

Energy and Delay-Efficient Multipath Routing Protocol for Supporting Mobile Sink in Wireless Sensor Networks

Lee Hyun Kyu[†] · Euisin Lee^{**}

ABSTRACT

The research on multipath routing has been studied to solve the problem of frequent path breakages due to node and link failures and to enhance data delivery reliability in wireless sensor networks. In the multipath routing, mobile sinks such as soldiers in battle fields and rescuers in disaster areas bring about new challenge for handling their mobility. The sink mobility requests new multipath construction from sources to mobile sinks according to their movement path. Since mobile sinks have continuous mobility, the existing multipath can be exploited to efficiently reconstruct to new positions of mobile sinks. However, the previous protocols do not address this issue. Thus, we proposed an efficient multipath reconstruction protocol called LGMR for mobile sinks in wireless sensor networks. The LGMR address three multipath reconstruction methods based on movement types of mobile sinks: a single hop movement-based local multipath reconstruction, a multiple hop movement-based local multipath reconstruction, and a multiple hop movement-based global multipath reconstruction. Simulation results showed that the LGMR has better performance than the previous protocol in terms of energy consumption and data delivery delay.

Keywords : Wireless Sensor Networks, Mobile Sinks, Real-Time, Multipath Routing, Energy-Efficiency

무선 센서 네트워크에서 이동 싱크를 지원하기 위한 다중 경로 라우팅 프로토콜

이 현 규[†] · 이 의 신^{**}

요 약

무선 센서 네트워크에서 다중경로 라우팅에 대한 연구는 노드와 링크 실패로 인한 잦은 경로 파손의 문제를 해결하고 데이터 전달 신뢰성을 향상시키기 위해 연구되었다. 다중경로 라우팅에서, 예를 들어 전장에서 군인 및 재난 지역에서 구조자와 같은 이동 싱크는 이동성을 다루기 위한 새로운 도전이 필요하다. 싱크 이동성은 그들의 이동 경로에 따라서 소스 노드에서 이동 싱크까지 새로운 다중경로 구성을 요구한다. 이동 싱크가 지속적인 이동성을 갖기 때문에, 기존 다중경로는 이동 싱크의 새로운 위치로 효율적인 재구성을 위해 이용될 수 있다. 그러나, 이전 프로토콜들은 이러한 문제를 다루지 않는다. 따라서, 우리는 무선 센서 네트워크에서 이동 싱크에 대한 효율적인 다중경로 재구성 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜 LGMR은 이동 싱크의 이동 유형에 기초한 세 가지 다중경로 재구성 방법을 다룬다: 단일 홉 이동 기반 지역 다중경로 재구성, 다중 홉 이동 기반 지역 다중경로 재구성, 다중 홉 이동 기반 전체 다중경로 재구성. 시뮬레이션 결과는 에너지 소비 및 데이터 전달 딜레이 측면에서 LGMR이 이전 프로토콜 EDM보다 더 나은 성능을 갖는다는 것을 보여준다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 이동 싱크, 실시간성, 다중 경로 라우팅, 에너지 효율

1. 서 론

무선 통신 및 장비의 발전은 저-비용 센서 노드의 많은 수로 인해 자율 구성된 무선 센서 네트워크의 개발을 가능

하게 했다[1]. 무선 센서 네트워크는 환경 모니터링, 스마트 전장, 홈 자동화, 및 교통체증 제어 등등과 같은 어플리케이션의 넓은 다양성을 위해 설계되고 개발되었다[2]. 무선 센서 네트워크에서 어플리케이션 중, 영토 보안 및 침입 탐지와 같은 응용 어플리케이션들은 생명과 사람의 재산을 지키기 위해 중요한 데이터를 전송하는 것을 필요로 한다[3, 4]. 이들 어플리케이션들은 신뢰성과 목적지(즉, 싱크)로 중요한 데이터의 신속한 전송을 요구한다.

[†] 준 회원 : 충북대학교 전자통신공학과 석사과정
^{**} 종신회원 : 충북대학교 정보통신공학부 조교수
Manuscript Received: July 19, 2016
Accepted: September 1, 2016
* Corresponding Author: Euisin Lee(eslee@chungbuk.ac.kr)

무선 센서 네트워크는 노드와 링크의 실패로 인한 빈번한 경로 파손의 문제를 겪는다[5]. 이 경로 파손은 소스 노드에서 싱크까지 새로운 경로 재구성을 요구하고 데이터를 보내기 위한 높은 딜레이를 요구한다. 이 문제를 해결하기 위한, 주 경로와 대체 경로를 사용하는 다중경로 라우팅에 대한 연구는 [6-8]에 연구되어 있다. 주 경로가 파손되었을 때, 다중 경로 라우팅은 새로운 경로 구성의 필요가 없이 대체 경로를 통해 소스 노드로부터 싱크까지 즉시 데이터를 보낼 수 있다. 이렇게 하여, 다중 경로 라우팅은 lossy 무선 네트워크에 대해 end-to-end 신뢰성을 증진시키기 위한 가장 효과적인 전략 중 하나로 고려된다[5].

그러나, 이동 싱크가 지속적인 이동성을 갖기 때문에, 기존 다중경로는 이동 싱크의 새로운 위치로 효율적인 재구성을 위해 이용될 수 있다. 여기, 이동 싱크의 이동 유형에 관한 효율적인 다중경로 재구성에 대한 세 가지 이슈가 있다. 첫 번째 이슈는 싱크의 각 단일 홉 이동을 다루기 위한 단일 홉 이동 기반 부분 다중경로 재구성이다. 두 번째 이슈는 시작 위치로부터 현재 위치까지 이동 싱크의 다중 홉 이동을 다루기 위한 다중 홉 이동 기반 부분 다중경로 재구성이다. 세 번째 이슈는 현재 위치로부터 소스 노드까지를 다루기 위한 다중 홉 이동 기반 전체적인 다중경로 재구성이다.

그러므로, 우리는 무선 센서 네트워크에서 이동 싱크에 대한 이동 유형을 기반으로 효율적인 지역 및 전체 다중경로 재구성 프로토콜을 제안한다. 단일 홉 이동 기반 지역 다중 경로 재구성을 위해, LGMR은 싱크의 이동 방향에 따라 경로를 효율적으로 확장하고 단축함으로써 기존 다중경로를 지역적으로 재구성한다. 다중 홉 이동 기반 지역 다중 경로 재구성을 위해, LGMR은 단일 홉 이동 기반 지역 다중 경로 재구성에 의해 유도되어 매끄럽게 우회하는 다중경로를 통해 효율적인 다중경로를 만든다. 다중 홉 이동 기반 전체 재구성을 위해, 소스 노드로부터 이동 싱크의 현재 위치까지 전체 다중 경로 재구성이 요구될 때, LGMR은 다중 경로 중 짧은 하나를 재사용하고 다른 것에 대한 전체적인 재구성을 한다. 다양한 환경에서 시뮬레이션 결과는 LGMR이 EDM보다 에너지와 딜레이 측면에서 더 나은 성능을 갖는 것을 확인한다.

논문의 나머지는 다음과 같이 구성된다. 우리는 첫 번째로 2장에서 이동 싱크의 다중 경로 구조와 시나리오의 개요를 설명한다. 3장에서는 자세한 LGMR을 보여주고 4장은 시뮬레이션 결과를 통해 LGMR의 성능을 평가한다. 5장은 논문을 결론 짓는다.

2. 다중경로 구조의 개요 및 이동 싱크의 시나리오

2.1 다중경로 구조의 개요

무선 센서 네트워크는 노드 및 링크의 실패 때문에 빈번한 단절 경로의 문제를 갖는다. 이 문제를 해결하기 위한 다중 경로 라우팅은 주 경로가 단절되었을 때, 새로운 경로를 검색하는 과정이 없이 즉시 대체 경로를 사용함으로써

데이터 전달이 가능한 효율적인 프로토콜이다.

LGMR은 다중 경로를 구성하기 위해서 소스 노드로부터 싱크까지 그들의 위치 정보를 사용하여 Virtual Line (VL)을 설정한다[10-12]. 그 다음, 이것은 센서 노드들의 위치 정보를 사용함으로써, VL을 기준으로 위쪽 영역에, VL에 가장 가까운 노드로 구성된 주 경로를 구성한다. 소스 노드와 중간 노드 사이의 직선의 각도를 측정하고, 이 각도가 최소인 노드는 주 경로에서 중계 노드가 된다. 주 경로가 완성 되었을 때, 대체 경로는 같은 방법으로 VL의 아래쪽 영역에 구성된다. 이에 더하여, 이 논문은 싱크가 이동하는 상황(즉, 이동 싱크)에 대하여 다중 경로 라우팅 프로토콜을 제안한다.

2.2 이동 싱크의 시나리오

이동 싱크는 데이터가 생성되었을 때, 이동성으로 인해 센서 노드로 이동하기 때문에 데이터 수집에 유용하다. 또한, 이동 싱크는 싱크의 이웃 노드의 에너지 소비 상황에서 고정 싱크보다 더 효율적이고 더 유용하게 사용될 수 있다. 무선 센서 네트워크에서 이동 싱크 시나리오는, 화재 감지 시스템, 군 감시 시스템, 및 기타 등등이 있고 또한 많은 다른 논문에서 서술한다. 시나리오에서, 아래의 예에서 다중 경로를 사용하는 것은 이동 싱크가 고정 싱크보다 더 효율적이라는 사실을 확인할 수 있다. 예를 들어, 군 감시 시스템 시나리오는 센서 노드가 적군 및 중요한 장비의 위치를 탐지하는 시나리오이다. 이 시나리오에서, 적군 및 중요한 장비의 위치에 대한 데이터로 이루어져야 하는 동작 때문에 데이터의 신뢰성은 매우 중요하다. 다중 경로 라우팅은 데이터의 손실을 예방할 수 있기 때문에 군 감시 시나리오에서 요구된 신뢰성을 만족될 수 있다. 이에 더하여, 이동 싱크는 경로를 구성하는 특정 노드의 에너지 소비에 의한 데이터 손실의 경우를 막을 수 있기 때문에, 에너지 측면에서 싱크의 이동으로 인해 높은 신뢰성을 갖는다.

우리는 이전 논문[9]에서 소스 노드에서 고정 싱크까지 다중경로를 구성하는 것을 통한 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 우리는 이 논문에서 세 가지 이슈에 기초하여 이동 싱크를 위한 다중경로 재구성을 제안한다. 첫 번째 이슈는 이동 방향에 따른 다중경로의 재구성이다. 이동 방향에 따른 다중경로의 재구성은 이동 싱크가 한 홉 이동할 때 재구성이 필요하다. 이동 방향은 싱크가 소스 노드와 멀어지는 경우와 가까워지는 경우로 나뉜다. 두 번째 이슈는 다중경로의 부분적 재구성이다. 다중 경로의 부분적인 수정은 통신에서 전체 경로를 재구성하는 것을 요구하지 않고, 현재 경로가 비효율적일 때 부분적으로 경로가 재구성되는 방법이다. 마지막 이슈는 다중경로의 전체 재구성에 대한 해결방안이다. 다중경로의 전체 수정은 이동 싱크가 어떤 기준을 넘어 이동했을 때, 효율적인 통신을 위해 경로를 전체적으로 재구성하는 것을 요구하기 위한 것이다. 우리는 다음 장에서 위의 세가지 이슈를 해결하기 위한 프로토콜을 설명한다. 이 논문에서, 우리는 쉽게 설명하기 위해서 소스 노드를 서쪽 및 이동 싱크를 동쪽에 위치시켜 프로토콜을 설명한다.

3. 제안 방안

LGMR은 싱크의 이동에 따른 에너지 소비와 딜레이를 효율적으로 감소시키기 위한 목적을 갖는다. 본 논문에서, 우리는 딜레이와 에너지 소비 측면에서 위에서 말한 바와 같이 싱크의 이동에 따른 세 가지 이슈를 해결하기 위한 알고리즘을 나누어 설명한다. 다음의 Algorithm 1은 세 가지 이슈를 해결하기 위한 LGMR의 슈도코드를 보여준다.

```

Algorithm 1. Pseudocode of LGMR
1:  If (movement of sink is single-hop)
2:    If(position of sink close to the source)
3:      If(position of sink in the communication regions
         of previous nodes)
4:        shorten the path
5:      else if(position of sink away from the source)
6:        extends the path
7:    else if(movement of sink is multi-hop)
8:      If (angle is that between the existing VL and a
         line between the node of furthest VL and
         the source > angle is that between the existing
         VL and the new VL)
9:        creates the new primary path, reconfigure the
         alternative path or create the new alternative
         path, the reconfigure primary path
10:     else
11:       reconfigure the primary path or the alternative
         path
    
```

3.1 단일 홉 이동 기반 지역적 다중경로 재구성

이전 논문[9]에서, 우리는 소스 노드로부터 고정 싱크까지 다중경로 라우팅을 제안하였다. 그러나, 이전 방안에서 제안된 다중경로 라우팅은 싱크가 이동성을 가질 때를 고려하지 않는다. 싱크가 이동성을 가질 때, 소스 노드로부터 이동 싱크까지 데이터를 전송하기 위해서, 다중경로 라우팅은 이동 싱크의 한 홉을 기준으로 재구성되어야 한다. 그러므로, 이번 장에서, 우리는 이동 싱크가 한 홉 이동할 때마다 다중 경로를 재구성하는 방법을 제시한다. 이동 싱크의 이동 방향은 한 홉 기반 다중경로 재구성할 때, 경로 재구성에서 매우 중요한 요소이다. 이동 싱크의 이동 방향은 크게 두 가지로 나눌 수 있다: 이동 싱크가 소스 노드에서 멀어졌을 때, 이동 싱크가 소스 노드에 가까워졌을 때(Fig. 1) 다음

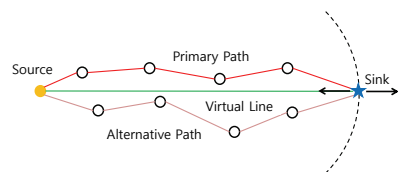


Fig. 1. The Moving Direction of a Mobile Sink

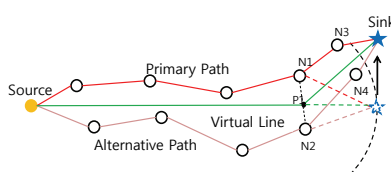


Fig. 2. Case that the Mobile Sink Moving Away from the Source

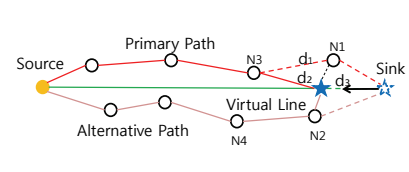


Fig. 3. Case that the Sink is Close to the Source

두 절에서, 우리는 에너지 효율적으로 기존 경로를 사용하여 다중경로 재구성을 수행하는 제안된 알고리즘을 이동 방향에 따라 자세히 설명한다.

1) 이동 싱크가 소스 노드로부터 멀어지는 경우

이동 싱크가 소스 노드로부터 멀어지는 경우는 다중 경로가 연장되는 것을 의미한다. 이동 싱크는 자신이 소스 노드로부터 멀어지게 되어 다중 경로가 연장되어야 한다는 사실을 알기 위해, 다중 경로의 Primary path와 alternative path 상의 이전 노드들(예를 들어, Fig. 2에서 Primary path 상에서 N1과 Alternative path 상에서 N2)의 위치 정보를 저장한다. 그래서, 이동 싱크는 자신의 위치 정보를 기반으로 이러한 두 이전 노드들의 위치로부터 전송 범위를 벗어나게 되면, 다중 경로의 연장을 인지하게 된다.

Fig. 2에서 보는 것처럼, 이동 싱크가 소스 노드로부터 멀어지게 되면, 이동 싱크는 자신이 Primary Path 상의 이전 노드들인 N1, N2의 전송 범위를 벗어났음을 인지한다. 이때, 이동 싱크는 이전 노드 N1, N2를 연결한 선 L과 VL의 교차점 P1으로 VL을 연장하여 그린다. 그 다음, 기존 경로와 경로를 연결하기 위한 노드를 선정하여 경로 연장을 수행한다. 이를 위해, 이동 싱크는 VL의 윗부분을 주 경로로 연결하기 위해 자신의 이웃 노드들 중 자신에게 가장 가까운 노드(Fig. 2에서 N3)를 선택한다. 따라서, 이동 싱크는 N3 노드에게 자신의 ID와 위치정보 그리고 이전 노드 N1의 ID와 위치정보를 포함하는 경로 재구성 요청 메시지(Path_Reconfiguration_Request message)를 전송한다. 이 PRR 메시지를 수신한 N3 노드는 이전 노드 N1에게 PRR 메시지를 전송한다. 따라서, 이러한 PRR 메시지들의 전달을 통해서, 이전 노드 N1로부터 N3 노드를 통하여 이동 싱크까지 연결되는 Primary path의 경로 재구성이 완료되고, 소스 노드의 데이터는 이 Primary path를 통해서 싱크까지 전송이 되게 된다. Alternative Path 역시 이동 싱크가 자신의 이전 노드 N2의 전송 범위를 벗어나게 되면 앞에서 설명했던 Primary path의 경로 재구성 방법과 동일하게 적용된다.

2) 이동 싱크가 소스 노드에 가까워지는 경우

싱크가 소스 노드와 가까워지는 경우는 Fig. 3에 제시된다. 이것은 경로가 짧아지는 것을 의미한다. 이동 싱크는 자신이 소스 노드에 가까워지는 사실을 알기 위해, 다중 경로의 Primary path와 alternative path 상의 두 Hop 이전의 노드들(예를 들어, Fig. 3에서 Primary path 상에서 N3과

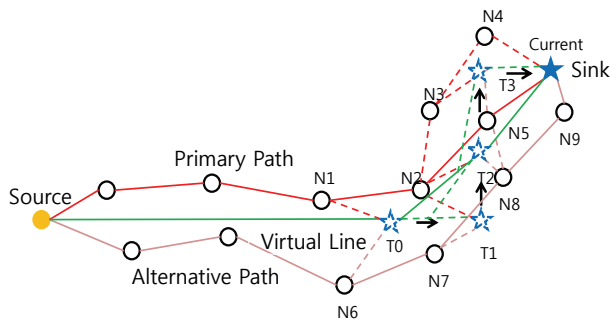


Fig. 4. The Multiple Hops Movement-Based Local Multipath Reconfiguration

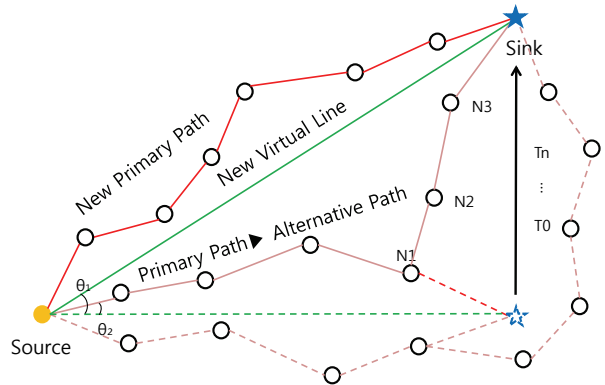


Fig. 5. The Multiple Hops Movement-Based Global Multipath Reconfiguration

Alternative path 상에서 N4)의 위치 정보를 저장한다. 그래서, 이동 싱크는 자신의 위치 정보를 기반으로 이러한 두 Hop 이전 노드들의 위치로부터 전송 범위 안에 들어가게 되면, 다중 경로의 단축을 인지하게 된다.

Fig. 3에서 보이는 것처럼, 이동 싱크가 소스 노드와 가까워지게 되면, 이동 싱크는 Primary Path상의 두 Hop 이전 노드들(그림에서 N3)와 가까워진다. 그래서 N3의 통신범위에 들어오게 되면, 이동 싱크는 경로 단축을 수행하게 된다. 이동 싱크는 경로 단축을 수행하기 위해 자신과 이전 노드 N1의 거리($d3$)와 자신의 이전 노드 N1과 N3와의 거리($d1$)를 합하여($d1+d3$) 자신과 노드 N3와의 거리($d2$)를 비교하게 된다.

거리를 비교한 후, 이동 싱크는 자신과 이전 노드 N1 사이의 거리($d3$)와 자신의 이전 노드 N1 과 노드 N3 사이의 거리($d1$)의 합($d1+d3$)이 자신과 노드 N3 사이의 거리($d2$)보다 길면($d1+d3 > d2$) 기존의 경로를 사용하지 않고 노드 N3에게 자신의 ID와 위치정보를 포함하는 경로 재구성 요청 메시지(Path_Reconfiguration_Request message)를 전송한다. 이 PRR 메시지 전달을 통해서, N3노드로부터 이동 싱크까지의 경로 재구성이 완료되고 데이터는 이 재구성된 Primary path를 통해 이동 싱크까지 전달된다. 이와는 반대로, 이동 싱크와 노드 N3와의 거리($d2$)가 길면($d1+d3 < d2$) 기존의 경로를 계속 사용한다. Alternative Path또한 이동 싱크가 Alternative Path상에서 두 Hop 이전 노드(N4)의 통신범위 안에 위치하게 되면 Primary Path의 경로 재구성 방법과 동일하게 적용된다.

3.2 다중 홉 이동 기반 지역적 다중경로 재구성

위와 같이 한 홉씩 이동했을 경우가 아닌 싱크의 이동이 많은 경우 전송의 효율성을 위해 싱크의 이동 정도에 따라 다중 경로의 부분적인 수정과 전체적인 수정이 필요하다. 이 절에서는 다중 경로의 부분적인 수정에 대해 설명한다.

다중 경로의 부분적인 수정은 싱크가 두 Hop 이상 이동했을 때 경로의 전체적인 수정은 필요하지 않지만 전송의 효율성을 위해 경로를 수정할 때 필요하다. 앞에 언급한 싱

크의 이동 방향에 다른 경로 수정은 싱크가 한 Hop을 이동했을 때 해당되는 경우이고 싱크가 두 Hop 이상 이동했을 때, 전체적인 수정이 필요하지 않지만 데이터 전송이 비효율적이라면 부분적으로 비효율적인 부분을 수정해야 한다.

부분적인 수정은 기존의 경로를 일정 부분만 이용하고 기존의 VL또한 부분적으로 이용한다. 부분적인 수정은 싱크가 현재 위치에서 두 Hop 이상 이동했을 때, 이전 위치의 정보를 갖고 부분적인 수정이 필요하다고 판단하였을 때 경로의 부분적인 수정을 수행한다. 즉, 싱크가 두 Hop을 이동할 때마다 부분적인 수정을 할 것인지를 판단한다.

다중 경로의 부분적인 수정은 그림 4를 보면 더 쉽게 이해할 수 있다. Fig. 4에서 싱크는 T0의 위치에서 T1, T2, T3를 거쳐 현재의 위치로 이동하였다. 그리고 싱크의 이동에 따라 주 경로와 대체 경로 또한 T0, T1, T2, T3 순서로 한 Hop마다 수정되었다. 경로가 수정된 것을 보면 대체 경로가 많은 노드를 통해서 길어져 비효율적인 경로를 형성하는 것을 볼 수 있다. 이 때문에 다중 경로의 부분적인 수정이 필요하다. 현재의 위치에서 싱크는 두 Hop 이상 이동하였으며, 그러면 알고리즘에 의해 싱크는 두 Hop 이전의 위치에 새로운 VL을 그린다. 새로 그린 VL의 윗부분은 주 경로가 되고 아래 부분은 대체 경로가 된다.

Fig. 4를 보면 주 경로에서 새로운 VL으로 인해 T0에서 두 Hop 전의 노드(N1)에서 새로운 노드(N3, N5)로 경로를 생성하는 것을 확인할 수 있다. 싱크는 VL의 위치를 인식하고 있기 때문에 새로운 VL과 떨어져 있는 거리가 작은 VL 윗 부분의 한 Hop 전 노드(N5)로 경로 구성 요청 메시지를 보낸다. 그 다음 한 Hop 전 노드(N5)는 같은 방법으로 VL과 거리가 적은 자신의 한 Hop전 노드(N3)로 경로 요청 메시지를 보내고 이전 노드(N3)는 기존에 경로를 구성하고 있는 노드(N1)로 경로 구성 메시지를 보낸다. 그러면, 기존에 경로를 구성하고 있는 노드(N1)는 다음 노드(N3)로 경로를 연결하고, 다음 노드(N3)는 그 다음 노드(N5)로 경로를 연결한다. 그리고 싱크로 경로가 연결된다.

새로운 VL의 아래 부분도 마찬가지로이다. 싱크는 새로운 VL과 떨어져 있는 거리가 작은 VL의 아래 부분의 한 Hop

진 노드(N6)로 경로 구성 요청 메시지를 보내고 한 Hop 전 노드(N6)는 자신의 한 Hop전 노드(N4)로 경로 요청 메시지를 보낸다. 메시지를 받은 노드(N4)는 기존에 대체 경로를 구성하고 있는 노드(N2)로 경로 구성 메시지를 보내고 기존에 경로를 구성하고 있는 노드(N2)는 다음 노드(N4)로 경로를 연결한다. 연결된 노드(N4)는 그 다음 노드(N6)로 경로를 연결하고 싱크가 경로에 연결된다.

3.3 다중 홉 이동 기반 전체적 다중경로 재구성

싱크가 더 이동할 경우 아래에 서술된 다중경로의 전체적인 수정 기준에 따라 전체적인 수정이 필요할 수 있다. 다중 경로의 전체적인 수정은 새로운 VL을 생성하고 그에 따른 주 경로와 대체 경로의 생성 및 수정에 대한 것이다. 싱크의 지속적인 움직임으로 원래 위치에서 상당히 떨어진 경우에 데이터의 효율적인 전송을 위해 다중 경로의 전체적인 수정이 필요하다. 다중 경로의 전체적인 수정에서 VL은 기존 VL을 기준으로 경로를 구성하고 있는 노드들 중 기존 VL과 이루는 각도가 가장 큰 노드의 각도와 싱크가 이동했을 때 기존 VL과 새로운 VL간의 각도를 비교하여 경우에 따라 새로운 주 경로 혹은 대체 경로를 생성하게 된다.

싱크가 원래 위치에서 북쪽으로 상당히 이동한 경우에는 부분적으로 경로를 수정하다가 효율적인 데이터 전송을 위해 전체적으로 경로를 수정하게 된다. 이 때 전체적인 수정의 기준은 소스 노드를 중심으로 싱크의 이동으로 싱크와 이전 VL이 이루는 각도(Θ_1)가 이전 VL과 경로를 이루는 노드 간의 최대 각도(Θ_2)를 넘었을 때이다.

그림 5를 보면 싱크가 원래의 위치(T0)에서 많은 시간이 지난 후 현재의 위치에 있게 된다. 이 때, 소스 노드를 기준으로 싱크의 이동으로 싱크와 기존 VL간의 각도(Θ_1)가 이전 VL과 경로를 이루는 노드간의 최대 각도 (Θ_2) 보다 커질 때, 주 경로는 VL아래쪽 즉, VL 남쪽에 위치하게 되고, 이에 따라 VL의 위쪽을 주 경로로 하고 VL의 아래쪽을 대체 경로로 나누는 기준에 벗어나게 된다. 그러므로, 주 경로는 대체 경로로 변경되며 VL위쪽에 위치한 새로운 주 경로를 생성해야 한다.

새로운 주 경로의 생성은 VL에 가까운 노드로 경로를 형성하는 방법을 사용한다. 대체 경로의 경우는 주 경로가 대체 경로로 바뀌게 되는데, 싱크는 변경된 위치에서 한 Hop 내에 새로운 VL과 가장 가까운 노드(N3)로 경로 수정 요청 메시지를 보낸다. 그 다음 메시지를 받은 노드(N3)는 마찬가지로 자신의 위치에서 소스 노드 방향으로 한 Hop내에 새로운 VL과 가장 가까운 노드(N2)에 경로 수정 요청 메시지를 보낸다. 메시지를 받은 노드(N2)는 이전 주 경로를 구성하는 노드(N1)에 경로 수정 메시지를 보내고 메시지를 받은 이전 주 경로를 구성하는 노드(N1)은 메시지를 보낸 노드(N2)에 경로를 연결한다. 연결된 노드(N2)는 다음 노드(N3)에 경로를 연결하고 다음 노드(N3)는 싱크에 경로를 연결함으로써 주 경로는 부분적으로 수정이 된 대체 경로가 된다.

반대의 경우도 마찬가지이다. 싱크가 기존의 위치에서 남쪽으로 이동하는 경우에는 싱크와 기존 VL 간의 각도(Θ_1)가

점점 남쪽으로 커지고, 기존 VL과 싱크가 이동하기 전의 대체 경로를 구성하는 노드의 최대각도(Θ_2)보다 커지면, 대체 경로는 VL의 위쪽 즉, VL북쪽에 위치하게 된다. 따라서 대체 경로는 주 경로로 변경되어야 하고 새로운 대체 경로를 생성해야 한다.

새로운 대체 경로의 생성은 위에 제시된 바와 같이 새로운 주 경로를 생성하는 방법을 따른다. 주 경로의 경우는 대체 경로가 주 경로로 바뀌게 되는데, 위와 마찬가지로 싱크가 변경된 위치에서 한 Hop내에 새로운 VL과 가장 가까운 노드(N3)로, 싱크 이전 노드(N3)는 자신의 이전 노드(N2)에 경로 수정 요청 메시지를 보낸다. 메시지를 받은 노드(N2)는 이전 대체 경로를 구성하고 있던 노드(N1)에 경로 수정 메시지를 보내고, 메시지를 받은 이전 주 경로를 구성하는 노드(N1)은 메시지를 보낸 노드(N2)에, 이전 주 경로를 구성하는 노드(N1)에 메시지를 보낸 노드(N2)는 다음 노드(N3)에 경로를 연결한다. 연결된 노드(N3)는 싱크에 경로를 연결함으로써 대체 경로는 부분적으로 수정이 된 주 경로가 된다.

4. 성능 평가

이번 절에서, 우리는 시뮬레이션을 통해 싱크의 이동에 따라 경로의 한 홉 수정, 부분 수정, 전체 수정 등 세 가지 알고리즘을 사용하는 LGMR과 싱크가 이동할 때마다 경로의 전체 수정을 하는 기존 프로토콜 EDM을 비교한다. 우리는 첫 번째로 시뮬레이션 모델과 성능 평가 기준을 설명하고 두 번째로 시뮬레이션 결과를 통해 두 프로토콜을 비교한다.

4.1 시뮬레이션 모델 및 성능 평가 변수

우리는 네트워크 시뮬레이터 NS-3 ver. 3.23[13]에서 LGMR과 EDM 모두를 구현했다. 시뮬레이션 된 네트워크는 200m×200m의 센서 필드에서 균일하게 분포된 1개의 이동 싱크와 180개의 센서 노드로 구성된다. 센서 노드의 에너지 모델은 MICA[14] 사양을 따른다. 센서 노드의 무선 범위는 15m이다. 센서 노드의 송신 및 수신 에너지 소비량은 각각 42mW 및 29mW이다. IEEE 802.11 표준은 MAC 프로토콜로 이용된다. 싱크 지역 서비스는 네트워크에서 센터에서 지역 서버로 인해 간단하게 지원된다. 우리는 이동 싱크의 이동성 모델로 평균 속도와 랜덤 웨이 포인트 모델을 사용한다. 이동 싱크는 로케이션 정보를 로케이션 서버 노드에 2초마다 등록한다. 소스 노드는 고정된 위치에 위치하여 있고 싱크 로케이션 서비스를 통해 2초마다 싱크의 위치를 확인한다. 소스 노드는 0.5초마다 데이터 패킷을 생성하고 이동 싱크로 2초마다 보낸다. 시뮬레이션 시간은 100초이다. 우리는 LGMR의 성능평 평가하기 위해 두 가지 메트릭을 사용한다. 딜레이는 네트워크가 설정되고 경로를 생성하여 데이터 패킷을 모두 보내는 시간까지로 정의된다. 에너지 소비량은 경로를 생성하고 데이터 패킷 전송이 완료되었을 때 에너지 소비량으로 정의된다.

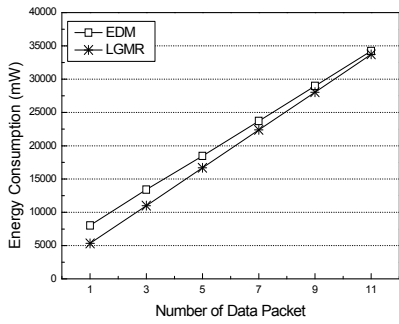


Fig. 6. The energy consumption for the number of packets

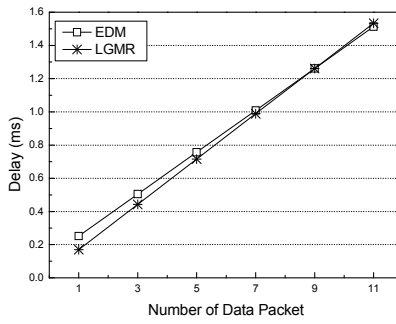


Fig. 7. The delay for the number of packets

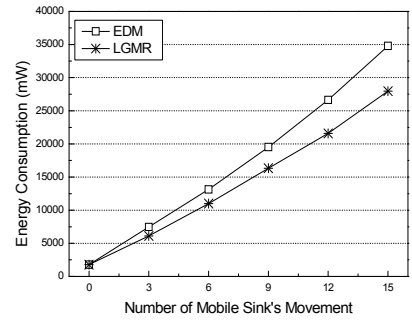


Fig. 8. The energy consumption for the number of moving mobile sink

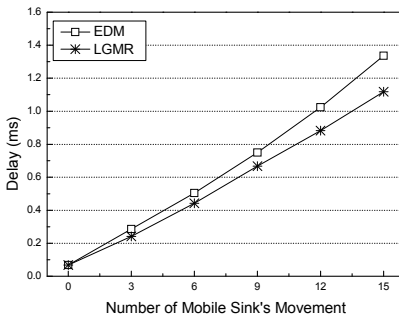


Fig. 9. The delay for the number of moving mobile sink

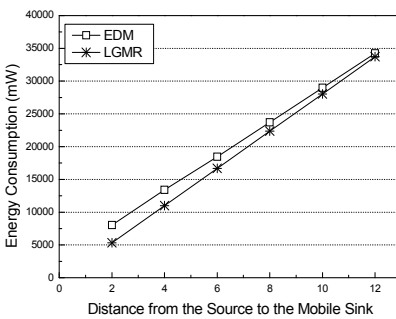


Fig. 10. The energy consumption for the distance from a source to t mobile sink

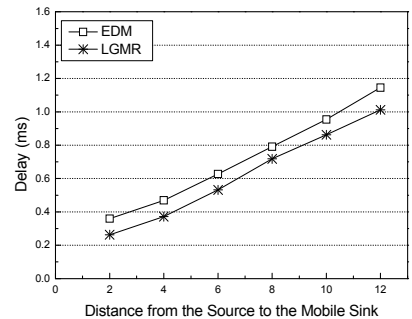


Fig. 11. The delay for the distance from a source to a mobile sink

4.2 전송 패킷의 수에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 6은 전송된 패킷의 수에 따른 EDM과 LGMR의 에너지 소비량을 보여준다. 전송된 패킷이 적은 경우, LGMR의 에너지 소비량은 EDM보다 약 20% 정도 적다. 데이터 패킷의 수가 더 증가하면 LGMR의 에너지 소비량은 EDM과 비슷해진다. 싱크가 이동할 때, 기존의 경로를 이용하는 LGMR은 계속 경로를 수정하는 EDM보다 경로의 길이가 길어지기 때문에 에너지 소비율이 증가한다. 그러나, LGMR은 기존의 경로를 이용하기 때문에 싱크가 이동할 때마다 경로를 수정하는 EDM보다 에너지 효율성이 더 높다. 결국 LGMR은 패킷의 수가 증가할수록 EDM보다 에너지 소비량이 약 7.6% 적다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 전송된 패킷 수에 따른 EDM과 LGMR의 딜레이를 보여준다. 전송된 패킷이 적은 경우, LGMR의 딜레이는 EDM의 딜레이보다 적다. 전송된 패킷의 수가 많을수록 LGMR의 딜레이 증가율이 높아진다. 전송된 패킷의 수가 적은 경우, 기존의 경로를 이용하는 LGMR은 싱크의 이동에 따라 경로를 수정하는 딜레이가 적기 때문에 EDM보다 딜레이가 약 0.08초 정도 적다. 전송된 패킷의 수가 많아질 경우, EDM은 경로를 생성하는 딜레이는 많지만 항상 최단 경로를 유지하기 때문에 전체 딜레이 증가율이 적다.

4.3 이동 싱크의 이동 횟수에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 8은 모바일 싱크의 이동 수에 따른 에너지 소비량을 보여준다. 싱크가 이동하지 않았을 때, 에너지 소비량은 같

다. 하지만, 싱크의 이동 수가 많을수록 LGMR의 에너지 소비량이 EDM의 에너지 소비량보다 더 낮아진다. 이동 싱크가 15회 이동 시, LGMR은 EDM보다 약 20% 낮은 에너지 소비량을 보인다. EDM은 항상 새로운 경로를 생성하기 때문에 그에 따른 에너지 소비량이 많다. 하지만 LGMR은 기존의 경로를 사용하기 때문에 싱크의 이동 수가 많아도 EDM에 비해 평균 에너지 소비량이 약 18% 적다.

Fig. 9는 모바일 싱크의 이동 수에 따른 LGMR과 EDM의 딜레이를 보여준다. 싱크가 이동하지 않았을 때, 딜레이는 같다. 하지만, 싱크의 이동 수가 많을수록 LGMR의 딜레이가 EDM의 딜레이보다 더 낮다. EDM은 항상 새로운 경로를 생성하기 때문에 그에 따른 딜레이가 많다. 하지만 LGMR은 기존의 경로를 사용하기 때문에 싱크의 이동 수가 많아도 EDM에 비해 딜레이가 약 0.2초 정도 적다.

4.4 소스 노드에서 이동 싱크까지 거리에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 10은 소스 노드에서 싱크까지의 거리에 따른 EDM과 LGMR의 에너지 소비량을 보여준다. LGMR이 EDM보다 소스 노드에서 싱크까지의 거리에 따른 에너지 소비량이 더 낮다. LGMR은 일정한 기준으로 경로를 수정하기 때문에 소스 노드에서 싱크까지의 거리가 적으면 LGMR의 에너지 소비량이 평균 6% 더 낮다. 하지만, 소스 노드에서 싱크까지의 거리가 증가하면 LGMR은 기존의 경로를 사용하기 때문에 홉 수의 증가로 인한 에너지 소비량이 증가한다.

Fig. 11은 소스 노드에서 싱크까지의 거리에 따른 EDM 과 LGMR의 딜레이를 보여준다. LGMR이 EDM보다 소스 노드에서 싱크까지의 거리에 따른 딜레이가 평균 약 0.1초 정도 더 낮다. LGMR은 일정한 기준으로 경로를 수정하기 때문에 소스 노드에서 싱크까지의 거리가 적으면 LGMR의 딜레이가 약 0.1초 정도 더 낮다. 또한 소스 노드에서 싱크까지의 거리가 멀어지더라도 전체적인 경로 수정으로 인해 LGMR의 딜레이는 EDM보다 약 0.15초 정도 더 낮다.

5. 결 론

이 논문에서 우리는 무선 센서 네트워크에서 이동 싱크를 지원하기 위한 효율적인 다중경로 재구성 프로토콜을 제안하였다. LGMR은 이동 싱크의 이동 유형에 기초하여 세 가지 방법으로 제안되었다. 단일 홉 이동 기반 부분적 다중경로 수정, 다중 홉 이동 기반 부분적 다중경로 수정, 다중 홉 이동 기반 전체적 다중경로 수정, 단일 홉 이동 기반 지역적 다중경로 수정은 싱크의 이동방향에 따른 효율적인 경로 연장과 단축에 의해 기존 경로를 지역적으로 수정한다. 다중 홉 이동 기반 지역적 다중경로 수정은 단일 홉 이동 기반 지역적 다중경로 재구성에 의해 유도된 다듬어진 우회하는 다중경로를 통해 효율적인 다중경로를 재구성한다. 다중 홉 이동 기반 전체적 다중경로 재구성은 다중경로 중에 짧은 하나를 재사용하고 다른 경로를 전체적으로 재구성한다. LGMR의 성능은 NS-3 시뮬레이터에서 시행된 시뮬레이션에 의해 광범위하게 평가되었다. 다양한 환경으로부터 시뮬레이션 결과는 LGMR이 에너지 소비량 및 데이터 전송 딜레이 측면에서 EDM보다 더 나은 것을 보여준다.

References

- [1] I. Akyildiz, W. Su, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp.102-114, Aug., 2002.
- [2] D. Puccinelli and M. Haenggi, "Wireless Sensor Networks: Applications and Challenges of Ubiquitous Sensing," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, Vol.5, No.3, pp.19-31, 3rd Quarter, 2005.
- [3] K. Lorincz, D. Malan, T. Fulford-Jones, A. Nawoj, A. Clavel, V. Shnayder, G. Mainland, M. Welsh, and S. Moulton, "Sensor Networks for Emergency Response: Challenges and Opportunities," *IEEE Pervasive Computing*, Vol.3, No.4, pp. 16-23, Oct.-Dec., 2004.
- [4] T. Cao, C. Pesto, L. Selavo, Y. Chen, J. Ko, J. Lim, A. Terzis, A. Watt, J. Jeng, B. Chen, K. Lorincz, and M. Welsh, "Wireless Medical Sensor Networks in Emergency Response: Implementation and Pilot Results," in *Proc. IEEE Conference on Technologies for Homeland Security*, Waltham, MA, May., 2008.
- [5] L. Paradis and Q. Han, "A Survey of Fault Management in Wireless Sensor Networks," *Journal of Network and System Management*, Vol.15, Iss.2, pp.171-190, 2007.
- [6] D. Ganesan, R. Govindan, et al., "Highly-Resilient, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks," *Mobile Computing and Communications Review*, Vol.1, No.2, 2001.
- [7] B. Yahya and J. Ben-Othman, "REER:Robust and Energy Efficient Multipath Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proc. IEEE Globecom*, Nov., 2009.
- [8] S. Kumar, S. Khimsara, K. Kambhatla, K. Girvanesh, J. Matyjas, and M. Medley, "Robust On-Demand Multipath Routing with Dynamic Path Upgrade for Delay-Sensitive Data over Ad Hoc Networks," *Journal of Computer Networks and Communications*, Vol.2013, Article ID 791097, 13 pages, 2013.
- [9] Hyun-Woo Oh, Jong-Hyun Jang, Kyeong-Deok Moon, Soo-Chang Park Eui-Sin Lee, and Sang-Ha Kim, "An explicit disjoint multipath algorithm for Cost efficiency in wireless sensor networks," *21st Annual IEEE International Symposium in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1899-1904, Sep., 2010.
- [10] E. Lee, F. Yu, S. Park, and S. Kim, "Sink location service based on circle and line paths in wireless sensor networks," *IEEE Communications Letters*, Vol.14, No.8, pp.710-712, Aug., 2010.
- [11] S. Das, et al., "Performance comparison of scalable location services for geographic ad hoc routing," in *Proc. IEEE INFOCOM*, 2005.
- [12] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proc. ACM MOBICOM*, pp.243-254, 2000.
- [13] Network simulator 3 [Internet], <http://www.nsnam.org>.
- [14] J. Hill and D. Culler, "MICA: A Wireless Platform for Deeply Embedded Networks," *IEEE MICRO*, No.22, Vol.6, pp. 12-24, Nov./Dec., 2002.



이 현 규

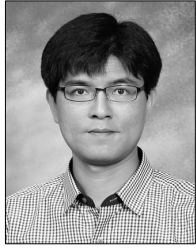
e-mail : leehyunkyu@cbnu.ac.kr

2009년 충북대학교 정보통신공학부(학사)

2015년~현 재 충북대학교

전파통신공학과 석사과정

관심분야 : Wireless Sensor Networks & Vehicular Ad-hoc Networks, Multipath, Mobility



이 의 신

e-mail : eslee@chungbuk.ac.kr

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