

무선 센서 네트워크에서 이동 싱크 그룹을 위한 위치 서비스와 데이터 전송 프로토콜

윤 민*, 이 의 신^o

Location Service and Data Dissemination Protocol for Mobile Sink Groups in Wireless Sensor Networks

Min Yoon*, Euisin Lee^o

요 약

본 논문은 센서 노드들의 에너지 소비를 줄이고 소스로부터 이동 싱크 그룹까지 데이터를 전달하기 위한 새로운 위치 서비스와 위치 기반 라우팅을 제안한다. 기존 방안들과는 다르게, 제안 방안은 그룹 영역 대신 싱크 그룹을 대표하는 리더 싱크 위치 정보를 사용한다. 그래서, 제안 방안은 소스와 리더 싱크 간의 위치 서비스와 위치 기반 라우팅을 위한 상위 계층과 리더 싱크와 멤버 싱크들 간의 위치 서비스와 라우팅을 위한 하위 계층으로 이루어진 계층적 위치 서비스와 위치 기반 라우팅을 사용한다. 각각의 상위와 하위 계층의 위치 서비스와 위치 기반 라우팅은 플러딩을 사용하지 않기 때문에 제안 방안은 센서 노드들의 에너지 소비를 줄일 수 있다. 다양한 시뮬레이션 결과는 제안 방안이 기존 방안보다 우수함을 증명한다.

Key Words : Wireless Sensor Network, Mobile Sink Group, Mobility Support, Energy Efficiency, Location Service

ABSTRACT

In this paper, we propose a new location service and location-based routing for data dissemination from a source to a mobile group sink in less energy consumption of the sensor node. Unlike the existing protocols, the proposed protocol uses a leader sink instead of a group area as the location information to represent a mobile sink group. The proposed protocol also uses grid leaders on virtual grid structure to support sink mobility in location service. By using a leader sink as a representative and grid leaders for mobility supporting, the proposed protocol can exploit an efficient hierarchical location service and data dissemination method without using flooding. Accordingly, the proposed protocol carries out upper layer location services and data dissemination between a leader sink and a source and lower layer location services and data dissemination between the leader sink and member sinks. Simulation results demonstrate that the proposed protocol achieves energy-efficiency.

* First Author : Chungbuk National University, School of Information and Communication Engineering, min@cbnu.ac.kr, 학생회원
^o Corresponding Author : Chungbuk National University, School of Information and Communication Engineering, eslee@chungbuk.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-07-152, Received July 15, 2016; Revised October 10, 2016; Accepted October 17, 2016

I. 서 론

위치 기반 라우팅과 위치 서비스 기술의 사용은 데이터 패킷을 라우팅하기 위한 전체적인 토폴로지 정보 대신 순수한 지역적 위치 정보만을 활용하기 때문에 매력적인 접근법으로 고려된다^{1, 2}. 무선 센서 네트워크에서, 위치 기반 라우팅은 데이터를 전송하기 위해 소스 노드가 싱크의 위치 정보를 알도록 요구한다². 일반적으로, 싱크들은 네트워크 내의 어디든지 존재할 수 있으며 심지어 이동성을 가질 수도 있다³. 그러나 센서 노드들이 파워, 메모리, 컴퓨팅 같은 제한된 자원을 가지기 때문에, 낮은 제어 오버헤드를 통해 싱크 위치 서비스를 제공하는 것은 무선 네트워크에서 중요한 과제이다⁴.

최근, 무선 센서 네트워크에서 다양한 모바일 싱크들로 구성된 그룹 커뮤니케이션에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다^{5, 6, 7}. 모바일 싱크 그룹에서, 싱크들은 함께 이동하며 네트워크 내에서 자신의 임무를 달성하기 위해 데이터를 수집한다. 재난 지역에서의 구조팀이나 전투 지역에서의 소대는 모바일 싱크 그룹에 대한 어플리케이션으로 생각될 수 있다. [8]에서 제시된 그룹 이동성 모델 같은, 모바일 싱크 그룹은 센서 필드 주변을 전체적으로 움직인다. 그러나 각각의 멤버 싱크들은 지리적으로 제한된 영역, 그들의 그룹 영역 내에서 자유롭게 움직인다. 따라서, 모바일 싱크 그룹은 무선 센서 네트워크 내에서 위치 기반 라우팅과 위치 서비스에 대한 새로운 도전 과제를 제시한다.

최근에, 이동 싱크 그룹에게 데이터를 전달하기 위해 이러한 위치 서비스와 위치 기반 라우팅 방식을 이용하는 대표적인 방안인 M-Geocasting⁶과 이것의 변형 방안인 VLDD⁷가 제안되었다. 이 두 방안은 이동 싱크 그룹을 위한 위치 서비스와 라우팅을 위해 개별적인 싱크들의 위치가 아닌 싱크 그룹 전체를 포괄하는 그룹 영역 위치 정보를 이용한다. 그러므로, 이 두 방안은 싱크 그룹의 리더 싱크가 전체 멤버 싱크들의 위치 정보를 플러딩을 통해서 수집하여 그룹 영역을 계산하고, 소스 노드에 이 싱크 그룹 영역 정보를 전송하도록 한다. 또한, 소스 노드는 이 싱크 그룹 영역 정보를 사용하여 그룹 영역 내로 위치 기반 플러딩을 통해 싱크 그룹에게 데이터를 전송한다. 그러나, 플러딩을 통한 이러한 그룹 위치 정보 획득과 그룹 지역 내의 데이터 전달은 Broadcast Storm 문제⁹로 인해 센서 노드들의 많은 에너지 소비를 야기한다. 또한, 이 두 방안들이 전체 그룹 싱크들의 실제 배치를 잘

반영하지 못하는 단순한 방법에 의해 그룹 영역을 계산하기 때문에, 위의 플러딩의 악영향은 더 심각하게 된다.

그러므로, 본 논문은 센서 노드들의 에너지 소비를 줄이고 효율적으로 소스로부터 이동 싱크 그룹까지 데이터 전달을 하기 위한 새로운 위치 서비스와 위치 기반 라우팅 방안을 제안한다. 기존 방안들과 다르게, 제안 방안은 소스와 이동 싱크 그룹 간의 위치 서비스와 위치 기반 라우팅을 위해서, 개별적인 싱크들의 위치 정보 대신 싱크 그룹을 대표하는 리더 싱크 위치 정보를 기반으로 한다. 그래서, 제안 방안은 소스와 리더 싱크간의 위치 서비스와 라우팅을 위한 상위 계층, 그리고 리더 싱크와 그룹 싱크 내의 멤버 싱크들 간의 위치 서비스와 라우팅을 위한 하위 계층을 갖는 계층적 전송 방식으로 이루어진다. 각각의 상위와 하위 계층 방식은 플러딩을 사용하지 않고 대신 그리드 구조를 이용하여 위치 서비스와 위치 기반 라우팅을 효율적으로 수행한다. 그 결과로써, 제안 방안은 센서 노드들의 에너지 소비를 줄일 수 있다. 본 논문은 다양한 시뮬레이션 환경을 통해서 제안 방안의 성능을 평가하였다. 시뮬레이션 결과는 제안 방안이 기존의 방안들보다 에너지 소비를 효과적으로 감소시켰음을 보여준다.

II. 네트워크 모델

본 논문은 수많은 센서 노드들이 대규모의 센서 필드 내에 배치되는 네트워크 모델을 고려한다. 이러한 센서 네트워크에서, 이동 싱크 그룹은 자신들의 임무를 수행하기 위해 센서 필드 내를 자유롭게 이동하면서 센서 노드들로부터 데이터를 수집한다.

하나의 이동 싱크 그룹은 하나의 리더 싱크(Leader Sink)와 다수의 멤버 싱크(Member Sink)들로 구성된다. 여기서, 리더 싱크는 싱크 그룹이 생성될 때, 미리 선정된 그룹을 대표하는 싱크이다. 리더 싱크는 소스의 데이터를 멤버 싱크로 전달하기 위한 싱크이다. 예를 들자면, 군대 또는 구조대의 지휘관으로 생각할 수 있다. 멤버 싱크는 소스의 데이터를 기반으로 주어진 임무를 수행하는 싱크이다. 이는 군대 또는 구조대의 대원으로 생각할 수 있다. 대원들이 지휘관의 명령 또는 전달 사항을 바탕으로 임무를 수행하는 것을 생각한다면 쉽게 이해할 수 있다.

센서 네트워크 내에서 이동성을 가진 그룹은 모바일 싱크 그룹으로 정의한다. 모바일 싱크 그룹은 센서 필드 내를 집단적인 형태로 이동하고, 반면에, 그룹에

속한 모든 싱크들은 그룹 영역이라 불리는 위치적으로 제한된 지역 내를 임의적으로 이동한다.

본 논문에서 이동 싱크 그룹의 그룹 영역은 하나의 중심점(C)와 반지름(R)을 갖는 원으로 가정한다. 또한, 이동 싱크 그룹에 속한 모든 싱크들은 자신의 그룹 영역의 중심점과 반지름을 안다고 가정한다⁵⁾. 위와 같은 특성으로 인해, 이동 싱크 그룹은 두 가지의 이동성을 가진다. 첫 번째는 그룹 이동성이다. 그룹 이동성은 싱크 그룹 전체가 자신의 임무에 기반하여 집단적인 형태로 자유롭게 센서 필드 내를 이동하는 것을 의미한다. 두 번째 이동성은 개별적 이동성이다. 개별적 이동성은 개별적인 싱크가 싱크 그룹 영역 내에서 자유롭게 이동하는 것을 의미한다.

센서 네트워크 내에서 하나의 센서 노드가 이동 싱크 그룹을 위한 데이터를 생성하면 이 센서는 소스 노드가 되어 이동 싱크 그룹의 모든 싱크들에게 자신의 데이터를 전송한다. 본 논문에서 소스 노드로부터 이동 싱크 그룹 내의 모든 싱크들에게 데이터를 전달하기 위해, 두 단계의 위치 서비스와 라우팅을 사용한다. 첫 번째 단계는 소스 노드와 싱크 그룹 내의 리더 싱크와의 위치 서비스와 라우팅을 통해서 데이터가 소스로부터 리더 싱크까지 전달된다. 두 번째 단계는 리더 싱크와 멤버 싱크들 사이의 위치 서비스와 라우팅을 통해서 데이터가 리더 싱크로부터 멤버 싱크들에게 전달된다. 본 논문에서는 소스 노드에서 모바일 싱크 그룹으로의 데이터 라우팅과 위치 서비스를 지원하기 위해 센서 네트워크에서 작은 셀들로 이루어진 가상의 그리드 구조를 구축한다. 모든 그리드들은 셀 ID와 $(a \times a)m^2$ 의 정사각형 구역을 갖는다. 모든 센서 노드들과 싱크들은 GPS장치나 위치 측정 기술을 활용함으로써 그들의 위치정보 (x, y) 를 알고 있다¹⁰⁾.

따라서, 모든 노드들은 식 $a = [(x - x_0)/\alpha]$ and $b = [(y - y_0)/\alpha]$ 에 따라 그들의 위치 (x, y) 로부터 그들의 그리드 ID (a, b) 를 알 수 있다. 여기서 (x_0, y_0) 은 배치 단계에서 시스템 파라미터로서 제공되는 가상의 원점 위치이다. 각각의 그리드는 그리드의 중심점에서 가장 가까운 노드인 그리드 리더(Grid Leader)를 갖는다. 각각의 싱크들은 그들이 위치한 그리드의 그리드 리더에 자신의 위치 정보와 싱크 ID를 등록한다. 모든 데이터와 제어 패킷들은 GPSR같은 지리적 라우팅 프로토콜에 의해 그들의 목적지로 전송된다^{12),13)}.

III. 제안 방안

제안된 프로토콜이 계층적 구조를 가지기 때문에,

본 논문은 각각의 계층에서의 과정을 설명한다. 3.1 절에서는 하위 계층의 위치 서비스를 설명하며 3.2 절에서는 상위 계층의 위치 서비스를 설명한다.

3.1 하위 계층의 위치 서비스

하위 계층의 위치 서비스는 멤버 싱크와 그리드 리더의 위치 등록과정과 리더 싱크의 데이터 전달 과정으로 정의된다. 모바일 싱크 그룹 내에서 리더 싱크와 멤버 싱크 간 통신은 위치 서비스를 통해 이루어진다.

하위 계층의 위치 서비스는 멤버 싱크와 그리드 리더의 위치 등록과정과 리더 싱크의 데이터 전달 과정으로 정의된다. 모바일 싱크 그룹 내에서 리더 싱크와 멤버 싱크 간 통신은 위치 서비스를 통해 이루어진다.

그림 1은 하위 계층의 위치 서비스에 대한 간략한 시간 흐름도이다. 1) 위치 서비스를 효율적으로 제공하기 위해서 리더 싱크는 위치 서버(Location Server)를 지정한다. 이를 위해, 리더 싱크는 그룹 영역 내의 가장 중심점에 가까운 그리드 리더에게 위치 서버 지정 패킷을 전송한다. 그룹 영역 내에서 가장 중심점에 가까운 그리드의 그리드 리더를 위치 서버로 지정하는 이유는 모바일 싱크 그룹 내에서 그리드 리더들과 위치 서버 간 평균적인 통신 거리를 최단 거리로 만들기 위함이다. 2) 위치 서버 지정 패킷을 받은 그리드 리더는 위치 서버로서 동작하며 리더 싱크에게 Ack 패킷으로 자신이 위치 서버로서 동작함을 응답한다. 3) 멤버 싱크들은 자신이 위치한 그리드의 그리드 리더에게 자신의 위치 정보와 ID를 포함한 패킷을 업데이트(Location Update)한다. 그리드 리더를 사용함으로써, 멤버 싱크들은 각각의 이동성에 구애받지 않고 효율적으로 데이터를 전달받을 수 있게 된다. 4) 그리드 리더는 멤버 싱크로부터 받은 정보를 기반으로 멤버

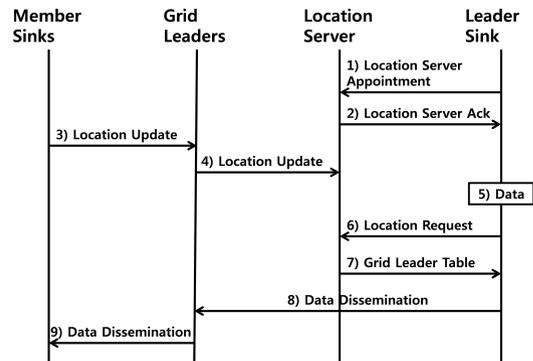


그림 1. 하위 계층 위치 서비스의 시간 흐름도
Fig. 1. The Time Flow of the Location Service in the Low Layer

버 싱크 테이블을 생성한다. 멤버 싱크 테이블에는 멤버 싱크들의 ID와 위치 정보가 기록된다. 그 후, 자신의 위치 정보와 ID를 위치 서버로 업데이트한다. 위치 서버는 그리드 리더들의 ID와 위치 정보가 담긴 그리드 리더 테이블을 생성한다. 5) 상위 계층(3.2절)의 위치 서비스를 통해 리더 싱크가 소스로부터 데이터를 수신했을 때, 리더 싱크는 멤버 싱크들에게 데이터를 전송할 책임을 갖는다. 6)제한된 프로토콜이 리더 싱크로부터 멤버싱크로 효율적인 데이터 전파를 위해 그리드 구조와 그리드 리더를 사용하기 때문에, 리더 싱크는 그리드 리더를 통해 멤버 싱크로 데이터를 전송한다. 이를 위해 리더 싱크는 그리드 리더의 위치 정보를 알 필요가 있다. 상위 계층으로부터 수신한 데이터를 전달하기 위해, 리더 싱크는 위치 서버에게 위치 정보 질의(Location Request)패킷을 보내 그리드 리더들의 위치 정보를 질의한다. 7) 위치 서버는 그리드 리더 테이블의 정보를 리더 싱크에게 전달한다. 8) 리더 싱크는 그리드 리더 테이블 정보를 체크하고 해당 테이블에서 그리드 리더들의 위치 정보와 ID를 찾는다. 그런 후, ID와 위치 정보를 통해 각각의 그리드 리더들에게 효율적인 전송을 위한 위치 기반 멀티캐스팅 또는 유니캐스팅을 사용하여 데이터를 전송한다. 9) 리더 싱크로부터 소스 데이터를 받은 그리드 리더들은 멤버 싱크들로부터 받은 업데이트 패킷으로부터 멤버 싱크들의 위치 정보와 ID를 저장한 멤버 싱크 테이블을 체크하고 멤버 싱크들의 위치 정보를 찾는다. 그 후, 수신한 소스 데이터를 위치기반 멀티캐스팅 또는 유니캐스팅을 사용하여 멤버 싱크들에게 전송한다. 소스 데이터를 수신한 후, 멤버 싱크들은 그

들의 작업을 수행할 수 있게 된다. 그림 2는 하위 계층의 위치 등록 과정과 데이터 전달 과정을 시각적으로 나타낸다.

3.2 상위 계층의 위치 서비스

상위 계층의 위치 서비스는 리더 싱크의 위치 등록 과정과 소스의 데이터 전달 과정으로 정의된다. 센서 필드에서 이벤트가 발생하면, 이벤트를 감지한 센서 노드는 소스로서 동작한다. 그 후, 소스는 모바일 싱크 그룹으로 감지한 데이터를 전송한다. 이를 위해, 소스는 모바일 싱크 그룹 내에 리더 싱크의 위치 정보를 필요로 한다. 리더 싱크는 소스로부터 받은 데이터를 멤버 싱크들에게 전송하는 역할을 한다. 따라서 리더 싱크는 소스로부터 데이터를 수신할 필요가 있다. 소스로부터 리더 싱크로 데이터를 전달하는 과정을 상위 계층의 위치 서비스로 정의한다.

소스와 리더 싱크 간 위치 서비스를 제공하기 위해, 본 논문은 상위 위치 서버(High Location Server)를 사용한다. 효율적인 위치 서비스를 위해, 상위 위치 서버는 전체 네트워크의 중심점에 가장 가까운 그리드 리더로 정의한다. 가상의 원점과 전체 네트워크의 위치 정보를 통해, 모든 그리드 리더들은 상위 위치 서버의 위치를 알 수 있다.

그림 3은 상위 계층의 위치 서비스 과정을 간략히 나타낸다. 1)모바일 싱크 그룹 내의 리더 싱크는 소스로부터 데이터를 전송받기 위해 자신이 속한 그리드의 그리드 리더에 위치정보와 ID를 업데이트한다. 리더 싱크는 동적인 움직임을 가지는 반면, 그리드 리더는 정적인 특징을 갖는다. 따라서 그리드 리더에 리더 싱크의 위치 정보를 업데이트 할 경우, 리더 싱크가 이동하는 방향과 무관하게 그리드 리더로부터 데이터

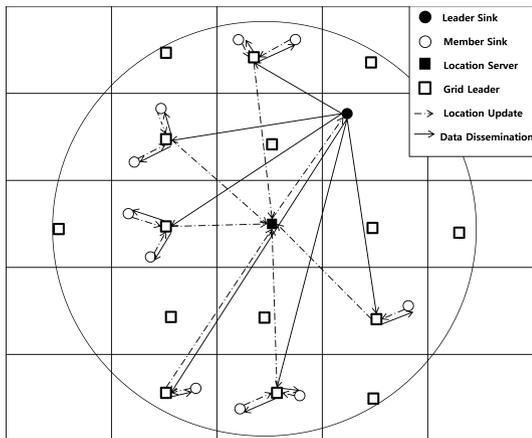


그림 2. 하위 계층 위치 서비스의 과정
Fig. 2. The Process of the Location Service in the Low Layer

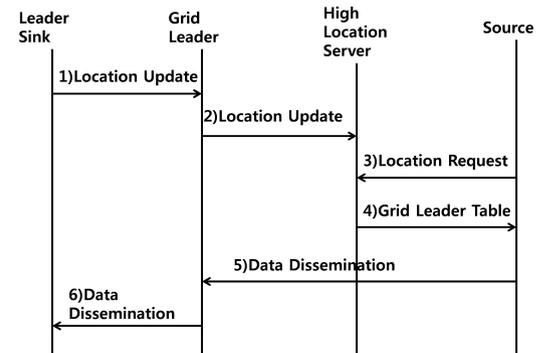


그림 3. 상위 계층 위치 서비스의 시간 흐름도
Fig. 3. The Time Flow of the Location Service in the Upper Layer

를 전달 받을 수 있는 장점을 갖기 때문에 그리드 리더에 자신의 위치 정보를 업데이트 한다. 2)업데이트 패킷을 받은 그리드 리더는 리더 싱크의 ID와 위치 정보를 리더 싱크 테이블에 저장한다. 그 후 상위 위치 서버에 자신의 ID와 위치정보를 포함한 패킷을 업데이트한다. 상위 위치 서버는 그리드 리더에게 받은 업데이트 패킷으로부터 ID와 위치정보를 그리드 리더 테이블에 저장한다. 3)데이터를 가진 소스는 모바일 싱크 그룹으로 데이터를 전송하기 위해 리더 싱크가 속한 그리드 리더의 위치 정보를 필요로 한다. 소스는 해당 그리드 리더의 위치 정보를 얻기 위해 상위 위치 서버로 위치 정보 질의 패킷을 전송한다. 4)소스로부터 위치 정보 질의 패킷을 수신했을 때, 상위 위치 서버는 자신이 저장한 그리드 리더 테이블 정보를 소스로 전송한다. 이러한 과정을 통해, 소스는 모바일 싱크 그룹의 리더 싱크가 속한 그리드 리더의 위치 정보를 얻을 수 있다. 5)소스는 위의 과정을 통해 찾은 그리드 리더로 데이터를 전송한다. 6)소스 데이터를 받은 그리드 리더는 리더 싱크에게 소스 데이터를 전달한다. 그 후, 리더 싱크는 3.1절에서 다룬 하위 계층에서의 데이터 전달 과정을 따른다. 그림 4는 상위 계층에서 위치 서비스 과정을 시각적으로 나타낸다.

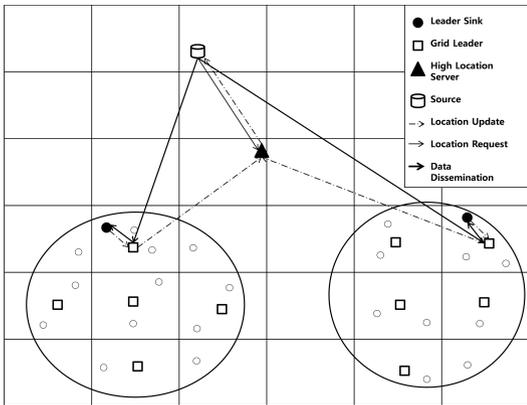


그림 4. 상위 계층 위치 서비스의 과정
Fig. 4. The Process of the Location Service in the Upper Layer

IV. 이동성 지원

제안된 프로토콜이 모바일 싱크 그룹을 가정하기 때문에, 모든 싱크들은 그룹 영역 안에서 자유롭게 이동할 수 있다. GPSR같은 위치 기반 라우팅에서 라우팅 과정은 싱크들의 위치 좌표를 기반으로 하기 때문에, 싱크들의 이동성을 보장하는 것은 중요한 과제가

된다. 따라서 이번 절에서는 각각의 싱크들에 대한 이동성을 지원하는 방안을 제시한다.

4.1 멤버 싱크에 대한 이동성 지원

멤버 싱크는 모바일 싱크 그룹 내에서 자유롭게 이동할 수 있다. 멤버 싱크의 이동성에 따라, 멤버 싱크는 가상 그리드 구조 안에서 두 가지 종류의 이동성을 갖는다. 첫 번째는 그리드 내부의 이동성(Intra-Grid Mobility)이다. 이는 같은 그리드 내에서 멤버 싱크가 이동하는 것을 의미한다. 두 번째는 그리드 사이의 이동성(Inter-Grid Mobility)이다. 이는 멤버 싱크가 원래의 그리드에서 다른 그리드로 이동하는 것을 의미한다. 따라서 본 논문은 멤버 싱크들의 그리드 내부의 이동성 그리고 그리드 사이의 이동성을 지원하는 방법을 제시한다.

먼저, 그리드 내부의 이동성의 경우, 멤버 싱크가 그리드 내에서 이동할 때, 멤버 싱크는 자신이 속한 그리드의 그리드 리더에게 자신의 ID와 새로운 위치 정보를 업데이트한다. 멤버 싱크로부터 업데이트 패킷을 받은 해당 그리드 리더는 멤버 싱크 정보 테이블에 해당 멤버 싱크의 새로운 위치 정보를 저장한다. 그 후 리더 싱크로부터 새로운 소스 데이터를 받는다면 멤버 싱크의 새로운 위치로 전송해준다.

다음으로, 그리드 사이의 이동성의 경우, 멤버 싱크가 자신이 속한 그리드에서 새로운 그리드로 이동할 때, 멤버 싱크는 자신이 이동하고자 하는 새로운 그리드의 그리드 리더에게 자신의 ID와 새로운 위치 정보를 포함하는 패킷을 업데이트한다. 멤버 싱크로부터 업데이트 패킷을 받은 새로운 그리드 리더는 멤버 싱크 테이블에 해당 멤버 싱크의 위치 정보와 ID를 저장한다. 만약 멤버 싱크가 없던 그리드의 그리드 리더일 경우, 소스 데이터를 전달해주기 위해 자신의 위치 정보와 ID를 위치 서버로 업데이트한다.

한편 소스 데이터의 중복 전송을 피하기 위해, 멤버 싱크의 기존의 위치 정보는 삭제해 줄 필요가 있다. 이 경우, 멤버 싱크는 자신이 기존에 위치 정보를 등록했던 그리드 리더에게 위치 정보 삭제 패킷을 전송한다. 위치 정보 삭제 패킷을 받은 그리드 리더는 멤버 싱크 테이블에서 해당 멤버 싱크의 위치정보와 ID를 삭제한다. 만약 이러한 과정을 통해 그리드 리더가 멤버 싱크 테이블에 아무런 정보도 가지지 않을 경우, 그리드 리더 역시 위치 정보 삭제 패킷을 위치 서버로 전송한다. 위치 정보 삭제 패킷을 수신한 위치 서버는 해당 그리드 리더에 대한 정보를 그리드 리더 테이블에서 삭제함으로써 불필요한 에너지 소모를 줄일 수

있다.

4.2 리더 싱크에 대한 이동성 지원

리더 싱크 또한 그리드 내부의 이동성과 그리드 사이의 이동성을 갖는다. 멤버 싱크와 유사하게, 동일한 그리드 내에서 리더 싱크가 이동하는 경우, 리더 싱크는 해당 그리드 리더에게 자신의 위치 정보와 ID를 포함한 패킷을 업데이트한다. 업데이트 패킷을 수신한 그리드 리더는 자신의 리더 싱크 테이블에서 리더 싱크의 새로운 위치를 저장한다. 이후 상위 위치 서버로부터 받은 소스 데이터는 리더 싱크의 새로운 위치로 전달된다.

리더 싱크가 새로운 그리드로 이동하는 경우, 리더 싱크는 새로운 그리드의 그리드 리더에게 자신의 ID와 위치 정보를 포함하는 패킷을 업데이트한다. 업데이트 패킷을 받은 새로운 그리드 리더는 리더 싱크 테이블에 그 위치 정보와 ID를 저장한다. 그 후, 상위 위치 서버로 자신의 위치 정보와 ID를 포함한 패킷을 업데이트한다. 이러한 과정을 통해 소스는 상위 위치 서버로 위치 정보 질의 패킷을 통해 질의했을 때, 새로운 그리드 리더의 위치를 알 수 있게 된다. 스스로부터 데이터를 전송 받은 새로운 그리드 리더는 리더 싱크로 데이터를 전달한다. 리더 싱크는 중복 전송을 막기 위해 기존의 그리드 리더에게 위치 정보 삭제 패킷을 전송한다. 위치 정보 삭제 패킷을 수신한 기존의 그리드 리더는 리더 싱크의 위치 정보와 ID를 삭제한다. 그 후, 불필요한 전송을 피하기 위해 상위 위치 서버로 위치 정보 삭제 패킷을 전송하고 상위 위치 서버는 해당 그리드 리더의 위치 정보와 ID를 삭제한다.

V. 시뮬레이션 결과

이 섹션에서, 본 논문은 제안된 프로토콜과 M-Geocasting의 성능을 비교한다. 두 프로토콜에 대한 시뮬레이션은 NS-3 시뮬레이터를 통해 구현되었다. 센서 장치 파라미터는 MICA specification^[14]을 참조한다. 모바일 싱크 그룹에 대한 이동성 모델로서 Reference Point Group Model^[15]을 사용하며 MAC 프로토콜로서 IEEE 802.11 프로토콜을 사용한다.

센서 노드의 전송 범위는 100m이며 송신 및 수신 전력 소모율은 각각 21mW와 15mW이다. 소스로서 선택되는 임의의 센서 노드는 모바일 싱크 그룹으로 데이터 패킷을 전송한다.

그림 5는 노드의 숫자에 따른 에너지 효율을 보여준다. 각각의 네트워크 토폴로지는 100x100m의 영역

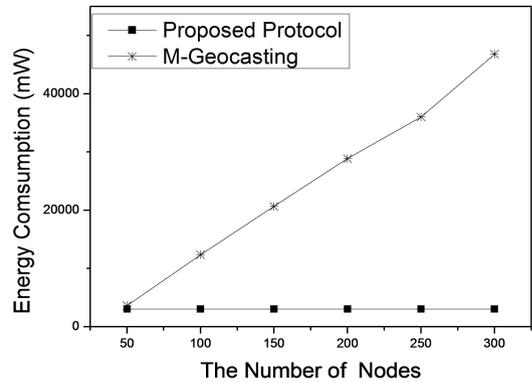


그림 5. 노드 수에 따른 에너지 소모량
Fig. 5. The Energy Consumption depends on the Number of Nodes

과 10개의 싱크를 갖는다. 노드의 수가 증가할 때 M-Geocasting의 에너지 소모가 급격히 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 M-Geocasting은 싱크 그룹 내의 모든 노드들이 통신에 참여하기 때문으로 보인다. 그러나 제안된 프로토콜은 위치 서버를 이용하여 데이터를 받을 싱크들을 등록한다. 실질적으로 데이터를 주고받는 싱크와 그리드 리더, 그리고 전달 경로상의 노드들만이 통신에 참여하기 때문에 M-Geocasting에 비하여 노드의 수에 상대적으로 영향을 덜 받음을 확인할 수 있다.

그림 6은 소스의 수에 대한 에너지 효율을 나타낸다. 소스의 수가 증가함에 따라, 제안된 프로토콜의 경우 새로운 소스로의 경로 생성을 필요로 한다. 하지만 새로운 소스와의 통신을 위한 경로 상의 노드들만이 통신 과정에 추가되기 때문에 전체 트래픽은 약간 증가한다. 그러나, M-Geocasting의 경우, 그룹 영역

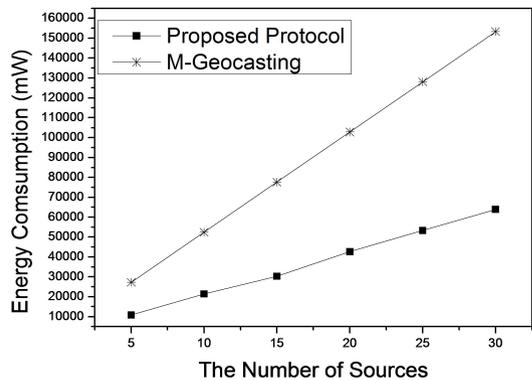


그림 6. 소스 수에 따른 에너지 소모량
Fig. 6. The Energy Consumption depends on the Number of Sources

내에서 플러딩을 수행한다. 따라서 M-Geocasting은 소스의 수가 증가함에 따라 그만큼 플러딩의 수행 횟수도 증가하기 때문에 상당한 에너지 소모를 보인다.

그림 7은 싱크의 개수가 변화할 때 M-Geocasting과 제안된 프로토콜의 에너지 소모를 보여준다. 각각의 네트워크 토폴로지는 100x100m의 영역과 100개의 노드를 갖는다. 시뮬레이션 결과는 제안된 프로토콜의 에너지 효율이 M-Geocasting보다 높음을 보인다. 제안된 프로토콜의 싱크의 개수가 적을 때는 에너지 소모가 적지만 많은 싱크 개수를 가질 때는 에너지 소모가 늘어남을 알 수 있다. 이는 위치 정보를 그리드 리더에 등록하거나 데이터를 전달 받는 싱크가 증가하기 때문으로 분석된다. 그러나 일반적으로 M-Geocasting보다는 낮은 에너지 소모를 갖는다. M-Geocasting에서는 모든 노드들이 플러딩을 통해 데이터를 주고 받지만 제안된 프로토콜에서는 전송 경로 상에 있는 노드들만이 데이터 전송에 참여하기 때문이다.

그림 8은 소스로부터 받은 데이터의 개수에 따른 에너지 소모를 보여준다. 각각의 네트워크는 100개의 노드와 500x500m의 영역을 갖는다. 제안된 프로토콜은 M-Geocasting과 비교하여 낮은 에너지 소모를 보이며 완만한 그래프 경사를 갖는다. 따라서 M-Geocasting보다 높은 에너지 효율을 갖는다. 이는 플러딩 대신 위치 서비스를 사용하는 제안된 프로토콜의 특성으로부터 유추할 수 있다.

그림 9는 그룹 영역 크기에 따른 에너지 효율을 보여준다. 본 논문은 두 프로토콜을 10개의 싱크를 갖는 100x100m 영역에서 600x600m까지 확장시키며 비교했다. 시뮬레이션 결과는 그룹 영역이 100x100m일

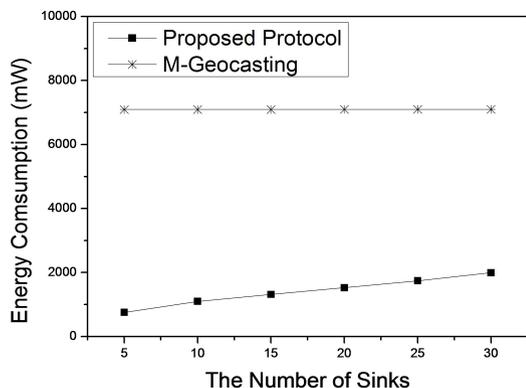
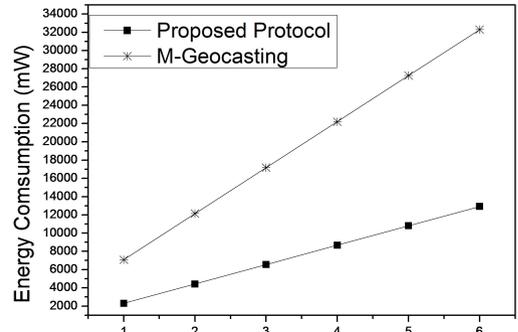


그림 7. 싱크 수에 따른 에너지 소모량
Fig. 7. The Energy Consumption depends on the Number of Sinks



The Number of Data from Source to Leader Sink

그림 8. 데이터 수에 따른 에너지 소모량
Fig. 8. The Energy Consumption depends on the Number of Data

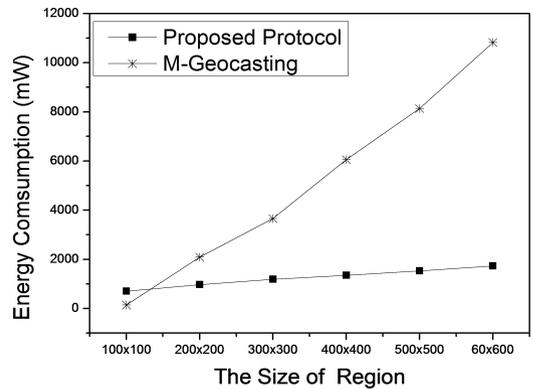


그림 9. 그룹 영역 크기에 따른 에너지 소모량
Fig. 9. The Energy Consumption depends on the Sink Group Area

때는 M-Geocasting이 제안된 프로토콜에 비해 낮은 에너지 소모를 보였지만 그룹 영역이 확장되면서 제안된 프로토콜에 비해 매우 높은 에너지 소모를 보이는 것으로 확인되었다. 이는 제안된 프로토콜이 그리드 리더에게 싱크의 위치 정보를 등록하는 과정이 추가됨에 따른 결과로 추정된다. 따라서 데이터 전송뿐만 아니라 위치 정보 등록 과정까지 수행해야 하기 때문에 작은 그룹 영역과 노드의 수가 적은 조건에서는 제안된 프로토콜이 M-Geocasting보다 높은 에너지 소모를 보인다. 그러나 넓은 그룹 영역과 다수의 노드를 갖는 조건에서 플러딩의 특성 상 M-Geocasting의 에너지 소모는 급격히 증가한다. 그러나 제안된 프로토콜은 각각의 싱크마다 단지 몇 홉씩의 에너지 증가가 있을 뿐이다.

그림 10은 제안 방안에서 네트워크 영역 내에 분포된 각각의 노드들의 에너지 소모량을 나타낸다. 해당

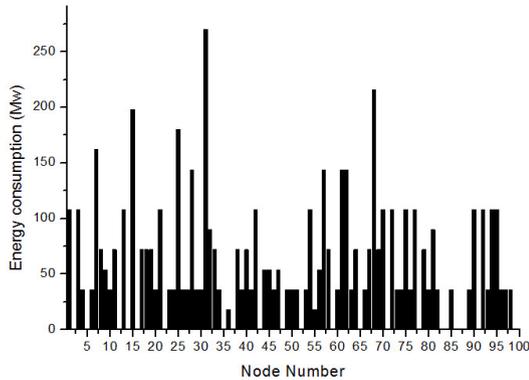


그림 10. 노드 각각의 에너지 소모량
Fig. 10. The Energy Consumption per Nodes

그래프는 소스로부터 1회 데이터를 전송 받는 상황을 고려하였으며 예상대로 리더 싱크(31번 노드)가 가장 많은 에너지 소모량을 나타냄을 볼 수 있다. 리더 싱크가 아니지만 리더 싱크에 준하는 에너지 소모량을 보이는 15번, 68번 노드 등은 그리드 리더이며 동시에 데이터 전달을 위한 노드마다 에너지 소모의 차이가 있지만 이는 노드가 네트워크 영역에 균일하게 분포하지 않고 랜덤하게 분포하기 때문에 생기는 문제로 보인다. 그러나 싱크가 이동성을 갖는다는 특성을 생각한다면 싱크 이동에 따라 새로운 데이터 전달 경로가 재구성되며, 현재 그래프에서는 적은 통신 횟수를 갖거나 통신에 참여하지 않았던 노드들도 참여할 수 있고 전체적으로는 균일한 에너지 소모를 보일 것으로 분석된다.

VI. 결 론

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 에너지 소모를 감소시키고 모바일 싱크 그룹을 효율적으로 지원하기 위한 데이터 전송 프로토콜과 새로운 위치서비스를 제안했다. 모바일 싱크 그룹을 대표하기 위해, 제안된 프로토콜은 기존 프로토콜의 그룹 영역 대신 리더 싱크를 사용한다. 대표로서 리더 싱크를 사용함으로써, 제안된 프로토콜은 효율적인 계층적 위치 서비스와 데이터 전송 방법을 사용할 수 있다. 따라서, 제안된 프로토콜은 리더 싱크와 소스 사이의 데이터 통신으로 상위 계층의 위치 서비스를 수행하며 리더 싱크와 멤버 싱크 사이의 데이터 통신으로 하위 계층의 위치 서비스를 수행한다. 이러한 방식으로, 제안된 프로토콜은 플러딩 없이 모바일 싱크 그룹들을 지원할 수 있다. 시뮬레이션 결과는 제안된 프로토콜이 기존의 프

로토콜, M-Geocasting과 비교하여 다양한 상황에서 모바일 싱크 그룹들을 에너지 효율적으로 지원한다는 것을 증명한다.

References

- [1] Y. Kim, R. Govindan, B. Karp, and S. Shenker, "Geographic routing made practical," in *Proc. USENIX NSDI*, vol. 2, pp. 217-230, Berkeley, CA, May 2005.
- [2] E. Lee, F. Yu, S. Park, S. Kim, and Y. Noh, "Design and analysis of novel quorum-based sink location service scheme in wireless sensor networks," *Springer Wirel. Netw.*, vol. 20, no. 03, pp. 493-509, Apr. 2014.
- [3] E. Hamida and G. Chelius, "Strategies for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 15, no. 6, pp. 31-37, Dec. 2008.
- [4] E. Lee, F. Yu, S. Park, and S. Kim, "Sink location service based on circle and line paths in wireless sensor networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 8, pp. 710-712, Aug. 2010.
- [5] H. Cheng, J. Cao, H. Chen, and H. Zhang, "GrLS: Group-based location service in mobile ad hoc networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 6, pp. 3693-3707, Nov. 2008.
- [6] S. Park, E. Lee, H. Park, H. Lee, and S. Kim, "Mobile geocasting to support mobile sink groups in wireless sensor networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 10, pp. 939-941, Oct. 2010.
- [7] H. Mo, E. Lee, S. Park, and S. Kim, "Virtual line-based data dissemination for mobile sink groups in wireless sensor networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 9, pp. 1864-1867, Sept. 2013.
- [8] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks," in *Proc. ACM MSWiM*, pp. 53-60, Seattle, Washington, USA, Aug. 1999.
- [9] S. Y. Ni, Y.-C. Tseng, Y.-S. Chen, and J.-P. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," in *Proc. 1999 ACM*

MOBICOM, pp. 151-162, Seattle, Washington, USA, Aug. 1999.

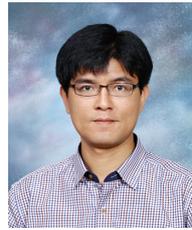
- [10] A. Kannan, B. Fidan, and G. Mao, "Use of flip ambiguity probabilities in robust sensor network localization," *Springer Wirel. Netw.*, vol. 17, no. 5, pp. 1157-1171, 2011.
- [11] J. Shim, Y. Lim, and J. Park, "Approximate 3D localization mechanism in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 38B, no. 09, pp. 614-619, Sept. 2014.
- [12] J. Nam and Y. Cho, "DT-GPSR: Delay tolerant-greedy perimeter stateless routing protocol," *J. KICS*, vol. 42, no. 2, pp. 189-197, Feb. 2016.
- [13] H. Cho, S. Kim, C. Kim, S. Kim, and C. Hwang, "Energy-efficient face routing protocol considering radio range in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 06, pp. 1059-1069, Jun. 2015.
- [14] 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.
- [15] G. Jayakumar and G. Ganapathi, "Reference point group mobility and random waypoint models in performance evaluation of MANET routing protocols," *J. Comput. Sys., Netw. and Commun.*, vol. 2008, no. 3, Jan. 2008.

윤 민 (Min Yoon)



2015년 2월 : 충북대학교 정보통신공학부 졸업
 2015년 3월~현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
 <관심분야> 정보통신공학, 전파통신공학

이 의 신 (Euisin Lee)



2005년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 (학사)
 2007년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 (석사)
 2012년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 (박사)
 2014년~현재 : 충북대학교 정보통신공학부 조교수

<관심분야> Wireless Sensor Networks, Vehicular Ad-hoc Networks, Information-Centric Networking, Mobile Cloud Computing, Routing, Mobility, Multicasting