 수 있다. 첫째로 어느 레벨의 원에 속해있는가는 싱크와 소스 간의 거리를 통해 얻어낸다. Circle_level l 은, 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$l = \left\lfloor \frac{Dist(Sink, Source)}{\alpha} \right\rfloor, \quad (1)$$

여기에서 $Dist(Sink, Source)$ 는 싱크와 소스 사이의 거리이며, α 는 원의 레벨을 결정짓는 요소이다. 둘째로 원의 어느 영역에 속해 있는가는 소스와 싱크간의 각을 통해 알아낼 수 있다. 이 각은 소스의 오른쪽 x 축 직선을 기준한다. 예를 들어, 소스 (x_0, y_0) 와 싱크 (x_1, y_1) 의 각 θ 는 다음의 식을 통해 얻어낸다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \right). \quad (2)$$

그리고 각각의 영역이 동일한 넓이를 갖기 위해, 이들을 나누기 위한 가상의 직선의 수는 원의 레벨에 따라 $4(2l + 1)$ 개가 존재한다. 따라서 (3) 과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$n = \left\lfloor \frac{\theta(2l + 1)}{90} \right\rfloor, \quad (3)$$

여기에서 n 은 싱크의 *area_number* 이다. 위와 같은 계산과정을 통해 싱크는 자신이 속한 가상 구조의 영역 (l, n) 을 알 수 있다.

2.1.2 싱크와 경계 노드 사이의 경로 구성

이동 싱크가 소스의 위치를 알고 있고, 그 소스로부터 데이터를 받기 원하면, 싱크는 그 소스와 멀티캐스트 데이터 경로의 구성을 시작한다. 그림 2 에서 볼 수 있듯이, 싱크는 자신의 등록 메시지를 소스의 위치 방향으로 위치 기반 라우팅^[7] 을 통해 전달하게 된다. 이 메시지는 소스를 향해 전달되는 도중에 싱크가 속한 영역의 경계 노드에 도착한다. 우리는 다음 장에서 센서 노드가 자신이 가상 구조의 경계 노드로서 동작하기 위한 판단 기법을 기술한다. 싱크의 등록 메시지가 경계 노드에 도착한 후, 이 메시지는 가상 구조의 경계 노드를 따라 소스에게 전달된다.

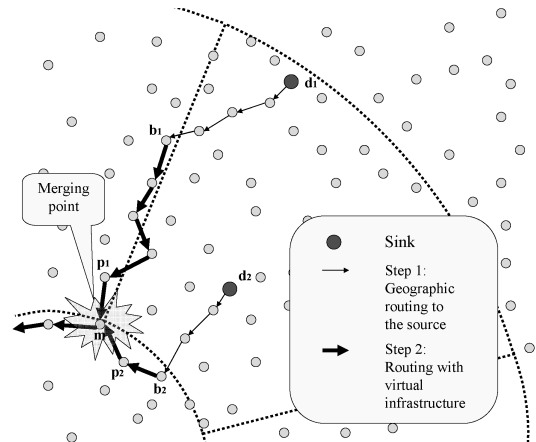


그림 2. 싱크와 경계 노드 사이의 경로 설정의 예

2.1.3 가상 구조의 경계 판단

제안 프로토콜에서, 싱크의 위치 업데이트 메시지가 위치 기반 라우팅을 통해 소스를 향해 전달되고 있을 때, 현재 위치의 노드가 가상 구조의 경계인가를 판단하는 것은 아주 중요한 요소이다. 우리는 이를 위해 싱크가 속한 영역의 정보를 싱크 업데이트 메시지

에 포함시켜 패킷을 전달한다. 패킷이 전달되는 동안 매 홉마다 노드는 현재 위치의 영역을 계산하고 패킷에 담긴 싱크의 영역 정보와 비교한다. 이 때 *Circle_level* 값이 변하면 현재 위치의 노드는 가상 구조의 원에 위치한 것으로 판단한다. 그리고 *Area_number* 값이 변하면 현재 위치의 노드는 가상 구조의 직선에 위치한 것으로 판단한다. 다시 말해서, 현재 위치의 노드의 영역 정보가 패킷에 담긴 싱크의 영역 정보와 달라지면 위치 기반 라우팅을 통한 패킷의 전달은 중지된다. 싱크가 속한 영역의 경계 노드, 즉 가상 구조에 속한 노드로서 다음 장에 다룰 알고리즘에 의해 소스에게 위치 업데이트 메시지를 전달한다.

2.1.4. 경계 노드와 소스 사이의 경로 구성

그림 2의 싱크 d_1 에서 볼 수 있듯이, 싱크의 업데이트 메시지가 가상 구조의 직선 형태의 경계에 도착한다면 이 메시지는 하위 원을 만날 때까지 해당 직선을 따라 전달된다. 이에 반해 싱크 d_2 처럼, 싱크의 업데이트 메시지가 원형 경계에 도착하면, 이 메시지는 원을 따라 이동하게 되는데 다음의 규칙을 통해 소스에게로 향하게 된다. 첫째로, 이 메시지는 가장 가까운 병합 직선 쪽으로 원을 따라 이동한다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 소스를 기준으로 하는 4개의 병합 직선이 존재한다. 현재 위치의 노드는 소스와의 각을 통해 가장 가까운 병합 직선을 알 수 있다. 예를 들어, 그림 3의 노드 n 는 $45^\circ < \theta < 90^\circ$ 사이의 값을 갖는다. 메시지는 소스의 위쪽 y 축 직선 방향으로 원을 따라 이동한다. 이러한 과정들은 데이터 경로의 병합 확률을 높인다. 둘째로, 원을 따라 이동하는 메시지가 하위 직선 경로를 만나면 더 이상 같은 원을 따라 이동하지 않고 하위 레벨 원을 만날 때까지 직선 경로로 이동한다. 가상 구조의 직선 경로를 사용하는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 원을 따라 이동할 때, 하위 직선 경로를 무시하고 소스의 x, y 축 직선으로 메시지가 직접 전달된다면 싱크의 업데이트 메시지는 더 많이 병합될 수 있을 것이다. 하지만 소스가 네트워크의 구석에 위치하거나 네트워크의 크기가 큰 경우에는 가상 구조의 원의 개수가 크게 증가하기 때문에, 병합 직선으로 직접 이동하는 싱크의 업데이트 메시지는 계속해서 경로를 크게 우회하는 문제가 발생할 수 있다.

우리는 위와 같은 포워딩 프로세스를 위해 패킷에 포함된 *area_number* 값과 *circle_level* 값을 사용한다. 그림 4(a)는 가상 구조의 원을 따라 이동하는 경우의 예이다. 패킷에 포함된 *area_number* 값과 현재

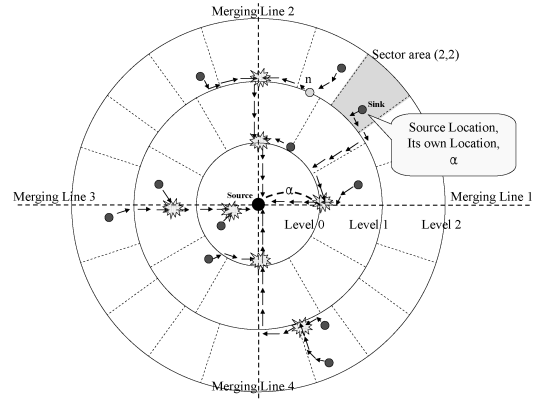


그림 3. 경계 노드와 소스 사이의 경로 설정의 예

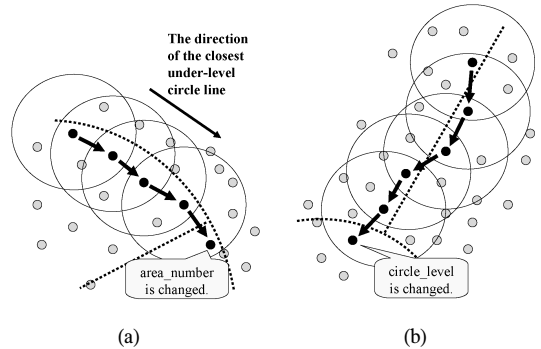


그림 4. 포워딩 프로세스의 예: (a) 가상 구조의 원을 따라 이동하는 경우, (b) 가상 구조의 직선을 따라 이동하는 경우

위치의 노드의 *area_number* 값이 달라지면 가상 구조의 직선 경로를 만난것으로 판단한다. 또한 그림 4(b)에서 볼 수 있듯이, 패킷에 포함된 *circle_level* 값과 현재 위치의 노드의 *circle_level* 값이 달라지면, 하위 레벨의 원을 만났다고 판단한다. 포워딩 프로세스는 싱크의 업데이트 메시지가 소스 또는 소스의 데이터를 받고 있는 노드에 도착할 때까지 계속된다. 싱크의 업데이트 메시지가 이미 소스로부터 데이터를 받고 있는 노드에 도착하면 해당 노드는 병합 노드가 되어 소스에게 이 업데이트 메시지를 전달하는 대신 자신의 라우팅 테이블에 해당 패킷에 대한 정보를 추가한다.

그림 2는 싱크 d_1 에 대한 멀티캐스트 경로가 구성된 후, 싱크 d_2 의 메시지가 노드 m 에 도착했을 때의 병합과정을 보여준다. 노드 m 은 소스의 데이터를 받고 있는 노드이기 때문에, 싱크 d_2 의 메시지를 받았을 때 자신의 라우팅 테이블에 노드 p_2 에 대한 정보를 추가한다. 즉 싱크 d_2 의 위치 정보는 소스가 아닌 노드 m 에 등록된다.

2.2 소스로부터 멀티캐스트 데이터 전달

제안 프로토콜의 소스는 자신이 생성한 멀티캐스트 데이터를 받는 싱크가 누구인지, 어느 곳에 위치 하는가에 대한 고려가 필요하지 않다. 싱크의 위치 업데이트 메시지가 소스에게 전달되는 동안 멀티캐스트 트리가 이미 만들어졌기 때문에, 소스는 단지 그 트리의 역 경로로 데이터를 전달하는 역할만을 수행한다. 소스의 멀티캐스트 데이터가 병합 노드를 만나면, 이 데이터는 라우팅 테이블을 따라 분기하여 전송된다. 또한 병합을 수월하게 하며 데이터의 연속성을 보장하기 위해, 소스의 멀티캐스트 데이터는 다음 노드에 전달되더라도 바로 폐기하지 않고 일정시간 동안 유지한다. 예를 들어, 그림 2 에서 소스로부터 생성된 멀티캐스트 데이터가 노드 m 에 도착하면, 노드 m 은 자신의 라우팅 테이블을 보고 노드 p_1 과 p_2 양쪽 모두에게 멀티캐스트 데이터를 전달한다.

2.3 싱크의 이동에 대한 경로 재구성

앞서 언급했듯이, 싱크는 소스에게 자신의 위치 정보 메시지를 전달하면서 데이터 전달을 위한 경로를 구성한다. 하지만 싱크가 이동성을 갖는 경우, 이러한 업데이트 메시지는 크게 증가할 것이며, 결과적으로 빈번한 경로 재구성을 야기하여 네트워크에 심각한 부하가 될 것이다. 이 문제의 해결을 위해, 우리는 가상구조의 각 영역을 같은 동일한 넓이로 나누었다. 싱크가 동일한 한 영역 내에서 움직이는 경우, 제안된 프로토콜은 이전 경로에 영향을 주지 않는다. 싱크는 영역의 정보가 바뀔 때까지 매 홉마다 연속적으로 자신으로부터 가까운 노드를 릴레이 노드로 선정한다. 다시 말해서, 멀티캐스트 데이터는 앞서 언급한 Footprint chaining^[6] 방법을 통해 효과적으로 싱크에게 전달될 수 있다. 만일 싱크가 다른 영역으로 이동해 나가는 경우, 싱크는 이전 경로를 취소한다. 동시에, 싱크는 새로운 경로 생성을 시작한다. 경로 취소 메시지는 병합 노드를 만날 때까지 전달된다. 왜냐하면 이러한 취소 메시지가 다른 멀티캐스트 데이터 전달에 영향을 주지 않게 위함이다.

III. 성능 분석

이 장에서는, 우리는 SOM(Source-initiated geographic Multicasting protocols) 방식의 대표적인 프로토콜인 GMR^[3], SEAD^[5] 과 SIM (Sink-initiated geographic Multicasting protocol) 방식의 제안된 프로토콜과의 평균 에너지 소비 비교, 네트워크의 남은 에너지의 비

교, 그리고 싱크의 수와 속도의 변화에 대한 딜레이 측정 및 에너지 소비량의 비교를 통해 성능을 분석하였다.

3.1. 시뮬레이션 환경

제안된 프로토콜의 성능 측정은 Qualnet 4.0^[12] 네트워크 시뮬레이터를 사용했다. 센서 노드의 모델은 MICA2^[11]의 제원을 따랐다. 센서 노드들의 전송 범위는 50 m 로 설정했다. 네트워크는 500 × 500 m² 의 크기를 가지며 200 개의 노드가 랜덤하게 뿌려지도록 설정했다. 하나의 소스에서 멀티캐스트 데이터가 생성되면, 소스는 매 2 초마다 싱크들에게 전송한다. 모든 프로토콜들은 동일하게 싱크들이 소스의 위치 정보를 알고 있다고 가정했으며, SEAD 와 GMR 의 싱크 위치 업데이트 메시지는 위치기반 라우팅을 통해 소스에게 직접 전달할 수 있도록 하였다.

3.2 시뮬레이션 시간에 대한 성능 측정

그림 5 는 시뮬레이션 시간에 대한 평균 에너지 소비 그래프이다. 이 시나리오에서, 싱크의 수는 10 개로, 이들의 속도는 10 m/s 로 동일하게 설정하였다. 그래프에서, 3 가지 프로토콜들 모두 시간이 지남에 따라 평균 에너지 소비량이 점차 증가하다가 급격히 감소한다. 이것은 소스 주변 노드들의 수명이 다했을 때 싱크의 업데이트 메시지와 소스의 멀티캐스트 데이터가 지속적으로 우회하는 현상이 나타나기 때문이다. 또한 우리는 네트워크의 수명이 다하는 시점을 소스 노드의 에너지가 전부 소모되어 더 이상 싱크에게 생성된 멀티캐스트 데이터를 전달할 수 없을 때로 판단한다. 그렇기 때문에 그림 5 에서 점차 증가하던 그래프는 어느 시점을 기준으로 급격히 감소하는 양상을 보인다. 제안된 프로토콜은 다른 프로토콜들보다

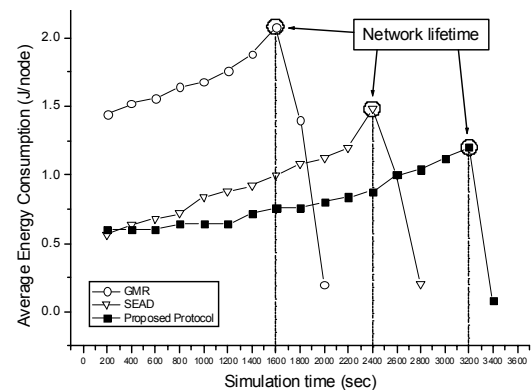


그림 5. 시뮬레이션 시간에 대한 평균 에너지 소비 그래프

평균 에너지 소비량이 적고 네트워크의 수명이 더 긴 것을 알 수 있다. 그 이유는 SEAD, GMR 의 개별적인 싱크 위치 업데이트 메시지가 소스 주변의 집중된 에너지 소비를 야기하기 때문이다. SEAD 와 달리, GMR 은 단지 하나의 싱크가 움직이더라도 전체 멀티캐스트 트리를 소스부터 다시 구성하고 싱크의 로컬 이동성에 대한 고려가 없기 때문에 많은 수의 싱크 업데이트 메시지를 생성한다. 그렇기 때문에 다른 프로토콜들에 비해 평균적으로 많은 에너지를 소비하여 네트워크의 수명이 가장 짧은 것을 볼 수 있다.

그림 6 는 그림 5 에서 가장 짧은 동작시간을 보인 GMR 의 네트워크 수명이 다했을 시점에서의 전체 노드들의 남은 에너지량을 보여주는 그래프이다. 우리는 시뮬레이션을 위해 랜덤하게 노드를 분산시켰기 때문에, x 축의 노드 번호를 지역적으로 다시 정렬했다. 그래프에서 123 번 노드는 소스이며, 전체적으로 모든 프로토콜들이 소스 주변 노드의 에너지 소비량이 다른 노드에 비해 많다. 하지만 제안 프로토콜은 소스와 그 주변 노드의 부하가 다른 프로토콜들에 비해 적기 때문에 네트워크의 남은 에너지량이 상대적으로 많은 것을 볼 수 있다.

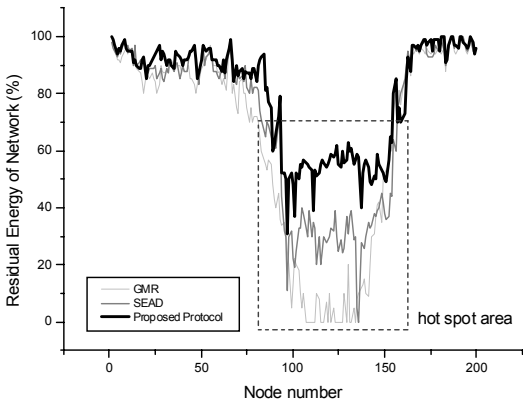


그림 6. GMR 프로토콜의 수명이 다한 시점에서의 전체 노드들의 남은 에너지량 비교 그래프

3.3 싱크의 수 변화에 대한 성능 측정

이 시나리오에서, 우리는 싱크의 수를 1에서 10으로 증가시키며 세가지 프로토콜의 평균 딜레이와 평균 에너지 소비를 측정한다. 이 때 싱크의 속도는 10 m/s 로 고정시켰다.

그림 7 에서, 싱크의 수가 적은 경우, GMR 이 가장 작은 시간이 걸림을 알 수 있다. GMR 은 소스에서 싱크로 데이터를 전달하면서 매 홉마다 경로를 구성하는데, 싱크의 수가 적은 경우 이러한 계산 과정이

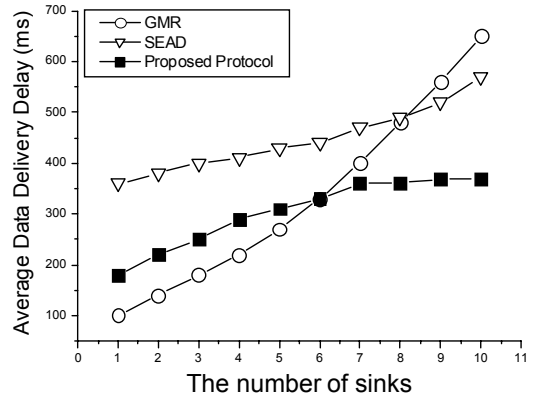


그림 7. 싱크의 수에 따른 평균 딜레이 측정

복잡하지 않기 때문이다. 하지만 싱크의 수가 증가될수록 제안된 프로토콜이 다른 프로토콜들보다 우월한 성능을 보였다. 이것은 SEAD 와 GMR 와 같은 SOM 방식의 프로토콜들이 모든 싱크들의 위치 정보 등록이 완전히 끝난 후에 멀티캐스트 트리 구성을 시작하기 때문이다. 그림 8 에서 볼 수 있듯이, 싱크의 수가 적은 경우 다른 두 프로토콜은 제안된 프로토콜보다 더 적은 에너지 소비를 보였는데, 왜냐하면 이들이 데이터 전달 경로를 구성하는 계산 부하가 적을 뿐 아니라 싱크의 이동으로 인한 위치 업데이트 메시지의 수가 상대적으로 적기 때문이다. 하지만 제안 프로토콜은 다른 프로토콜들에 비해 평균 에너지 소비의 증가 폭이 크지 않다. 이것은 싱크의 수가 증가할수록 싱크 위치 업데이트 메시지가 병합될 확률이 더 높아지기 때문이다. 일반적으로 SEAD 와 GMR 은 멀티캐스트 데이터 전달을 위한 트리가 우리 프로토콜에 비해 비슷하거나 적은 홉이 요구된다. 그럼에도 불구하고, 제안 프로토콜이 다른 두 프로토콜에 비해 전체 에너지

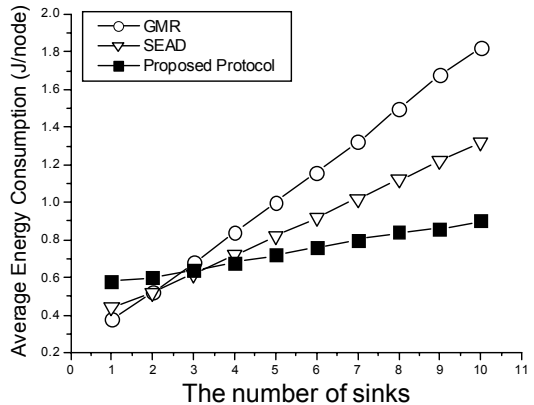


그림 8. 싱크의 수에 따른 평균 에너지 소비 측정

소비 측면에서 나은 성능을 보이는 이유는 싱크 위치 업데이트 메시지가 소스에게로 전달될 때 전체적으로 적은 홉이 필요하기 때문이다.

3.4 싱크의 속도 변화에 대한 성능 측정

이 시나리오에서, 우리는 싱크의 속도를 0 m/s 에서 20 m/s 로 증가시키며 세 가지 프로토콜의 평균 딜레이와 평균 에너지 소비를 측정한다. 이 때 싱크의 수는 10 개로 고정시켰다.

그림 9 에서, GMR 은 다른 두 프로토콜과 달리 싱크의 지역적인 이동에 대한 고려가 없기 때문에 싱크가 기존 위치에서 단지 1 hop 을 벗어났을 경우에도 이전에 구성된 멀티캐스트 트리를 재사용할 수 없기 때문에 대부분의 경우 소스의 데이터는 온전히 전달되기 어렵다. 또한 하나의 싱크 위치 업데이트 메시지로도 전체 멀티캐스트 트리가 소스부터 다시 만들어지기 때문에 이러한 데이터 전달 시간은 급격히 증가하게 된다. 그림 10 은 그림 8 의 그래프와 비슷한 양

상을 띄게 되는데, 이것은 싱크의 수가 증가했을 때와 마찬가지로, 싱크의 속도가 증가할수록 싱크 위치 업데이트 메시지의 수가 증가하게 되고, 그리고 데이터 전달 경로의 재구성 횟수 또한 그에 비례하여 증가하기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서, 우리는 각각의 싱크가 소스까지 독립된 데이터 전달 경로를 형성하고 이들의 비동기적인 병합 메커니즘을 통해 멀티캐스트 트리가 구성되는 싱크 중심 위치기반 멀티캐스팅 프로토콜(Sink-initiated geographic Multicasting protocol, SIM)을 제안한다. 전달 경로의 병합 확률을 높이고 싱크의 이동으로 인한 멀티캐스트 트리 재구성을 줄이기 위해, 우리는 방사형 가상 구조를 사용한다. 가상 구조는 센서 네트워크에 미리 만들어질 필요가 없으며 싱크의 위치 업데이트 메시지는 매 홉의 간단한 계산을 통해 가상 구조를 통해 소스에게 전달된다. 또한 이러한 병합 과정은 다수의 싱크에서 소스쪽으로 향하는 위치 업데이트 메시지의 수를 크게 줄일 수 있다. 이것은 소스 주변의 메시지 집중 현상 (Hot spot)을 해결하며, 결과적으로 네트워크의 수명을 연장시킨다. 따라서 제안된 프로토콜은 싱크의 이동성에 강인하며, 시뮬레이션은 제안된 프로토콜이 기존 연구들에 비하여 평균 데이터 전달 딜레이 및 평균 에너지 소비 측면에서 우월함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz *et al.*, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, pp.102-114, Aug. 2002.
- [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks," in *Proc. of the 6th ACM/IEEE Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00)*, pp.56-67, 2000.
- [3] 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.
- [4] S. Wu and K. S. Candan, "Demand-scalable

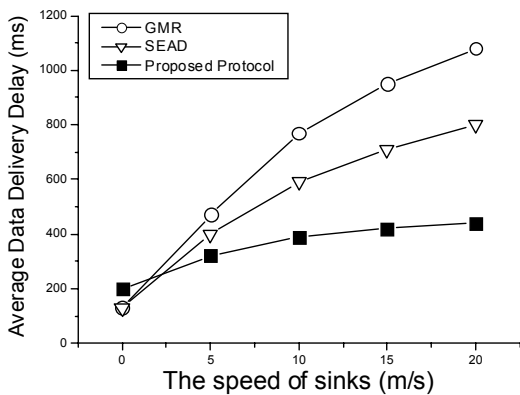


그림 9. 싱크의 속도에 따른 평균 딜레이 측정

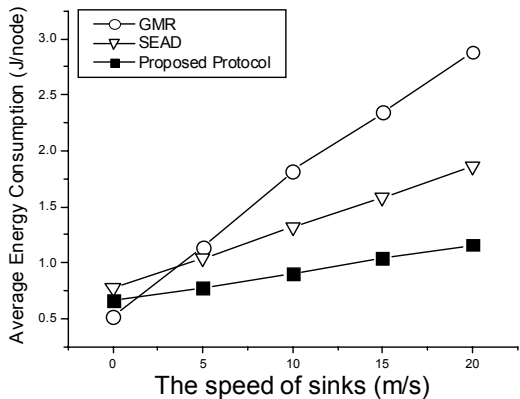


그림 10. 싱크의 속도에 따른 평균 에너지 소비 측정

- geographic multicasting in wireless sensor networks,” *Computer Communications*, Vol.30, pp.2931-2953, Oct. 2007.
- [5] 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.
- [6] 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 8thACM/IEEE Int’l Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom ’02)*, pp.148-159, Sep. 2002.
- [7] B. Karp and H. T. Kung, “GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks,” in *Proc. of the 6th ACM/IEEE Annual Int’l Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom’00)*, pp.243-254, Aug. 2000.
- [8] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, “Gps-less low cost outdoor localization for very small devices,” *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol.7, No.5, pp.28-34, Oct. 2000.
- [9] F. Yu, E. Lee, T. Kim, J. Lee, and S.H. Kim, “Circle Path Based Sink Location Service for Geographic Routing Scheme,” *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Apr. 2009.
- [10] R. Zhang, H. Zhao, and M.A. Labrador, “The anchor location service (ALS) protocol for large-scale wireless sensor networks,” in *Proc. of the 1st Int. Conf. Integr. Internet Ad Hoc and Sensor Networks (InterSens’06)*, 2006.
- [11] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, “Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research,” *IEEE IPSN 2005*, pp.364-369, Apr. 2005.
- [12] Scalable Network Technologies, Qualnet [online] available: <http://www.scalable-networks.com>

이 정 철 (Jeongcheol Lee)

준회원



2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2008년 9월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, Multicast 등

박 호 성 (Hosung Park)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2010년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
2010년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET 등

오 승 민 (Seungmin Oh)

준회원



2009년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2009년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks 등

정 주 현 (Juhyun Jung)

준회원



2000년 2월 건양대학교 컴퓨터공학과
2009년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks 등

임 용 빈 (Yongbin Yim)

준회원



2010년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2010년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

종신회원



1980년 서울대학교 학사
1984년 University of Houston 석사
1989년 University of Houston 박사
1992년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수

<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등