

무선 센서망에서 이동 싱크 그룹을 위한 효과적인 데이터 전달 방안

정회원 이 형 주*, 종신회원 김 상 하**°

Effective Data Dissemination Scheme for Mobile Sink Group in Wireless Sensor Networks

Hyungjoo Lee* *Regular Member*, Sang-Ha Kim**° *Lifelong Member*

요 약

무선 센서망에서 이동 싱크들에게 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 많은 라우팅 프로토콜들이 제안되어 왔다. 이런 프로토콜에서는 이동 싱크들을 서로 연관 없이 개별적으로 이동하는 분산된 단일 엔티티로 각 싱크를 고려하였다. 그러나 무선 센서망 응용들에서 다수의 이동 싱크들이 그룹으로 함께 움직이는 그룹 엔티티를 쉽게 찾아 볼 수 있다. 멀티캐스팅을 포함한 기존의 데이터 전달 방안들은 이런 그룹 통신 응용에 적용할 수 있지만, 개별적인 위치 업데이트와 데이터 전달 시 높은 혼잡과 제어 부담을 가져온다. 따라서 본 논문에서는 이동 싱크 그룹에게 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 방안을 제안한다. 제안 방안은 이동 싱크 그룹에 속한 이동 싱크들의 지리적인 위치를 기반으로 그룹 지역을 정하고, 그 정한 지역에만 데이터를 플러딩하여 그 지역 안에서 움직이는 모든 싱크들이 개별적으로 위치 업데이트하지 않고도 데이터를 받을 수 있도록 한다. 또한, 싱크 그룹의 전체적인 이동과 같은 다양한 이동 환경에서 데이터 전달을 보장한다. 시뮬레이션을 통해 제안 방안이 싱크 그룹에 적용할 수 있는 기존 방안들보다 데이터 전송률이 우월하고, 적은 에너지가 소비됨을 보였다.

Key Words : Wireless sensor networks; Data dissemination; Mobile sink group

ABSTRACT

There have been many routing protocols proposed for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks (WSNs), and they regard each sink as individually distributed single entity without relationship of each other. Recently, mobile group entities have been introduced in WSNs. A group of mobile sinks stay closely and move together within a specific area. Although the existing routing protocols involved in multicasting can be applied in such a group communication application, they suffer from high congestion and control overhead due to individual location update and data dissemination. In this paper, we propose a data dissemination scheme for a mobile sink group to address this problem. Our proposed scheme first determines the region based on the locations of mobile sinks in a group, and transmits data packets to every mobile sink in the group area through data sharing within the designated area. Simulation results show that our scheme guarantees data delivery to a mobile sink group well.

* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터 네트워크 연구실 (hjlee9@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr) (°: 교신저자)
논문번호: KICS2010-04-187, 접수일자: 2010년 4월 27일, 최종논문접수일자: 2010년 9월 27일

I. 서 론

무선 센서망에서 다수의 이동 싱크들에게 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 방안이 제안되어 왔다^{1,4)}. 이런 방안에서 다수의 이동 싱크들은 서로 연관 없이 이동하는 분산된 단일 엔티티들로 고려되어 이동 싱크들에게 데이터를 개별적으로 전달한다. 그러나 무선 센서망 응용들에서 다수의 이동 싱크들이 서로 협동하여 효과적으로 공통의 임무를 달성하기 위해 그룹으로 함께 움직이는 그룹 엔티티를 쉽게 발견할 수 있다. 예를 들면, 전쟁터에서 소대 단위의 군인들이나, 재난지역의 구조팀이 서로 협동하여 임무를 달성하는 응용에서처럼 다수의 이동 싱크들이 특정 지역 안에서 서로 가까이 머무르며 그룹으로 함께 움직이는 그룹 이동성을 가진 경우이다.

기존의 데이터 전달 방안들^{1,2)}은 이런 그룹 이동성을 가진 이동 싱크들을 고려하지 않았기 때문에 이동 그룹 싱크들에게 효과적으로 데이터를 전달하기에는 적합하지 않다. 이벤트를 감지한 소스는 이동 싱크들이 일정 지역에 위치하며 함께 움직이는 같은 그룹임에도 불구하고 각 이동 싱크들에게 같은 데이터를 개별적으로 전송함으로써 센서 노드들의 에너지를 쓸데없이 낭비하게 된다. 또한, 그룹에 속한 이동 싱크들에게 데이터를 전달할 때, 개별적으로 이동 싱크들의 위치가 업데이트가 되기 때문에 업데이트 경로 상의 센서 노드들의 부담이 커지게 된다. 이런 현상은 싱크 그룹의 성격으로 인해 싱크 그룹에 속한 이동 싱크들이 존재하고 움직이는 특정 지역 안에서 심각해질 수 있다. 즉, 이 지역 안에서 컨트롤 메시지가 심각하게 증가되고 이로 인해 혼잡이 발생해 망의 수명에도 영향을 줄 수 있다.

멀티캐스팅과 지오캐스팅 같은 그룹 통신 방안들이 싱크 그룹에게 데이터를 효과적으로 전달하기 위해 제안되어 왔다. 멀티캐스팅³⁾은 한 소스에서 멀티캐스트 그룹에 속한 싱크들에게 데이터를 최적화된 경로로 전달하기 위해 사용되는 기술이다. 그러나 멀티캐스트 그룹에 속한 싱크들은 인접한 지역 안에서 위치하고 움직이는 지리적인 연관성을 가지고 있지 않으며, 센서 필드를 함께 움직이지 않는다. 즉, 본 논문에서 고려하는 싱크 그룹은 기존의 멀티캐스트 그룹과 성격이 다르다. 또한, 지금까지 센서망에서 제안된 멀티캐스트 방안들은 그룹 이동성이 고려되지 않았다. 그리하여, 기존의 멀티캐스팅 방안들을 싱크 그룹 응용에 적용할 수 있지만 이동 싱크 그룹에게 데이터를 효율적으로 전달하기에 적합하지 않다.

그룹 통신을 위한 또 다른 기술인 지오캐스팅⁴⁾은 정해진 지리적인 지역 안의 모든 센서들에게 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 방안으로, 목적지 지역을 본 논문에서 제안하고자 하는 싱크 그룹이 존재하는 지역으로 적용할 수 있다. 그러나 기존의 지오캐스팅 방안은 정해진 지역 안의 모든 센서들에게 데이터 전달을 보장하는 것에만 관심을 두고 있어 싱크 그룹의 이동시 그에 따라 적절히 대처할 수 없다. 또한, 지역 밖으로 움직이는 멤버 싱크들의 이동에 대해서도 성공적인 데이터 전달을 보장할 수 없다. 그리하여 지리적으로 인접한 지역에 위치하며 함께 움직이는 싱크 그룹이 존재하는 응용에 직접 적용하기는 어려움이 있다.

이런 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 이동 싱크 그룹에게 데이터를 효과적으로 전달하기 위해 싱크 그룹이 존재하는 지역에만 데이터를 플러딩하는 방법을 제안한다. 다시 말해, 그룹을 구성하는 이동 싱크들의 지리적인 위치와 싱크 그룹의 이동성을 기반으로 그룹 지역을 정하고, 그룹의 대표에게만 그룹 지역의 위치를 업데이트하고, 소스는 이 지역만 데이터를 플러딩하여 이동 싱크 그룹에 속한 모든 싱크들에게 데이터를 효과적으로 전달한다. 또한, 본 제안 방안은 이 지역 안에서 싱크들이 빈번히 움직여도 이동 싱크들에 대한 위치 업데이트 없이 데이터를 받을 수 있으며, 그 지역 밖으로 벗어난 이동 싱크에게도 데이터를 빨리 포워딩해 줄 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 싱크 그룹에게 데이터를 전달하는데 적용할 수 있는 기존 방안들에 대해 살펴본다. 그리고 3장에서 싱크 그룹을 기반으로 한 새로운 데이터 전달 방안을 제안하고, 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안 방안의 우수성을 입증하며 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

이동성 모델을 살펴본 [5]에서는 이동 노드들의 움직임이 서로 관련 있는지의 유무에 따라 엔티티 이동성 모델과 그룹 이동성 모델로 나눈다. 센서망에서 제안된 데이터 전달 방안들^{1,4)}에서는 이동 싱크들의 움직임에 대한 관련성을 고려하지 않았다. 즉, 센서 필드 안에서 싱크들은 개별적으로 움직이므로 엔티티 이동성 모델에 따라 이동한다고 볼 수 있다. 이에 반해, 본 논문에서는 이동 싱크들이 함께 움직이는 그룹 이동성을 가지고 있다.

무선 센서망에서 서로 개별적으로 움직이는 이동

싱크들을 위한 데이터 전달 방안들이 제안되어 왔다. TTDD^[2]는 대표적인 데이터 전달방안으로, 그리드 구조를 사용하여 다수의 이동 싱크들에게 확장성 있고 효율적인 데이터 전달을 제공한다. 그러나 각 소스마다 그리드를 만들고 유지해야 하며, 다수의 이동 싱크들이 개별적으로 그리드를 따라 쿼리와 데이터를 전달한다. 또한, 싱크들이 셀을 변경할 경우 각 싱크들은 새로운 전달 노드를 발견하기 위해 셀 범위 정도의 로컬 플러딩을 해야 하기 때문에 다수의 싱크들의 이동이 빈번해지면 더욱 비효율적이다. GMR^[3]은 무선 센서망에서 제안된 멀티캐스팅 라우팅 프로토콜로서, 소스 노드가 모든 목적지의 위치를 기반으로 매 홉마다 멀티캐스트 경로를 계산해 데이터가 최적의 경로로 전달된다. 그러나 싱크가 이동할 때마다 소스에게 개별적으로 위치 업데이트를 하는 과정에서 지리적으로 연관되어 있는 싱크 그룹의 성격상 각 멤버 싱크들의 위치 업데이트 메시지가 비슷한 경로로 전달될 것이기 때문에 이 경로상의 충돌과 혼잡이 증가할 것이다. 만약, 싱크의 이동이 빈번하다면 이런 문제는 더욱 심화될 것이다. [4]는 최근에 센서망에서 제안된 지오캐스팅 프로토콜로서, 데이터가 먼저 정해진 지역의 한 노드에 도착하면 그 노드로부터 제한된 지역 안에만 데이터가 플러딩된다. 이는 단순하지만 한 소스로부터 지리적인 관련성을 가지고 집단적으로 움직이는 그룹 통신에 대해 효과적인 기술이다. 그러나 고정된 지역으로 데이터를 전달하도록 설계되었기 때문에 이동 싱크 그룹에게 데이터를 전달하는 데에 직접 적용하기 어렵다.

결론적으로, 본 논문에서는 이런 기존 방안의 문제점들을 고찰하여 이동 싱크들이 지리적인 인접하게 위치하며 함께 움직이는 이동 싱크 그룹에게 효과적으로 데이터를 전달하기 위해 그룹의 대표만이 이동 싱크 그룹이 존재하는 지역에 대한 위치 정보를 소스에게 업데이트하고, 그 지역에만 데이터를 플러딩하는 것을 제안한다. 이로써 이 지역 안에서 그룹에 속한 싱크들이 움직일 경우에 개별적인 위치 업데이트 없이 데이터를 받을 수 있게 했다. 추가적으로 이 지역을 벗어난 싱크들과 싱크 그룹이 전체적으로 이동했을 경우에도 데이터를 전달받을 수 있도록 방안을 제안하였다.

III. 제안 방안

이 장에서는 본 논문에서 목표로 하는 이동 싱크 그룹을 위한 데이터 전달 방안에 대해 제안한다.

3.1 네트워크 모델 및 가정

본 논문에서는 수많은 센서노드들과 다수의 이동 싱크들이 존재하는 큰 규모의 센서 네트워크를 고려한다. 모든 센서 노드들은 고정적이고 GPS나 다른 기술들을 사용하여 자신의 위치를 인식한다. 이 지리적인 위치를 기반으로 센서 노드들은, 감지한 이벤트 데이터나 제어 메시지를 전달하기 위해 대표적인 지리적 라우팅 방안인 GPRS^[6]을 사용한다. 이동 싱크는 PDA와 같은 무선 통신 장치로서, 자신의 위치를 인식하고, 에너지도 재공급 받을 수 있다. 싱크들은 비콘 (beacon) 메시지를 통해 이웃한 센서 노드를 알아내고, 센서 네트워크를 통해 서로 통신할 수 있다.

싱크 그룹은 전쟁터에서 센서망으로부터 정보를 수집하여 임무를 달성하는 군인들처럼 그룹으로 함께 움직이는 동시에 같은 그룹에 속한 멤버 싱크들은 지리적으로 제한된 지역 안에서 자유롭게 움직이며 임무를 달성한다. 즉, 싱크 그룹이 움직이면 싱크 그룹이 위치한 지역이 전체적으로 움직이고, 멤버 싱크들은 그 지역 안에서 임의로 움직인다. 이런 싱크 그룹은 대표 싱크와 멤버 싱크들로 구성되어 있으며, 이들은 자신의 고유한 싱크-ID 뿐만 아니라 그룹-ID를 가지고 있어 동일한 데이터를 받을 수 있다. 본 논문에서 대표 싱크는 초기에 싱크 그룹이 존재하는 지역의 범위를 알고 있으며, 이 지역을 ‘그룹 지역’이라 일컫고, 그룹 지역의 모양을 원으로 가정한다.

3.2 제안 방안 기술

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 싱크 그룹을 위한 효율적인 데이터 전달 방안을 다음과 같이 3단계로 나누어 기술한다.

3.2.1 싱크 그룹 지역에 대한 위치 정보 추출 및 알림

싱크 그룹을 위한 효과적인 데이터 전달을 위해, 대표 싱크가 현재 싱크 그룹에 속한 멤버 싱크들의 위치를 기반으로 그룹 지역에 대한 정보를 획득하여 소스에게 알려주는 과정이다. 대표 싱크는 이웃한 한 센서 노드를 에이전트 노드로 선택한다. 이 에이전트를 통해 대표 싱크는 그룹-ID를 가진 멤버 탐색 메시지를 그룹 지역에 플러딩한다. 즉, 에이전트가 이 메시지를 자신의 1-hop 반경의 센서들에게 브로드캐스팅하고, 이 메시지를 받은 센서 노드들은 자신이 그 그룹 지역에 속했는지 판단하여 만약 그렇다면 다시 이웃한 노드들에게 브로드캐스팅하고, 그렇지 않다면 무시한다. 이 메시지를 받은 멤버 싱크들은 자신의 현재 위치를 포함한 알림 메시지를 에이전트 노드에게 보낸다. 대표 싱크는 멤버 싱크들의 현재 위치를 기반으로 그룹

지역에 대한 중심과 반경을 포함한 현재 위치 정보를 추출한다. 그룹 지역에 대한 정보를 $Info\{Group\}$ 이라 정의하고, 이는 그룹-ID, P_s , P_c , R 로 구성된다. 여기서, P_s 는 대표 싱크의 위치, P_c 는 그룹 지역의 중심 위치, R 은 반경을 나타내며 다음과 같이 계산된다.

$$P_c = (x_c, y_c) = \left(\sum_{i=1}^n x_i / n, \sum_{i=1}^n y_i / n \right) \quad (1)$$

$$R = d_{max} + \alpha \quad (2)$$

여기서, 식(1)은 P_c 가 그룹에 속한 n 개의 멤버 싱크들의 위치 좌표를 기반으로 계산되었음을 보여준다. d_{max} 는 임의의 멤버 싱크의 위치 P_i 와 P_c 사이의 거리 (d_i) 중에서 최댓값으로서, $d_{max} = \max_{1 \leq i \leq n} d_i$ 로 나타낼 수 있다. α 는 싱크 그룹의 이동성을 고려해 정해진 상수 값으로, 그룹 지역의 크기를 결정하기 위한 또 다른 요소이다. α 가 너무 작으면 싱크 그룹이 이동함에 따라 한 지역에서 다른 지역으로 빈번히 변경되어 그룹 지역 정보를 자주 업데이트해야 할 것이다. 반면에, α 가 너무 크면 제한된 로컬 플러딩 비용이 증가할 것이다.

이렇게 추출한 그룹 정보 $Info\{Group\}$ 를 대표 싱크는 [7]과 같은 위치 서비스 방안을 통해 소스의 위치를 알아내고, 알아낸 소스의 위치로 GPSR을 사용하여 그룹 정보를 보낸다. 이로써 소스는 싱크 그룹의 위치 정보를 획득하여 데이터를 싱크 그룹에게 직접 전달할 수 있게 된다.

3.2.2 데이터 전달

소스 노드가 싱크 그룹에게 감지한 데이터를 전달하는 과정이다. 이동 싱크 그룹에게 효과적으로 데이터 전달을 하기 위해 소스 노드는 R , P_c 와 자신의 위치(P_s)를 활용하여 소스 노드와 가장 가까운 그룹 지역의 입구점 P_{str} 을 다음 수식에 의해 계산하고 가장 먼 출구점 P_{end} 도 계산한다. 여기서, x_c, y_c 는 그룹 지역의 중심 위치(P_c), x_s, y_s 는 소스 위치(P_s)의 좌표들이고, d 는 P_s 와 P_c 사이의 거리이다.

$$P_{str} = (x_{str}, y_{str}) = \left(\frac{(x_s - x_c) \cdot R}{d} + x_c, \frac{(y_s - y_c) \cdot R}{d} + y_c \right)$$

소스 노드는 자신이 감지한 데이터에 자신의 위치 (P_s), 출구점(P_{end})과 그룹 정보 $Info\{Group\}$ 를 포함하여 데이터 패킷을 만들고, 최단 경로로 그룹 지역에

데이터를 전달하기 위해 지역의 입구점인 P_{str} 로 GPSR을 사용해 보낸다. 그룹 지역 내에 패킷을 받은 P_{str} 의 주변의 한 센서 노드를 입구점 노드라 하며, 이 노드는 소스와 그룹 지역 사이의 가장 가까운 노드로서 그림 1에서처럼 데이터를 그룹 지역 안에 제한된 플러딩을 하는 역할을 수행한다. 입구점 노드는 전달 받은 패킷 안의 지역 정보를 활용하여 데이터를 플러딩하기 시작한다. 즉, 데이터를 받은 센서 노드들은 지역 정보 안의 R 과 P_c 를 가지고 자신이 지역 안에 속한 노드인지 아닌지를 먼저 판단한다. 만약 지역 안에 속한 노드이면 데이터를 다시 이웃 노드에게 플러딩하고, 그렇지 않으면 데이터를 버리고 플러딩을 멈추게 된다. 이런 방법으로 데이터는 그 그룹 지역 내에서만 전달되고, 멤버 싱크들은 그룹 지역 안 어디에 있든지 그 데이터를 받을 수 있게 된다.

또한, 입구점 노드는 그림 1에서처럼 그룹 지역의 경계 쪽으로도 데이터를 전송하여 그룹 지역의 경계를 감싸 그룹 지역을 벗어나는 멤버 싱크들에 대한 이동을 효과적으로 지원할 수 있게 해 준다. 즉, 싱크 그룹에 속한 멤버 싱크가 플러딩에 의해 데이터를 받기 전 그룹 지역 밖으로 이동할 수 있으므로, 이런 싱크들에게도 데이터 전달을 보장해 주기 위해 그룹 지역의 경계 노드들에게 데이터를 전달하여 외곽을 빨리 감싸는 것이다. 이를 위하여 입구점 노드는 GPSR을 사용해 P_{end} 를 목적지로 정하여 그룹 지역을 홀(void)처럼 간주하고, 자신의 이웃 노드들 중에서 $d_i \geq R$ 를 만족하는 후보 노드들을 찾아 이들 중에서 오른손 법칙과 왼손 법칙에 따라 양방향으로 P_{end} 와 가장 가까운 두 개의 다음 외곽 노드들을 선택하며 P_{end} 쪽으로 그림 1처럼 그룹 지역의 외곽을 감싼다. 여기서 d_i 는 P_c 와 이웃 노드들 사이의 거리이다.

이런 방법으로 그룹 지역의 경계가 만들어지고 데

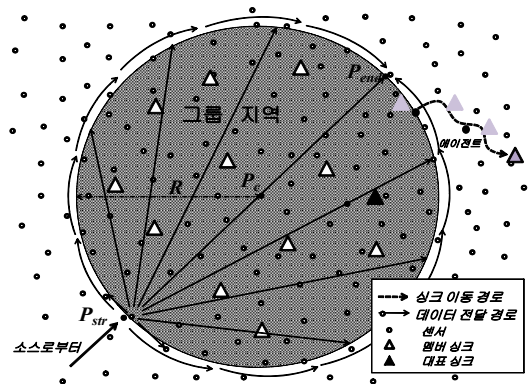


그림 1. 데이터 전달 및 멤버 싱크 이동성 지원

이터가 그룹 지역 안으로만 전달되어 이동 싱크 그룹에게 데이터 전달이 보장된다. 이를 통해 이동 싱크 그룹이 그룹 지역 안에서 이동하는 동안에는 이동 싱크의 개수나 이동 횟수에 상관없이 모든 멤버 싱크들은 어떤 추가적인 동작 없이 언제나라도 데이터를 쉽게 전달받을 수 있다.

3.2.3 이동성 지원

싱크 그룹이 움직일 때도 싱크 그룹에 속한 모든 멤버 싱크들에게 데이터 전달을 보장하도록 한 싱크 그룹이 움직이면서 마주치는 다양한 상황을 고려하여 크게 두 가지 경우로 나누어 제안한다. 싱크 그룹이 전체적으로 움직이는 경우와 한 싱크 그룹에 속한 멤버 싱크가 개별적으로 움직이는 경우이다. 후자는 멤버 싱크가 그룹 지역 안에서 움직였는지 혹은 밖으로 움직였는지에 따라 다시 나누었다.

1) 멤버 싱크가 그룹 지역 안에서 움직였을 경우

멤버 싱크들이 정해진 그룹 지역 안에서 움직일 경우에는 어떤 추가적인 동작 없이도 항상 데이터 전달을 보장할 수 있다. 이 논문에서 목표로 하고 있는 이동 싱크 그룹이 존재하는 응용에서, 싱크 그룹을 고려하지 않은 기존의 데이터 전달 방안들을 적용했을 경우 가장 큰 문제점은 각 싱크가 이동할 때마다 개별적인 위치 갱신 및 데이터 전달로 인한 혼잡과 오버헤드였다. 특히, 싱크 그룹에 속한 멤버 싱크들이 일정 지역 안에서 움직이기 때문에 싱크 그룹이 위치한 이 그룹 지역 안에서 이런 현상이 심화될 것이다. 그러나 제안 방안에서는 싱크 그룹 안의 모든 멤버 싱크들은 어떤 추가적인 위치 업데이트 메시지나 이동한 위치로의 데이터 포워딩 없이 데이터를 전달받을 수 있다. 더욱이 싱크 그룹에 속한 각 멤버 싱크들의 움직이는 횟수나 거리에 전혀 상관없이 모든 멤버 싱크들은 데이터를 효율적으로 얻을 수 있다. 그러므로 싱크 그룹이 존재하는 지역 안에서의 부담이 줄어들고, 전체 센서망에서의 에너지 효율이 증가해 망의 수명에도 긍정적인 영향을 줄 수 있다.

2) 멤버 싱크가 그룹 지역 밖으로 움직였을 경우

싱크 그룹에 속한 임의의 한 멤버 싱크가 움직여 그룹 지역 밖으로 벗어날 경우, 다른 전달 방안에서 일반적으로 사용했던 *footprint chaining* 전략²⁾과 유사한 방안을 사용한다. 즉, 고정 센서 노드를 이동 싱크의 위치 관리자인 에이전트로 선정해 이를 통해 데이터를 전달받는다. 차이점은 그림 1에서와 같이 그룹

지역의 경계에 센서 노드를 첫 번째 에이전트를 선출하는 것이고, 멤버 싱크는 그 에이전트 노드에게 자신의 위치를 주기적으로 보고해야 한다. 만약 그 에이전트와 이동 싱크와의 거리가 멀어지면, 보조 에이전트가 새롭게 선출될 수 있으며 이전 에이전트와 논리적인 링크가 만들어진다. 본 제안 방안에서는 에이전트를 두 번까지만 선택할 수 있고, 이것이 기존 방안과 다른 두 번째 차이점이다. 결국 대표 싱크는 이런 상황을 해당 멤버 싱크의 그룹 탈퇴 또는 전체 그룹의 이동으로 판단할 수 있다. 또한, 대표 싱크는 그 그룹 지역 밖으로 벗어난 멤버 싱크의 개수가 일정 값을 초과하였거나 이동하는 멤버 싱크와 통신할 수 없는 경우들에 대해서 관리한다. 이런 특정한 상황들에 대한 그룹 관리 방안들은 향후 연구로 남겨둔다.

3) 싱크 그룹이 전체적으로 움직였을 경우

대표 싱크는 멤버 관리 방안에 있어 필요에 따라 멤버 탐색 메시지를 통하여 멤버 싱크들의 현재 위치를 파악할 수 있다. 이를 통해 대표 싱크는 다음의 상황을 기준으로 자신이 속한 싱크 그룹이 전체적으로 움직였다는 것을 판단할 수 있다.

- 이전 P_c 와 현재 P_c' 사이의 변위
- 이전 R 과 현재 R' 사이의 변위

따라서, 대표 싱크는 이 정보를 기준으로 싱크 그룹이 전체적으로 움직였다는 것으로 판단되었을 경우, 이는 그룹 지역이 이동했다는 것이므로 멤버 싱크들이 이동한 위치를 기반으로 새로운 그룹 정보 *Info(Group)* '를 계산하여 소스에게 직접 전달한다. 그 후, 소스는 변경된 그룹 지역으로 새로운 데이터를 이전의 데이터 전달 단계를 따라 반복한다.

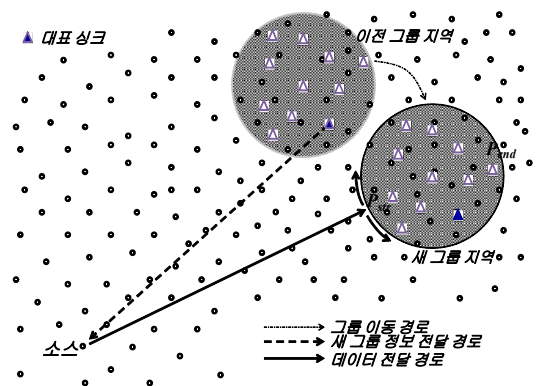


그림 2. 싱크 그룹 지역 이동성 지원 방안

IV. 시뮬레이션

이 장에서는 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 방안의 성능을 평가한다.

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 QualNet 3.8^[7] 시뮬레이터를 사용하고, MAC 프로토콜은 IEEE 802.11을 활용하여 제안 알고리즘을 구현하였다. 센서 네트워크의 크기는 1000 x 1000m²이고, 2500개의 노드들을 균일하게 배치했다. 소스 노드들은 초당 2개의 128비트 데이터 패킷을 일정한 속도로 만들어 전달한다. 센서 노드의 에너지 소비모델은 상용되는 MICA^[8]명세에 따라 다음과 같이 시뮬레이션 파라미터로 사용하였다. 한 노드의 데이터 전달 과정에 필요한 에너지 소비값을 전송, 수신 파워로 구분하고 그 값을 21mW, 15mW로 설정하였다. 이동 싱크 그룹은 기본적으로 10개의 멤버 싱크들로 구성되어 있다. 싱크 그룹 이동성을 구현하기 위해서 이동성 옵션 파라미터를 그룹-이동성으로 설정해서 싱크 그룹이 전체적으로 random waypoint 모델^[5]을 따라 움직이고, 싱크 그룹에 속한 모든 멤버 싱크들도 그룹 지역 안에서 random waypoint 모델을 따라 움직이도록 하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 R과 v에 따른 제안 방안의 에너지 소비량 측정

먼저, 제안 방안의 에너지 소비량을 R과 v의 변화에 따라 측정하였다. 에너지 소비량은 싱크 그룹에 데이터를 전달하기 위해 네트워크에 뿌려진 센서 노드들이 데이터를 주고받을 때 소비하는 총 에너지양을 측정하였다.

그림 3은 싱크 그룹의 이동 속도 증가에 따른 평균 에너지 소비량을 보여준다. 이 실험에서는 싱크 그룹의 이동 속도(v)에 대한 에너지 변화를 살펴보기 위해 그룹 지역의 반경(R)은 변경하지 않는다. 싱크 그룹의 속도 증가에 의해 그룹 지역의 변경되기 때문에 에너지 소비가 증가한다. 즉, 싱크 그룹의 속도가 5, 10m/s에서는 같은 그룹 지역 안에서 싱크 그룹이 움직이므로 같은 에너지 소비량을 가지며, 15, 20m/s에서는 그룹 지역이 변경되어 에너지 소비량이 2배로 증가하였고, 25, 30m/s에도 같은 현상이 발생하였다. 여기서, 다른 두 속도에 대해서 같은 에너지 소비량을 보인 것은 그룹 지역의 반지름으로 인한 결과이다. 반지름을 더 작게 했으면 속도의 변화에 따라 다른 에너지 소비량을 보였을 것이다.

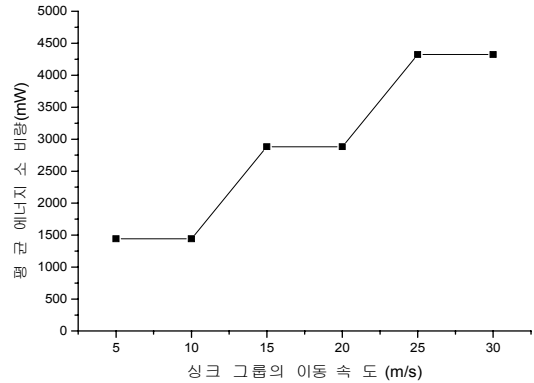


그림 3. 그룹의 이동 속도에 따른 제안 방안의 평균 에너지 소비량

그림 4는 그룹 지역의 반지름이 증가함에 따른 평균 에너지 소비량을 보여준다. 이 실험에서는 R에 대한 에너지 변화를 살펴보기 위해 그룹 지역의 속도는 고정하였다. 반경이 100m까지 증가하는 동안에는 센서들의 에너지 소모량이 점차로 감소한다. R이 100m 정도에서 에너지 소모량은 최소가 된 후, 그 후에는 R이 증가함에 따라 에너지 소모량도 증가한다. 그 이유는 R이 커짐에 따라 싱크 그룹이 그룹 지역에 머무르는 시간이 길어지기 때문에 처음에 에너지 소모량은 점차 감소한다. 반면에, R값이 너무 커지면 그룹 지역이 넓어지기 때문에 플러딩 비용이 증가하므로 에너지 소비가 커지게 된다.

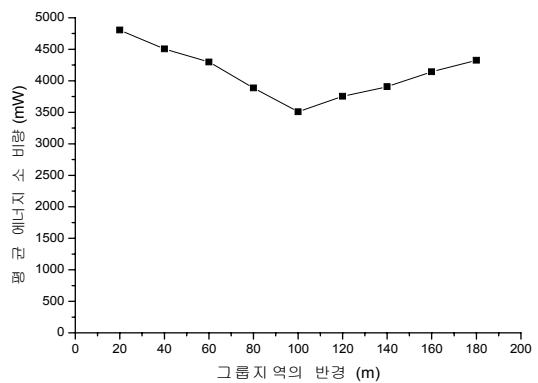


그림 4. 그룹 지역의 반경에 따른 제안 방안의 평균 에너지 소비량

4.2.2 그룹 싱크들의 이동 속도에 따른 평균 데이터 전송률

그림 5는 일정 지역 안에서 움직이는 그룹에 속한 싱크들의 이동 속도에 따른 평균 데이터 전달률을 TTDD^[2], GMR^[3]과 비교하여 보여준다. 싱크들의 이

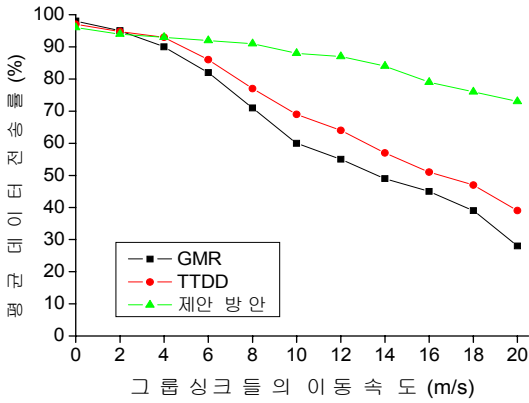


그림 5. 그룹 싱크들의 이동 속도에 따른 평균 데이터 전송률

동 속도는 0~20m/s로 변화를 주었고, 한 소스 노드에 만들어진 데이터 패킷의 총 개수에 대한 이동 싱크들이 성공적으로 받은 데이터 패킷 개수의 비율로 데이터 전송률을 측정하였다. 제안 방안의 데이터 전송률은 다소 감소하는 반면 다른 방안들의 데이터 전송률은 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. TTDD에서, 싱크 그룹에 속한 이동 싱크들이 셀을 변경할 때 모든 싱크는 가장 가까운 전달 노드를 찾기 위해 셀 범위 안에서 쿼리 메시지를 플러딩해야 한다. 이동 속도가 빨라지면 싱크 그룹은 많은 셀들을 순회한다. 모든 싱크들에 의한 로컬 플러딩 때문에 혼잡이 심각하게 발생하여 그룹의 이동 속도 증가에 비례하여 데이터 전송률이 급속히 감소하게 된다. GMR에서는 그룹에 속한 모든 이동 싱크들이 소스에게 자신의 위치를 업데이트한다. 모든 업데이트 메시지들은 유사한 경로로 전달되기 때문에 충돌과 혼잡에 의해 다수의 메시지 손실이 발생한다. 따라서 GMR의 데이터 전송률은 싱크 그룹의 속도가 증가함에 따라 급속히 감소한다. 그러나 제안 방안은 그룹에 속한 모든 싱크들이 아니라 대표 싱크만 제한된 플러딩과 위치 업데이트를 수행하기 때문에 싱크 그룹의 이동 속도가 빨라짐에 따라 데이터 전송률이 급격히 감소하지 않는다.

4.2.3 그룹 싱크들의 이동 속도에 따른 평균 에너지 소비량

그림 6은 그룹 싱크들의 이동 속도에 따른 평균 에너지 소비량을 다른 방안들과 비교하여 보여준다. 그룹 싱크들의 속도가 증가함에 따라 GMR의 에너지 소비량이 가장 심각하게 증가한다. 왜냐하면 싱크들의 이동에 따라 소스에게 그룹에 속한 모든 이동 싱크들의 위치를 자주 업데이트해야 하고 멀티캐스트 경로를 재구성해야 한다. TTDD는 싱크 그룹이 그리드 셀

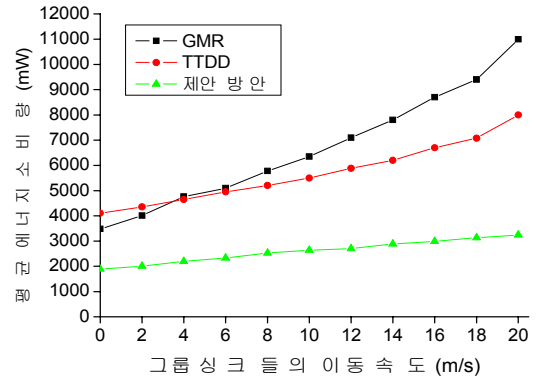


그림 6. 그룹 싱크들의 이동 속도에 따른 평균 에너지 소비량

들을 변경할 때에 위치 업데이트가 발생하는데, 이 업데이트 메시지들은 데이터 전달 노드들에 의해 병합될 수 있기 때문에 GMR보다 싱크 위치 업데이트를 위해 적은 에너지를 소비한다. 그러나, TTDD는 모든 싱크들에 의해 로컬 플러딩이 수행되고, 소스마다 전역적인 그리드 구조를 만들고 유지함으로 에너지를 소비한다. 또한, 데이터는 그리드를 따라 비최적화된 다른 경로들을 통해 전달될 수 있다. 그러나 제안 방안은 싱크 그룹에 속한 모든 이동 싱크들에 의한 빈번한 위치 업데이트나 구조 재구성, 그리고 개별적인 데이터 전달 없이 모든 싱크들에게 데이터 전달을 위해 제한된 플러딩만을 필요로 한다. 그림 3에서와 같이 계단식 증가가 보이지 않는 이유는, 이 실험에서는 일정 지역 안에서 움직이는 그룹 싱크들의 속도 변화에 따른 에너지 소비량을 측정했기 때문이다. 결과적으로, 에너지 소비에 대해 본 논문에서의 제안 방안이 다른 두 방안들보다 우월하다고 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후연구방향

본 논문에서는, 다수의 이동 싱크들이 가까이 머무르며 그룹으로 함께 움직이는 이동 싱크 그룹에게 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 방안을 제안하였다. 제안 방안은 싱크 그룹이 존재하는 지역을 그룹 지역으로 정하여 소스가 그 지역으로 최단 경로로 데이터를 전달하고, 그 지역 안에서만 제한적으로 데이터를 플러딩한다. 또한, 그룹 지역 밖으로 이동한 멤버 싱크들과 전체적으로 이동한 싱크 그룹에게 데이터를 전달하기 위한 방안들을 제공한다. 시뮬레이션을 통해 제안 방안이 데이터 전달과 에너지 소비 측면에서 다른 방안보다 우월함을 보였다.

향후에는 싱크 그룹의 이동 특성을 기반으로 싱크

그룹 이동성에 대한 모델을 제안하고, 이를 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 제시하고 실험하여 그룹의 이동에 대해 더욱 효과적으로 대처할 수 있는 포괄적인 방안에 대한 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] E. B. Hamida, and G. Chelius, "Strategies for Data Dissemination to mobile sinks in Wireless Sensor Networks," *IEEE Wireless Communications*, pp.31-37, December 2008.
- [2] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," *ACM MobiCom '02*, pp.148-159, September 2002.
- [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] J. Lian, Y. Liu, K. Naik, and L. Chen, "Virtual Surrounding Face Geocasting in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.17, No.1, pp. 200-214, February 2009.
- [5] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research," *Wireless Communication & Mobile Computin (WCMC)*, Vol.2, No.5, pp.483-502, May 2002.
- [6] B. Karp, H.T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," *ACM MobiCom '00*, pp.243-254, August 2000.
- [7] I. Stojmenovic, D. Liu, and X Jia, "A Scalable Quorum-based Location Service in Ad Hoc and Sensor Networks," *International Journal of Communication Networks and Distributed systems*, Vol.1, No.1, pp.71-94, 2008.
- [8] Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>
- [9] J.Hill and D. Culler, "Mica: a wireless platform for deeply embedded networks," *IEEE Micro*, Vol.22, No.6, pp.12-24, Nov./Dec. 2002.

이 형 주 (Hyungjoo Lee)

정회원



1996년 2월 한서대학교 전산정보학과
 2000년 2월 충남대학교 교육대학원 컴퓨터 과학교육 석사
 2002년 3월~현재 충남대학교 전산학과 박사과정
 <관심분야> Internet Routing, Mobility, Wireless Sensor Networks 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

중신회원



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