

무선 센서 네트워크에서 이동 싱크 그룹을 위한 에너지 효율적인 데이터 전달 프로토콜

정희원 모 희 숙*, 종신회원 김 상 하**

Energy Efficient Data Dissemination Scheme for Mobile Sink Groups in WSNs

Hee Sook Mo* *Regular Member*, Sang-Ha Kim** *Lifelong Member*

요 약

최근 무선 센서 네트워크에서, 이동 싱크 그룹에 효과적으로 데이터를 전송하기 위한 데이터 전달 프로토콜들이 제안되었다. 이동 싱크 그룹은 다수의 싱크들이 센서 필드를 함께 움직이면서 센서로부터 정보를 수집하여 임무를 수행하는 특성을 갖는다. 제안된 그룹 통신 프로토콜들은 주로 플러딩 기술을 이용하여 이동 싱크 그룹에 데이터 전송을 보장하는 메커니즘이다. 하지만 이러한 플러딩 기반 연구들은 이동 싱크 그룹 영역에 존재하는 모든 센서 노드들이 데이터의 전송에 참여하여야 하며, 또한 이동 싱크 그룹 영역에 비례하여 무선 센서 네트워크의 에너지 소비가 증가하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 플러딩 문제를 해결하기 위하여 효율적인 데이터 전송 기법을 제안한다. 이동 싱크 그룹이 위치하는 지역에 가상 구조 '데이터 파이프'를 구축하여, 소스 노드와 이동 싱크 그룹 간의 데이터 전송을 위한 랑데부 지역으로 이용함으로써 센서 노드의 에너지 소비를 줄이고자 한다. 본 논문에서 제안된 방안이 기존의 플러딩을 기반으로 하는 그룹 통신 프로토콜에 비하여 에너지 소비 측면에서 월등히 우수하다는 것을 시뮬레이션을 통하여 제시하였다.

Key Words : wireless sensor networks, mobile sink group, data dissemination, geocasting, data pipe

ABSTRACT

In wireless sensor networks, data dissemination protocols have been proposed for mobile sink groups that are characterized by geographically staying closely and collective movement. They usually exploit flooding technology for mobility supporting and data delivery guarantee. However, it causes the excessive energy consumption of all sensor nodes in the group region due to data delivery participation. Moreover, the costs of the flooding would become higher in proportional to the group region. In this paper, we propose an energy efficient data dissemination scheme that resolves these problems. The virtual infrastructure called a 'pipe' is used as a rendezvous area. A source delivers data to the pipe, from which member sinks in the group retrieve it directly. Simulation results showed that this solution has better performance than existing protocols in terms of energy consumption as it reduces the number of regional flooding and eliminates unnecessary data flooding.

I. 서 론

최근 무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor

Networks)의 여러 응용에서, 다수의 싱크(sink)가 임무 수행을 위해 그룹으로 센서 필드를 이동하면서 센싱 데이터를 수집하는 이동 싱크 그룹을 쉽게 발견할

* 한국전자통신연구원 RFID/USN연구부 RFID/USN 플랫폼연구팀 (hsmo@etri.re.kr), ** 충남대학교 전기정보통신공학부
논문번호 : KICS2011-04-183, 접수일자 : 2011년 4월 13일, 최종논문접수일자 : 2011년 6월 2일

수 있다. 재난 현장의 구조팀이나 전쟁터의 소대 단위의 군인들의 이동을 생각할 수 있다. 이러한 이동 싱크 그룹은 지리적으로 인접한 지역에 위치하며 함께 움직이는 그룹 이동성(group mobility)을 갖는다. 또한 그룹의 멤버 싱크들은 제한된 지역 내에서 자유롭게 움직이는 개별 이동성(Individual mobility) 과 그룹의 이동 특성에 따라서 함께 집단으로 이동하는 그룹 이동성의 특성을 함께 갖는다¹⁾. 이러한 이동 싱크에 센서 네트워크로부터 감지한 이벤트나 센싱한 데이터를 효과적으로 전달 (data dissemination) 하기 위한 많은 연구들이 제안되어 왔다²⁻⁷⁾. 많은 논문들²⁻⁴⁾에서는 싱크들의 개별 이동성만을 고려하여, 이동 싱크 그룹에 바로 적용하기에는 비효율적이다. 반면 이동 싱크 그룹을 위하여 플러딩(Flooding)을 기반으로 한 M-Geocasting¹⁷⁾이 제안되었다. 이는 그룹 이동성 뿐만 아니라 개별 이동성까지 모두 지원할 수 있는 프로토콜이다. 이동 싱크 그룹의 대표 싱크가 주기적으로 그룹의 위치 정보를 계산하여 소스 노드에 알리면, 소스 노드는 이러한 이동 싱크 그룹이 위치하는 원형 기반의 영역 (group region)에 직접 데이터를 플러딩함으로써 멤버 싱크들에게 데이터를 전달한다. 하지만 M-Geocasting 은 플러딩으로 인하여 한정된 배터리 자원을 갖는 센서 노드에 지나친 에너지 소비를 야기하며, 또한 통신비용이 그룹 영역에 비례하여 증가하는 문제를 갖고 있다. 예를 들면, 그림 1 (a)~(d)에서 보는 바와 같이 멤버 싱크의 개별 이동성에 의하여 임의의 순간 싱크들은 그룹 영역의 중간 지역에 넓게 퍼져 있거나, 경계 부분에 위치하거나, 임의의 지점에 쏠려 있을 수도 있다. 즉 그룹의 멤버 싱크가 없는 지역이나 희소하게 배치되어 있는 영역에도 불필요하게 데이터를 플러딩(unnecessary flooding) 하게 된다. 한편, 그림 1 (e)~(f)에서 보는 바와 같이 이동 싱크 그룹의 그룹 이동성에 의하여 센서 필드에서 동일한 데

이터를 필요로 하는 여러 개의 싱크 그룹이 이동 중에 만나거나 아주 근접 위치에 배치될 수 있다. 그룹이 지리적으로 중첩되고 서로의 통신을 청취(overhearing) 할 수 있어 그룹 영역이 넓어지면서 점점 데이터 전송을 위한 통신 오버헤드가 증가하게 되고 또한 중첩된 공간에 동일한 데이터를 중복해서 플러딩(redundant flooding)하게 된다. 이들은 불필요한 에너지의 소비를 야기하여 센서 노드 및 센서 망의 수명을 단축시키게 된다.

따라서 상기와 같은 불필요한 플러딩과 중복 플러딩으로 인한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 가상 구조 파이프 기반의 데이터 전달 프로토콜 (PBDD : Pipe-Based Data Dissemination)을 제안한다. 이는 이동 싱크 그룹이 있는 그룹 영역 내에 가상 구조 파이프를 구축하고 소스와 이동 싱크 그룹의 데이터 전달을 위한 랑데부 데이터 저장소로 이용한다. 데이터를 필요로 하는 그룹의 싱크들이 직접 파이프로 데이터 요청 메시지 (Query)를 전송하여 데이터를 획득(Ack)으로써, 데이터 전송에 참여하는 센서 노드 수를 줄여 에너지 소비를 줄이고자 하며, 이동 싱크의 데이터 접근을 일정 반경 안에서 이루어지도록 파이프를 그룹 영역 내에 배치함으로써 데이터 전송률을 보장하고자 한다. 본 제안 방안은 또한 싱크 그룹의 움직임에 대한 이동성 관리를 지원한다. 그룹의 대표를 통하여 이동 싱크 그룹이 존재하는 지역에 대한 위치 정보를 소스에게 업데이트하고, 소스는 그 지역에만 데이터를 전달한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동 싱크 그룹에 데이터를 전달하기 위해 적용할 수 있는 기존 방안들을 분석하고, 3장에서는 이동 싱크 그룹을 위한 새로운 데이터 전달 방안을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안 방안의 성능을 평가 한다. 마지막으로 이 논문에 대한 결과를 요약하여 기술한다.

II. 관련연구

이 장에서는 본 연구와 관련된 이동 싱크 그룹의 데이터 전달 방안에 대한 기존 연구들의 장. 단점에 대해 분석 한다.

2.1 이동 싱크를 위한 데이터 전달 프로토콜

무선 센서 네트워크에서 이동 싱크와 관련한 대표적인 데이터 전달 프로토콜은 TTDD^[3](Two Tier Data Dissemination), LBDD^[4](Line Based Data Dissemination) 등이 있다. 이들은 물리적 네트워크

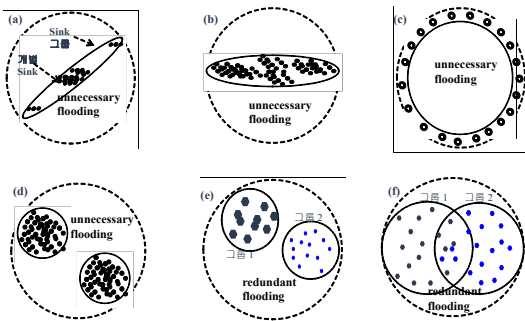


그림 1. 이동 싱크 그룹 영역 내에서 불필요한 플러딩 예시

위에 가상의 인프라를 오버레이(overlay)하여 싱크의 이동성을 지원함으로써 데이터를 효과적으로 전달하고자 하였다. 하지만, 여전히 다수의 이동 싱크들이 서로 연관성 없이 움직이는 개별 이동성만을 고려하여 소스 노드는 동일한 데이터에 대해서 각각의 싱크 노드에 데이터를 개별적으로 전송하여야 하고, 개별적으로 이동 싱크들의 위치 업데이트가 수행되기 때문에 제어 패킷에 대한 오버헤드가 증가하여 가상 구조 주변의 센서 노드의 에너지 소비가 증가한다. 따라서 이러한 방안을 이동 싱크 그룹에 바로 적용하기는 비효율적이다.

2.2 다중 싱크를 위한 데이터 전달 프로토콜

전통적으로 무선 Ad-hoc 에서 하나의 소스로부터 다수의 노드에 데이터를 전달하기 위한 그룹 통신 프로토콜들이 제안되어 왔다^{5,6}. 대표적인 프로토콜은 멀티캐스팅⁵(Multicasting)과 지오캐스팅⁶(Geocasting)이 있다. 멀티 캐스팅은 한 소스에서 멀티캐스트 그룹에 속한 센서 노드들에게 데이터를 최적화된 경로로 전달하기 위해 사용된 기술이다. 소스는 다수의 그룹 멤버들의 위치 정보를 알고, 데이터를 전달하기 위한 최적 경로 트리를 구성한다. 따라서 하나의 멤버 이동에 의해서 전체 트리의 구성이 변경되어야 하기 때문에 지나친 통신 비용이 소요되고, 만일 이동 싱크 그룹에 바로 적용하고자 하는 경우 지리적으로 근접한 위치에 센서 노드가 있을 지라도 개별적으로 위치 정보를 업데이트 하면서 메시지들이 동일 경로를 따라 소스에 전달되어 경로 상의 충돌과 혼잡이 증가하게 된다. 또 다른 그룹 통신 기술인 지오캐스팅은 제한된 지역 내에 위치하는 다중 센서 노드에 데이터를 전달하는 방법으로, 고정된 지역의 대표 노드에 먼저 데이터를 전송하면, 대표 노드가 지역 내의 다중 센서 노드에 데이터를 전달하는 방법이다. 지오캐스팅은 이동 싱크 그룹에 가장 근접하게 적용할 수 있지만 고정된 지역에 위치하는 노드만을 고려하여, 그룹 이동에 의하여 지오캐스팅 지역이 변경되는 이동 싱크 그룹에 바로 적용하는 경우 데이터의 전달을 보장하기 어렵다.

2.3 이동 싱크 그룹을 위한 데이터 전달 프로토콜

플러딩을 기반으로 이동 싱크 그룹에 효율적으로 데이터를 전달하고자 하는 M-Geocasting⁷이 제안되었다. 기존의 대부분의 연구와 달리 가상 구조가 없는 센서 네트워크에서 동작하며, 플러딩을 기반으로 이동 싱크 그룹의 개별 이동성 및 그룹 이동성을 지원한다.

M-Geocasting 은 데이터 전달을 위해 다음과 같은 4단계 절차로 수행 된다. 첫째, 이동 싱크 그룹의 대표 싱크는 그룹의 멤버 탐색 메시지를 플러딩하여 멤버 싱크의 현재 위치 정보를 수집하고, 현재 그룹의 위치를 결정한다. 둘째, 대표 싱크 노드는 이러한 그룹의 위치 정보를 소스 노드에 유니캐스팅 프로토콜을 이용하여 전달하고, 그룹의 멤버 싱크들에게는 플러딩을 통하여 그룹의 위치 정보를 전달하여, 소스 노드와 그룹 멤버 싱크들이 싱크 그룹의 이동성 추적을 할 수 있도록 한다. 셋째, 소스 노드가 센싱 데이터를 싱크 그룹의 대표 노드에 전달하고, 마지막으로 대표 노드는 소스로부터 수신한 데이터를 그룹 영역 내에 데이터를 플러딩 하여 멤버 싱크에 전달한다. M-Geocasting 는 이동 싱크 그룹의 위치 정보 수집, 그룹의 위치 정보 등록, 데이터의 전달 등 잦은 지역 플러딩이 수행된다. 플러딩은 동일한 정보를 특정 지역의 모든 노드에 전달하거나, 노드들의 이동성에 의해 네트워크의 위상이 자주 변경되는 경우에 적용될 수 있는 간단하고 효율적인 프로토콜이다. 하지만 플러딩은 센서 노드의 자원 상태를 고려하지 않으며, 동일한 데이터에 대한 중복 재전송이 많아 네트워크의 트래픽을 증가시키고 이로 인하여 브로드캐스트(broadcast) 폭풍을 야기할 수 있다³. 이는 센서 노드 및 망의 에너지 소비를 증가시키고 무선 자원의 대역폭 이용을 증가시키는 요인이 된다.

본 논문에서는 M-Geocasting 프로토콜의 플러딩으로 인한 문제점을 개선하고자 가상 구조 기반의 새로운 데이터 전달 방안을 제안한다.

III. 제안방안

본 논문은 대량의 센서 노드가 배치되어 있는 대규모의 센서 네트워크를 대상으로 한다. 모든 센서 노드는 고정되며, 그 자신의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. 이러한 위치 정보는 GPS 나 삼각 계산법과 같은 기술을 이용하여 획득할 수 있을 것이다. 데이터나 제어 메시지가 네트워크에서 전달될 때는 홀(hole)을 우회(detour) 할 수 있는 GPSR⁸ (Greedy Perimeter Stateless Routing) 라우팅을 이용한다. 싱크는 센서 필드로부터 원하는 데이터를 채집하여 이용하는 사용자가 된다. 그러한 싱크들이 하나의 그룹으로 집단적으로 움직이며, 따라서 모든 이동 싱크가 그룹의 멤버가 된다. 이동 싱크 그룹은 대표 싱크 (Leader Sink : LS) 와 멤버 싱크(Sinks) 들로 구성된다. 그룹의 대표 싱크는 그룹을 대표하며, 그룹의 임무나 정책에 따라서 미리 지정되며, 데이터를 요청하

기 전에 결정된다. 그룹의 이동 싱크들은 자신의 싱크 ID 와 그룹의 ID를 갖으며 무선 센서 네트워크를 이용하여 통신할 수 있다. 이동 싱크 그룹은 집단적으로 움직이지만, 그들의 멤버 싱크는 그룹 영역 안에서 또한 자유롭게 움직일 수 있다. 그룹이 이동할 때, 그룹이 위치하는 지역도ダイナ믹하게 변경된다. 따라서 본 논문의 그룹의 대표 싱크는 초기에 그룹이 위치하는 지역의 원형 반경 (Rd)을 알고 있다고 가정한다.

3.1 그룹 위치 결정 및 위치 정보 등록

그룹의 대표 싱크 노드가 이동 싱크 그룹의 현재 위치 즉 그룹이 위치하고 있는 지역 정보를 소스 노드에 주기적으로 알리는 역할을 수행한다. 대표 싱크는 그룹의 위치 정보를 결정하기 위하여 먼저 이웃한 하나의 고정 센서 노드를 그의 대리인(agent) 노드로 선택한다. 그리고 대리인 노드를 통하여 그룹 ID 정보를 담은 그룹의 멤버 탐색 메시지를 반경 Rd를 갖는 그룹 검색 영역에 플러딩 한다. 이는 대표 싱크가 그룹 영역의 임의의 지점에 위치할 수 있기 때문이다. 멤버 탐색 메시지를 수신한 싱크는 자신의 위치 정보를 담은 응답 메시지를 대표 싱크의 대리인 노드에 보낸다. 대표 싱크는 수집된 멤버 싱크들의 위치 정보를 이용하여 현재의 그룹 위치를 결정한다. 그룹의 위치 정보는 그룹 영역의 중심 좌표, 그룹 영역의 반경, 그룹 ID 정보로 구성되며, 이를 LocInfo(Group_ID) 로 표기한다. 그룹의 위치 정보는 결국 이동 싱크 그룹이 위치하는 영역의 크기와 형태를 결정하게 된다. 여기서 그룹 영역의 반경은 중심 좌표로부터 가장 원거리에 위치한 그룹 구성원인 임의의 멤버 싱크 사이의 거리로 결정 한다. 그룹의 위치 정보가 결정된 후에 대표 싱크는 소스 노드의 위치 정보를 알려진 방식^[9]에 의하여 획득하고, 직접 그룹의 위치 정보를 GPSR 를 사용하여 소스 노드에 보낸다. 결과적으로 소스 노드는 이동 싱크 그룹의 현재의 위치 정보를 계속적으로 알 수 있으며, 데이터를 싱크 그룹에 직접 전달할 수 있게 된다. 또한 그룹의 대표 노드는 변경된 위치 정보를 그룹의 멤버 싱크들에게 알리기 위하여, 대표 싱크의 대리인 노드에 소스 노드에 알렸던 동일한 그룹의 위치 정보 (LocInfo(Group_ID))를 전송한다. 대표 싱크의 대리인 노드는 이러한 정보를 유지한다. 멤버 싱크들은 대표 노드의 대리인 노드로부터 변경된 위치 정보를 획득한다. 이러한 방식은 기존 연구의 문제점인 플러딩을 피할 수 있어 에너지 효율을 높일 수 있다.

3.2 센싱 데이터 전달 및 파이프 구축

센싱 데이터를 가진 소스 노드가 이동 싱크 그룹으로 데이터를 전달하고자 할 때, 효율적인 데이터의 전달을 위하여, 먼저 그룹 영역의 반경과 중심 좌표, 자신의 위치 정보를 활용하여 소스 노드와 가장 가까운 그룹 영역의 진입점과 진출점을 계산한다. 소스 노드는 센싱데이터에 자신의 위치 정보, 진출점 좌표, 그룹의 위치 정보(LocInfo(Group_ID)), 패킷 순번(Seq #) 정보를 포함한 데이터 패킷을 구성하여 진입점으로 전송한다. 데이터 패킷을 수신한 진입점 노드는 지오 그래픽 라우팅을 이용하여 데이터 패킷을 진출점에 가장 가까운 이웃 노드에 전달한다. 데이터 패킷을 수신한 경로상의 각 노드는 계속해서 이웃 노드에 전송하고 결국은 데이터 패킷이 진출점 노드까지 전달된다. 이때 소스로부터 진출점까지의 데이터 전달을 위해 GPSR 을 이용한다. 데이터 패킷을 전달하는 노드는 중계 노드 역할을 한다. 그 중계 노드의 1-hop 내의 이웃 노드들은 무선통신 방식에 의하여 데이터 패킷을 동시에 청취(overhearing) 할 수 있다. 이들은 데이터 패킷을 메모리에 저장한다. 이러한 중계 노드와 그의 이웃 노드들에 의해서 구성된 데이터 스토리지는 데이터가 흐르는 파이프가 되고 파이프 내의 노드는 파이프 노드가 된다. 결과적으로 그림 2에 보이는 바와 같이 그룹 영역의 진입점과 진출점까지의 경로 상에 가상의 데이터 파이프가 형성 된다. 파이프 노드는 다음 데이터 패킷이 도착할 때까지 그 데이터 패킷을 유지한다. 그들은 데이터 패킷을 Seq#를 이용하여 유일하게 구분한다.

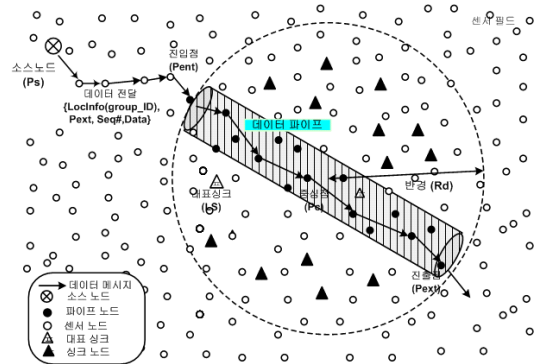


그림 2. 소스 노드로부터 이동 싱크 그룹 데이터 전달 및 파이프 구축

3.3 그룹 멤버싱크의 데이터 획득

그룹의 멤버 싱크들은 각각 타이머와 하나의 플래그를 갖는다. 타이머는 싱크 노드들이 파이프로부터

데이터를 수집하는 주기를 나타낸다. 데이터의 수집 주기는 목표 지역의 소스 노드가 감지하는 이벤트의 주기에 따라 최적화 할 수 있다. 플래그는 그룹 영역의 변경 여부를 나타낸다. 그룹의 대표 싱크로부터 멤버 탐색 메시지가 플러딩되면 그룹의 이동이 있다고 판단하고 플래그 값을 True 로 설정한다. 각 멤버 싱크는 대표 싱크의 대리인 노드로부터 그룹의 위치 정보를 획득하면 바로 플래그의 값을 False 로 전환 한다.

멤버 싱크가 파이프로부터 센싱 데이터를 획득하기 위한 절차는 그림 3에 기술된 바와 같이, 그룹의 이동 여부에 따라 달라 질 수 있다.

그룹의 이동이 발생하지 않은 경우, 즉 플래그의 값이 False 인 경우, 멤버 싱크들은 데이터 획득을 위하여 그림 4 (a), (c) 에서처럼 파이프로 데이터 요청 메시지를 보낸다. 이러한 요청 메시지는 싱크로부터 가장 가까운 위치의 파이프 노드에 보낸다. 가장 가까운 파이프 노드는 진입점과 진출점, 그룹 영역의 중심 좌표 등을 이용하여 데이터 요청 메시지를 자신과 직교되는 지점에서 찾는다. 이들 데이터 요청 메시지를

```

...
sink[i].timer wakeup();
If sink[i].flag is TRUE /* 그룹 이동 발생 */
then /* 그룹 위치 정보 획득 */
    sink[i] obtains LocInfo(GroupID)
        from LS.agent;
    set sink[i].flag = False;
    break;
/* 데이터 획득 */
sink[i] sends Query_Message to Pipe;
sink[i] waits for Ack_Message;
sink[i] receives Ack_Message from Pipe.node;
.....
    
```

그림 3. 멤버 싱크의 데이터 획득 알고리즘

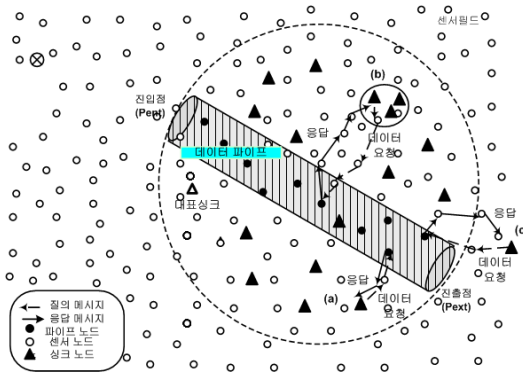


그림 4. 가상 구조 파이프를 이용한 데이터 전달

수신한 첫 번째 파이프 노드는 직접 데이터 패킷을 구성하여 싱크 노드에 응답 메시지를 회신한다. 이때 싱크 노드의 1-hop 영역 내에 있는 그룹의 멤버 싱크는 또한 무선 통신의 특성에 의하여 응답 메시지를 동시에 수신할 수 있다. 그림 4의 (b)에서처럼 그들은 동일 데이터 패킷에 대한 중복된 데이터 요청 메시지를 전송하지 않는다.

반면, 싱크 그룹의 이동이 발생한 경우, 즉 플래그의 값이 True 인 경우, 멤버 싱크들은 두 단계를 통하여 데이터를 획득하게 된다. 첫째, 그룹의 위치 정보를 대표 싱크의 대리인 노드로부터 획득한다. 이러한 획득 과정은 GPSR 라우팅 프로토콜을 이용하여 위치 정보 요청 메시지를 대리인에게 보내고, 대리인은 위치 정보를 담은 응답 메시지를 싱크 노드에 전송한다. 둘째, 멤버 싱크들은 획득된 위치 정보를 이용하여 그룹 영역 내의 파이프의 위치 정보를 계산한다. 다음은 개별 이동의 경우와 같은 절차를 통하여 파이프로부터 데이터 정보를 획득한다.

본 논문에서는 파이프에 대한 싱크의 데이터 요청에 의한 충돌을 막기 위하여 각 싱크는 그들 자신의 타이머를 갖고 랜덤 백오프(back off) 타임을 고려하여 데이터 요청 메시지를 발송하며, 또한 파이프로부터 중복된 데이터 패킷의 전송을 막기 위하여, 파이프 노드는 새로운 데이터를 수신하면, 동일 싱크의 데이터 요청에 대해 반응하는 것으로 가정했다.

3.4 그룹 이동성 지원

이동성 지원은 다중 싱크가 그룹의 이동 중에도 소스 노드로부터 데이터를 수신할 수 있도록 지원하는 것이다. 싱크 그룹의 이동성은 그룹 이동성과 개별 이동성으로 분류할 수 있다. 개별 이동성은 개별 싱크 노드가 그룹 영역 안에서 자유롭게 이동하거나, 그룹 영역 밖으로 이동하는 것이며, 그룹 이동성은 다중 싱크가 그룹으로 이동하여 그룹의 영역이 변동되는 것이다. 본 논문에서는 progressive-footprint-chaining^[3] 기법을 이용하여 이동 중인 싱크 노드에 데이터를 전달할 수 있도록 한다. 개별 이동성 사례로 먼저 한 싱크 노드가 파이프에 데이터 패킷을 요청한 후 그룹 내에서 다른 곳으로 이동하는 경우로, 싱크 노드는 그의 이웃 노드 중에 움직이지 않는 고정 센서 노드를 대리 노드로 선정하고 이동한다. 파이프로부터 응답 메시지를 수신한 대리인 노드는 수신한 패킷을 논리적 링크를 갖는 이동 싱크 노드에 전달하여 싱크 노드가 데이터를 수신할 수 있도록 한다. 또 다른 개별 이동성 사례로 싱크 노드가 그룹의 영역을 벗어난 경우이다. 이

때 데이터의 전달 방안은 그룹 내 이동성 지원과 동일하며, 단지 싱크 노드가 그룹의 영역을 벗어날 때 이미 알고 있는 대표 싱크의 대리인 노드에 자신의 위치 정보를 직접 알리도록 한다.

그룹 이동성 지원을 위하여 대표 싱크 노드는 그룹의 현재 위치 정보를 관리한다. 그룹의 영역을 벗어난 싱크 노드의 수가 지정된 일정 임계점을 벗어난 경우 혹은 대표 싱크와 멤버 싱크 간의 통신이 안 되는 경우, 싱크 그룹의 그룹 이동이 있다고 판단한다. 그룹 이동은 모든 싱크 노드가 하나의 그룹으로 이동하므로 그룹의 영역이 변경된다. 따라서 대표 싱크 노드는 또 다시 그룹의 현재 위치 정보를 수집하고, 획득된 위치 정보를 기반으로 현재 그룹의 위치를 결정한다. 동일한 방식으로 대표 싱크는 새로운 위치 정보를 소스 노드에 등록 한다. 이것은 또한 그룹의 데이터 파이프의 변경을 유도한다.

3.5 고려 사항

데이터 파이프의 형태나 파이프 개수는 응용 서비스의 임무나 그룹의 이동 특성에 따라서 재설계 될 수 있다. 본 논문의 제안 방안의 효율성을 높이기 위한 몇 가지의 최적화가 가능하다. 그룹의 영역이 커지는 경우 추가의 데이터 파이프를 구축하여 싱크 노드의 데이터 수집을 지역화 함으로써 통신 오버헤드를 줄여 에너지 소비를 줄일 수 있다. 한편, 파이프의 설치를 그룹 영역 내의 싱크 노드가 밀집된 지역이나 그룹 영역의 경계 부분에 띠(band) 형태로 구축할 수도 있다. (그림 1 (c) 참조) 만약 그룹의 이동 속도가 빠른 경우 추가의 데이터 파이프 구축은 데이터의 지속성을 높여 데이터의 전송 효율을 높일 수 있다. 하지만 파이프의 구축에 따른 오버헤드도 고려하여야 할 것이다.

IV. 시뮬레이션

이 장에서는 본 논문의 제안 방안과 기존 연구에 대해 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다.

4.1 시뮬레이션 모델

제안된 프로토콜의 성능 측정은 QualNet 4.0^[10] 네트워크 시뮬레이터를 사용하였다. MAC 프로토콜은 IEEE 802.11을 이용하였으며, 센서 노드의 에너지 소비 모델은 상용 MICA2^[11] 규격을 따랐다. 센서 네트워크는 가로, 세로 1km 영역에 2000개의 센서 노드가 균일하게 분포되도록 설정했다. 소스 노드는 128bytes

데이터 패킷을 초당 1 packets 을 일정 속도로 전송하도록 했다. 센서 노드의 데이터 전달 과정에 필요한 에너지 소비 전력은 송신과 수신시 각각 21mW 와 15mW를, 전송 범위는 23m 로 설정 했다. 이동 싱크 그룹은 기본적으로 5개의 멤버 싱크들로 구성했으며, 그룹 영역의 반경은 100m로 하였다. 그리고 그룹 이동성 및 싱크 노드의 이동은 random way 모델을 따라 움직이도록 하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 평균 에너지 소비량 측정

그림 5는 이동 싱크들이 위치하는 그룹 영역의 반경(R) 변화에 따른 평균 에너지 소비량을 제안 방안과 M-Geocasting, TTDD 을 비교한 그래프 이다. 이동 싱크 그룹에 데이터를 전달하기 위하여 영역 내에 플러딩을 하는 M-Geocasting 의 경우, 그룹의 반경(R)이 증가할 때마다 데이터 전달에 참여하는 센서 노드의 수가 빠르게 증가하여 에너지의 소비량이 증가한다. TTDD 는 초반 그리드 구축을 위한 제어 패킷이 폭주하여 비교하는 다른 프로토콜에 비하여 에너지 소비가 높다. 그리드 셀의 사이즈(그룹 반경의 크기와 동일시 함)가 증가하면서 에너지 소비량이 감소하는데 이는 셀의 크기가 커지면서 그리드 구축을 위한 에너지 소비가 감소하기 때문이다. 하지만 일정 크기의 셀 사이즈를 초과하면 다시 에너지 소비량이 서서히 증가하게 되는데, 이는 이동 싱크의 로컬 플러딩에 의한 비용이 상대적으로 증가하기 때문이다. 반면, 제안 방안의 경우는 그룹의 반경 증가는 파이프 구성에 참여하는 센서 노드 수 즉 그룹 영역의 직경에 대한 통신 홉 수에 관계하기 때문에 상대적으로 아주 천천히 에너지 소비량이 증가함을 알 수 있다.

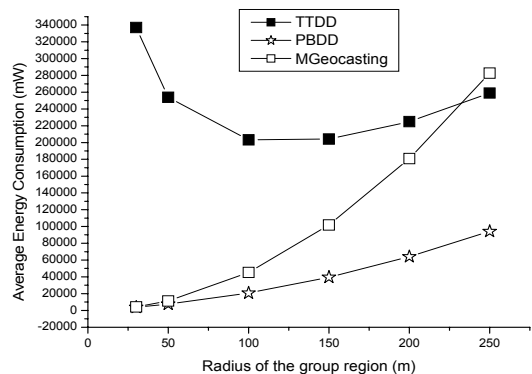


그림 5. 평균 에너지 소비량 vs. 그룹 반경

그림 6은 이동 싱크 그룹 내의 싱크 노드의 수가 변화되었을 때의 평균 에너지 소비량을 나타낸다. M-Geocasting의 경우는 이동 싱크 그룹의 싱크 노드의 수에 영향을 받지 않고 동일한 에너지 소비량을 나타낸 반면, 제안 방안의 경우는 싱크 노드 수가 증가하면서 에너지 소비량도 약간씩 증가함을 알 수 있다. 이는 싱크 노드 수가 증가하면 그만큼 싱크 그룹 영역 내에 위치하는 데이터 파이프로부터 데이터를 읽기 위한 데이터 요청 메시지의 수가 증가하기 때문에 에너지의 소비량이 증가함을 알 수 있다. 제안 방안과 유사한 스킴(scheme)을 갖는 LBDD의 경우는 가상 구조인 수직 라인 내부에서 데이터 룩업(look up)하는 비용과 글로벌 센서 망을 따라 가상 구조로부터 각각의 개별 이동 싱크로 중복된 데이터가 전달되면서 제안 방안에 비하여 에너지 소비가 빠르게 증가함을 알 수 있다. LBDD는 어떠한 데이터 융합(aggregation) 과정도 없기 때문에 싱크 수에 비례하여 비용이 증가하게 된다. 반면 TTDD는 이동 싱크가 증가하면서 개별 싱크의 위치 업데이트를 위한 제어 메시지가 증가하여 비교하는 다른 프로토콜에 비하여 높은 에너지를 소비하게 된다. 한편, 시뮬레이션을 통하여 제안 방안과 M-Geocasting의 에너지 소비량이 비슷해지는 시점을 찾았을 때 싱크 그룹 영역의 센서 노드 개수의 약 11% 정도의 싱크 개수가 할당되었을 때 이었다. 일반적으로 무선 센서 네트워크의 응용에서는 무수히 많은 센서 노드에 게이트웨이 역할을 하는 소수의 싱크 노드를 고려한다. 따라서 제안 알고리즘의 성능은 실제 무선 센서 네트워크의 다양한 응용에서 적용 가능성을 알 수 있다.

그림 7은 센서 노드의 전송 반경의 변화에 대한 평균 에너지 소비량의 변화를 나타낸다. 제안 방안과 LBDD는 전송 반경이 증가하면 에너지 소비량이 줄

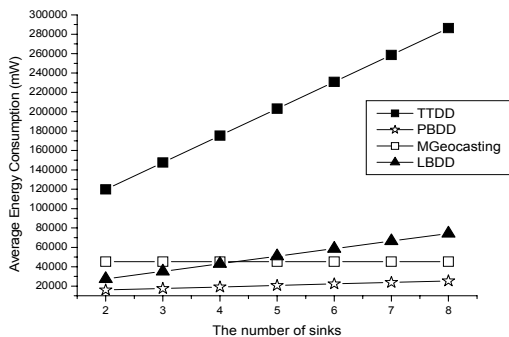


그림 6. 평균 에너지 소비량 vs. 싱크 개수

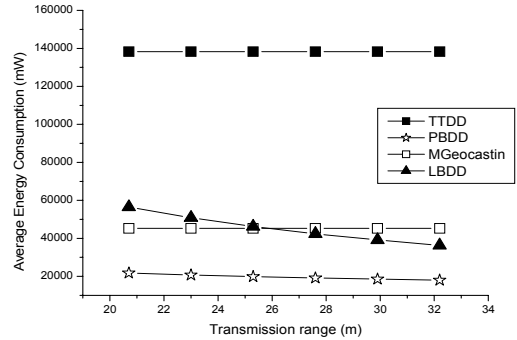


그림 7. 평균 에너지 소비량 vs. 센서노드의 전송 반경

어드는 것을 알 수 있다. 왜냐하면 제안 방안의 알고리즘은 센서 노드의 전송 반경 즉 홉 수를 기본으로 하기 때문이다. 즉 전송 반경이 길어지면 데이터 전송을 위한 전체적인 통신 홉 수가 줄어들기 때문에 에너지 소비량이 줄어든다. 반면 플러딩을 기반으로 하는 M-Geocasting과 TTDD는 전송 반경의 변화에 무관함을 알 수 있다.

그림 8은 소스 노드로부터 단위 시간당 발생하는 메시지 개수의 변화에 대한 평균 에너지 소비량의 변화를 나타낸다. 다중 싱크의 그룹 이동성을 고려하지 않는 TTDD와 LBDD는 인접 지역에 다중 싱크가 위치하더라도 동일한 메시지를 개별적으로 전송하기 때문에 메시지 수가 증가하면서 에너지 소비량도 급격하게 증가됨을 알 수 있다. 하지만, 그룹 이동성을 제공하는 제안 방안과 M-Geocasting는 메시지 수가 증가하면서 에너지 소비량이 서서히 증가함을 알 수 있고, 특히 제안 방안 알고리즘은 플러딩을 기반으로 하는 M-Geocasting에 비하여 월등한 에너지 소비 효율을 나타내었다.

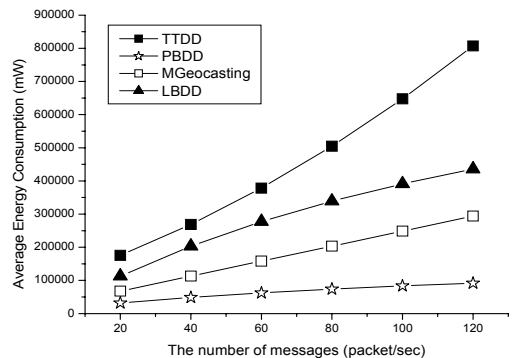


그림 8. 평균 에너지 소비량 vs. 메시지 개수

4.2.2 평균 데이터 전송률

데이터 전송률은 한 소스 노드에서 만들어진 데이터 패킷의 총 개수에 대한 이동 싱크들이 성공적으로 받은 데이터 패킷 개수의 비율로 평가 된다. 그림 9는 싱크 그룹의 이동 속도의 변화에 따른 평균 데이터 전송률을 프로토콜별로 비교하여 나타낸다. 싱크들의 이동 속도는 0~10m/s 로 변화를 주었다. TTDD 와 LBDD 는 개별 이동성을 갖는 다중 싱크에 데이터가 중복 전달되어야 하고, 싱크의 이동속도가 빨라지면서 개별 싱크의 위치 변경 보고를 위한 제어 메시지가 센서 망내에 증가하여 일정 경로의 충돌 발생으로 인한 데이터의 전송률이 하락함을 알 수 있다.

한편, 제안 방안과 M-Geocasting 은 속도가 증가하면서 조금씩 전송률이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 싱크 노드가 그룹 영역 밖으로 이동하는 경우 progressive- footprint-chaining에 의한 논리적 링크(chaining) 가 길어지는 경우 링크 상태가 불안해 질 수 있는 가능성이 있기 때문이다. 그러나 이동속도가 빨라지면서 싱크 그룹의 이동이 잦아지면 제안방안이 M-Geocasting 보다 전송률이 약간 우수한 것을 알 수 있다. 이는 싱크 그룹이 이동할 때 통신 링크 상태의 불안정으로 인하여 데이터 패킷이 누락될 수 있는데, 제안 방안은 싱크 그룹이 이동하는 중에도 그룹 영역 내에 구축되어 있는 데이터 파이프로부터 데이터를 끊임없이 데이터를 수신할 수 있어 평균 전송률이 상대적으로 증가하였다.

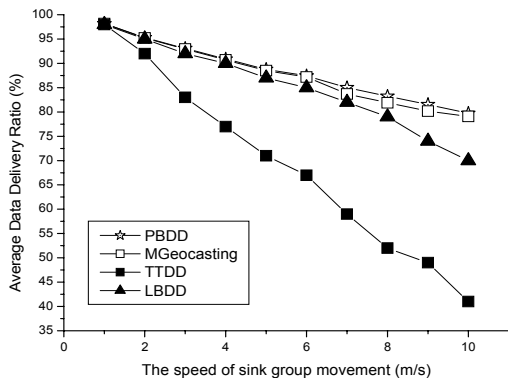


그림 9. 평균 데이터 전송률 vs. 싱크 그룹의 이동 속도

V. 결 론

본 논문에서는 다수의 이동 싱크들이 가까이에서 머무르며 그룹으로 함께 움직이는 이동 싱크 그룹에게

데이터를 효과적으로 전달하기 위한 방안을 제안하였다. 제안 방안은 데이터 전달을 위하여 플러딩을 사용하지 않고 가상 구조 데이터 파이프를 이용한다. 이러한 데이터 파이프는 이동 싱크 그룹 영역 안에 존재하는 데이터 저장소로써 소스 노드와 그룹의 싱크 노드 사이의 랑데부 포인트로서 역할을 한다. 기존의 플러딩을 기반으로 이동 싱크 그룹에 데이터 전송을 지원하는 프로토콜과 비교했을 때 제안 방안은 에너지 소비량을 현격히 감소시켰다. 이는 플러딩에 의해서 야기되는 불필요한 전송과 중복된 데이터의 전송을 제거하였기 때문이다. 시뮬레이션을 통하여 우리는 제안 방안이 에너지 소비 관점에서 우수하고 또한 플러딩 기반의 스킴과 비교했을 때도 데이터의 전송률도 비등하는 것을 증명했다.

참 고 문 헌

- [1] Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang, "A Group Mobility Model for Ad Hoc Wireless Networks," *ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, pp.53-60, Aug. 1999.
- [2] E.B.Hamida and G. Chelius, "Strategies for Data Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," *IEEE Wireless Communications*, pp.31-37, Dec. 2008.
- [3] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-Scale Wireless Sensor Networks," *ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom'02)*, pp.148-159, Sep. 2002.
- [4] E.B.Hamida and G. Chelius, "A Line-Based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," *IEEE International Conference on Communications (ICC'08)*, pp.2201-2205, May 2008.
- [5] Sanchez, J.A., Ruiz, P.M, Stojmenovic, I, "GMR: Geographic Multicast Routing for Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON'06)*, pp.20-29, 2006.
- [6] I. Stojmenovic, "Geocasting with guaranteed

delivery in sensor networks,” *IEEE Wireless Communications*, Vol.11, No.6, pp.29-37, Dec. 2004.

- [7] Soochang Park, Euisin Lee, Hosung Park, Hyungjoo Lee, and Sang-Ha Kim, “Mobile Geocasting to Support Mobile Sink Groups in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Communications Letters*, Vol.14, No.10, pp.939-941, Oct. 2010.
- [8] B. Karp and H.T. Kung, “GPSR:greedy perimeter stateless routing for wireless networks,” *ACM Mobicom*, pp.243-254, 2000.
- [9] 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.
- [10] Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>.
- [11] 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.

모 희 숙 (Hee Sook Mo)

정회원



1989년 전남대학교 전산통계학과 졸업
2002년 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
1990년 2월~현재 한국전자통신연구원 책임 연구원

<관심분야> Wireless Sensor Networks, Ad-Hoc, RFID, Satellite Communication 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