

A Grid-based Efficient Routing Protocol for a Mobile Sink in Wireless Sensor Networks

Taekkyeun Lee*

Abstract

In this paper, we propose a grid-based efficient routing protocol for a mobile sink in wireless sensor networks. In the proposed protocol, the network is partitioned into grids and each grid has a grid head. For the efficient routing to a mobile sink, the proposed protocol uses a mobile sink representative node to send the data to a mobile sink and grid heads are used as a mobile sink representative node. Furthermore, the proposed protocol uses nodes in the boundary of the center grid as position storage nodes. The position storage nodes store the position of a mobile sink representative node and provide source nodes with it for data delivery. With these features, the proposed protocol can reduce a lot of overhead to update the position information and improve the delay of data delivery to a mobile sink. The proposed protocol performs better than other protocols in terms of the delay and the energy consumption per node in the performance evaluation.

▶ Keyword: Wireless Sensor Networks, Mobile Sink, Data Dissemination

1. Introduction

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 무선통신이 가능한 센서들로 구성되어 있으며 이러한 센서들은 주변 환경 모니터링에 대한 결과를 싱크(Sink)에게 무선통신으로 전송을 한다. 따라서 많은 분야에 활용되고 있다. 그러나 이러한 센서들은 배터리에 의한 제한적인 에너지 사용을 하고 있어서 고정적인 싱크에게 많은 데이터 패킷들이 전송되는 경우에는 싱크 주변의 노드들에게 에너지 고갈 현상이 발생한다.

그래서 이러한 문제를 해결하고자 모바일 싱크를 이용한 기법이 제안이 되었다[1]. 이 기법에서는 모바일 싱크의 위치가 변경되는 경우에 자신의 위치를 네트워크의 모든 노드들에게 전송을 하는 방법을 사용한다. 따라서 소스 노드들은 모바일 싱크 위치를 받은 후 모바일 싱크 위치를 이용하여 데이터 패킷을 모바일 싱크에게 전송한다. 그러나 모바일 싱크의 위치를 네트워크의 모든 노드들에게 전송하는 것은 모바일 싱크의 위치 변경이 빈번할수록 오버헤드가 크다.

또한 그리드(Grid) 구조를 이용하여 모바일 싱크와 소스 노드

간에 쿼리와 데이터를 전송하는 기법들이 제안이 되었다[2-9]. 이 기법들은 쿼리 전송을 위해서 제한적인 플러딩(Flooding)을 이용한다. 제한적인 플러딩이지만 데이터를 구하는 쿼리 전송이 증가할수록 오버헤드가 증가한다. 이러한 문제를 개선하고자 접선 영역 (Rendezvous area)을 기반으로 한 기법들이 제안이 되었다 [10-12]. 이 기법들에서는 데이터 정보가 접선영역에 저장되며 데이터가 필요한 모바일 싱크는 이 영역으로 쿼리를 전송하여 필요한 데이터 정보를 찾는다.

이 기법들 중에서 링 라우팅[11]은 링 형태의 구조를 이용하는 기법이며 이 기법에서는 소스 노드, 앵커 노드 그리고 모바일 싱크를 이용한다. 링 구조를 형성하고 있는 링 노드들은 앵커 노드의 위치 정보를 저장하고 있으며 요청에 의해서 소스 노드에게 앵커 노드의 위치 정보를 전달한다. 하지만 이동으로 인하여 모바일 싱크는 많은 새로운 앵커 노드를 선정하고 새로운 앵커 노드의 위치 정보가 링 구조에 전송되고 업데이트가 되어야 하므로 이로 인한 통신 오버헤드가 크다. 또한 네트워크 중심에서 멀리 떨어져 있는 코너(Corner) 그리드에 있는 소스 노드들은 링 구조로부터 멀리 있어서

• First Author: Taekkyeun Lee, Corresponding Author: Taekkyeun Lee

*Taekkyeun Lee (taekkleee@ajou.ac.kr), Dasan University College, Ajou University

• Received: 2018. 01. 18, Revised: 2018. 01. 28, Accepted: 2018. 02. 07.

위치 정보 획득에 있어서 다른 소스 노드에 비해서 통신 오버헤드가 더 든다.

또 다른 기법으로는 조수(Tide) 구조를 기반으로 하는 기법이 있다[12]. 이 기법에서는 여러 개의 조수 형태로 이루어진 구조에 많은 전달(Relay) 노드들을 지정하며 소스 노드로부터 전송된 데이터는 이 전달 노드들 간의 전송을 거쳐서 모바일 싱크로 전송된다. 하지만 데이터가 전달 노드들 간의 전송을 통하여 모바일 싱크로 전송이 될 때 최적화된 경로가 아니라 우회된 경로로 전송이 되므로 데이터를 전송하는 소스 노드들이 많을수록 통신 오버헤드가 증가한다. 또한 모바일 싱크의 이동으로 위치가 변하는 경우에도 위치를 알려주기 위해서 네트워크의 모든 전달 노드들에게 위치 정보를 알려주므로 모바일 싱크의 위치 변경이 증가할수록 통신 오버헤드도 증가한다.

따라서 이러한 문제점들을 개선하기 위한 기법을 제안한다. 제안 기법은 그리드(Grid)를 이용하여 모바일 싱크에게 데이터를 전송하는 기법이며 각 그리드에는 그리드 헤드(Grid Head) 노드가 있다. 링 라우팅에서의 많은 앵커 노드 지정에 따른 오버헤드를 줄이고자 제안 기법에서는 모바일 싱크를 위해서 데이터를 받고 전달해주는 모바일 싱크 대표자(Mobile Sink Representative)를 사용하며 그리드 헤드가 모바일 싱크 대표자로 사용된다. 제안 기법에서는 네트워크의 가운데에 있는 중앙 그리드 주변 노드들을 위치 정보를 저장하는 노드들로 사용한다. 그래서 모바일 싱크에 의해서 모바일 싱크 대표자가 지정이 되면 모바일 싱크 대표자는 자신의 위치 정보를 중앙 그리드 주변의 위치 저장 노드에게 전송을 하며 이 위치 정보는 위치 저장 노드들 간에 공유된다. 뿐만 아니라 코너(Corner) 그리드 헤드에도 위치 정보가 전송되어서 코너 그리드 소스 노드들이 위치 정보를 획득할 수 있게 한다.

제안 기법에서는 그리드 헤드를 모바일 싱크 대표자를 이용하며 이로 인해서 링 라우팅 기법에 비하여 위치 정보 업데이트 빈도를 감소시킨다. 그리고 업데이트 빈도 감소는 소스 노드가 획득한 위치 정보의 유효성을 증가시켜서 모바일 싱크로의 데이터 전송 시간을 향상시킨다. 제안 기법은 플러딩을 사용하지 않으며 전달 노드들 간에 전송을 통해서 데이터를 전달하지 않으므로 에너지 소비와 전송 시간에 있어서 조수 구조 기법과 비교해서 성능이 좋다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 모바일 싱크 관련 연구를 소개하며 3장에서는 제안된 기법인 그리드 기반의 효과적인 모바일 싱크로의 라우팅 기법을 설명하고 분석을 한다. 4장에서는 제안한 기법에 대한 성능을 평가하고 5장에서는 결론으로 마무리를 한다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 Grid-based Approaches

GBEER[5]은 그리드를 이용하는 기법으로 소스 노드는 수직으로 인접해 있는 모든 그리드 헤드에게 데이터 공지를 하며 모바일

싱크는 데이터 요청을 위해서 수평으로 인접해 있는 모든 그리드 헤드에게 쿼리를 보내서 데이터 요청을 한다. 이 과정에서 쿼리는 소스 노드의 데이터 공지를 가지고 있는 그리드 헤드를 만나게 되고 쿼리는 소스 노드로 전달된다. 쿼리를 받은 소스 노드는 쿼리에 있는 모바일 싱크 위치 정보를 가지고 데이터를 모바일 싱크에게 전송한다. 그러나 이 기법은 네트워크에 고르게 분포되어 있는 소스 노드의 수가 증가할수록 데이터 공지를 해야 될 그리드 헤드들이 증가하며 최악의 경우 네트워크의 모든 그리드 헤드들에 데이터 공지를 해야 하는 오버헤드가 존재한다.

HexDD[6]은 육각형의 그리드들로 이루어진 구조를 이용하여 모바일 싱크에게 데이터를 전송하는 기법이다. 소스 노드는 데이터를 중앙의 그리드 헤드에게 전송을 하며 모바일 싱크도 쿼리를 중앙의 그리드 헤드에게 보내서 데이터를 찾는다.

IGS[7]은 중앙에서 K 레벨 그리드를 구성하는 기법이며 소스 노드는 데이터를 가장 가까운 레벨의 그리드 헤드에게 전송을 하여 데이터를 저장시키고 반복적으로 네트워크 중심에 있는 최상위 그리드 헤드까지 전달을 한다. 모바일 싱크도 K 레벨 그리드를 이용하여 쿼리를 전송하며 데이터를 찾기 위해 최상위 그리드 헤드까지 쿼리가 전달이 된다. HexDD[6]와 IGS[7]에서 쿼리가 데이터를 만나면 데이터는 쿼리가 지나온 경로의 역방향으로 전송이 되어서 모바일 싱크에게 전달된다. 그러나 데이터와 쿼리를 중앙의 그리드 헤드까지 전송하며 특히 IGS[7] 기법은 최상위 레벨에서 플러딩을 통해서 데이터를 찾으므로 오버헤드가 적지 않다. 이 기법들은 데이터를 전송하는 소스 노드들이 증가할수록 통신 오버헤드가 증가한다.

다른 기법들[8-9]도 그리드 구조를 이용하는 기법이며 모바일 싱크는 그리드 안에서 쿼리를 플러딩을 하고 가장 가까운 전파 노드(Dissemination Node)를 찾는다. 쿼리는 이웃 전파 노드 간의 전송을 통해서 소스 노드에게 전달이 된다. 쿼리를 받은 소스 노드는 모바일 싱크에게 데이터를 전송한다. 그러나 쿼리 플러딩으로 인한 오버헤드가 존재하며 전파 노드들 간의 전송을 통한 우회적 경로로 데이터가 모바일 싱크에게 전송이 되므로 전송 시간의 개선이 필요하다. 기법[13-14]은 태양 에너지를 이용하는 기법이다. 하지만 본 논문에서는 태양 에너지를 수집하는 무선 센서 네트워크를 기반으로 하지는 않는다.

1.2 Rendezvous Area Approaches

링 라우팅[11]은 링 형태의 구조를 이용하여 모바일 싱크에게 데이터를 전송하는 기법이다. 링 구조를 형성하고 있는 링 노드들은 앵커 노드의 위치 정보를 저장하고 있으며 소스 노드는 링 노드에게 앵커 노드 위치를 요청하여 위치 정보를 획득한다. 소스 노드는 위치 정보를 가지고 데이터를 앵커 노드에게 전송하고 앵커 노드는 데이터를 모바일 싱크에게 전달한다. 모바일 싱크는 통신 범위 내의 노드를 앵커 노드로 지정을 하고 앵커 노드로 지정한다. 하지만 이동으로 인하여 모바일 싱크와 앵커 노드와의 거리가 통신 범위를 벗어나면 새로운 앵커 노드를 선정하며 새로운 앵커 노드가 선정이 될 때 새로운 앵커 노드의 위치 정보를 링 구조에 전송하여 위치

정보를 업데이트 한다. 따라서 많은 위치 정보 업데이트로 인하여 통신 오버헤드가 증가하며 네트워크 중심에서 멀리 떨어져 있는 코너 그리드 소스 노드들은 네트워크의 중앙에 위치한 링 구조를 이용하여 위치 정보를 획득하기에는 다른 소스 노드보다 통신 오버헤드가 더 든다.

조수 구조 기법[12]은 조수(Tide) 형태로 이루어진 구조에 여러 개의 전달(Relay) 노드들을 지정하고 소스 노드가 전송할 데이터가 있으면 가장 가까운 전달 노드에 데이터를 전송하여 저장한다. 그리고 모바일 싱크가 쿼리를 전송할 경우에는 가장 가까운 전달 노드에 쿼리를 전송하고 전달 노드에 의해서 쿼리는 모든 다른 전달 노드들에 전송되어서 공유된다. 쿼리가 데이터를 저장하고 있는 전달 노드를 만나면 쿼리와 함께 전달된 모바일 싱크의 위치 정보를 이용하여 데이터를 모바일 싱크에게 데이터를 전송한다. 하지만 전달 노드들 간의 전송을 통해서 데이터가 우회 경로를 통하여 모바일 싱크에게 전달이 되어서 데이터를 전송하는 소스 노드들이 많을수록 통신 오버헤드가 증가한다.

III. The Proposed Scheme

1. Network Structure

제안 기법은 이동이 가능한 단일 모바일 싱크와 그리드 기반의 네트워크를 사용한다. 일반 노드들은 고정 노드들이며 전송 데이터를 가지는 노드는 소스 노드로 동작하고 각 그리드는 그리드 헤드를 가진다. 제안 기법을 소개하기 전에 다음과 같은 사항들을 가정한다. 무선 센서 노드들은 네트워크에 균일하게 분포되어 있다. 각 무선 센서 노드는 자신의 위치와 이웃 노드의 위치를 글로벌 포지셔닝 시스템(Global Positioning System)에 의해서 알고 있으며 또한 모든 노드들은 네트워크의 중심 위치를 알고 있다. 네트워크는 9개의 영역으로 구분하며 각 영역은 하나의 그리드에 해당하고 9개의 영역으로 이용하는 이유를 통신 오버헤드 분석 부분에서 설명한다.

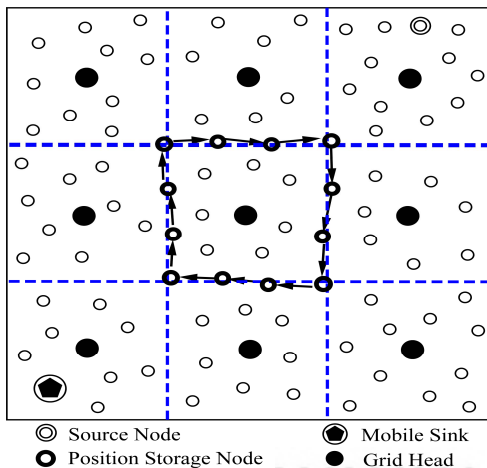


Fig. 1. Network Structure for the Proposed Protocol

그림 1은 제안 기법을 위한 네트워크 구조를 보여주고 있으며 각 그리드에는 그리드 헤드가 있다. 제안 기법에서 노드들은 자신의 위치와 이웃 노드의 위치를 알고 있으므로 노드 간의 전송을 위해서 위치 기반 라우팅(Geographic Routing)을 적용한다. 소스 노드가 데이터를 모바일 싱크에게 전송을 하기 위해서 위치 정보를 필요로 하며 이러한 위치 정보를 제공하는 노드를 위치 저장 노드(Position Storage Node)라고 한다.

그림 1에서는 위치 저장 노드 구성을 보여주고 있으며 중앙 그리드의 주변 노드들이 위치 저장 노드들로 이용된다. 노드들은 중앙 그리드의 4개 코너(Corner) 위치들을 알고 있다고 가정한다. 중앙 그리드 코너에 가까운 임의의 노드를 시작 노드로 하여 중앙 그리드 주변 노드들을 위치 저장 노드로 등록을 하는 절차를 시작한다. 시작 노드는 위치 저장 노드 등록 요청(Position Storage Node Registration Request) 패킷을 이웃 주변 노드에게 전송하고 이웃 주변 노드로부터 위치 저장 노드 등록 수락(Position Storage Node Registration Acceptance) 패킷을 받으며 이 과정을 반복적하여 위치 저장 노드들의 등록을 진행한다. 중앙 그리드의 코너 부분에서는 코너 위치에 가장 가까운 주변 노드를 위치 저장 노드로 등록한다. 등록 과정은 위치 저장 노드 등록 요청 패킷이 그리드 주변을 돌아서 시작 노드에 도착을 하면 등록을 마친다.

2. Position Advertizement

제안 기법에서는 소스 노드가 데이터를 모바일 싱크에게 전송하기 위해서 우선 모바일 싱크 대표자 노드(Mobile Sink Representative Node)를 이용한다. 즉 이동하는 모바일 싱크에게 직접 전송하지 않고 소스 노드는 고정적인 모바일 싱크 대표자 노드에게 데이터를 전송하고 이 대표자 노드는 받은 데이터를 모바일 싱크에게 전송한다. 모바일 싱크 대표자 노드로는 그리드 헤드가 사용된다.

대표자 노드를 선정하기 위해서 모바일 싱크는 모바일 싱크가 위치하고 있는 그리드 안에 있는 그리드 헤드에게 모바일 싱크 대표자 요청(Mobile Sink Representative Request) 패킷을 전송을 하여 대표자 노드 역할을 요청한다. 그리고 모바일 싱크가 그리드 헤드로부터 모바일 싱크 대표자 수락(Mobile Sink Representative Acceptance) 패킷을 받으면 해당 그리드 헤드는 대표자 노드로 이용된다. 대표자 노드가 지정이 되면 모바일 싱크는 해당 그리드 안에서 위치를 변경할 때마다 대표자 노드(그리드 헤드)에게 변경되는 위치를 알려 주어 대표자 노드가 해당 그리드 안에서 모바일 싱크의 위치를 파악할 수 있도록 한다.

또한 대표자 노드는 중앙 그리드 주변의 위치 저장 노드에게 자신의 위치 정보를 전송하며 위치 저장 노드는 받은 위치 정보를 이웃 위치 저장 노드들에게 전송하여 공유를 한다. 따라서 데이터 전송을 해야 하는 소스 노드는 우선 위치 저장 노드로부터 대표자 노드 위치를 획득을 하고 위치 정보를 이용하여 데이터를 대표자 노드에게 보낸다. 데이터를 받은 대표자 노드

는 가지고 있는 모바일 싱크 위치 정보를 이용하여 모바일 싱크에게 데이터를 전송한다. 또한 대표자 노드의 위치 정보는 위치 저장 노드들뿐만 아니라 4개의 코너 그리드 헤드에도 전송이 된다. 이를 통해서 코너 그리드의 소스 노드들이 같은 그리드에 있는 그리드 헤드로부터 대표자 노드 위치를 획득하여 모바일 싱크로의 데이터 전송에 이용할 수 있도록 한다.

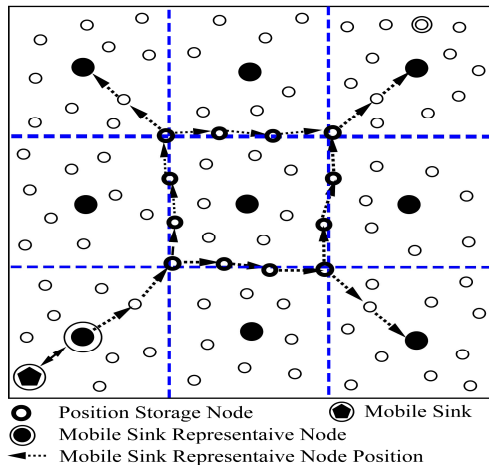


Fig. 2. Position Advertisement.

그림 2는 모바일 싱크가 존재하는 그리드 안의 그리드 헤드가 대표자 노드로 지정되고 대표자 노드의 위치 정보가 위치 저장 노드들과 4개 코너 그리드 헤드에 전송이 되는 것을 보여 준다. 모바일 싱크가 새로운 그리드로 이동하지 않고 현재 그리드 안에서 이동을 하는 경우에는 위치 저장 노드들과 코너 그리드 헤드들이 가지고 있는 대표자 노드 위치를 업데이트를 할 필요가 없다. 그러나 모바일 싱크가 새로운 그리드로 이동하는 경우에는 새로운 그리드의 헤드를 새로운 대표자 노드로 지정 하고 새로운 대표자 노드의 위치를 위치 저장 노드들과 4개의 코너 그리드 헤드들에게 전송하여 위치 정보를 업데이트를 한다.

3. Position Acquisition and Data Forwarding

모바일 싱크로 데이터 전송을 위해서 소스 노드는 대표자 노드의 위치가 필요하며 그래서 소스 노드는 모바일 싱크 대표자 위치 요청(Mobile Sink Representative Position Request) 패킷을 전송하여 위치 정보를 획득한다.

그림 3에서와 같이 많은 소스 노드들은 중앙 그리드 주변에 있는 위치 저장 노드에게 모바일 싱크 대표자 위치 요청 패킷을 보내서 대표자 위치 정보를 획득한다. 구체적으로 설명하면 소스 노드들을 네트워크 중앙을 향해서 대표자 위치 요청 패킷을 전송을 하고 이 패킷이 위치 저장 노드를 만나면 위치 저장 노드는 모바일 싱크 대표자 위치 정보(Mobile Sink Representative Position Information) 패킷에 대표자 위치 정보를 담아서 소스 노드에게 전송을 한다. 또한 중앙 그리드 안에 있는 소스 노드의 경우에는 네트워크 중심에서 멀어지는 방향으로 대표자 위치 요청 패킷을 전송하고 이 패킷이 위치 저장 노드를 만나면 위치 저장 노드는

모바일 싱크 대표자 위치 정보 패킷에 대표자 위치 정보를 담아서 소스 노드에게 전송을 한다.

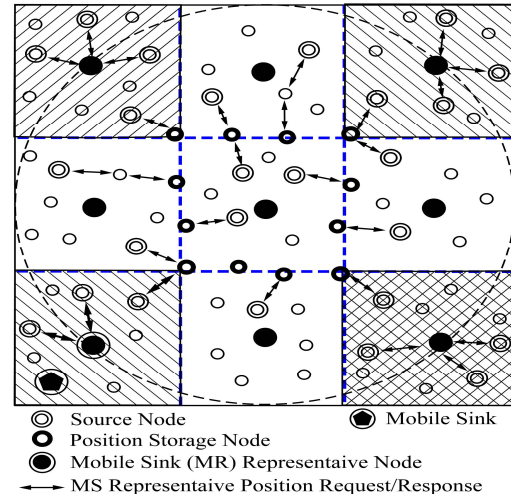


Fig. 3. Position Acquisition

그림 3에서 네트워크 중앙을 중심으로 원의 바깥에는 코너 그리드 소스 노드들이 존재하며 이 소스 노드들이 대표자 위치를 획득하기 위해서 모바일 싱크 대표자 위치 요청 패킷을 위치 저장 노드에게 보내고 위치 저장 노드로부터 모바일 싱크 대표자 위치 정보를 받기에는 다른 그리드에 있는 소스 노드들에 비해서 멀리 있다. 따라서 코너 그리드 소스 노드들은 코너 그리드 헤드에게 모바일 싱크 대표자 위치 요청 패킷을 보내서 대표자 위치를 획득한다. 그러나 코너 그리드에 있는 소스 노드들 중에서 그리드 헤드 보다 위치 저장 노드에 더 가까운 소스 노드는 위치 저장 노드로부터 대표자 위치를 획득한다.

그림 4에서와 같이 대표자 위치 정보를 획득한 소스 노드는 이 위치 정보를 이용하여 데이터를 대표자 노드에게 전송을 하고 데이터를 받은 후 대표자 노드는 가지고 있는 모바일 싱크 위치 정보를 이용하여 모바일 싱크에게 데이터를 전달한다.

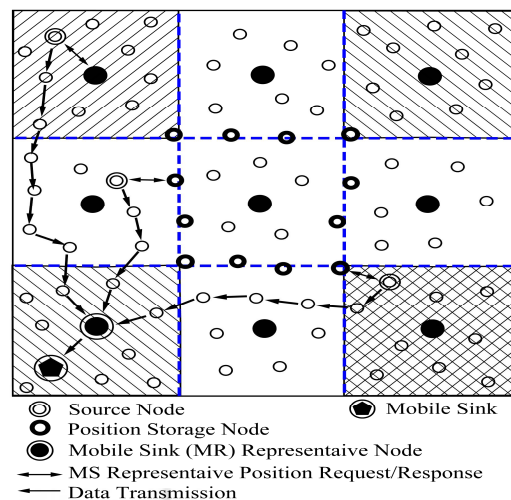


Fig. 4. Data Forwarding

그림 5에는 제안 기법에서 주요한 역할을 하는 그리드 헤드의 기능이 도식화되어 있다. 해당 그리드 안에 있는 모바일 싱크로부터 그리드 헤드가 모바일 싱크 대표자 노드 요청을 받은 후에 모바일 싱크 대표자 노드 수락을 보내면 대표자 노드로 역할을 수행한다. 또한 모바일 싱크의 위치를 저장하여 소스 노드로부터 데이터를 받았을 때 이 위치를 이용하여 모바일 싱크에게 데이터를 전송한다. 해당 그리드 안에서 모바일 싱크가 위치를 변경할 때마다 대표자 노드에게 위치를 전송하며 대표자 노드는 변경된 위치를 업데이트한다.

만약 모바일 싱크가 다른 그리드로 위치를 변경을 하면 모바일 싱크는 기존의 대표자 노드에게 모바일 싱크 대표자 변경 요청(Mobile Sink Representative Change Request)을 보내서 대표자 노드 역할 해지를 요청한다. 모바일 싱크가 이 변경 요청을 할 때 새로 지정된 대표자 노드의 위치도 함께 전송을 한다. 그래서 해지된 대표자 노드는 새로 지정된 대표자 노드의 위치를 저장하고 해지된 대표자 노드로 전송되어지는 데이터를 새로 지정된 대표자 노드로 전달한다.

그리드 헤드들 중에서 코너 그리드 헤드(Corner Grid Head)는 위치 저장 노드로부터 대표자 노드 위치 정보를 받아서 저장을 하고 소스 노드로부터 대표자 노드 위치 요청(Mobile sink Representative node Position Request)을 받았을 때 소스 노드에게 대표자 노드 위치 정보(Mobile sink Representative node Position Information)을 전송한다.

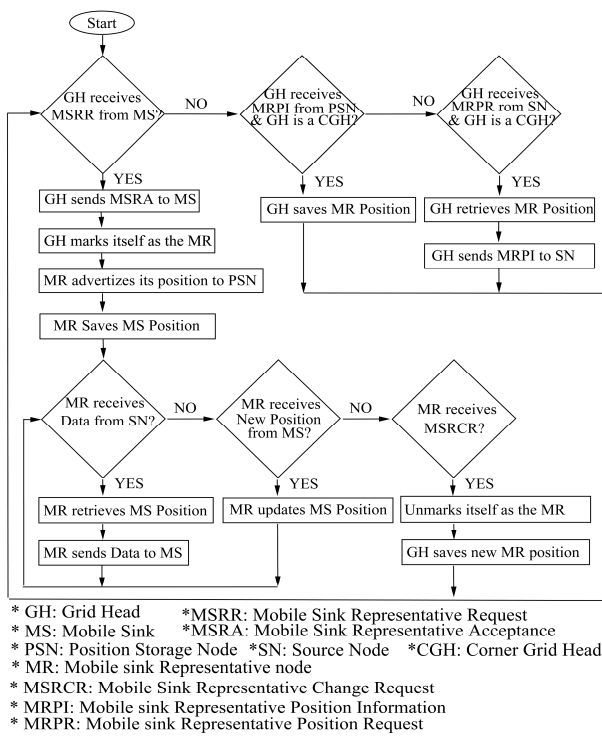


Fig. 5. Mechanism of the Grid Head

4. Analysis of Communication Overhead

제안 기법에 대한 통신 오버헤드를 분석하고 기존의 링 라우팅

기법[11] 및 조수 구조 기법[12]과 비교를 한다. 분석하기 위해서 위치 저장 노드 구성, 대표자 노드 지정과 위치 공고, 소스 노드의 대표자 노드 위치 획득 그리고 소스 노드에서 모바일 싱크로의 데이터 전송에 관련된 통신 오버헤드를 분석한다. 우선 네트워크에 N 개의 노드들이 균일하게(uniformly) 분포되어 있다고 가정을 하며 네트워크의 한 변의 길이는 L 이고 그래서 네트워크의 크기는 $L \times L$ 이다. K 는 한 변의 길이 L 에 존재하는 그리드의 개수이며 네트워크의 총 그리드의 개수는 $K \times K$ 이다. 제안 기법에서는 $K=3$ 이고 네트워크에는 총 9개의 그리드를 이용한다. 네트워크에 균일하게 분포되어 있는 소스 노드들이 이용할 수 있는 적절한 거리에 위치 저장 노드들을 구성하는 것은 중요하다. 따라서 네트워크를 9개의 그리드 영역으로 나누어 중앙 그리드 주변 노드들을 위치 저장 노드들로 구성을 하도록 하여 네트워크의 소스 노드들이 접근할 수 있는 보다 균형된 위치에 위치 저장 노드를 구성하고자 이렇게 구성을 하였다.

네트워크에는 N 개의 노드들이 있으므로 네트워크의 각 변에는 $\sqrt{N}$ 개의 노드들이 있다. 또한 네트워크의 각 변에는 3개의 그리드가 있으므로 그리드의 각 변에는 $\frac{\sqrt{N}}{3}$ 개의 노드들이 있고 중앙 그리드의 주변에는 $\frac{4\sqrt{N}}{3}$ 개의 노드들이 있다. 위치 저장 노드들의 구성을 위해서 사용되는 컨트롤 패킷의 크기를 CS1라고 할 때 위치 저장 노드들의 구성을 위한 통신 오버헤드는 식 (1)과 같다.

$$\frac{4\sqrt{N}}{3} C_{S1} \quad (1)$$

모바일 싱크 대표자 지정을 위해서 모바일 싱크와 그리드 헤드는 두 개의 컨트롤 패킷을 교환한다. 사용되는 각 컨트롤 패킷의 크기를 CS2와 CS3라고 할 때 모바일 싱크 대표자 지정을 위한 통신 오버헤드는 식 (2)와 같다.

$$\frac{\sqrt{2N}}{6} (C_{S2} + C_{S3}) K_1 \quad (0 < K_1 \leq 1) \quad (2)$$

모바일 싱크 대표자 노드 지정을 한 후에 대표자 노드는 자신의 위치를 위치 저장 노드들과 코너 그리드 헤드들에게 공고(Advertisement)를 한다. 대표자 노드 위치 공고를 위해서 사용되는 컨트롤 패킷의 크기를 CS4라고 할 때 대표자 노드 위치가 위치 저장 노드 및 코너 그리드 헤드에 공고되는 통신 오버헤드는 식 (3)과 같다.

$$\left(\frac{5\sqrt{N}}{3\sqrt{2}} + \frac{4\sqrt{N}}{3} \right) C_{S4} \quad (3)$$

모바일 싱크가 이동하는 거리를 DM이라고 할 때 모바일 싱크가 새로운 대표자 노드를 지정하는 횟수는 $N_U = \left\lfloor \frac{3(D_M+1)}{L} \right\rfloor$ 이며 따라서 새로운 대표자 노드가 지

정될 때마다 수식 (2)와 (3)의 오버헤드가 추가되므로 모바일 싱크가 거리 DM을 이동할 때 통신 오버헤드는 식 (4)와 같다.

$$N_U \left(\frac{\sqrt{2N}(C_{S5} + C_{S6})K_1}{6} + \left(\frac{5\sqrt{N}}{3\sqrt{2}} + \frac{4\sqrt{N}}{3} \right) C_{S4} \right) \quad (4)$$

대표자 노드의 위치 정보를 획득하기 위해서 소스 노드는 위치 저장 노드(또는 코너 그리드 헤드)와 두 개의 컨트롤 패킷을 교환한다. 사용되는 각 컨트롤 패킷의 크기를 CS5와 CS6라고 하고 네트워크에 소스 노드가 SN개 있다고 할 때 위치 저장 노드로부터 대표자 위치를 획득하기 위한 통신 오버헤드는 식 (5)와 같다.

$$\frac{5S_N}{9} * \frac{\sqrt{N}(C_{S5} + C_{S6})K_1}{3} = \frac{5S_N\sqrt{N}(C_{S5} + C_{S6})K_1}{27} \quad (5)$$

코너 그리드 헤드로부터 대표자 위치를 획득하기 위한 통신 오버헤드는 식 (6)과 같다.

$$\frac{4S_N}{9} * \frac{\sqrt{N}(C_{S5} + C_{S6})K_1}{3\sqrt{2}} = \frac{4S_N\sqrt{N}(C_{S5} + C_{S6})K_1}{27\sqrt{2}} \quad (6)$$

따라서 수식 (5)와 (6)를 합하여 네트워크의 소스 노드가 SN개 있다고 할 때 소스 노드가 대표자 위치를 획득하기 위한 통신 오버헤드는 식 (7)과 같다.

$$\frac{S_N\sqrt{N}(C_{S5} + C_{S6})K_1(4+5\sqrt{2})}{27\sqrt{2}} \quad (7)$$

대표자 노드 위치를 획득한 소스 노드는 데이터를 대표자 노드를 경유하여 모바일 싱크에게 전달을 한다. 소스 노드에서 모바일 싱크까지 사이의 경로에 존재하는 노드는 $(\frac{6K_1\sqrt{N}}{3\sqrt{2}})$ 개이며 데이터의 크기를 DS라고 하고 소스 노드가 SN개 있다고 할 때 통신 오버헤드는 식 (8)과 같다.

$$S_N\sqrt{2}K_1\sqrt{N}D_S \quad (8)$$

그러므로 수식 (1), (4), (7) 그리고 (8)을 모두 합한 것이 제안 기법의 통신 오버헤드가 된다.

그 다음에는 링 라우팅 기법에 대한 통신 오버헤드에 대하여 분석을 하였으며 CB를 링을 구성하는데 사용되는 컨트롤 패킷 크기이고 CP를 위치를 전송하는데 사용되는 컨트롤 패킷 크기이다. R_C 는 모바일 싱크의 통신 범위(Communication Range)이며 R_C 는 링 라우팅 기법의 성능평가에서 사용되었던 네트워크의 변의 길이에 대한 통신 범위의 비율에 L을 곱하여 사용한다. 그래서 링을 구성하는 통신 오버헤드는 식 (9)와 같다.

$$\frac{\Pi\sqrt{2N}C_B}{3} + \frac{D_M}{R_C} \left(\frac{(K_1 + \Pi)\sqrt{2N}C_P}{3} + 2 \right) \quad (9)$$

그리고 위치 정보를 가지고 소스 노드가 데이터를 모바일 싱

크에게 전송을 하기 위한 통신 오버헤드는 식 (10)과 같다.

$$\frac{6\sqrt{2N}S_N C_P}{3} + S_N \left(\sqrt{2N}K_1 D_S + \frac{\sqrt{N}}{2} \right) \quad (10)$$

그러므로 수식 (9)와 (10)을 합한 것이 링 라우팅 기법의 통신 오버헤드가 된다.

또한 조수(Tide) 구조 기법에 대한 통신 오버헤드에 대하여 분석도 하였으며 조수 구조 기법에서 네트워크에 구성된 조수의 개수를 N_T 라고 하며 쿼리 전송에 대한 컨트롤 패킷의 크기를 CQ라고 할 때 데이터 공지와 쿼리 전송에 대한 통신 오버헤드는 식 (11)과 같다.

$$\frac{S_N\sqrt{2N}K_1 D_S}{N_T+1} + \left(\frac{\sqrt{2N}+15\sqrt{N}}{N_T+1} \right) C_Q \left(\frac{(N_T+1)D_M}{L} \right) \quad (11)$$

또한 소스 노드에서 모바일 싱크로의 데이터 전송에 대한 통신 오버헤드는 식 (12)와 같다.

$$\frac{(\sqrt{2N}K_1 + 2N_T\sqrt{N})D_S S_N}{N_T+1} \quad (12)$$

그러므로 수식 (11)과 (12)을 합한 것이 조수 구조 기법의 통신 오버헤드가 된다.

그림 6은 모바일 싱크의 이동거리에 대한 기법들의 통신 오버헤드 비교를 정규화된 통신 오버헤드(Normalized Communication Overhead) 형태로 보여준다.

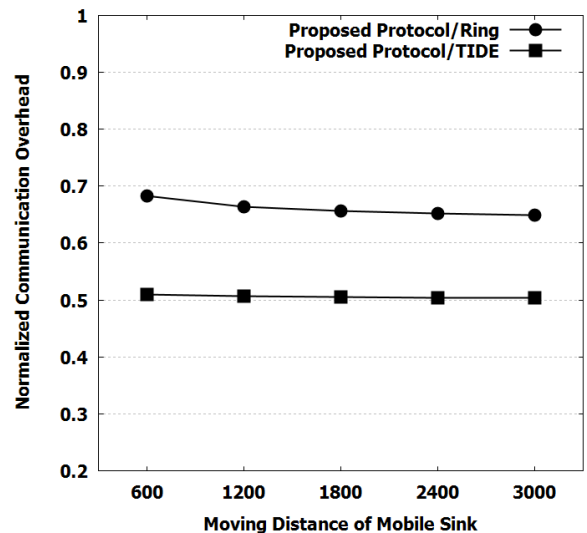


Fig. 6. Normalized communication Overhead.

그림 6에서는 링 라우팅 기법 통신 오버헤드에 대한 제안 기법의 통신 오버헤드 비율(Proposed Protocol Communication Overhead/Ring Communication Overhead)과 조수 구조 기법 통신 오버헤드에 대한 제안 기법의 통신 오버헤드 비율(Proposed Protocol Communication Overhead/Tide Communication Overhead)을 보여주고 있다. 통신 오버헤드 계산을 위해서 네트워크의 노드 개수 N은 300, 네트워크의 한

변의 길이 L 은 200, $K1(0 < K1 \leq 1) = 0.5$ 로 하였으며 소스 노드의 개수 SN 은 5로 하였고 계산의 단순화를 위해서 모든 컨트롤 패킷들의 크기는 같다고 가정을 하여 계산을 하였으며 크기는 32로 하였다. 데이터 패킷의 크기 DS 는 컨트롤 패킷의 크기의 두 배인 64로 하였으며 모바일 싱크의 이동거리 DM 은 다섯 가지로 다르게 하여 계산을 하였다. 그림 6에서는 이동거리가 증가를 하여도 제안 기법이 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법과에 비해서 좋은 성능을 보인다. 주어진 조건을 기반으로 해서 평균적으로 링 라우팅 기법 통신 오버헤드에 대한 제안 기법의 통신 오버헤드 비율은 0.66 이고 조수 구조 기법 통신 오버헤드에 대한 제안 기법의 통신 오버헤드 비율은 0.50 이다. 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법에 비해서 제안 기법에서는 그리드 헤드를 모바일 싱크 대표자를 사용하여 위치 정보 업데이트 빈도를 감소시키고 쿼리 플러딩을 사용하지 않으므로 통신 오버헤드가 상대적으로 적다.

IV. Performance Evaluation

본 장에서는 제안 기법의 성능 평가를 위해서 OMNET++ 시뮬레이터를 이용하여 제안 기법을 구현을 하였으며 또한 비교를 위해서 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법도 구현을 하였다. 시뮬레이션에서 사용되는 네트워크의 크기는 350×350 m²이다. 기본적으로 네트워크에 200개의 노드를 사용하였고 소스 노드의 개수는 5개 그리고 데이터 패킷의 크기는 64 bytes로 하였다. 또한 노드의 통신 범위는 50m로 하였으며 모바일 싱크의 속도는 10m/s로 하였다.

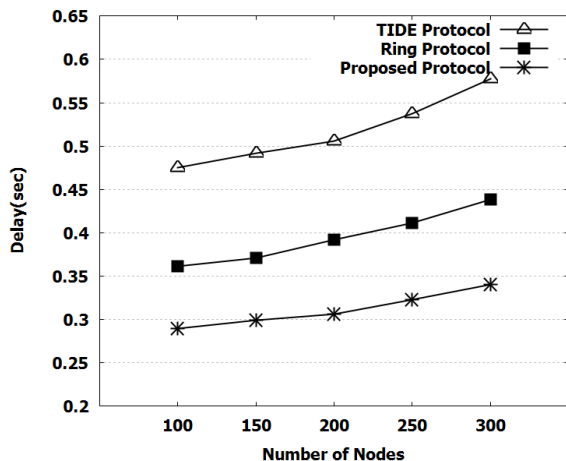


Fig. 7. Delay vs. Number of nodes

그림7은 네트워크의 노드의 수가 증가할 때 소스 노드에서 모바일 싱크까지의 데이터 전송 시간을 보여준다. 데이터 전송 시간 측면에서 제안 기법이 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법에 비해서 좋은 성능을 보인다. 링 라우팅 기법에서는 모바일

싱크가 이동을 하면서 많은 앵커 노드를 선정을 하고 선정된 많은 앵커 노드의 위치를 계속적으로 업데이트를 한다. 따라서 이와 같은 계속적인 위치 정보의 업데이트로 인해서 소스 노드가 데이터를 전송을 할 때 사용하는 위치 정보가 유효하지 않게 되는 경우가 자주 발생할 수 있으며 이로 인해서 모바일 싱크로의 경로 길이가 길어지고 따라서 전송 시간이 길어진다. 조수 구조 기법에서는 소스 노드로부터 데이터를 받은 전달 노드가 모바일 싱크로 데이터를 전송하기 위해서 전달 노드들 간의 데이터 전송을 통해서 모바일 싱크로 데이터를 전달하는데 전송 시에 데이터는 우회된 경로를 거쳐서 모바일 싱크에게 전송이 된다. 따라서 이로 인한 전송 시간이 길어진다.

그림8은 패킷의 크기가 증가할 때 소스 노드에서 모바일 싱크로의 데이터 전송 시간을 보여준다. 패킷의 크기가 증가하는 경우에 있어서 제안 기법은 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법에 비해서 데이터 전송 시간 측면에서 좋은 성능을 보인다. 그림 7에서 설명한 유사한 이유로 제안 기법이 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법에 비해서 좋은 성능을 보인다.

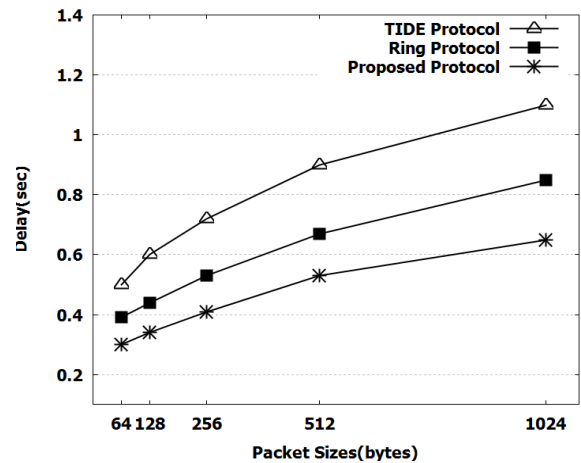


Fig. 8. Delay vs. Packet Sizes

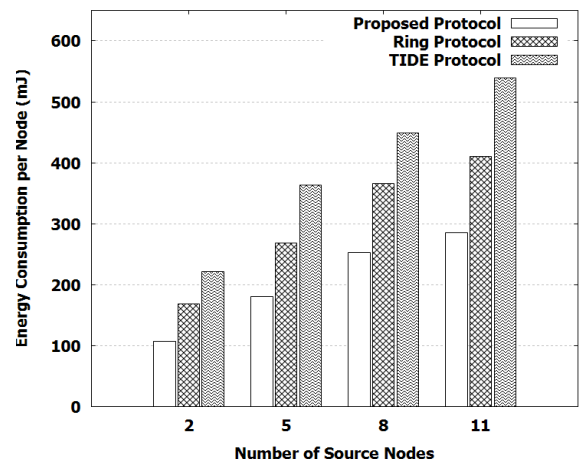


Fig. 9. Energy Consumption per Node vs. Number of Source Nodes

그림9는 소스 노드의 수가 증가할 때 노드가 평균적으로 소비하는 에너지량을 보여준다. 소스 노드의 수가 증가하는 경우에 있어서 제안 기법이 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법에 비해서 에너지 소비 측면에서 좋은 성능을 보인다. 링 라우팅 기법은 제안 기법에 비해서 모바일 싱크가 이동을 하면서 많은 앵커 노드를 선정을 하고 선정된 많은 앵커 노드의 위치를 계속적으로 업데이트를 하여서 이러한 주된 이유로 에너지가 소비가 많으며 코너 그리드에 있는 소스 노드들은 네트워크 중앙에 위치한 링 구조에서 멀리 있어서 위치 정보를 획득하는데 있어서 다른 소스 노드보다 에너지를 더 사용하는 부담이 있다. 또한 조수 구조 기법에서는 모바일 싱크가 데이터를 찾기 위해서 네트워크의 모든 전달 노드들에게 쿼리를 전송하는데 에너지 소비가 많으며 데이터는 전달 노드들 간의 전송을 통한 우회 경로를 거쳐서 모바일 싱크에게 전달이 되어서 에너지 소비가 적지 않다.

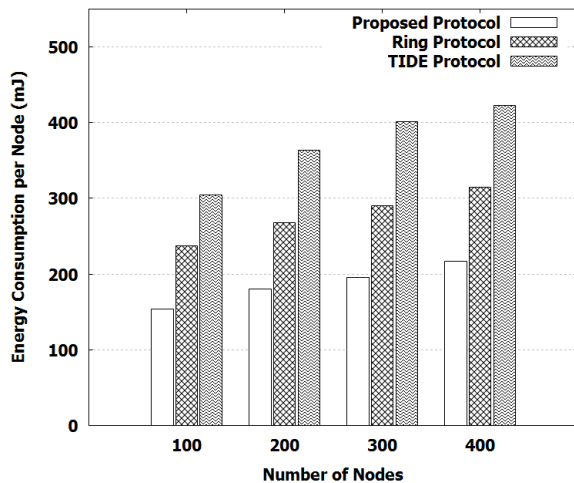


Fig. 10. Energy Consumption per Node vs. Number of Nodes

그림10은 네트워크의 노드들의 수가 증가할 때 노드의 평균적인 에너지 소비량을 보여주며 노드의 개수가 증가하는 경우에 있어서 제안 기법이 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법에 비해서 에너지 소비 측면에서 좋은 성능을 보인다. 그림 9에서 설명한 유사한 이유로 제안 기법이 링 라우팅 기법과 조수 구조 기법에 비해서 좋은 성능을 보인다.

V. Conclusions

본 논문에서는 그리드를 이용한 효과적인 모바일 싱크로의 데이터 전송 기법을 제안하였다. 제안 기법에서는 그리드 헤드가 모바일 싱크 대표자로 사용되며 모바일 싱크 대표자는 소스 노드로부터 데이터를 받고 모바일 싱크에게 데이터를 전달해주는 역할을 한다. 중앙 그리드 주변 노드들은 위치 정보 저장 노드들로 사용되며 위치 정보 저장 노드들은 모바일 싱크 대표자의 위치를 저장하고 데이터

전송을 해야 하는 소스 노드에게 그 위치를 제공한다. 제안 기법에서는 그리드 헤드를 모바일 싱크 대표자를 이용해서 위치 정보 업데이트 빈도를 감소시킨다. 또한 제안 기법은 전달 노드들 간에 전송을 통해서 데이터를 전달하지 않으므로 다른 기법들에 비해서 에너지 소비와 전송 시간에 있어서 성능이 좋다. 전송 시간(delay) 측면에서는 평균적으로 제안 기법이 링 라우팅 기법에 대해서는 21.32%의 성능 향상율을 보이며 조수 구조 기법에 대해서는 40.73%의 성능 향상율을 보인다. 그리고 노드에 대한 에너지 소비량(energy consumption per node) 측면에서는 평균적으로 제안 기법이 링 라우팅 기법에 대해서는 32.73%의 성능 향상율을 보이며 조수 구조 기법에 대해서는 47.03%의 성능 향상율을 보인다.

REFERENCES

- [1] S. Kim, S. H. Son, J. A. Stankovic, S. Li, and Y. Choi, "SAFE: A Data Dissemination Protocol for Periodic Updates in Sensor Networks", Distributed Computing Systems Workshops, Proceedings 23rd International Conference on 2003, pp. 228-234.
- [2] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "TTDD: Two-Tier Data Dissemination in large-scale wireless sensor networks," Wireless Networks, Vol. 11, pp. 161-175, January 2005.
- [3] R. Zhang, H. Zhao and M. A. Labrador, "The Anchor Location Service (ALS) Protocol for Large-scale Wireless Sensor Networks", Proceedings of the First International Conference on Integrated Internet Ad hoc and Sensor Networks, 2006.
- [4] Z. Zhou, X. Xiang and X. Wang, "An Energy-Efficient Data Dissemination Protocol in Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 2006 International Symposium on the World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2006, pp. 13-22.
- [5] K. Kweon, H. Ghim, J. Hong, and H. Yoon, "Grid-based energy-efficient routing from multiple sources to multiple mobile sinks in wireless sensor networks," International Symposium on Wireless Pervasive Computing, 2009, pp. 1-5.
- [6] E. Lee, S. Park, H. Park, Y. Yim, and S. Kim, "Data Dissemination Protocol based on Independent Grid Structure in Wireless Sensor Networks," IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2011.
- [7] A. T. Erman, A. Dilo, and P. Havinga, "A virtual infrastructure based on honeycomb tessellation for data dissemination in multi-sink mobile wireless sensor networks," EURASIP Journal on Wireless

- Communications and Networking, 2012.
- [8] M. R. Majma, H. Pedram, M. D. TakhtFoladi, S. Almassi, "Grid Based Data Dissemination Protocol for Mobile Sink in Wireless Sensor Network," International eConference on Computer and Knowledge Engineering (ICCCKE), Oct. 18-19, 2012.
 - [9] P. Singh, R. Kumar, and V. Kumar, "An Energy Efficient Grid based Data Dissemination Routing Mechanism to mobile sink in Wireless Sensor Networks," International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT)", 2014.
 - [10] 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), 2008, pp. 2201-2205.
 - [11] C. Tunca, S. Isik, M. Y. Donmez, and C. Ersoy, "Ring Routing: An Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks with a Mobile Sink", IEEE Transactions on Mobile Computing, 2015, Vol. 14, Issue 9, pp. 1947-1960.
 - [12] R. Sharma, N. V. Doohan, S. Tokekar, "A Virtual Infrastructure using tides for Data Dissemination in Wireless Sensor Networks for Mobile Sinks," International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC), May, 2015.
 - [13] E. Oh, M. Kang, I. Yoon. and D. K. Noh, "Cluster-Based Mobile Sink Location Management Scheme for Solar-Powered Wireless Sensor Networks", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 22, No. 9, pp. 33-40, September 2017.
 - [14] H. Kim, M. Kang, I. Yoon, and D. K. Noh, "Efficient Mobile Sink Location Management Scheme Using Multi-Ring in Solar-Powered Wireless Sensor Networks," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 22, No. 10, pp. 55-62, October 2017.

Authors



Taekkyeun Lee received Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from the State University of New York at Buffalo in 2010, respectively. He is currently a teaching-oriented professor (assistant professor) in Dasan University College,

Ajou University. He is interested in wireless sensor networks and security for wireless sensor networks.