

# 무선 센서 망에서 싱크 그룹을 위한 에너지 효율 향상 이동성 지원 방안

임 용 빈\*, 박 호 성\*, 이 정 철\*, 오 승 민\*, 김 상 하<sup>o</sup>

## A Mobility Support Scheme Achieving High Energy-Efficiency for Sink Groups in Wireless Sensor Networks

Yongbin Yim\*, Hosung Park\*, Jeongcheol Lee\*, Seungmin Oh\*, Sang-Ha Kim<sup>o</sup>

### 요 약

무선 센서 네트워크에서 이동 싱크 그룹은 같은 임무를 수행하기 위해 지리적으로 공통적인 움직임을 가지며 동일한 데이터를 필요로 한다. 이들 그룹에 데이터를 전달하기 위해서는 이동 싱크 그룹의 현재 위치를 파악하고 이를 소스에게 제공하는 기법이 중요해진다. 기존 연구에서는 영역 정보를 제공하기 위해 플러딩을 사용하여 모든 멤버 싱크들을 포함하는 영역을 계산하고 이 정보를 소스에게 전달하였다. 그러나 멤버 싱크들의 위치를 수집하기 위해 영역 안에서 매번 주기적으로 수행되는 플러딩과 스스로의 위치 업데이트는 에너지 소모 측면에서 상당한 오버헤드이다. 본 논문에서는 주기적인 플러딩과 위치 업데이트 없이 에너지 효율적으로 이동 싱크 그룹을 지원하는 방안을 제안한다. 제안 방안은 플러딩 없이 싱크 그룹의 고유한 성질을 이용하여 멤버 싱크 일부의 움직임으로 그룹 전체의 움직임을 근사하여 그룹의 위치를 계산할 수 있다. 또한, 제안 방안에서는 무선 통신 환경의 오버히어링(overhearing) 특성을 활용한 역전파 학습 방법으로 스스로의 지속적인 위치 업데이트 비용 없이 위치 정보를 전달한다. 시뮬레이션 결과는 이전 연구에 비해 에너지 소모 측면에서 상당히 개선되었음을 보여준다.

**Key Words** : Wireless sensor networks, sink group, mobility

### ABSTRACT

In order to support mobility for sink groups, it is important to get the current location of a mobile sink group and then to offer the location to a source. Typically, previous works calculate a region including all member sinks by flooding; then, it notifies this region information to a source. However, flooding and location updates are periodically performed regardless of the group movement so that it causes considerable control overhead. In this paper, we propose an energy-efficient scheme supporting mobile sink groups. The proposed scheme obtains a location of a group without flooding. It exploits the inherent property of mobile sink groups which could approximate entire group movement by only partial member sinks movement. Also, the scheme learns group location by back-propagation learning method through exploiting overhearing feature in wireless communication environment. Our simulation studies show that the proposed scheme significantly improves in terms of energy consumption compared to the previous work.

\* 주저자 : 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실, ybyim@cclab.cnu.ac.kr, 학생회원

<sup>o</sup> 교신저자 : 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실, shkim@cnu.ac.kr, 중신회원

\* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실, hspark@cclab.cnu.ac.kr, 정희원, jlee@cclab.cnu.ac.kr, 준회원, smoh@cclab.cnu.ac.kr, 준회원

논문번호 : KICS2012-05-236, 접수일자 : 2012년 5월 3일, 최종논문접수일자 : 2013년 1월 7일

## I. 서 론

무선 센서 망의 많은 응용들 중에서 자신의 임무를 수행하기 위해 싱크들이 센서 필드 주변을 이동하는 응용이 있을 수 있다<sup>[1]</sup>. 또한, 소방대나 군 소대의 이동과 같이 많은 수의 싱크들이 그룹을 구성하여 지리적으로 집단적인 움직임을 가질 수 있다<sup>[2]</sup>. 일반적으로 이들은 공동의 임무를 수행하기 위해 동일한 데이터를 필요로 한다. 이들 그룹에 이동성을 지원하기 위해서, 현재 그룹의 위치를 파악하여 소스에게 그 위치 정보를 제공하는 기법이 중요하다. 그룹의 위치 정보를 제공하기 위해, 이동 싱크 그룹을 다루는 기존 연구<sup>[3]</sup>에서는 플러딩을 사용해 모든 멤버를 포함하는 영역을 계산하고, 이 정보를 소스에게 전달한다.

그러나, 이 방안은 두 가지 주요 문제점을 갖는다. 첫째로, 그룹 영역 내에서 주기적으로 수행되는 플러딩에 따른 많은 에너지 소모 문제이다. 그룹의 위치를 계산하는 대표 싱크는 각 멤버 싱크들의 위치를 요구한다. 요청 메시지를 받은 멤버 싱크 각각은 자신의 위치를 대표 싱크에게 응답한다. 이 과정에서 싱크의 수가 많아질수록 많은 양의 에너지를 소모하게 된다. 뿐만 아니라, 대표 싱크 주변에서 패킷이 집중됨으로써 혼잡과 충돌이 발생하여 잦은 재전송이 요구되므로 이 문제를 심화시킨다. 둘째로, 소스의 지속적인 광역 위치 업데이트 문제이다. 그룹은 그룹의 이동 패턴과 관계없이 지속적으로 소스에게까지 광역 업데이트를 수행하므로 이에 따른 에너지 소모 문제 역시 발생한다.

본 논문에서는 플러딩의 수행 없이 그룹의 위치를 계산하고, 지속적인 소스의 위치 업데이트 없이 위치 정보를 전달하는 방안을 제안한다. 일반적으로, 한 그룹은 특정 지리적 범위를 벗어나지 않는 그룹 영역을 가지며 집단적인 움직임을 갖는다. 다시 말해서, 그룹 내의 멤버 싱크들은 충분히 긴 시간의 관점에서는 대체적으로 서로 유사한 움직임 패턴을 갖는다. 그런 점을 감안하여 본 논문에서는 다른 싱크들과는 완전히 다른 이동 패턴을 갖는 싱크는 없다고 가정한다. 따라서, 이동 싱크 그룹의 멤버 싱크들은 같은 목적지를 향해 거의 동일한 움직임을 갖기 때문에 일부 싱크의 움직임으로 그룹 전체의 움직임을 근사할 수 있다. 이러한 이동 싱크 그룹의 고유한 특징에 초점을 맞춰, 제안 방안은 플러딩으로 인한 많은 에너지 소모 없이 일부 멤버 싱크의 이동 정보만을 활용하여 그룹의 위치를 계산한다. 이전 연구가 주기적으로 그룹의 위치를 계산하던 것과는 달리, 제안 방안은 그룹이 특정 거리 이

상 이동하였을 때만 그룹의 위치 재계산 과정이 유발되므로 에너지 소모 측면에서 더욱 효율적이다. 또한, 무선 통신 환경에서 브로드캐스팅의 오버히어링(overhearing) 특성을 활용하여 소스의 지속적인 위치 업데이트를 차단한다. 소스와 그룹 간 전송 경로상의 중계 노드들은 주변 노드들로부터 그룹의 새 위치를 오버히어링 할 수 있다. 따라서, 전송 경로의 반대 방향으로 역전파 학습(back-propagation learning)을 하여 소스가 그룹의 위치를 알 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안 방안의 관련 연구를 설명한다. 3장에서는 제안 방안에 대해 자세히 설명하고, 4장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안 방안의 성능을 평가한다. 그리고 5장에서 본 논문의 결론을 짓는다.

## II. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 다수의 싱크들을 지원하기 위해서, 현재까지 많은 연구들이 진행되어왔다. 그 중 대표적인 방안으로 멀티캐스팅<sup>[4]</sup>이 있다. 멀티캐스팅은 전송 경로를 공유하거나 계층 구조를 갖춰 대역폭 소모를 감소시킨다. 만약 싱크들이 이동성을 갖는다면 변하는 위치 정보를 지속적으로 보고하여 이동성을 지원할 수 있다. 그러나 대다수의 멀티캐스팅 방안은 지리적인 인접성을 갖는 싱크 그룹의 특성과 그들의 이동성을 고려한 것이 아니므로 이동 싱크 그룹에 대한 효율적인 지원이 어렵다. 단순히 각각의 모든 싱크들이 매번 위치 보고를 하는 것은 전체 네트워크의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 소스 노드로 집중되는 업데이트 메시지는 소스 부근에서 혼잡이나 충돌을 야기할 수 있다.

이 문제를 다루기 위하여 싱크들의 지리적 인접성을 이용한 RBDD<sup>[3]</sup>가 제안되었다. RBDD는 기존의 지오캐스팅(geocasting) 방법을 활용한다. 지오캐스팅은 대상 지역 내에 제한적인 플러딩을 실시하여 지역 내에 있는 모든 싱크들이 데이터를 받는 기법이다. 멀티캐스팅 방안처럼 매번 바뀌는 위치를 보고하지 않고 지역 정보를 사용함으로써 효과적으로 데이터를 전달할 수 있다. 이는 대상 지역이 고정되어 있다는 가정 하에 동작하기 때문에, RBDD는 대상 지역 자체의 이동에 대한 지원 방안을 제안하였다. RBDD는 주기적으로 지역 정보를 소스에게 보고하여 지역의 이동을 지원한다. 그룹 내의 싱크들 중 대표 싱크(leader sink)가 있고, 이 대표 싱크는 지역 정보를 계산하기 위해 주기적으로 지역

내에 싱크들의 위치를 요구하는 질의(query)를 풀러 당한다. 질의를 받은 그룹 내 다른 싱크들은 자신의 위치를 대표 싱크에게 보고하고, 대표 싱크는 이 정보들을 바탕으로 모든 멤버가 속하는 지역을 원으로 계산한다. 이 지역에 지오캐스팅으로 데이터를 전달하기 위해서, 소스는 이 지역 정보를 알고 있어야 한다. 따라서, 대표 싱크는 주기적으로 지역을 원으로 계산하여, 소스에게 계산된 원의 중심점과 반지름을 지역 정보로서 전달한다. 대상 지역에 도착하기 전까지 데이터는 일반적인 위치 기반 라우팅을 사용하여 전달되고, 대상 지역에 도착한 후에는 지역 내에 지오캐스팅으로 데이터를 전달하게 된다. 여기서, 다른 멤버 싱크들이 그룹 영역의 계산 주기 사이에 이동을 하여 계산된 대상 지역을 이탈할 경우에도 데이터를 전달받기 위해 이탈 싱크를 추적하기 위한 에이전트(agent) 노드를 선정한다. 이 때 싱크가 이탈을 인지하고 에이전트를 선정하기 때문에 멤버 싱크들도 대상 지역에 대한 정보를 알고 있어야 한다. 따라서, 대표 싱크는 지역 계산 후 이 지역 내에 플러딩을 다시 수행하여 멤버 싱크들에게 지역 정보를 알린다.

따라서, 이러한 방법의 싱크 그룹 이동성 지원은 싱크들의 위치를 수집하고 지역 정보를 알리기 위해 매년 2회씩의 플러딩이 수반되므로 에너지 소모 측면에서 비효율적이다. 싱크의 수가 많아질수록 많은 양의 에너지를 소모할 뿐만 아니라, 대표 싱크 주변에서 패킷이 집중됨으로써 혼잡과 충돌이 발생하여 잦은 재전송이 요구되므로 에너지 소모 문제를 심화시킨다. 또한, 지속적으로 소스에게 광역 업데이트를 수행하므로 이에 따른 에너지 소모 문제 역시 발생한다.

### III. 에너지 효율적인 이동 싱크 그룹 지원 방안

이 장에서는 제안 방안이 어떻게 동작하는지 설명한다. 제안 방안의 핵심 절차는 몇몇 멤버 싱크만의 이동 정보로 이동 싱크 그룹을 추적하는 것과 지속적인 그룹의 위치 보고를 제거하고도 위치 정보를 제공하는 방법이다.

#### 3.1. 시스템 모델

본 논문에서는 중심점  $C$ 와 고정된 반경  $R$ 을 갖는 원으로서 그룹의 영역을 정의한다. 최초의 중심점과 반경은 주어진다고 가정하며, 그룹이 이동한 후에는 계산에 의해 멤버 싱크를 포함하는 영역을

언어내므로 실제 그룹의 영역과 계산된 영역의 위치는 정확히 같지 않을 수 있다. 또한, 이 그룹 영역 밖에 존재하는 멤버 싱크는 없다고 가정한다. 만약 이 영역을 벗어난 싱크가 있다면 이것은 그룹이 이동하였음을 의미한다. 그러므로, 싱크가 원을 벗어난 거리만큼 이 원의 중심점을 움직여 이탈한 싱크가 원에 포함되도록 하여야 한다. 바꾸어 말하면, 그룹의 이동은 원의 중심점의 이동으로 정의할 수 있다. 이동 싱크 그룹은 공동의 임무를 수행하므로, 전체 멤버 싱크는 완전히 다른 방향으로 움직이는 싱크 없이 같은 방향으로 움직인다고 가정한다.

그룹 내의 이동 싱크는 자신이 속한 그룹에게 전달되는 데이터를 수신하기 위해 싱크-ID 외에도 그룹-ID를 갖는다. 여기에서 이동 싱크들은 다른 통신 기반 시설이 갖추어지지 않은 센서 필드 위에 존재하는 것으로 보고, 무선 센서 망을 통해서만 통신할 수 있다고 가정한다.

제안 방안은 영역까지 데이터를 효율적으로 전달하기 위해 위치 기반 라우팅<sup>[5]</sup>을 사용한다. 본 연구에서는 이동 싱크 그룹의 추적에 초점을 맞추고 있으므로, 모든 멤버 싱크들은 초기의 싱크 그룹의 위치 정보, 중심점과 반경<sup>[6-8]</sup> 같은 위치 서비스를 통해 알고 있다고 가정한다.

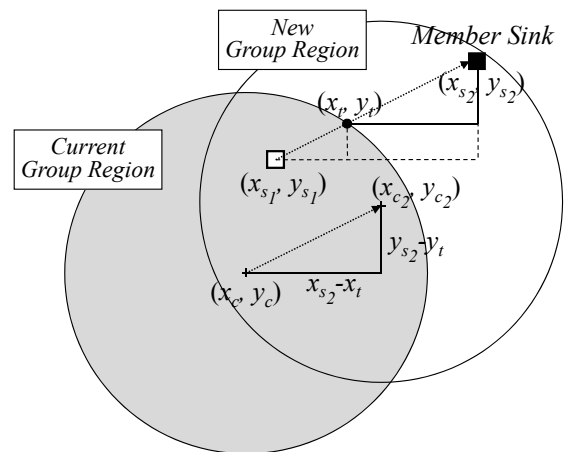


그림 1. 한 싱크의 이동 정보에 의한 새 그룹 영역의 중심점 계산

Fig. 1. Calculating center point of a new group region by the movement information of a sink

#### 3.2. 싱크 그룹의 영역 구성과 유지

멤버 싱크는 그룹 영역의 중심점과 반지름을 알고 있고, 이를 벗어나게 되면 중심점을 벗어난 거리만큼 이동시킨다. 원의 중심점을 벗어난 거리만큼 이동시키려면, 멤버 싱크가 총 이동한 거리에서 영

역 내부의 이동 거리는 제외시켜야 한다. 멤버 싱크의 이동 전과 후의 위치를 잇는 직선이 이동한 궤적이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이,  $(x_{s_1}, y_{s_1})$ 이 이동하기 이전의 위치이고  $(x_{s_2}, y_{s_2})$ 가 이동한 후의 위치일 때, 이 직선은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$y = \frac{y_{s_2} - y_{s_1}}{x_{s_2} - x_{s_1}}x + K \quad (1)$$

여기에서  $K$ 값은 이동하기 전이나 이동한 후의 점을 대입하여 구할 수 있다. 또한,  $(x_c, y_c)$ 가 중심점의 위치라고 할 때, 그룹 영역의 경계선을 다음과 같이 원의 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R^2 \quad (2)$$

멤버 싱크가 영역 내부에서 외부로 이동을 하였기 때문에 영역의 경계선과 직선과의 교차점이 존재하게 된다. 식 (1), (2)를 연립하면 2개의 해가 나오고, 이동 전, 후 점의 위치 사이에 해당하는 값이 교차점  $(x_t, y_t)$ 가 된다. 이 교차점을 구하여 이동한 위치로부터 빼주면 그룹 밖에서 이동한 거리를 구할 수 있다. 영역 밖에서 이동한 거리에 의해 새로운 그룹 영역의 중심점  $(x_{c_2}, y_{c_2})$ 는  $(x_{s_2}, y_{s_2})$ 로부터 이 교차점을 빼서 구할 수 있다. 즉, 다음 식과 같다.

$$x_{c_2} = x_{s_2} - x_t, y_{c_2} = y_{s_2} - y_t \quad (3)$$

### 3.3. 싱크 그룹 추적

그룹이 이동함에 따라 계산된 영역을 벗어나는 싱크가 발생한다. 예를 들면 그림 2에서, 그룹이 음영의 원의 위치에서 빈 원의 위치로 이동을 한다. 1번 화살표와 같이 한 멤버 싱크가 이전 그룹 영역을 이탈한다. 이 싱크가 추적 프로세스를 야기한다. 또한, 하나 이상의 싱크가 영역 밖으로 이동할 수 있기 때문에, 이들 모두의 정보를 수집하여 싱크 그룹의 새 위치를 계산하는 것이 필요하다. 그러나 각 멤버의 위치를 알지 못하기 때문에 마지막으로 플러딩을 수행한 센서 노드가 주체가 되어 이들의 정보를 수집한다. 이 노드를 피벗(pivot) 노드라고 한다. 피벗 노드는 새 그룹 위치 계산과 이동 싱크 그룹의 위치를 전달하는 두 가지 주요 임무를 가진다.

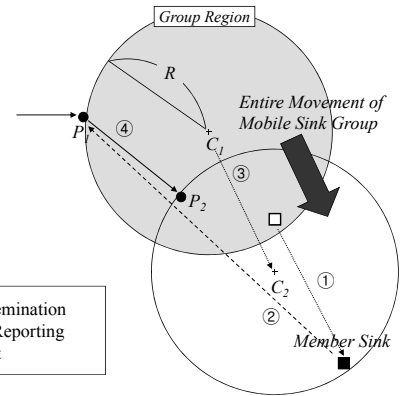


그림 2. 영역 이동 절차  
Fig. 2. The procedure of region shift

#### 3.3.1. 피벗 노드의 역할과 선정 과정

데이터 전달 시, 중계 노드들은 데이터에 포함된 대상 영역의 중심점과 반지름으로 자신이 대상 영역 안에 속해 있는지 판단할 수 있다. 영역에 속해 있지 않다면 영역에 더 가까이 근접하도록 데이터를 중계하고, 속해 있다면 플러딩을 시작한다. 여기서 데이터 플러딩을 시작하는 노드를 피벗 노드로 지정한다. 앞의 설명에 따르면, 대부분의 피벗 노드는 그룹 영역의 원주 가까이에서 지정된다.

또한, 그룹 영역의 중심점  $C$ 를 향해 전달되므로 데이터 플러딩을 시작하는 피벗 노드가 고정적이지 않다. 그렇기 때문에 제안 방안에서는 최근에 플러딩을 수행한 노드가 새로운 피벗 노드가 되도록 정한다. 예를 들면, 그림 4와 같이  $A$ 가 현재 피벗 노드인 상태에서, 이 후 멤버 싱크가 이동하여 새 그룹 영역을 계산한다. 다음 데이터가  $A$ 에게 전달되면  $A$ 는 데이터의 목적지를 새로운 그룹의 위치로 변경하여 전달하고, 데이터가 새 그룹 영역에 도달하여 플러딩을 시작한 노드  $N_i$ 가 새로운 피벗이 된다. 싱크들이 위치 이탈 정보를 피벗에게 보고하려면 새로운 피벗 노드에 대한 정보를 알아야 하므로 피벗이 바뀔 때 이에 대한 정보를 싱크들에게 업데이트 해주어야 한다. 따라서, 피벗이 데이터를 플러딩 할 때 데이터에 자신의 위치를 포함한다.

멤버 싱크가 그룹 영역을 이탈하면 이를 피벗에게 보고할 수 있도록 하기 위해서, 피벗 노드는 자신의 위치를 데이터에 포함하여 그룹 내 싱크들에게 피벗 노드의 위치를 알려준다. 또한, 그룹이 이동한 후에 싱크들이 그룹의 새 위치를 알 수 있게 하기 위해서, 피벗 노드는 그룹 영역의 중심점과 반지름을 포함하여 제한적인 플러딩을 수행한다.

그러면 데이터에는 최종적으로 현재 피벗의 위치와 중심점, 반지름 정보가 포함된다. 또한, 피벗 노드는 영역 안에 그룹과 자신의 위치를 포함한 메시지를 플래딩 한다.

4절에서 자세히 설명하겠지만, 피벗은 이동한 싱크 그룹의 새 위치를 계산하여 소스와 모든 멤버 싱크에게 전달한다. 피벗은 새로운 그룹에 대한 위치 정보를 알고 있고, 새로운 위치로 데이터를 보낼 때 위치 정보가 들어 있다. 이를 다른 이전 노드들이 오버헤어링 할 수 있다.

### 3.3.2. 새 그룹 영역 계산

멤버 싱크들은 영역 정보인  $C$ 와  $R$ 을 가지고 있기 때문에 자신이 영역을 벗어났는지 인지할 수 있다. 영역을 벗어난 싱크가 이동 정보를 피벗에게 보고하면 피벗은 이 정보를 사용하여 새 그룹 위치를 계산한다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 그룹의 새 위치 계산 과정을 정리하면 다음과 같다. 1) 싱크 그룹이 이동하여 이전 영역을 벗어나게 되는 싱크가 발생한다. 2) 이 싱크는 영역을 벗어났음을 알게 되고 현재 피벗  $P_1$ 에게 위치 보고를 수행한다. 3)  $P_1$ 는 그룹의 새 위치를 계산한다. 소스는 이 시점까지 그룹이 이전의 위치에 존재하는 것으로 알고 있기 때문에 다음 데이터를 현재 피벗  $P_1$ 에게 전달하게 된다. 4)  $P_1$ 가 이 데이터를 받으면, 새로운 위치로 목적지를 다시 설정하여 그 곳으로 전달한다. 그룹의 이동 정보를 알기 위해 모든 멤버 싱크에게 플래딩과 같은 시그널링을 사용하는 대신 벗어난 몇몇 노드만 피벗에게 보고한다. 따라서 영역 안에 있는 모든 센서 노드들과 싱크들이 시그널링을 하지 않아도 되므로 에너지 소모 측면에서 상당히 효율적이다.

또한, 다음 데이터가 전달될 때까지 피벗 노드가 이후 벗어난 싱크들의 정보를 수집하여 중심점을 계산한다. 그림 3을 보면 멤버 싱크의 움직임이 3개가 있다. 먼저  $M_1$ 이 영역을 벗어나 영역에서 벗어난 거리만큼 중심점이  $C_1$ 에서  $C_2$ 로 이동했다. 다음에  $M_2$ 의 이동이 있으나 새로 계산된 영역을 벗어나지 않았기 때문에 무시된다. 이후  $M_3$ 가 이 영역을 벗어나고 역시 벗어난 거리만큼 이동하여  $C_3$ 가 된다. 이러한 방법으로 새로운 원은 모든 싱크를 포함할 수 있다.

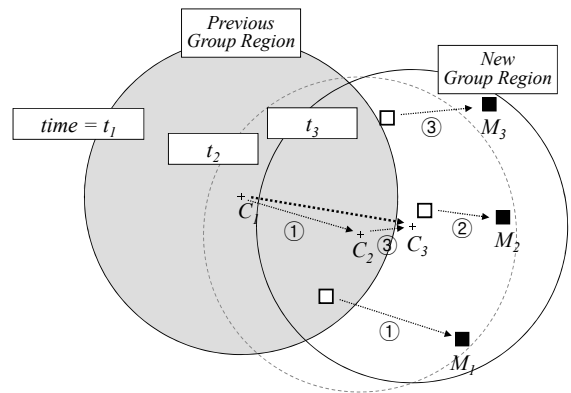


그림 3. 데이터 전달 사이 간격 시간 동안의 이탈 싱크의 위치 조합

Fig. 3. Combining location of deviated sinks for interval time between data dissemination

### 3.4. 싱크 그룹 위치 전달

그룹의 위치를 알려주기 위한 소스로의 지속적인 위치 업데이트는 에너지 소모 측면에서 비효율적이다. 제안 방안은 지속적인 업데이트를 방지하기 위해 이전 연구인 elastic routing<sup>[9]</sup>에서 도입하였던 오버헤어링(overhearing) 특성을 사용한다. 그러면 소스에게 직접 위치를 알려주는 추가적인 연산 없이 그룹의 위치를 전달할 수 있다.

Elastic routing에서는 개별 싱크가 움직일 때 마지막 홉 노드에게 싱크의 위치 정보를 알려준다. 마지막 홉 노드는 싱크에게 마지막으로 데이터를 전달한 노드를 말한다. 이 노드가 싱크의 새 위치로 데이터를 보내면, 새 위치 정보가 오버헤어링에 의해 소스까지 전달된다. 이 특징을 이용하면 지속적인 위치 업데이트 없이 싱크 그룹에게도 데이터를 전송할 수 있다. 즉, 위치 정보 전달을 위해 어떠한 추가 연산도 수행되지 않는다.

피벗 노드가 새 지역으로 재설정하여 데이터를 전달한다. 그러면, 이전 중계 노드가 데이터를 오버헤어링 할 수 있으므로 이 영역 정보를 알 수 있다. 예를 들면, 그림 4에서 피벗  $A$ 가 새 위치로 데이터를 보낸다. 그러면, 이전 중계 노드인  $B$ 가 이것을 오버헤어링 할 수 있다. 마찬가지로,  $B$ 가 새 위치로 데이터를 보내고  $C$ 가 이 정보를 알게 된다. 같은 방법으로 데이터를 전송하는 동안 새 영역 정보는 전송 경로의 역으로 소스에게까지 전달된다.

앞의 설명을 바탕으로 제안 방안의 전체적인 동작 과정을 살펴보면 다음과 같다. 데이터는 연속적으로 전달된다고 하였을 때, 그림 4는  $A$ 가 피벗 노드로서 점선으로 표시한 이전 영역에 데이터를 전달한 후 그룹이  $C_2$ 가 중심점인 회색 원으로 표시되어 있는 위치

로 이동한 상태이다. 화살표 ①에서 보듯이  $A$ 는 새로운 위치를 계산하고, 그 다음 데이터가  $A$ 에게 전달이 되면 목적지를 수정하여  $C_2$ 를 향해 전달한다. 이 때, 이전 중계 노드  $B$ 는 새 그룹 위치를 오버히어링 한다. 데이터는 새 영역 부근까지 도달하고 이 때 최초로 새 영역에 접한 노드  $N_1$ 이 새로운 피벗이 되어 영역 내에 데이터 플러딩을 시작한다. 이후 데이터가 중계 노드  $B$ 까지 도달하면  $B$ 에서 곧바로 새 영역을 향해 경로를 변경하여 전달이 되고, 이 때  $B$ 의 이전 중계 노드  $C$ 가 위치 정보를 오버히어링 한다.  $B$ 에 있는 데이터는 이제 위치  $C_2$ 를 향해 전달되므로  $N_1$ 에게 전달되지 않을 수 있다. 이 그림에서는 노드  $N_2$ 에게 전달되었다고 가정한다. 따라서, 화살표 2와 같이  $N_2$ 가 다시 새로운 피벗이 되어 데이터를 플러딩한다. 같은 방법으로 위치 정보는 그림 4의 화살표 3, 4처럼 소스까지 오버히어링 되어 전달된다. 또한, 중계 노드에서 경로가 변경되어 새로운 위치로 전달되기 때문에 플러딩을 시작하는 노드가 바뀔 수 있고 따라서 최근에 데이터를 플러딩한 노드가 피벗 노드가 된다.

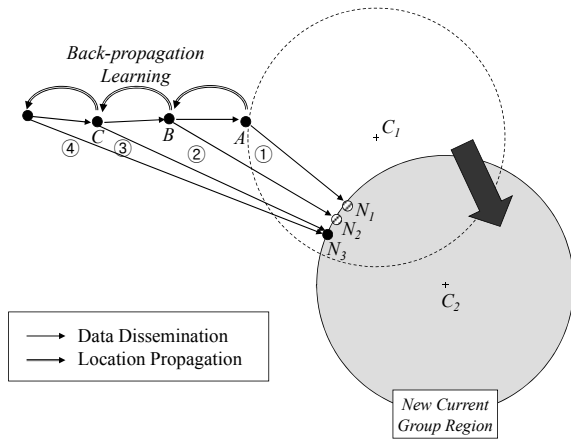


그림 4. 오버히어링 특성을 활용한 역전파에 의한 위치 정보 습득  
Fig. 4. Location learning by back-propagation utilizing the overhearing feature

#### IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제안한 방안의 성능을 대표적 멀티캐스팅 통신 방안인 GMR, 그리고 이동 싱크 그룹 지원 방안인 RBDD와 비교하여 분석한다. GMR은 직접적으로 이동 싱크들을 다루고 있지 않으므로, 추가적으로 이동성을 고려하여 모든 싱크들이 소스에게 주기적으로 위치 보고를 수행하도록 한다. 세 프로토콜의 구현은 네트워크 시뮬레이터 Qualnet 4.0<sup>[10]</sup>을 사

용한다. 센서 노드들의 모델은 MICA2<sup>[11]</sup>의 제원을 따르고 이들의 전송 범위는 40m이다. 센서 네트워크의 크기는 1500m × 1500m로 설정하고 2500개의 노드가 임의적으로 뿌려진다. 그룹의 이동 패턴은 Random Waypoint 모델<sup>[12]</sup>을 따른다. 시뮬레이션에서 멤버 수의 따른 에너지 소모 측정 시 이동 속도는 2m/s로 하고, 속도에 따른 에너지 소모 측정 시 싱크 그룹의 멤버 수는 10개로 한다. 센서의 송신과 수신 소비 전력량은 각각 21mW와 15mW이다. 시뮬레이션의 매개 변수들은 MICA 제원을 참조하여 선택된다.

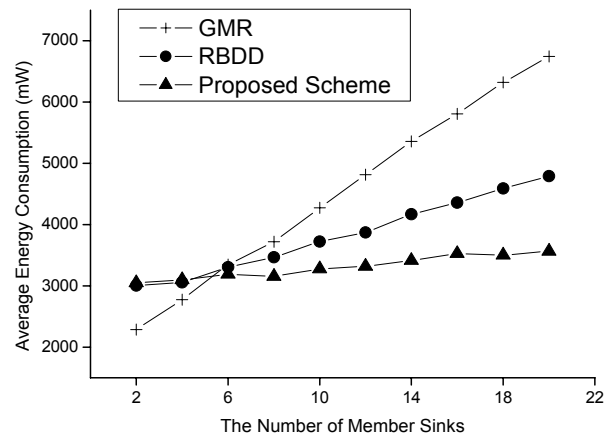


그림 5. 멤버 싱크 수에 따른 에너지 소모량 측정  
Fig. 5. Energy consumption impacted by the number of member sinks

그림 5는 그룹의 멤버 싱크 수가 증가함에 따른 에너지 소모량을 보여준다. 멤버 싱크의 수가 증가하면 모든 멤버 싱크가 스스로 위치 보고를 해야 하기 때문에 GMR은 싱크의 수에 비례하여 많은 에너지를 소비한다. RBDD는 모든 멤버 싱크가 스스로 위치 업데이트를 할 필요가 없기 때문에 GMR에 비해 그룹 위치 업데이트를 위한 에너지 소모가 적다. 제안한 방안은 그룹 영역을 계산하기 위해 단지 일부의 멤버 싱크의 이동 정보만을 사용하고 위치 업데이트를 위해 추가적인 오퍼레이션을 수행하지 않기 때문에 에너지 소모량이 적게 증가한다.

그림 6은 싱크 그룹의 이동 속도에 따른 에너지 소모량을 보여준다. 속도가 증가하면 GMR과 RBDD의 에너지 소모량은 이에 비례하여 증가한다. 다만, RBDD에서는 모든 멤버 싱크가 위치 업데이트를 할 필요가 없기 때문에 RBDD가 GMR보다 적게 소비한다. 제안한 방안은 GMR과 RBDD보다 적게 소비하는데, 이는 그룹 영역 계산 빈도를 줄이고 스스로의 어떤 명시적인 위치 업데이트도 사용하지 않기 때문이다.

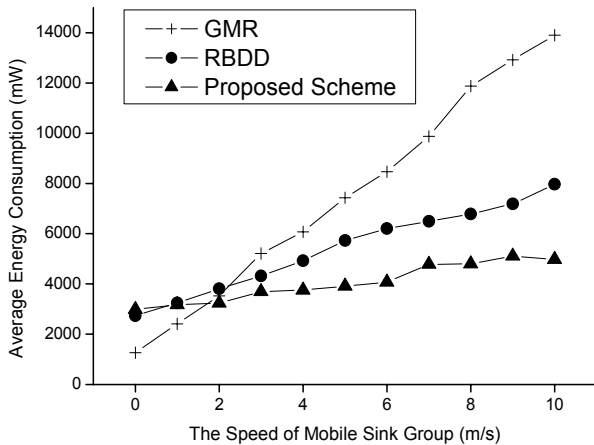


그림 6. 싱크 그룹의 이동 속도에 따른 에너지 소모량 측정  
Fig. 6. Energy consumption impacted by moving speed of a sink group

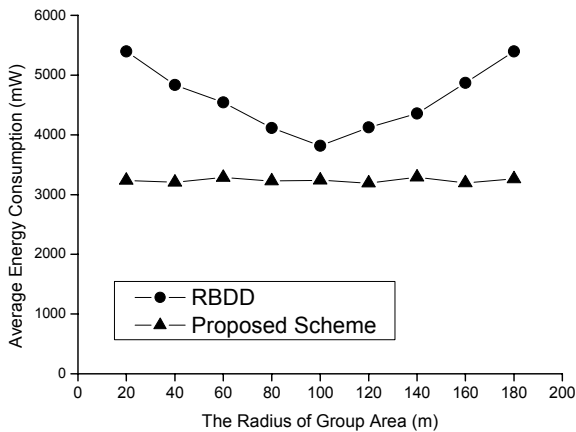


그림 7. 그룹 영역의 반경에 따른 에너지 소모량 측정  
Fig. 7. Energy consumption impacted by the radius of group area

그림 7은 그룹 영역의 반경에 따른 에너지 소모량을 보여준다. RBDD에서는 계산된 그룹 영역의 반경이 길어질수록 영역 내에 머무르는 시간이 길어져 계산 횟수를 줄여 에너지 소모가 줄어들 수 있지만, 계산을 위한 제한적인 플러딩 영역이 넓어지기 때문에 더 많은 에너지를 소모하는 상황이 발생한다. 그러므로, 그림 7에서와 같이 RBDD의 에너지 소모량은 반경이 100m까지는 줄어들다가 100m 이후에는 다시 증가함을 볼 수 있다. 그러나, 제안 방안은 그룹 영역 반경의 영향을 거의 받지 않는다. 그룹 영역을 이탈한 싱크만이 영역 계산을 위한 요소가 되기 때문이다. 따라서, 제안 방안에서는 RBDD보다 에너지 소모량이 적을 뿐만 아니라, 그룹 영역의 반경에 관계없이 일정한 소모량을 보여준다.

그림 8은 그룹의 멤버 싱크 수에 따른 데이터 전달율을 보여준다. GMR에서는 멤버 싱크의 수가 증가함에 따라 모든 멤버의 위치 업데이트로 인한 소스 노드 부근에서의 패킷 집중이 발생한다. 이는 혼잡과 충돌을 야기하여 평균 데이터 전달율을 상당히 감소시킨다. RBDD에서는 대표 싱크가 멤버 싱크들의 위치 수집을 할 때 멤버 싱크의 수가 증가할수록 대표 싱크의 주변에서 혼잡이 발생하여 위치 보고의 손실이 증가한다. 위치 보고의 손실로 인해 영역이 잘못 계산될 수 있고 데이터 전달율을 감소시키는 원인이 된다. 반면, 제안 방안은 일부 그룹 영역을 이탈한 멤버 싱크만 피벗 노드에게 위치 보고를 하기 때문에 혼잡이나 충돌의 영향을 거의 받지 않는다.

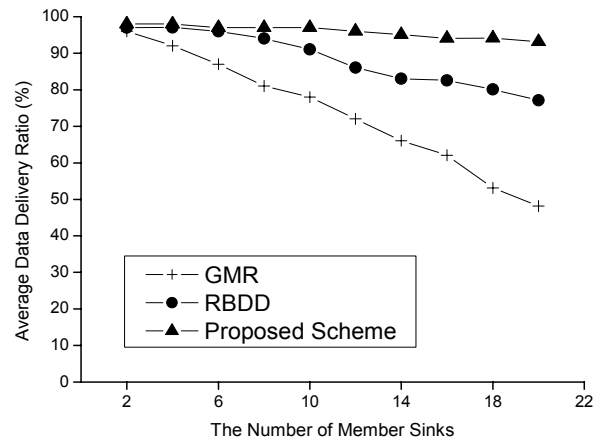


그림 8. 멤버 싱크 수에 따른 데이터 전달율 측정  
Fig. 8. Data delivery ratio impacted by the number of member sinks

그림 9는 싱크 그룹의 이동 속도에 따른 데이터 전달율을 보여준다. 속도가 증가하면 GMR의 데이터 전달율을 급격히 감소한다. 그룹의 모든 멤버 싱크가 자신의 위치를 소스에게 업데이트 한다. 모든 업데이트 메시지는 거의 비슷한 경로로 전달되기 때문에 혼잡이나 충돌이 발생하여 많은 업데이트 메시지가 손실된다. RBDD에서는 그룹의 이동 속도가 빠를 경우, 새로운 그룹 영역을 계산하여 소스에게 업데이트 하는 동안 전달되는 데이터는 이전의 위치로 전달되기 때문에 일부 싱크는 데이터를 받지 못할 수 있다. 그러나, 제안 방안에서는 위치 정보가 오버헤어링에 의해 경로 중간에서 즉시 수정되기 때문에 높은 데이터 전달율을 갖는다.

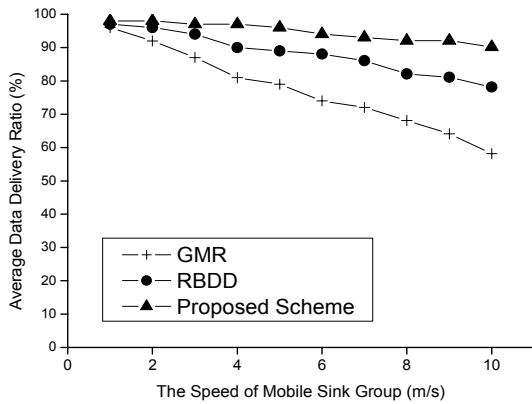


그림 9. 싱크 그룹의 이동 속도에 따른 데이터 전달률 측정  
 Fig. 9. Data delivery ratio impacted by moving speed of a sink group

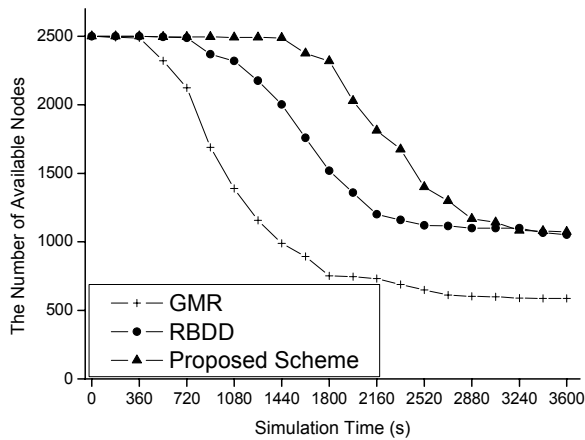


그림 10. 시뮬레이션 경과 시간에 따른 가용 노드 수 측정  
 Fig. 10. The number of available nodes according to elapsed simulation time

그림 10은 시뮬레이션 경과 시간에 따른 가용 노드 수에 대한 그래프이다. GMR에서는 노드들이 다른 방안들보다 빨리 소실된다. 모든 멤버 싱크들이 자신의 위치를 광역적으로 소스에게 업데이트를 하기 때문이다. 또한, 트래픽이 소스 부근에서 집중되어 혼잡과 충돌을 발생시키기 때문에 잦은 재전송을 수반한다. 따라서, 이러한 현상들이 에너지 고갈을 더욱 재촉한다. 한편, RBDD에서는 하나의 그룹에 하나의 대표 싱크를 갖는다. 따라서, 대표 싱크에 의한 위치 업데이트는 에너지 소모에 크게 영향을 미치지 않는다. 그러나 플래딩에 기반한 영역 계산은 이동 싱크 그룹의 이동 궤적에 있는 노드들의 에너지 소모를 가속시킨다. 제안 방안에서는 단지 일부 노드만이 영역 계산에 참여하고 또한 중계 노드들이 위치 업데이트를 위한 에너지 소모를 필요로 하지 않는다. 따라서, 제안 방안은 전체 네트워크 수명에 많은 이점을 갖는다.

## V. 결 론

본 논문에서, 싱크 그룹의 이동성 지원을 위한 에너지 고효율성을 달성하는 새로운 방안을 제안하였다. 제안 방안은 그룹이 이동할 때 현재의 영역을 벗어난 싱크들의 정보만으로 새로운 그룹 영역을 효율적으로 계산한다. 또한, 싱크 그룹의 이동 정보를 알려주기 위해 오버헤어링 특성을 활용하여 전송 시마다 경로의 역으로 소스까지 한 홉씩 위치 정보가 전파되므로 소스로의 지속적인 업데이트를 필요로 하지 않는다. 시뮬레이션 결과에서, 우리의 방안은 기존 방안 RBDD에 비해 에너지 소모 측면에서 일반적인 이동 속도와 멤버 싱크 수를 고려하였을 때, 평균 15% 정도의 성능 개선이 있음을 확인하였다.

## References

- [1] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks," in *Proc. ACM Int. Conf. on Mobile Comput. and Netw. (MobiCom)*, pp. 148-159, Atlanta, USA, Sep. 2002.
- [2] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang, "A group mobility model for ad hoc wireless networks," in *Proc. ACM Int. Workshop on Modeling and Simul. of Wirel. and Mobile Syst. (MSWiM)*, pp. 53-60, Seattle, USA, Aug. 1999.
- [3] H. Lee, J. Lee, S. Oh, and S. Kim, "Data dissemination scheme for wireless sensor network with mobile sink groups," in *Proc. IEEE Int. Symp. on Pers., Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC)*, pp. 1911-1916, Istanbul, Turkey, Sep. 2010.
- [4] J. A. Sanchez, P. M. Ruiz, J. Liu, and I. Stojmenovic, "Bandwidth-efficient geographic multicast routing for wireless sensor networks," *IEEE Sensors J.*, vol. 7, no. 5, pp. 627-636, May 2007.
- [5] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proc. ACM Int. Conf. on Mobile Comput. and Netw. (MobiCom)*, pp. 243-254, Boston, USA, Aug. 2000.



[6] I. Stojmenovic, D. Liu, and X. Jia, "A scalable quorum-based location service in ad hoc and sensor networks," *Int. J. of Commun. Netw. and Distr. Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 71-94, Feb. 2008.

[7] J. Li, J. Jannotti, D. Couto, D. Karger, and R. Morris, "A scalable location service for geographic ad hoc routing," in *Proc. ACM Int. Conf. on Mobile Comput. and Netw. (MobiCom)*, pp. 120-130, Boston, USA, Aug. 2000.

[8] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Gps-less low cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, Oct. 2000.

[9] F. Yu, S. Park, E. Lee and S. Kim, "Elastic routing: a novel geographic routing for mobile sinks in wireless sensor networks," *IET Commun.*, vol. 4, iss. 6, pp. 716-727, Apr. 2010.

[10] *Scalable 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, iss. 6, pp. 12-24, Nov./Dec. 2002.

[12] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y. C. Hu, and J. G. Jetcheva, "A performance comparison of multihop wireless ad hoc network routing protocols," in *Proc. ACM Int. Conf. on Mobile Comput. and Netw. (MobiCom)*, pp. 85-97, Dallas, USA, Oct. 1998.

**임 용 빈 (Yongbin Yim)**



2010년 2월 충남대학교 전기  
정보통신공학부 컴퓨터전공  
2012년 2월 충남대학교 컴퓨터  
공학과 석사  
2012년 3월~현재 충남대학교  
컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks, Internet of Things 등

**박 호 성 (Hosung Park)**



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

**이 정 철 (Jeongcheol Lee)**



2008년 2월 충남대학교 전기  
정보통신공학부 컴퓨터전공  
2010년 8월 충남대학교 컴퓨터  
공학과 석사  
2010년 9월~현재 충남대학교  
컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> Internet Routing,  
Wireless Sensor Networks, MANET, Multicast 등

**오 승 민 (Seungmin Oh)**



2009년 2월 충남대학교 전기  
정보통신공학부 컴퓨터전공  
2011년 2월 충남대학교 컴퓨터  
공학과 석사  
2011년 3월~현재 충남대학교  
컴퓨터공학과 박사과정  
<관심분야> Internet Routing,  
Wireless Sensor Networks, Internet of Things 등

**김 상 하 (Sang-Ha Kim)**



1980년 서울대학교 학사  
1984년 University of Houston  
석사  
1984년 University of Houston  
박사  
1992년~현재 충남대학교 컴퓨  
터공학과 교수

<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor  
Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등