

# 무선 센서 네트워크에서 멀티-홉 클러스터를 통한 이동 싱크 지원 통신 프로토콜

준회원 오승민\*, 정주현\*, 이정철\*, 박호성\*, 임용빈\*, 종신회원 김상하\*<sup>o</sup>

## Communication Protocol to Support Mobile Sinks by Multi-hop Clusters in Wireless Sensor Networks

Seungmin Oh\*, Juhyun Jung\*, Jeongcheol Lee\*, Hosung Park\*,  
Yongbin Yim\* *Associate Members*, Sang-Ha Kim\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요약

무선 센서 네트워크에서, 위치정보 없이 이동 싱크를 지원하는 연구들은 노드로 클러스터를 이루고 이들의 연결을 통해서 싱크로 데이터를 전달하는 가상의 인프라구조를 형성한다. 소스 노드가 위치한 클러스터와 싱크가 위치한 클러스터 간에는 이 구조를 통해서 연결되지만, 모든 클러스터 헤드와의 연결을 만들기 위해 플러딩을 하기 때문에 높은 라우팅 비용을 야기한다. 비록 다계층의 클러스터를 통해서 클러스터의 수를 줄일 수는 있지만, 싱크와 소스가 가깝더라도 다른 최상위 클러스터에 속한다면, 데이터는 우회될 수밖에 없다. 그래서 우리는 데이터 우회를 해결하고 클러스터의 수를 줄일 수 있는 멀티 홉 클러스터 기반의 프로토콜을 제안한다. 싱크의 위치 정보 서비스와 싱크로의 데이터의 전달을 위해 랑데부 클러스터 헤드를 선정하지만, 소스와 싱크가 속한 클러스터 간의 홉 수를 이용해서 효과적으로 데이터의 우회를 줄인다. 시뮬레이션은 기존 방안보다 효과적으로 데이터가 전달되는 것을 보인다.

**Key Words** : Sensor Network, Clustering, Mobile Sink, Routing, Data dissemination

### ABSTRACT

In wireless sensor networks(WSNs), the studies that support sink mobility without global position information exploit a Backbone-based Virtual Infrastructure (BVI) which considers one-hop clusters and a backbone-based tree. Since the clusters of a sink and a source node are connected via flooding into the infrastructure, it causes high routing cost. Although the network could reduce the number of clusters via multi-level clusters, if the source nodes exist at nearest clusters from the cluster attached by the sink and they are in different branches of the tree, the data should be delivered via detour paths on the tree. Therefore, to reduce the number of clusters, we propose a novel multi-hop cluster based communication protocol supporting sink mobility without global position information. We exploit a rendezvous cluster head for sink location service and data dissemination but the proposed protocol effectively reduces data detour via comparing cluster hops from the source. Simulation shows that the proposed protocol is superior to the existing protocols in terms of the data delivery hop counts.

\* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실 ({smoh, jhjung, jclee, hspark, ybyim}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr)  
(\*: 교신저자)

논문번호: KICS2009-12-622, 접수일자: 2009년 12월 14일, 최종논문접수일자: 2010년 3월 3일

## I. 서 론

무선 센서 네트워크는 많은 수의 센서 노드와 위치가 고정되어 있는 여러 개의 싱크들로 이루어져 있다. 센서 노드는 발생한 이벤트에 대한 보고할 데이터를 생성하고 멀티 홉 통신을 통해서 싱크로 전달한다. 그러나 센서 노드들은 제한된 에너지, 컴퓨팅 능력, 메모리 자원을 가진 장비들이다. 그래서 센서 노드의 에너지 소비를 최소화 하고 그에 따른 센서 네트워크의 수명을 최대화 하는 것이 많이 연구되고 있는 이슈들 중 하나이다<sup>[1]</sup>. 이미 고정적인 싱크에 대한 에너지 효율적인 많은 라우팅 프로토콜은 제안되어 왔다<sup>[2]</sup>.

그러나 고정된 싱크는 싱크의 1-홉 내의 이웃노드들이 많은 데이터의 중계에 따른 병목현상이 일어나기 때문에 네트워크의 수명을 단축시킨다. 무선 센서 네트워크에서 위치가 고정된 싱크보다 이동 싱크를 활용하는 것은 고정 싱크에 가까운 노드에서의 중계 오버헤드를 분산함으로써 네트워크의 수명을 향상시키는 중요한 요소가 된다<sup>[3]</sup>. 무선 센서 네트워크의 실제 응용에서 싱크는 센서 필드 내에서 움직이면서 데이터를 전달받는 경향이 있다<sup>[4,5]</sup>. 이동 싱크를 효과적으로 추적하고, 이동 싱크로 데이터를 전달하기 위해서, 광역적 위치 정보를 통한 실제 네트워크에서 랑데부 기반의 가상 인프라구조 (Rendezvous-based Virtual Infrastructure, RVI)를 사용하는 많은 프로토콜이 있다<sup>[6]</sup>. RVI의 위치는 미리 알려져 있거나, 센서와 이동 싱크에 의해서 결정될 수 있다. 이 구조는 소스노드의 데이터와 싱크의 쿼리가 만나기 위한 지역으로 사용된다. 기본적으로 이 방법은 센서 노드가 GPS의 탑재나 지역화 방안을 통해 자신의 위치를 측정하는 방법을 필요로 한다. 그러나 GPS 장비는 센서 노드의 비용적인 오버헤드를 필요로 하고, 지역화 방안은 센서 노드의 통신 오버헤드를 증가시킨다.

최근에 위치 정보 없이 이동 싱크를 지원하는 프로토콜들은 광역적 플러딩을 통해 라우팅 구조를 만들기 보다는 백본 기반의 가상 인프라구조 (Backbone -based Virtual Infrastructure, BVI)를 제안한다. 이 방안은 BVI를 통해 라우팅 경로를 만들기 때문에 이에 드는 비용을 줄일 수 있다. 이 방안들은 라우팅 구조 형성의 비용을 더 줄이기 위해서 1-홉 클러스터의 헤드들을 이용하거나 다 계층의 클러스터의 최상위 클러스터 헤드들을 이용한다. 그리고 이동 싱크가 위치하고 있는 클러스터의 헤드는 싱크를 대신해서 소스 노드로부터 데이터를 모으기 위해서 자신으로부터 다른 클러스터 헤드로의 연결을 위한

트리를 형성한다. 그리고 소스 노드는 자신의 클러스터 헤드를 통한 트리로의 연결을 통해서 데이터를 전달한다.

그러나 BVI 기반의 기존 연구들은 여전히 소스노드로부터 라우팅 경로를 형성키 위해 가상의 구조 내에서 전체 클러스터 헤드로의 광역 플러딩을 활용한다. 따라서 여전히 라우팅을 위한 구조 형성에 따른 높은 비용이 필요하다. 다 계층의 클러스터를 통한 가상 구조는 최상위 계층의 클러스터 헤드들로만 이루어지기 때문에 이 구조에 속하는 클러스터 헤드의 수를 줄여준다 하더라도 이동 싱크와 소스 노드가 가깝지만 다른 최상위 클러스터 헤드에 속한다면 데이터는 최상위 클러스터까지 항상 우회된다. 게다가 싱크가 다른 클러스터로 이동한다면, 다른 클러스터 헤드로 플러딩을 통한 라우팅 경로를 다시 만든다.

본 논문은 효과적으로 이동 싱크를 지원하기 위해, 데이터 우회를 해결하고, 가상 구조 내의 클러스터 헤드의 수를 줄이는 멀티 홉 기반의 가상 구조를 형성하는 통신 프로토콜을 제안한다. 이동 싱크에서 전체 클러스터 헤드로의 광역적 플러딩을 피하기 위해서 제안된 방안에서 클러스터 헤드 사이에서 신장된 트리의 루트는 랑데부 포인트로 사용되고, 트리를 통해서 이동 싱크의 쿼리와 소스 노드의 데이터가 만나게 되는 랑데부 클러스터 헤드를 이용한다. 그러나 랑데부 클러스터 헤드 방식은 데이터가 소스 노드로부터 랑데부 클러스터 헤드를 거쳐서 이동 싱크로 전달되기 때문에 이들 사이에 짧은 경로가 있다 할지라도 우회하는 문제가 있다. 그러므로 제안된 방안은 소스 노드가 위치한 클러스터 헤드로부터 이동 싱크가 위치한 클러스터 헤드까지의 홉 수를 사용하고, 이동 싱크가 다른 클러스터로 이동했을 때 이웃 클러스터 헤드들의 홉 수를 비교해서 좀 더 짧은 경로를 찾는 방안을 제안한다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방안이 기존의 프로토콜보다 컨트롤 오버헤드와 데이터 전달 홉 수 측면에서 좀 더 나은 성능을 가지고 있음을 보인다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 설명한다. 제안된 프로토콜의 네트워크 모델을 3장에서 보이고, 4장은 제안하는 프로토콜의 설계를 보여준다. 5장에서 시뮬레이션을 통해 제안된 방안을 분석하고, 6장에서 논문의 결론을 내린다.

## II. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 이동 싱크를 지원하기 위한 많은 프로토콜들이 제안되어 왔다. 이런 연구들은

랑데부 기반(rendezvous-based)과 백본 기반(backbone-based)의 가상 인프라 구조를 만드는 두 가지 접근 방법으로 나눌 수 있다. 랑데부 기반의 방식은 광역적 위치 정보를 바탕으로 물리적 네트워크 위의 랑데부 가상 인프라 구조를 이용한다. 이 구조의 위치는 소스 노드의 데이터(혹은 메타 데이터)나 이동 싱크의 쿼리의 모이기 위해 미리 알려져 있거나, 센서 노드나 이동 싱크에 의해서 쉽게 결정된다. 이런 방식의 프로토콜들이 랑데부 기반의 인프라 구조를 활용하는 방법에 관한 연구하는 논문<sup>[6]</sup>도 있다.

기본적으로, 이런 접근 방식은 센서 노드들이 자신의 위치를 파악하기 위한 GPS 장치를 탑재하게 하거나, 기타 지역화 방안을 사용하게 한다. 그러나 GPS 장치는 센서 노드의 비용 오버헤드를 필요로 하고, 지역화 방안은 센서 노드의 통신 오버헤드를 증가시킨다.

백본 기반 인프라구조 방식은 센서 노드의 광역적 위치 정보 없이 이동 싱크를 지원한다. 최근에 무선 센서 네트워크에서 이러한 방식에 관한 두 가지 프로토콜이 제안되었다.

HCDD<sup>[9]</sup>는 센서 노드들을 다 계층의 클러스터로 구성한다. 최상위 계층의 클러스터 헤드는 각각 하위 계층의 클러스터를 연결하는 트리를 형성한다. 이 연구는 최상위 계층의 클러스터 헤드 간에 연결을 통해 백본 기반의 가상 인프라구조를 생성한다. 이동 싱크가 최하위의 한 클러스터에 왔다면, 그 클러스터의 헤드로 쿼리를 보낸다. 그리고 그 클러스터 헤드는 쿼리를 자신의 최상위 계층의 클러스터 헤드로 보내고, 쿼리를 전파함으로써 인프라 구조 내에 다른 모든 최상위 클러스터들로의 트리를 구성한다. 소스 노드는 이동 싱크가 쿼리를 전달한 방식과 같이 데이터를 자신의 최상위 계층의 클러스터 헤드에게로 보낸다. 소스 노드의 최상위 클러스터 헤드는 미리 형성한 트리를 통해서 이동 싱크의 최상위 클러스터 헤드에게로 전달한다. 만약 이동 싱크가 새로운 최상위 계층의 클러스터 내로 이동했다면, 새로운 클러스터의 최상위 클러스터 헤드를 통해서 쿼리의 재전파를 통해서 트리를 재구성한다. 소스 노드의 최상위 클러스터 헤드는 재구성된 트리를 통해서 이동 싱크의 최상위 클러스터 헤드로 보낸다.

DDB<sup>[10]</sup>은 센서 노드들을 1-홉 클러스터로 구성한다. 각각의 클러스터는 리더, 즉, 클러스터 헤드를 선출하고, 다른 노드들은 멤버가 된다. 일부 멤버들은 리더들 간에 연결할 수 있는 게이트웨이가 된다. 이 방안은 리더와 멤버들을 통해 가상의 인프라 구조를 생성한다. 이동 싱크가 네트워크 내에서 움직일 때,

이동 싱크는 게이트웨이나 멤버에 접속하고 그들의 리더를 통해서 쿼리를 보낸다. 이 쿼리는 소스노드의 데이터를 가진 리더에 도착할 때까지 가상 인프라구조 내의 모든 노드들을 따라 전파된다. 이동 싱크가 이동한다면 새로운 멤버나 게이트웨이를 통해 새로운 리더에 붙고, 이 리더를 통해서 가상 인프라 구조로 쿼리를 재전파한다.

그러나 DDB는 1-홉 클러스터를 사용하기 때문에 가상의 인프라 구조 내에 여전히 많은 노드들을 포함한다. HCDD는 다 계층의 클러스터를 사용하기 때문에 소스 노드와 이동 싱크가 가깝더라도 다른 최상위 클러스터에 속할 때 데이터는 최상위 계층을 거쳐야 하기 때문에 항상 우회된다. 게다가 이 두 방안들은 여전히 인프라구조 내에서 플러딩을 사용한다.

반면, 제안된 방안은 단일 계층 멀티-홉의 클러스터의 헤드로 이루어진 백본 기반의 가상의 인프라 구조를 사용한다. 그래서 인프라 구조 내의 1-홉 클러스터 기반의 방식에서 포함하고 있는 클러스터 헤드의 수를 줄일 수 있고, 다 계층의 방식에서 데이터 우회를 피할 수 있다. 게다가 제안된 방안은 클러스터 헤드들 간의 신장 트리의 루트이자, 이동 싱크의 쿼리와 소스 노드의 데이터가 모이는 랑데부 포인트로서 랑데부 클러스터 헤드를 활용한다.

### III. 제안된 네트워크의 모델

우리는 백본 기반의 가상 인프라 구조를 생성키 위해 단일 계층 멀티 홉 클러스터 구조를 사용한다. 센서 네트워크는 센서 필드 내에 조밀하게 배치된 많은 수의 센서 노드들로 이루어져 있다. 센서 노드들은 단일 계층 멀티 홉 클러스터로 편성되고, 클러스터는 균등하게 분포되어 있다고 가정한다. 우리는 다음의 두 절을 통해서 단일 계층 멀티-홉 클러스터의 형성과 유지를 보인다.

#### 3.1 클러스터 형성

제안된 방안은 요구된 인프라구조를 만들기 위해 HEED<sup>[11]</sup>의 클러스터링 방안을 사용한다. [11]은 센서 네트워크에서 에너지 효율적이고 분산된 클러스터링 제안 방안이다. 이 방안은 멀티 홉의 클러스터를 만들지만 노드의 위치에 관하여 어느 가정도 하지 않는다. HEED는 에너지와 통신 비용을 고려하여 클러스터 헤드를 선택하고 클러스터를 형성한다.

[11]에서, 클러스터 형성을 위해 클러스터 헤드로 선택된 노드들은 클러스터 상수 k-홉 이내의 모든 노

드들에게 클러스터 헤드 광고 메시지를 보낸다. 만약 한 노드가 다른 클러스터 헤드로부터 1개 이상의 클러스터 헤드 메시지를 받는다면, 이 노드는 하나의 최소 홉 수로 연결된 클러스터 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 선택하고, 클러스터 연결 메시지를 보낸다. 이 연결 메시지는 모든 클러스터 헤드로부터 받은 광고 메시지의 내용을 모두 포함한다. 그러면 이 클러스터 헤드는 인접한 클러스터들에 관한 정보를 얻을 수 있다. 이 때, 그 노드는 이웃 클러스터와의 통신을 중계하는 게이트웨이(gateway) 노드 역할을 담당한다. 그리고 그 클러스터 헤드는 인접한 모든 클러스터 헤드들에게 광고 메시지를 보낸다. 그 이후에 모든 인접한 클러스터 헤드는 각각 알게 된다. 두 클러스터 간의 통신 비용은 두 클러스터 간의 홉 수의 합으로 정의한다. 이 논문에서 모든 클러스터는 k-홉 클러스터이다.

### 3.2. 클러스터 유지

무선 센서 네트워크에서 센서 노드들은 충전이 되지 않고, 상대적으로 적은 전원 공급장치를 가지고 있기 때문에 고장이나 방전이 되기 쉽다. 모든 클러스터 헤드 노드들은 다른 노드들보다 좀 더 많은 일이 주어진다. 그래서 이 노드들은 고장이나 방전의 가능성이 더 높다. 클러스터 헤드의 에너지 잔량은 클러스터를 유지하기 위한 요건이 된다.

클러스터 헤드는 미리 자신의 라디오 반경 이내의 노드들 중 두 노드를 선택한다. 이 노드는 해당 클러스터 헤드의 백업(Back-up) 노드이다. 이 노드는 클러스터 헤드의 라우팅 테이블과 주변 노드들과의 연결 상태 등을 클러스터 헤드와 함께 동시적으로 저장하고 있다. 이 두 노드는 지속적으로 클러스터 헤드의 에너지 잔량과 고장 여부를 확인한다. 만약 클러스터 헤드의 에너지가 일정 기준(threshold)의 이하로 떨어지면, 이 두 노드 중 에너지 잔량이 높은 노드가 새로운 클러스터가 된다. 새로운 클러스터 헤드의 선택 이후에, 이전 클러스터 헤드는 인접 클러스터에 관한 자신의 라우팅 테이블을 새로운 클러스터 헤드에게 전달한다. 선택된 클러스터 헤드는 모든 인접한 클러스터 헤드에게 클러스터 헤드 갱신 메시지를 보낸다. 고장의 경우도 그들 중 가장 높은 에너지를 가지고 있는 노드는 새로운 클러스터의 헤드가 된다. 그리고 미리 가지고 있는 라우팅 테이블과 주변 노드들과의 연결 상태의 정보를 바탕으로 클러스터 경계 노드를 통해서 인접한 클러스터에 클러스터 헤드 갱신 메시지를 보낸다.

## IV. 제안 프로토콜의 설계

이 장에서 광역적 위치 정보 없이 이동 싱크를 지원하기 위해서 데이터 우회 문제를 해결하고 가상 인프라 구조 상의 클러스터 헤드의 수를 줄이는 프로토콜을 설명한다. 제안된 프로토콜은 3장에서 설명한 멀티 홉 클러스터 위에서 작동하고, 클러스터 헤드를 가상 인프라구조로 사용한다. 모든 그림은 클러스터 헤드와 그들간의 연결만 표시한다.

### 4.1 데이터 전달 트리 형성

초기 데이터 전달 트리는 데이터와 쿼리를 위한 라우팅 경로로 사용되기 위해서 형성된다. 네트워크 관리자에 의해 선택된 클러스터 헤드는 이 트리의 루트가 된다. 한 클러스터 헤드로부터 인접한 클러스터 헤드까지의 홉 수는 두 클러스터 간의 통신 비용으로 정의한다. 우리는 클러스터 간의 비용을 기반으로 최소 신장 트리를 형성한다. 이 트리의 형성 이후, 모든 클러스터 헤드는 트리 상에서 자신의 깊이를 알고 있다.

### 4.2 싱크의 등록

이동 싱크로의 데이터 전달을 위해서 이 트리는 싱크들의 정보를 모두 알아야 한다. 이동 싱크가 네트워크 내에 진입하면, 싱크는 가장 가까운 노드를 에이전트 노드로 선택한 후 등록 메시지를 보낸다. 이 메시지는 쿼리와 싱크의 ID가 포함되어 있다. 이 에이전트 노드는 자신의 클러스터 헤드에게 싱크로부터 온 등록 메시지를 전달한다. 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 ID를 캡슐화해서 루트까지 전달한다. 이 클러스터 헤드는 이동 싱크가 데이터 전달 트리와 연결시킨다. 싱크가 등록된 클러스터 헤드로부터 루트까지의 경로에 있는 모든 클러스터 헤드들은 라우팅 테이블에 이동 싱크의 정보를 저장한다. 그림 1에서, 이동 싱크는 가장 가까운 클러스터 헤드에 등록한다. 그리고

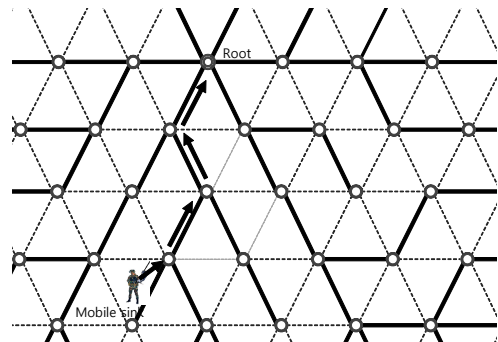


그림 1. 가상 인프라구조 상에서 싱크의 등록

등록 메시지는 루트까지 부모노드를 통해서 전달된다. 그 이후에 그 부모들은 라우팅 테이블에 이동 싱크에 의해 등록된 클러스터에 대한 정보를 유지하고 있다.

### 4.3 데이터 전달

데이터는 미리 형성한 트리를 통해서 전달된다. 어느 한 소스 노드에서 만들어진 데이터는, 소스 노드의 클러스터 헤드에게 보내진다. 데이터에는 거쳐가는 클러스터 헤드의 갯수가 저장된다. 그리고 각 클러스터 헤드에서는 이 숫자를 저장한다. 데이터는 시작한 클러스터 헤드에서 *trajectory\_cluster\_count*를 0으로 세트하고, 루트까지 한 클러스터를 거칠 때마다 1씩 증가하면서 이동한다. 그림 2에서 소스 노드는 자신의 클러스터 헤드인 CH<sub>A</sub>로 데이터를 전달한다. 루트에는 싱크가 어느 클러스터에 속하고 있는지 알기 때문에 싱크가 등록된 클러스터 헤드까지 보내준다. 이 과정에서 역시 *trajectory\_cluster\_count*를 1씩 증가시킨다. 싱크가 등록된 클러스터 헤드는 전달받은 데이터를 이동 싱크에게 전달한다. 그림 2에서 최초로 싱크를 등록한 CH<sub>F</sub>에서는 이 숫자가 8으로 전달받게 된다. 싱크가 등록된 클러스터 헤드에서 싱크에게 데이터를 전달 방식은 다음 절에서 설명한다.

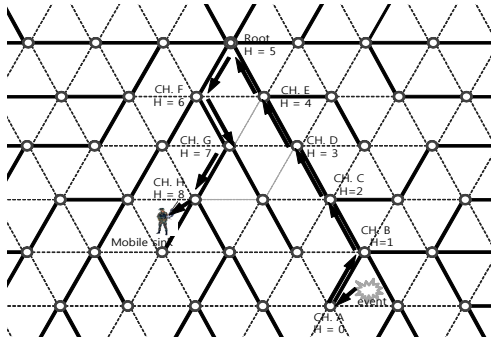


그림 2. 가상 인프라 구조를 통한 데이터 전달

### 4.4 싱크의 이동성 지원

본 논문에서 싱크는 어디로든지 움직일 수 있다. 싱크의 이동성은 클러스터 내부에서 이동과 클러스터 간의 이동으로 분류할 수 있다. 그래서 여기에서는 싱크의 이동성을 나누어서 설명한다.

#### 4.4.1 클러스터 내에서 싱크의 이동성

싱크가 움직일 때마다 싱크의 위치 정보는 루트에 등록해야만 한다. 싱크가 조금만 움직여도 루트에 등록한다면, 상당한 오버헤드가 발생한다. 그래서 싱크

가 짧은 거리를 이동할 때에는 위치정보 업데이트를 최대한 줄여야 한다. 싱크가 클러스터에 들어가면, 가장 가까이 존재하는 센서 노드를 통해 클러스터 헤드에 등록한다. 싱크가 클러스터 내부에서 움직이면, 주기적으로 클러스터 헤드와 메시지를 주고 받아서 클러스터 내부에 존재 여부만 확인하고, 루트로의 위치 정보 업데이트는 하지 않는다.

클러스터 헤드는 싱크가 자신의 클러스터 내에 존재하면, 어디에 있던지 데이터를 전달해주어야 한다. 클러스터 헤드가 다른 클러스터 헤드로부터 데이터를 전달 받으면 클러스터 내로 플러딩을 통해 그림 3과 같이 싱크로 데이터를 전달한다.

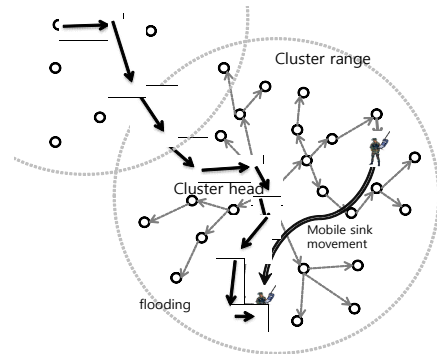


그림 3. 클러스터 내부에서의 싱크의 이동성 지원

#### 4.4.2 클러스터 간의 싱크의 이동성

싱크가 받은 데이터 패킷은 중계 클러스터 헤드의 *trajectory\_cluster\_count*와 클러스터 ID가 포함되어 있다. 그래서 싱크는 데이터 전달 경로에 대해서 알 수 있다. 그리고 자신이 위치한 클러스터의 깊이를 통해서 소스 노드의 깊이를 알 수 있다.

싱크가 새로운 클러스터에 진입하면, 싱크는 새 클러스터로의 등록을 위해 새로운 에이전트 노드를 찾는다. 그 클러스터 헤드는 다른 소스 노드로부터 데이터 전달을 위해 같은 방식으로 루트에 등록한다. 이와 동시에, 새로운 클러스터 헤드는 루트를 통한 경로보다 인접한 클러스터를 통한 좀 더 짧은 경로가 있는지 탐색한다. 만약 새 클러스터 헤드가 루트를 경유한 경로를 택한다면, 그 클러스터의 깊이와 소스노드가 속한 클러스터의 깊이의 합이 데이터 전달 경로의 길이가 된다. 만약 좀 더 짧은 경로가 있다면 클러스터 헤드는 그 인접한 클러스터 헤드에게 라우팅 경로를 수정할 것을 요청한다. 그림 4에서 클러스터 헤드 I는 인접한 CH<sub>C</sub>, CH<sub>D</sub>, CH<sub>G</sub>, CH<sub>H</sub>를 통하거나 루트를 경유하는 경로 중 가장 짧은 경로가 있는지 찾는다. 그

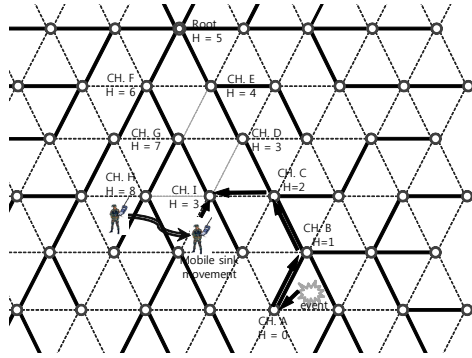


그림 4. 클러스터 간의 싱크의 이동성 지원

리고 그 중  $CH_C$ 에게 라우팅 테이블을 수정할 것을 요청한다.  $CH_C$ 는 이 요청을 받고, 데이터를 새로운 클러스터 헤드로 전달한다.

### V. 성능분석

이 장에서는 우리는 시뮬레이션을 통하여 노드의 위치정보 측정이나 계산 없이 백본 기반의 가상의 인프라구조에 의해 싱크의 이동성을 지원하는 연구인 HCDD<sup>[9]</sup>와 DDB<sup>[10]</sup>과 제안된 프로토콜의 성능을 평가한다.

#### 5.1 시뮬레이션 환경 및 성능 분석 척도

우리는 제안된 프로토콜과 기존 연구를 Qualnet 4.0<sup>[12]</sup>으로 구현하였다. MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 표준을 사용한다. 센서 노드의 전송 범위는 100m로 설정한다. 시뮬레이션 센서 네트워크의 크기는 가로 1,000m, 세로 1,000m이고, 1000개의 센서 노드들이 균등한 밀도로 뿌려져 있다. 센서 노드들은 우리의 클러스터 형성 방법으로 1-계층의 멀티 홉의 클러스터로 이루어져 있다. 우리는 클러스터의 크기인  $k$ 를 3으로 한다. 모든 클러스터의 헤드는 백본 기반의 가상 인프라구조(Backbone-based Virtual Infrastructure, BVI)를 이룬다. 네트워크의 중앙에 있는 한 클러스터 헤드는 BVI의 루트가 된다. 한 이동 싱크가 가장 가까이 있는 센서 노드를 통하여 자신이 위치한 클러스터의 헤드에게 자신을 등록한다. 이동 싱크가 다른 클러스터로 이동한다면, 새롭게 자신을 이동한 클러스터의 헤드에게 등록한다. 소스 노드는 10초에 한번씩 랜덤하게 선택되고, 선택된 소스 노드는 1초마다 이동 싱크로 데이터를 전송한다.

우리는 성능 분석을 위해서 세가지 척도를 사용한다. 데이터 전달 홉 수는 소스 노드들과 싱크 간에 데

이터 전달을 위한 평균 홉 수를 의미한다. 이것은 데이터가 얼마나 우회하는지를 보여준다. 컨트롤 오버헤드는 컨트롤을 위해 쓰이는 패킷의 총 수를 나타낸다. 컨트롤 패킷은 센서 노드의 에너지 소비와 네트워크의 수명 단축을 야기하기 때문에 이 오버헤드는 제안된 방안의 에너지 소비 정도를 보여준다. 그리고 제안된 방안의 클러스터 헤드의 에너지 잔량은 제안된 방안에서 랑데부 클러스터 헤드를 사용하더라도 다른 일반 클러스터 헤드보다 급격히 많은 에너지를 사용하지 않았다는 것을 보여준다.

#### 5.2 네트워크 크기에 따른 시뮬레이션 결과

우리는 네트워크 크기에 따른 평균 데이터 전달 홉 수와 컨트롤 오버헤드를 측정하였다. 그림 5는 제안된 방안의 네트워크 크기에 따른 평균 데이터 전달 홉 수는 다른 기존의 연구보다 적음을 보여준다. 기존의 연구에서는 모든 데이터는 HCDD의 최상위 클러스터의 헤드인 *Routing agent*나 DDB의 각 그룹(클러스터)의 헤드인 *Leader* 노드를 경유한다. 그러나 제안된 방안에서는 인접한 클러스터와의 통신을 통해서 좀 더 짧은 라우팅 경로를 찾기 때문에 데이터의 우회를 줄인다. 네트워크의 다이내믹스(dynamics)에 따라, 데이터 전달의 홉 수 증가는 데이터의 손실이나 낮은 전달 비율을 야기한다. 네트워크가 클수록, 1-홉 클러스터 네트워크는 더 많은 클러스터 수를 갖는다. 싱크의 등록이나 클러스터 형성의 갱신을 위한 컨트롤 메시지는 클러스터의 수에 영향을 받는다. 제안된 방안은 멀티 홉 클러스터를 형성하기 때문에 다른 방안보다 적은 클러스터를 만든다. 그림 6은 제안된 방안이 네트워크의 크기에 따른 컨트롤 오버헤드가 기존 방안보다 적음을 보여준다. 적은 컨트롤 오버헤드는 에너지 소비를 적게 하고, 따라서 네트워크의 수명을 길게 한다.

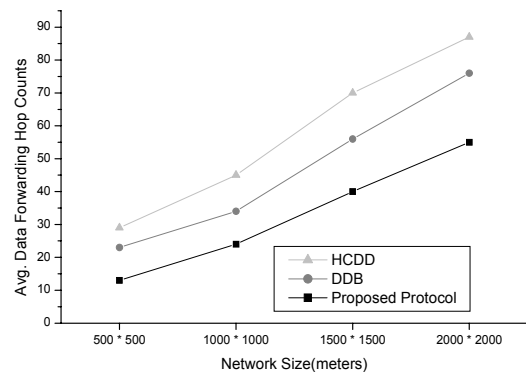


그림 5. 네트워크 크기에 따른 평균 데이터 전달 홉 수

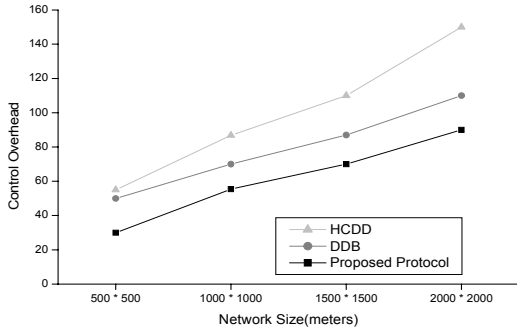


그림 6. 네트워크 크기에 따른 컨트롤 오버헤드

### 5.3 싱크 속도에 따른 시뮬레이션 결과

그림 7와 8은 싱크의 이동 속도에 따른 데이터 전달 홉 수와 컨트롤 오버헤드를 보여준다. 이동 싱크가 빠르게 이동한다면, 많은 수의 클러스터 헤드에게 등록하는 메시지를 보내야만 한다. HCDD에서 이동 싱크가 라우팅 에이전트의 범위를 벗어나면, 새로운 라우팅 에이전트에게 등록해야만 하고, 이 에이전트는 다른 라우팅 에이전트로부터의 경로를 설정해야 한다.

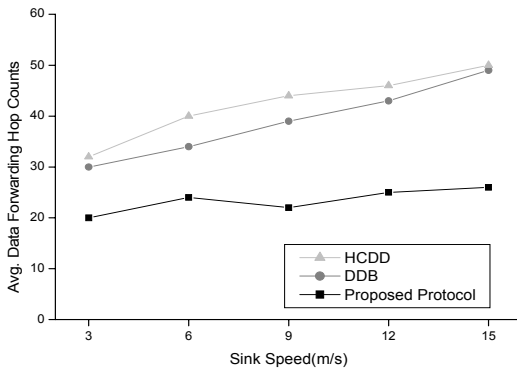


그림 7. 싱크의 속도에 따른 평균 데이터 전달 홉 수

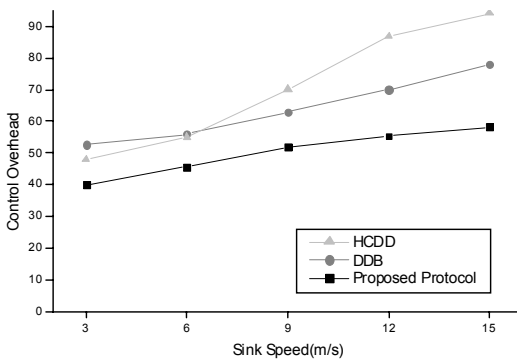


그림 8. 싱크의 속도에 따른 컨트롤 오버헤드

그래서 이동 싱크가 라우팅 에이전트로 등록을 자주 할수록, 더 많은 컨트롤 오버헤드가 생겨난다. DDB는 이동 싱크가 백본 노드에 연결된 후에, 이 연결된 노드는 모든 백본 노드에게 싱크의 등록을 알린다. 싱크의 빠른 이동은 많은 등록 메시지를 야기한다. HCDD와 DDB의 컨트롤 오버헤드는 이동 싱크의 속도에 비례하여 증가한다. 홉 수도 싱크의 속도에 비례하지만, 제안된 방안은 새로운 클러스터 헤드의 좀 더 짧은 경로를 찾기 때문에 홉 수가 좀 더 적음을 보여준다.

### 5.4 BVI를 구성하는 노드들의 에너지 잔량

그림 9는 각 프로토콜에서 BVI를 이루는 노드들의 평균 에너지 잔량을 보여준다. 제안된 프로토콜은 이동 싱크의 쿼리 메시지와 소스의 데이터가 만나는 곳으로 사용되는 랑데부 클러스터 헤드로서 데이터 전달 트리의 루트(Root)를 사용한다. 그래서 이 노드는 많은 수의 컨트롤 메시지와 데이터 패킷을 주고 받는다. 이것은 다른 클러스터 헤드보다 많은 일을 수행하게 한다. HCDD의 최상위 클러스터의 헤드인 *Routing agent*의 경우는 다른 *Routing agent*과 통신, 자신 클러스터의 헤드 역할 수행, 하위 클러스터와의 통신 등의 일을 해야하기 때문에 에너지 잔량이 급속히 줄어드는 것을 볼 수 있었고, DDB의 Leader노드도 싱크가 그룹의 범위를 벗어날 때마다, 다른 Leader노드에게 계속 알리기 때문에 에너지가 제안 방안보다 빠르게 줄어드는 것을 볼 수 있다. 하지만 제안된 방안에서는 모든 데이터가 루트를 경유하지는 않는다. 제안된 프로토콜에서 루트는 다른 클러스터 헤드와 유사한 에너지 소비 경향을 가지고 있다. 이것은 다른 클러스터 헤드보다 빠르게 에너지를 소비하지 않는다는 것을 의미한다. 이것을 통해 네트워크의 수명을 늘릴 수 있다.

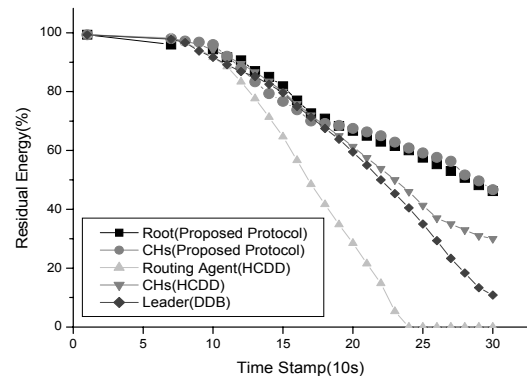


그림 9. 시간에 따른 BVI상의 노드 에너지 평균 잔량

## VI. 결 론

이 논문에서 우리는 광역적 위치 정보 없이 이동 싱크를 지원하기 위하여 백본 기반의 가상 인프라 구조를 사용한 통신 프로토콜을 제안한다. 우리는 다계층 1-홉 클러스터 기반 연구에서 데이터 우회를 해결하고, 1-홉 클러스터의 가상 인프라구조에 속한 클러스터 헤드 수를 줄일 수 있는 1-계층 멀티 홉 클러스터를 사용한다. 이동 싱크로부터 모든 클러스터 헤드로 플러딩을 줄이기 위해서 우리는 싱크의 쿼리와 소스 노드의 데이터가 모이는 랑데부 클러스터 헤드를 사용하지만, 소스 노드와 싱크가 위치하고 있는 클러스터 헤드간의 홉 수를 사용해서 좀 더 짧은 경로를 찾는 방안을 제안한다. 시뮬레이션을 통해서 제안된 방안의 데이터 전달이 기존 방안보다 짧은 경로를 통해서 이루어지고, 컨트롤 오버헤드나 에너지 소비적인 면에서 우월함을 보인다.

## 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz *et al.*, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications*, Vol.40, pp.102-114, Aug. 2002.
- [2] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *IEEE Transactions on Wireless Communication*, Vol.11, Issue 6, pp.6-28, Dec. 2004.
- [3] J. Rao and S. Biswas, "Data harvesting in sensor networks using mobile sinks," *IEEE Wireless Communications*, Vol.15, No.6, pp.63-70, Dec. 2008
- [4] F. Ye, *et al.*, "A Two-tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," *In Proc. of ACM MOBICOM*, pp.148-159, 2002
- [5] E. B. Hamida and G. Chelius, "A Line-Based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," *In Proc. IEEE ICC*, Beijing, China, May 2008.
- [6] E. B. Hamida, and G. Chelius, "Strategies for Data Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," *IEEE Wireless Communications*, Vol.15, No.6, pp.31-37, Dec. 2008
- [7] B. Karp and H.T. Kung. "GPSR: Greedy

perimeter stateless routing for wireless networks," *In Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking*, ACM Press, 2000.

- [8] N. Bulusu, *et al.*, "Gps-less low cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Personal Communications*, Vol.7, No.5, pp.28-34, Oct. 2000.
- [9] C. J. Lin, *et al.*, "HCDD: Hierarchical Cluster-Based Data Dissemination in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," *in Proc. 2006 Int'l. Conf. Wireless Communication and Mobile Computing*, 2006.
- [10] J. L. Lu and F. Valois, "On the Data Dissemination in WSNs," *in Proc. of Int'l. Conf. Wireless and Mobile Comp., Network. and Communication.*, Oct. 2007.
- [11] O. Younis, and S. Fahmy, "HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.3, No.4, pp.366-379, Oct.-Dec. 2004
- [12] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online]: <http://www.scalable-networks.com>

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



이 정 철 (Jeongcheol Lee)

준회원



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

임 용 빈 (Yongbin Yim)

준회원



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

박 호 성 (Hosung Park)

준회원



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

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

종신회원



1980년 서울대학교 학사  
1984년 University of Houston  
석사  
1989년 University of Houston  
박사  
1992년~현재 충남대학교 전기  
정보통신공학부 교수  
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor  
Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등