

Energy-Efficient Multipath Routing Protocol for Supporting Mobile Events in Wireless Sensor Networks

Hoewon Kim[†] · Euisin Lee^{**}

ABSTRACT

Wireless sensor networks have been researched to gather data about events on sensor fields from sources at sinks. Multipath routing is one of attractive approaches to reliably send data against the problem of frequent breakages on paths from sources to sinks due to node and link failures. As mobile events such as humans, animals, and vehicles are considered, sources may be continuously generated according to the movement of the mobile event. Thus, mobile events provide new challenging issue in multipath routing. However, the research on multipath routing mainly focus on both efficient multipath construction from sources to static sinks and fast multipath reconstruction against path breakages. Accordingly, the previous multipath routing protocols request each source continuously generated by a mobile event to construct individual multipath from the source to sinks. This induces the increase of multipath construction cost in the previous protocols in proportion to the number of source. Therefore, we propose efficient multipath routing protocol for supporting continuous sources generated by mobile events. In the proposed protocol, new source efficiently reconstructs its multipath by exploiting the existing multipath of previous sources. To do this, the proposed protocol selects one among three reconstruction methods: a local reconstruction, a global partial one, and a global full one. For a selection decision, we provide an analytical energy consumption cost model that calculates the summation of both the multipath reconstruction cost and the data forwarding cost. Simulation results show that the proposed protocol has better performance than the previous protocol to provide multipath routing for mobile events.

Keywords : Wireless Sensor Networks, Multipath, Mobile Events, Path Reconstruction, Energy Model

무선 센서 네트워크에서 이동 이벤트를 지원하기 위한 에너지 효율적인 멀티패스 라우팅 프로토콜

김 회 원[†] · 이 의 신^{**}

요 약

무선 센서 네트워크는 센서 필드 상의 이벤트에 관한 데이터를 소스로부터 싱크로 수집하기 위해 연구되어왔다. 멀티패스 라우팅은 노드나 링크 단절에 의해 소스에서 싱크로의 패스가 종종 손실되는 문제에 대해 신뢰성 있는 데이터전송을 위한 매력적인 방안 중 하나이다. 사람이나 동물 혹은 차량 등과 같은 모바일 이벤트 상황에서, 소스는 이 모바일 이벤트의 이동에 따라 연속적으로 소스가 발생할 수 있다. 따라서 멀티패스 라우팅에서 모바일 이벤트의 상황은 새로운 도전 과제를 제시한다. 그러나 기존의 멀티패스 라우팅 연구는 주로 소스들에서 정적인 싱크로 효율적인 멀티패스 구성과 패스 단절에 대한 빠른 멀티패스 재구성에 초점을 두었다. 따라서 이전 멀티패스 라우팅 프로토콜은 모바일 이벤트에 의해 발생하게 되는 연속적인 각각의 소스들이 소스에서 싱크로 각각의 멀티패스를 필요로 한다. 이는 이전 방안이 소스의 수에 비례하여 멀티패스 구성비용이 증가게 한다. 따라서 우리는 모바일 이벤트에 의해 연속적으로 발생하게 되는 소스를 지원 하는 효율적인 멀티패스 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안방안에서 이전 소스에서 만들어 놓은 기존의 멀티패스를 이용함으로써, 새로운 소스가 효율적으로 재구성을 할 수 있다. 이를 위해, 제안방안은 지역적 멀티패스 재구성, 광역적 부분 멀티패스 재구성, 광역적 전체 멀티패스 재구성의 세 방안 중 하나를 선택한다. 이 선택을 위해 우리는 멀티패스 재구성 비용과 데이터 포워딩 비용의 합을 계산하는 분석적인 에너지 소비 비용 모델을 제시한다. 시뮬레이션 결과 모바일 이벤트의 상황에서 멀티패스 라우팅을 할 때 제안방안이 기존의 방안보다 우수한 성능을 보였다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 멀티패스, 이동 이벤트, 경로 재구성, 에너지 모델

[†] 준 회원 : 충북대학교 전자통신공학과 석사과정

^{**} 종신회원 : 충북대학교 정보통신공학부 조교수

Manuscript Received : July 20, 2016

Accepted : September 1, 2016

* Corresponding Author : Euisin Lee(eslee@chungbuk.ac.kr)

1. 서 론

최근 무선 통신과 전자공학의 발전으로 저비용, 저전력 그리고 짧은 통신거리에 국한되지 않는 작고 다기능의 센서 노드를 개발하는 것을 가능케 했다[1]. 이 센서 노드를 이용한 무선 센서 네트워크는 environment monitoring, smart battlefield, home automation, traffic control 등 다양하고 폭넓은 어플리케이션을 위해 디자인되고, 개발되어 왔다[2]. 무선 센서 네트워크에서 많은 어플리케이션 중에 영토 보안과 침입 탐지와 같은 긴급 어플리케이션들은 삶과 그들의 자산을 보호하기 위해 치명적인 데이터를 전송하는 것을 필요로 한다[3, 4]. 그러나 무선 센서 네트워크는 소스에서 싱크까지 자원 제약적인 센서노드로 구성된 패스를 이용하기 때문에 갖은 단점을 갖는다[5]. 따라서 소스에서 싱크로 신뢰성 있는 데이터 전송은 무선 센서 네트워크에서 도전과제이다.

신뢰성 있는 데이터 전송을 위해, 멀티패스 라우팅 방안은 주 경로와 대체경로를 사용하는 방안을 제안했다[6-8]. 주경로가 단절될 때, 멀티패스 라우팅은 새로운 패스 구성 없이 즉시 데이터를 대체경로를 이용하여 소스에서 싱크로 전송할 수 있다. 따라서 멀티패스 라우팅은 손실 무선 네트워크를 위한 가장 효과적인 방안 중 하나로 고려되었다[5]. 일반적으로, 무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 유체가 흥미있는 이벤트를 탐지하고, 그 이벤트에 관한 데이터를 소스에서 생성하게 된다. 많은 어플리케이션에서 이벤트는 동적인 속성을 지닐 수 있다[9, 10]. 예를 들어 서식지 모니터링, 동물 등이 이벤트가 움직이는 경우이다. 다른 예로는 차나 로봇이 있을 수 있다. 모바일 이벤트의 결과로 이벤트의 이동 경로에 따라 소스가 연속적으로 발생할 수 있다. 따라서 모바일 이벤트에 의한 연속적인 다중 소스들은 멀티패스 라우팅에서 새로운 도전과제이다.

지금까지 멀티패스 라우팅에 관한 연구들의 주요 초점은 소스에서 정적인 싱크로 효율적인 멀티패스를 구성하는 것과 패스 단절의 경우에 빨리 멀티패스를 재구성하는 것이다[7, 11]. 따라서 모바일 이벤트의 이동 경로에 따라 연속적으로 소스가 생성될 때, 이전 멀티패스 라우팅 프로토콜은 각 소스마다 싱크까지 효율적인 멀티패스를 구성할 수 있다. 따라서 이전 방안에서 멀티패스 구성비용은 소스의 수에 비례하여 증가한다. 그러나 모바일 이벤트의 이동에 따라 연속적으로 소스가 생성되기 때문에 이전 소스가 만든 멀티패스를 다음 소스가 사용하여 효율적으로 패스를 구성할 수 있다. 다음 소스에 의해 멀티패스 재구성을 하기 위해서, 가장 중요한 이슈는 어떻게 다음 소스에서 이전 소스로 지역적으로 멀티패스를 재구성하는가 이다. 그러나 오랜 시간 계속해서 지역적 멀티패스 재구성이 일어날 경우 긴 우회경로를 가지게 되기 때문에, 현재 소스에서 싱크로 광역적 멀티패스 재구성이 더 효율적일 수 있다. 따라서 다음 소스의 지역적 경로 재구성과 광역적 경로 재구성 사이의 결정은 모바일 이벤트에 의해 소스가 연속적으로 생성되는 환경에서 효율적인 멀티패스 라우팅을 위한 매우 중요한 도전과제이다.

따라서 본 논문에서 무선 센서 네트워크에서 모바일 이벤트로 인해 연속적으로 발생한 소스를 지원하기 위한 에너지 효율적인 멀티패스 라우팅 프로토콜을 제안한다. 지역적 멀티패스 재구성과 광역적 멀티패스 재구성 사이의 결정을 위해, 제안방안은 멀티패스 라우팅의 에너지 소비 비용을 고려한다. 에너지 소비 비용을 계산하기 위해, 우리는 재구성된 멀티패스의 멀티패스 재구성 비용과 데이터 포워딩 비용의 합에 대한 분석적인 모델을 제시한다. 지역적 멀티패스 재구성이 우리의 분석적 모델을 통해 선택되면, 제안방안은 이벤트의 이동 방향을 고려하여 이전 소스에서 새로운 소스로 기존의 패스를 지역적으로 재구성한다. 광역적 멀티패스 재구성이 선택되면, 제안방안은 새로운 소스에서 싱크로 광역적으로 멀티패스를 재구성한다. 또한 더 효율적인 광역적 멀티패스 재구성을 제공하기 위해서, 제안방안은 우리의 분석적 모델을 통해 오직 멀티패스의 부분만을 사용하는 광역적 부분 멀티패스 재구성과 멀티패스의 모든 부분을 사용하는 광역적 멀티패스 재구성 사이의 효율적인 선택 방법을 제공한다. 여러 환경에서의 시뮬레이션 결과는 제안방안이 이전방안과 비교하여 에너지 소비와 딜레이 측면에서 모바일 이벤트에 의한 연속적인 소스를 효율적으로 지원하는 것을 보여준다

2. 제안 방안

앞서 언급한 것과 같이, 우리의 이전방안[11]은 멀티패스 재구성, 멀티패스 데이터 포워딩 그리고 멀티패스 유지보수의 세가지 기능으로 구성되어 있고, 멀티패스 데이터 포워딩 방안을 제안했다. 우리의 이전방안은 오직 정적인 소스와 정적인 싱크 사이의 멀티패스 데이터 전송을 고려한다. 일반적으로 무선 센서 네트워크에서 소스는 이벤트에 의해 생성된다. 그리고 이벤트는 무선 센서 네트워크의 많은 어플리케이션에서 동적이다. 예를 들어 군대에서 타겟 트래킹이나 특정 동물 혹은 오브젝트 트래킹에서 이미 사용되고 있다. 따라서 모바일 이벤트가 움직일 때, 새로운 소스는 이벤트의 경로에 따라 생성된다. 그러므로 이러한 모바일 이벤트를 고려한 무선 센서 네트워크의 응용에서 새로운 소스들이 연속적으로 생성되는 환경에서 멀티패스 데이터 전송을 위한 방안이 제안되어야 한다.

우리의 이전 방안은 단지 정적 소스만을 고려하기 때문에, 모바일 이벤트로 인해서 새롭게 소스가 생성되면 이 소스로부터 새롭게 멀티패스를 광역적으로 싱크까지 구성해야 한다. 하지만, 새로운 소스는 이전 소스가 구성한 다중 경로를 자신으로부터 지역적 재구성을 통해서 이용할 수 있다면, 새로운 소스는 새로운 멀티패스 구성을 하지 않고 즉각적으로 자신의 데이터를 이전 소스의 다중 경로를 통해서 싱크까지 전송할 수 있다. 이러한 방법은 새로운 소스의 멀티패스 생성과(과 유지 보수)의 비용 데이터 전송 딜레이를 줄일 수 있다. 하지만, 이전 소스의 멀티패스를 이용하는 것보다 새로운 멀티패스를 광역적으로 구성하는 것이 더 효율적

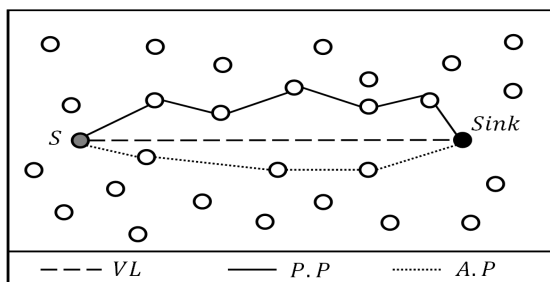


Fig. 1. Multipath Construction from a Source to a Sink

인 상황이 생길 수 있다. 그러므로, 이전 소스의 멀티패스를 이용할 지 새로운 멀티패스를 구성할지에 대한 확실한 기준을 제시하는 것이 모바일 이벤트를 위한 효율적인 멀티패스 전송을 지원하기 위해 필요하다. 따라서, 본 논문에서 우리는 먼저, 기존 멀티패스 이용과 새로운 멀티패스 구성 사이의 결정을 위한 기준을 제시한다. 다음으로, 우리는 기존 멀티패스를 이용하는 방법을 제안한다. 마지막으로, 우리는 새로운 멀티패스 구성 방법을 제안한다. 우리는 다음의 소절에서 위의 3 가지에 대해서 자세히 설명한다.

2.1 멀티패스 구성

Fig. 1은 처음 이벤트가 발생했을 때를 보여준다. 우리의 이전 방안[11]은 다음과 같다. 이벤트가 발생하면 센서 노드는 이벤트를 감지하고 소스가 된다. 그리고 소스로부터 싱크까지 멀티패스를 만들기 위해, 소스는 위치정보 기반 라우팅[12, 13]을 이용하여 위치정보로 소스와 싱크 사이에 가상의 선인 Virtual Line(VL)을 만든다. 그리고 소스는 VL의 위쪽 방향의 노드들을 이용하여 주 경로를 구성한다. VL을 기준으로 소스와 다음 노드 사이의 직선의 각도를 측정하고, 이 각도가 최소가 되는 노드가 주 경로 상의 중간 노드들이 된다. 주 경로가 완성되면, 주 경로 구성과 동일한 방법으로 VL의 아래쪽 방향에 대체 경로를 구성한다.

2.2 지역적, 부분 광역적, 전체 광역적 재구성 방안 사이의 분석적 모델 결정

이벤트가 이동함에 따라 새로운 소스가 연속적으로 생성될 때, 데이터 전송을 위해 우리는 기존의 멀티패스를 이용하기 위하여 지역적으로 멀티패스를 재구성하는 방법과 패스를 새로운 소스로부터 싱크까지 광역적으로 멀티패스를 새롭게 구성하는 방법을 고려할 수 있다. 지역적 멀티패스 재구성은 새로운 소스가 생성되면 기존의 패스를 그대로 이용하여 이전 소스와 새로운 소스 사이의 지역적인 멀티패스만 이어주어 이 패스를 통해 데이터를 전송하는 방안이다. 그리고 광역적 멀티패스 재구성은 새로운 소스가 생성되면 기존의 패스를 이용하지 않고 새로운 소스와 싱크 사이에 새롭게 멀티패스를 구성하고 이 경로를 통해서 데이터를 전송하는 방안이다.

본 논문에서, 우리는 지역적 멀티패스 재구성 방법과 광역적 멀티패스 재구성 방법 사이의 선택을 위해 두 방법의

에너지 소비 비용을 고려한다. 지역적 멀티패스 재구성 방법의 총 에너지 소비 비용은 아래의 Equation (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Total_Cost_{Local} = Cost_{Local_Path} + Cost_{Local_data} \quad (1)$$

$Total_Cost_{Local}$ 은 경로 재구성 방법의 총 에너지 소비 비용을 의미하며, 이는 새로운 소스로부터 경로를 구성하는 에너지 소비 비용($Cost_{Local_Path}$)과 구성된 경로를 통해서 소스로부터 싱크까지 데이터를 전송하는 에너지 소비 비용($Cost_{Local_Data}$)의 합과 같다. 또한 이와 유사하게 광역적 경로 재구성 방법의 총 에너지 소비 비용은 다음의 Equation (2)와 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Total_Cost_{pGlobal} = Cost_{pGlobal_Path} + Cost_{pGlobal_data} \quad (2)$$

$$Total_Cost_{fGlobal} = Cost_{fGlobal_Path} + Cost_{fGlobal_data} \quad (3)$$

$Total_Cost_{pGlobal}$ 와 $Total_Cost_{fGlobal}$ 은 각각 광역적 부분 멀티패스 재구성과 광역적 전체 멀티패스 재구성 방법의 총 에너지 소비 비용을 의미하며, 이는 새로운 소스로부터 싱크까지 패스를 광역적으로 구성하는 에너지 소비 비용($Cost_{pGlobal_Path}$, $Cost_{fGlobal_Path}$)과 구성된 경로를 통해서 소스로부터 싱크까지 데이터를 전송하는 에너지 소비 비용($Cost_{pGlobal_data}$, $Cost_{fGlobal_data}$)의 합과 같다. 우리는 에너지 효율적인 다중 경로 전송을 위해 세 가지 방법 중에 에너지 소비 비용이 더 적은 것을 선택한다.

본 논문에서 우리는 에너지 소비 비용을 계산하기 위해, 먼저, 멀티패스 생성의 홉 수와 멀티패스 상의 데이터 전송 홉 수를 고려하고, 다음으로 각각의 에너지 소비 비용을 이용한다. 구하고자 하는 두 노드 사이의 홉 수는 두 노드의 위치정보를 이용하여 예측 값을 구할 수 있다. 또한 각 노드들은 자신의 위치를 알고 있으므로 가능하다.

지역적인 구성은 새로 구성하는 경로의 홉 수와 만들어질 전체 경로의 홉 수를 구할 수 있으면 전송 비용을 예측할 수 있다. 또한 광역적인 재구성 방법은 새로 구성하는 경로가 전체 경로와 동일하게 되므로 예측이 가능하다. 먼저 우리는 먼저 [14]를 통해 홉 수 계산을 한다. Equation (4)에서 $geo_hops(i, j)$ 는 노드 i 로부터 노드 j 까지의 홉수를 의미한다.

$$geo_hops(i, j) = \lfloor d(i, j) / Single_Hop_Pro_{ave} \rfloor + 1 \quad (4)$$

[15]에서 제공된 Equation (2)에서 $d(i, j)$ 는 노드 i 와 노드 j 사이의 거리를 의미한다. $Single_Hop_Pro_{ave}$ 는 원 홉의 평균거리를 의미 한다. 그리고 다음으로 우리는 원 홉의 전송 비용을 계산한다. $E_C(k, r)$ 는 원 홉 단위에서 경로를 구성할 때 사용되는 컨트롤 패킷의 전송비용을 의미하고, $E_D(k, r)$ 는 원 홉 단위에서 데이터 패킷을 전송할 때 사용되는 전송 비용을 의미한다[16].

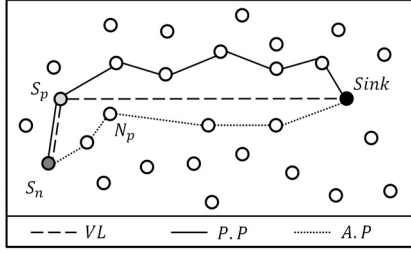


Fig. 2. Local Reconstruction

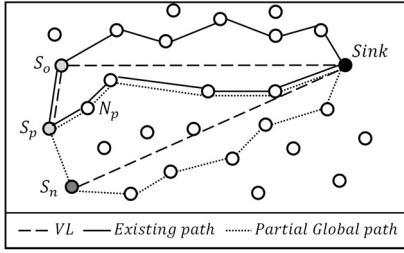


Fig. 3. Partial Global Reconstruction

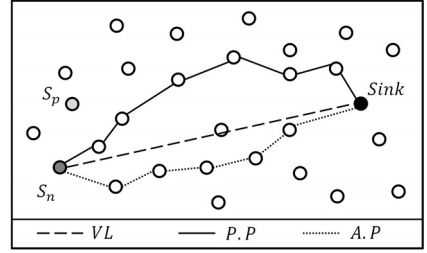


Fig. 4. Full Global Reconstruction

$$E_C(k_1, r) = E_{elec} \cdot k_1 + \epsilon_{amp} \cdot k_1 \cdot r^2 + E_{elec} \cdot k_1 \quad (5)$$

$$E_D(k_2, r) = E_{elec} \cdot k_2 + \epsilon_{amp} \cdot k_1 \cdot r^2 + E_{elec} \cdot k_2 \quad (6)$$

Equation (5)의 k_1 은 경로를 구성할 때 사용되는 제어 패킷의 크기를 의미하고 Equation (6)의 k_2 는 데이터를 전송할 때 사용되는 데이터 패킷의 크기를 의미한다. 그리고 Equation (5)와 (6)에서 $E_{elec} = 50nJ/bit$ 로 센서 노드가 무선으로 전송 하거나 수신할 때, 그리고 $\epsilon_{amp} = 100pJ/bit/m^2$ 로 전송 증폭기에서 소모되는 값이다. 그러므로 $E_{elec} \cdot k + \epsilon_{amp} \cdot k \cdot r^2$ 는 송신 노드에서 소모되는 총 비용이고, 뒤의 $E_{elec} \cdot k$ 는 수신 노드에서 소모되는 총 비용이다. 사용되는 모든 센서 노드는 같은 전송전력을 사용하기 때문에 $E_C(k, r)$ 과 $E_D(k, r)$ 는 거리 r 과 상수 k 에 의해 값이 결정된다고 볼 수 있다.

먼저 지역적 경로 재구성의 경우 Equation (1)에 의하면 지역적 멀티패스 재구성을 통한 데이터 전송 비용은 새로운 소스로부터 기존의 멀티패스까지 패스를 지역적으로 구성하는 에너지 소비 비용($Cost_{Local_Path}$)과 구성된 경로를 통해서 소스로부터 싱크까지 데이터를 전송하는 에너지 소비 비용($Cost_{Local_Data}$)의 합과 같다. 그리고 $Cost_{Local_Path}$ 와 $Cost_{Local_Data}$ 는 각각 다음 Equation (7), (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Cost_{Local_Path} = (geo_hops(S_p, S_n) + geo_hops(N_p, S_n)) \cdot E_C(k_1, r) \quad (7)$$

$$Cost_{Local_Data} = (geo_hops(S_p, Sink) + geo_hops(S_p, S_n)) \cdot E_D(k_2, r) \quad (8)$$

먼저 Equation (7)은 Fig. 2에서 이전 소스 S_p 와 새로운 소스 S_n 사이의 홉 수(원 홉이므로 실제 계산에서는 1을 의미한다.)와 대체 경로에서 이전 소스 S_p 의 이전 노드인 N_p 와 새로운 소스인 S_n 사이의 홉 수를 더하여 각 패스에서 새로운 소스로 패스를 연결하는 데 필요한 홉 수를 구한다. 이 홉 수에 $E_C(k_1, r)$ 를 곱하여 지역적 멀티패스 재구성을 하는 데 들어가는 비용을 구할 수 있다. 그리고 Equation (8)은 Fig. 2의 이전 소스 S_p 와 싱크 $Sink$ 사이의 홉 수(최초 멀티패스가 구성될 때 싱크에서 소스로 알려진 실제 홉 수를 이용)와 이전 소스 S_p 와 새로운 소스 S_n 사이의 홉 수(실제 계산에서 1을 의미)를 더하여 완성된 경로의 홉 수를

구한다. 이 홉 수에 $E_D(k_2, r)$ 을 곱하면 완성된 경로를 통해 데이터가 전송되는 데 들어가는 비용을 구할 수 있다. 따라서 Equation (1)은 Equation (7)과 Equation (8)을 통하여 다음의 Equation (9)로 도출된다.

$$Total_Cost_{Local} = (geo_hops(S_p, S_n) + geo_hops(N_p, S_n)) \cdot E_C(k_1, r) + (geo_hops(S_p, Sink) + geo_hops(S_p, S_n)) \cdot E_D(k_2, r) \quad (9)$$

다음으로 광역적 부분 멀티패스 재구성의 경우 Equation (2)에 의하면 광역적 부분 멀티패스 재구성 비용은 새로운 소스로부터 기존의 패스 상의 노드까지와 싱크까지의 비용($Cost_{pGlobal_Path}$)과 새로운 소스에서부터 싱크까지 재구성된 멀티패스를 통해 데이터가 전달되는 비용($Cost_{pGlobal_Data}$)을 합한 것이다. 이 두 가지 비용은 각각 Equation (10)과 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Cost_{pGlobal_Path} = (geo_hops(S_n, Sink) + geo_hops(S_p, S_n)) \cdot E_C(k_1, r) \quad (10)$$

$$Cost_{pGlobal_Data} = geo_hops(S_n, Sink) \cdot E_D(k_2, r) \quad (11)$$

Fig. 3에서, Equation (10)은 새로운 소스 S_n 에서 $Sink$ 까지의 홉 수와 이전 소스 S_p 와 새로운 소스 S_n 사이의 홉 수(실제 계산에서 1)를 더하여 경로 구성에 필요한 홉 수를 구한다. 그리고 이 홉 수에 $E_C(k_1, r)$ 를 곱하는 것으로 부분 광역적 멀티패스 재구성을 하는 데 들어가는 비용을 구할 수 있다. 그리고 Equation (11)은 새로운 소스 S_n 에서부터 싱크 $Sink$ 까지의 홉 수에 $E_D(k_2, r)$ 를 곱함으로써 우리는 소스로부터 싱크까지의 완벽한 패스를 통해 데이터 전송 비용을 구할 수 있다. 따라서 Equation (2)는 Equation (10)과 (11)에 의해 (12)로 표현된다.

$$Total_Cost_{pGlobal} = (geo_hops(S_n, Sink) + 1) \cdot E_C(k_1, r) + (geo_hops(S_n, Sink)) \cdot E_D(k_2, r) \quad (12)$$

마지막으로 광역적 전체 멀티패스 재구성의 경우 Equation (3)에 의하면 광역적 전체 멀티패스 재구성을 통한 데이터

전송 비용은 새로운 소스로부터 싱크까지 패스를 광역적으로 구성하는 에너지 소비 비용($Cost_{fGlobal_Path}$)과 구성된 경로를 통해서 소스로부터 싱크까지 데이터를 전송하는 에너지 소비 비용($Cost_{fGlobal_Data}$)의 합과 같다. 그리고 $Cost_{fGlobal_Path}$ 와 $Cost_{fGlobal_Data}$ 는 각각 다음 Equation (11), (12)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Cost_{fGlobal_Path} = geo_hops(S_n, Sink) \cdot E_C(k_1, r) \cdot 2 \quad (13)$$

$$Cost_{fGlobal_Data} = geo_hops(S_n, Sink) \cdot E_D(k_2, r) \quad (14)$$

Equation (11)과 (12)에서 $geo_hops(S_n, Sink)$ 는 Fig. 4의 새로운 소스 S_n 에서 싱크 $Sink$ 까지의 홉 수를 의미한다. 각각의 수식에 $E_C(k_1, r) \cdot 2$ 와 $E_D(k_2, r)$ 를 곱하여 광역적 경로 구성과 구성된 경로를 통한 데이터 전송의 에너지 소비 비용을 구할 수 있다. 따라서 Equation (3)는 Equation (13)과 Equation (14)을 통하여 다음의 Equation (15)으로 도출된다.

$$Total_Cost_{fGlobal} = geo_hops(S_n, Sink) \cdot (E_C(k_1, r) \cdot 2 + E_D(k_2, r)) \quad (15)$$

우리는 Equation (9), (12) 그리고 (15)를 이용하여 더 효율적인 멀티패스를 구성할 수 있다. 패스를 구성할 때 컨트롤 패킷 k_1 은 데이터 사이즈보다 상대적으로 적다. 따라서 효율적인 패스는 데이터 패킷 k_2 에 의해 크게 바뀔 수 있다.

그러나 주 경로나 대체경로 상에 새로운 소스가 생성되면, 실제 비용보다 Equation (9)를 이용한 비용이 더 큰 문제가 생긴다. 우리는 패스가 단축되는 지역적 멀티패스 재구성의 비용이 광역적 멀티패스 재구성 비용 보다 적게 든다는 사실을 알고 있다. 따라서 새로운 소스가 주 경로나 대체경로 상에 생성될 경우, 우리는 Equation (9), (12) 그리고 (15)를 계산하지 않고, 패스 단축 방안을 이용한다. 이는 다음 2.3절 2)항에서 자세히 서술한다.

2.3 지역적 경로 재구성

모바일 이벤트에 의해 새로운 소스가 발생되고, 2.2절을 통해 지역적 멀티패스 재구성 방안이 선택되면, 이 소스는 지역적 멀티패스 재구성 방법을 통해 자신의 데이터를 싱크에게 전송한다. 일반적으로, 모바일 이벤트는 랜덤하게 이동하기 때문에 이벤트가 어느 방향으로 이동하였는지에 따라 새롭게 생성되는 소스의 위치가 달라진다. 그러므로 새로운 소스의 위치는 지역적 멀티패스 재구성 방법을 디자인하는데 매우 중요한 요소이다. 본 논문은 지역적 멀티패스 재구성 방법을 제시하기 위해 새로운 소스가 생성되는 위치는 두가지 경우로 나눈다. 첫 번째 경우는 최초 소스와 싱크를 기반으로 구성된 Virtual Line(VL)으로부터 멀어지는 위치에 소스가 생성되는 것이다. 이 경우는 새로운 소스에 의해

기존의 멀티패스가 연장되는 것을 의미한다. 두 번째 경우는 이 VL에 가까워지는 위치에 소스가 생성되는 경우이다. 이러한 경우는 새로운 소스로부터 기존의 멀티패스가 단축되는 것을 의미한다. 우리는 다음의 1)항과 2)항 각각에서 이 두 가지 경우들에서 지역적 멀티패스 재구성 방법을 서술한다.

1) 경로 연장

Fig. 2에서 지역적 멀티패스 구성에 대해 도시화 하였다. 지역적 구성을 하는 것이 효율적이라 판단이 되면, 먼저 새로운 소스 S_n 가 이웃 노드인 이전 소스 S_p 에게 이 사실을 알리면서 이전 소스에서 새로운 소스로 패스를 연결한다. 이전 소스 S_p 에서 새로운 소스 S_n 이 감지가 되면 기존의 패스를 구성하는 노드들에게 새로운 소스 S_n 가 발생했음을 알리고, 대체 경로는 기존의 패스를 구성하는 노드 중 새로운 소스가 한 홉 안에 있다면 싱크에서 가장 가까운 노드로 패스를 구성하게 되고, 그렇지 않다면 이전 노드 N_p 에서 새로운 소스로 지리적 라우팅 방법을 이용하여 패스를 구성한다. 그리고 소스에서 새로운 싱크로 VL을 이어줘야 하는데, 기존에 존재하는 VL이 이전 소스까지 연결이 되어 있으므로 이전 소스에서 새로운 소스로 VL을 연결해주면 된다. 즉, 새로 생성된 소스와 이전 소스 사이에는 주 경로와 VL이 겹쳐진 형태로 존재한다.

2) 경로 단축

이벤트가 이동함에 따라 새로 생성된 소스가 기존 주 경로나 대체 경로 상의 노드일 경우가 있다. 이 경우는 VL을 기준으로 크게 두 가지 경우로 나누어진다. 첫 번째는 Fig. 5와 같이 새로 생성된 소스가 VL을 끼고 있는 경우이다. 이 같은 환경은 패스 연장을 통해 생성됨을 Fig. 2를 통해 알 수 있다. 이 경우에는 새로 주 경로와 VL을 생성하거나, 다른 상황을 고려할 필요없이 기존의 패스를 사용한다. 그리고 대체 경로에서 한 홉에 새로운 소스 S_n 로 이어질 수 있

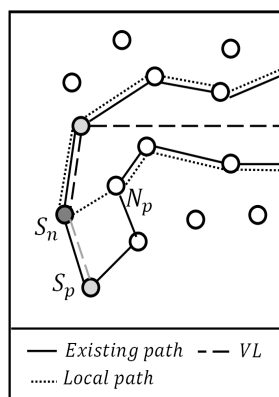


Fig. 5. Local Path Reconstruction(Path Reduction) - in a Case That New Source is a Node on VL

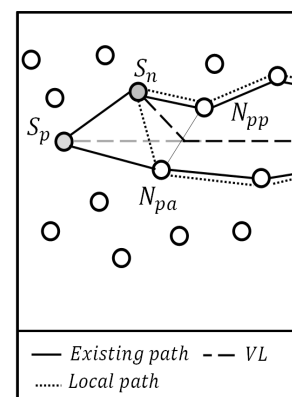


Fig. 6. Local Path Reconstruction(Path Reduction) - in a Case That New Source is not a Node on VL

는 노드 N_p 가 있는 경우 바로 이어주고, 그렇지 않다면 이전 노드에서 지리적 라우팅을 이용하여 새로운 소스와 연결한다.

두 번째는 새로 생성된 소스가 주 경로나 대체 경로의 노드 중 하나이지만 VL을 끼고 있지 않은 경우이다. 이는 Fig. 6에 도시된다. 주 경로에 새로운 소스가 생성된 경우 대체 경로에서, 대체 경로에서 새로운 소스가 생성된 경우 주 경로에서 새로운 소스 S_n 로 패스를 이어주는데, 경로 상의 노드 중 새로운 소스 S_n 과 한 홉 범위 안에 있는 노드가 있다면 이어주고 그렇지 않다면 지리적 라우팅을 이용하여 새로운 소스와 경로구성을 한다. 그 후 Fig. 6과 같이 이전 노드 N_{pp} 와 N_{pa} 사이에 가상의 선을 그리고, VL과의 접점을 구한다. 다음으로 접점에서부터 VL을 새로운 소스로 연결한다. 앞의 작업들은 새로운 소스 S_n 에서 계산하여 경로 상의 노드들에게 알려주는 방식을 취한다. 이와 같은 방법을 통해 두 가지 경우를 만족시킬 수 있다.

2.4 부분 광역적 경로 재구성

새로운 소스가 2.2절에서 광역적 재구성이 지역적 재구성보다 낫다고 결정이 되면, 새로운 소스는 광역적 부분 재구성과 광역적 전체 재구성을 비교한다. 광역적 부분 재구성 비용이 광역적 전체 재구성 비용보다 낮다면, 새로운 소스는 광역적 부분 재구성을 선택한다. Fig. 3은 광역적 부분 재구성을 보여준다. 새로운 소스 S_n 은 기존의 패스로 컨트롤 패킷을 보내고, 주 경로를 만든다. 그리고 이전 소스 S_p 는 새로운 소스로 패스를 연결하고, 새로운 소스는 광역적 VL에서 가장 가까운 패스를 대체경로로 사용한다. 광역적 부분 재구성 방법을 사용하여 우리는 패스 구성비용과 딜레이를 줄일 수 있다.

2.5 전체 광역적 경로 재구성

제어 패킷을 통한 지역적 경로 재구성의 비용은 저렴하나 경로가 연장될수록 데이터 전송 비용이 커지게 되어 광역적 경로 재구성을 하는 상황이 발생한다. 광역적 경로 재구성 방안이 선택되는 시기는 데이터 패킷의 크기가 클수록 자주 발생하게 된다. 새로운 소스가 2.2절에서 광역적 재구성이 지역적 재구성보다 낫다고 결정이 되면, 새로운 소스는 광역적 부분 재구성과 광역적 전체 재구성을 비교한다. 광역적 전체 재구성 비용이 광역적 부분 재구성 비용보다 낮다면, 새로운 소스는 광역적 부분 재구성을 선택한다. 광역적 전체 재구성 방안은 2.1절과 같이 소스에서부터 싱크까지 새로이 경로를 구성하는 방법이다.

이 방법을 선택하면, 우선 기존의 패스와 VL을 모두 제거한다. 그 후 소스와 싱크 사이에 VL을 생성한 후 VL을 기점으로 위쪽 방향에 VL과 가장 가까운 노드들로 주 경로를 생성하고, 아래쪽 방향에 대체경로를 생성한다. 이는 이전 논문에서 제시하는 경로 구성의 방법과 동일하며, 처음 소스가 생성되어 경로를 구성하는 방법과도 동일한 작업이다.

3. 성능 평가

이 장에서 우리는 제안 방안의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가한다. 우리는 먼저 우리의 시뮬레이션 모델과 평가 항목을 소개한다. 다음으로 기존의 방안 중 모바일 싱크를 고려한 멀티패스 라우팅 방안이 없기 때문에 제안방안을 지역적 재구성과 광역적 재구성만을 하는 방안들과 시뮬레이션 결과를 통해 비교한다.

3.1 시뮬레이션 모델과 성능 평가 지표

우리는 제안방안, 지역적 재구성만 하는 프로토콜 그리고 광역적 재구성만 하는 프로토콜을 NS3 시뮬레이터를 이용해 평가한다[17]. 센서 장치의 파라미터는 MICA specification [18]을 참고하였다. 우리의 시뮬레이션은 네트워크 크기는 $1050m \times 1050m$, 노드 배치는 균일하게, 전송범위는 15m, 컨트롤 패킷의 사이즈는 32 byte, 데이터 패킷의 사이즈는 128 byte, 그리고 MAC 프로토콜은 IEEE 802.15.4 Zigbee를 이용하였다. 이벤트의 이동은 랜덤하게 이루어진다고 가정하였다. 또한 이벤트의 이동에 따라 소스 노드는 연속해서 발생한다. 이 두 조건을 통해서 새로운 소스는 이전 소스의 이웃 노드 중에서 랜덤하게 선택되는 것으로 시뮬레이션을 구성하였다. 그리고 패킷 전송 진행 과정은 먼저 소스에서 싱크로 멀티패스를 생성하고, 주 경로를 통해 1개의 데이터 패킷을 전송하는 것으로 하였다. 최초 소스와 싱크 사이는 평균 8홉으로 진행하였다.

우리는 제안방안의 성능을 측정하기 위해 두 가지 지표를 사용하였다. 에너지 소비는 네트워크에서 통신(송수신)에서 사용되는 에너지이다. 딜레이는 소스에서 싱크로 데이터를 전송하는 경과 시간으로 정의된다.

3.2 시뮬레이션 결과

Fig. 7은 새로운 소스의 수에 따른 에너지 소비를 보여준다. 소스의 수는 이벤트의 이동 거리를 의미한다. 또한 이벤트의 이동 속도와 새로운 소스의 수는 이동 속도가 높을수록 새로 생기는 소스의 수가 많아지는 비례관계를 가진다. 광역적 재구성 프로토콜은 새로운 소스가 생길 때 마다 높은 에너지를 소비한다. 새로운 소스의 수가 5개 이하이면, 제안 프로토콜과 지역적 재구성 프로토콜은 같은 결과를 보인다. 그러나 여섯 번째 소스부터 그래프의 양상이 달라지게 된다. 소스의 수는 이벤트의 이동거리를 의미한다. 광역적 재구성만을 하는 프로토콜은 새로운 소스가 생길 때 마다 에너지 소비를 많이 한다. 새로운 소스의 수가 5이하일 때, 제안방안과 지역적 재구성만 하는 프로토콜은 지역적 재구성만을 한다. 그러나 6번째 소스를 기점으로 그래프의 양상이 달라진다. 지역적 재구성만을 하는 프로토콜은 새로운 소스의 수에 따라 에너지 소비가 증가한다. 그리고 제안방안은 최적의 에너지 소비를 위한 선택을 계속해서 하기 때문에 낮은 에너지 소비를 보인다.

Fig. 8은 데이터 패킷의 수에 따른 에너지 소비를 보인다. 데이터 패킷의 수가 하나일 때, 지역적 재구성만 하는 프로

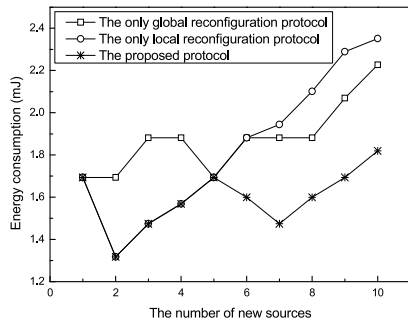


Fig. 7. Energy Consumption for the Number of New Sources

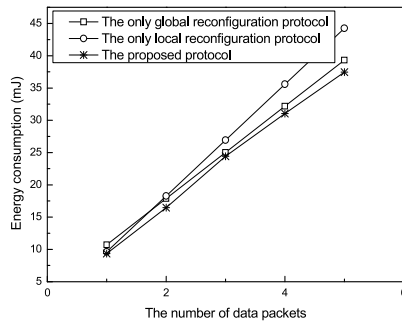


Fig. 8. Energy Consumption for the Number of Data Packets

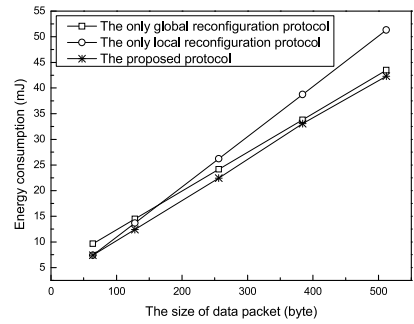


Fig. 9. Energy Consumption for the Size of Data Packets

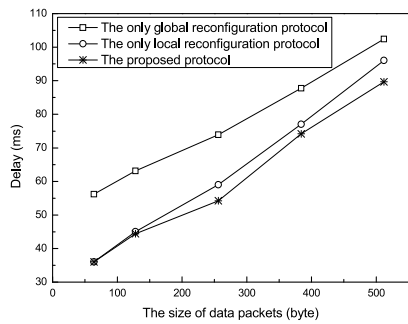


Fig. 10. Delay for the Number of New Sources

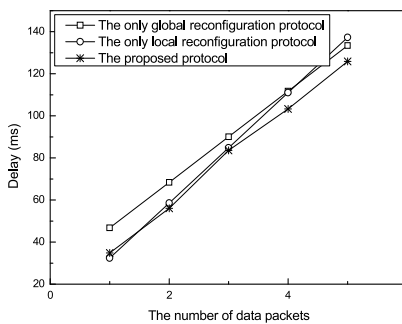


Fig. 11. Delay for the Number of Data Packets

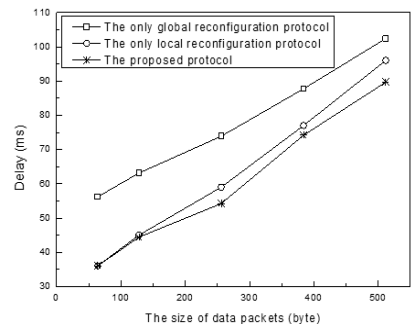


Fig. 12. Delay for the Size of Data Packets

토크의 에너지 소비는 낮다. 그러나 새로운 소스 수가 증가하게 되면 가장 높은 에너지 소비를 보인다. 그리고 광역적 재구성만을 하는 프로토콜은 지역적 재구성만을 하는 프로토콜보다 낮은 에너지 소비를 보이며, 제안방안은 가장 낮은 에너지 소비를 보인다.

Fig. 9는 데이터 패킷 사이즈에 따른 에너지 소비를 나타낸다. 데이터 사이즈가 증가하게 되면, 모든 프로토콜의 에너지 소비가 증가함을 알 수 있다. 컨트롤 패킷에 비해 데이터 패킷의 사이즈가 증가함에 따라 광역적 재구성만 하는 프로토콜은 지역적 재구성만 하는 프로토콜보다 에너지 소비가 적다. 게다가 데이터 패킷의 사이즈가 증가함에 따라 제안방안의 광역적 부분 재구성의 빈도가 높아진다. 따라서 광역적 재구성만 하는 프로토콜과 제안방안의 증가율이 비슷해진다.

Fig. 10은 새로운 소스의 수에 따른 딜레이를 나타낸다. 광역적 재구성만 하는 프로토콜은 가장 높은 딜레이를 가지는데, 광역적 재구성만 하는 프로토콜은 계속해서 새로운 패스를 구성하는 작업을 하기 때문이다. 제안방안과 지역적 재구성만 하는 프로토콜은 제안 방안이 광역적 재구성을 하기 전까지 같은 딜레이를 가진다. 그러나 새로운 소스의 수가 6일 때, 제안방안이 광역적 재구성을 하게 되어 제안방안과 광역적 재구성만 하는 프로토콜은 같은 딜레이를 가지게 된다.

Fig. 11은 데이터 패킷의 수에 따른 딜레이를 나타낸다. 광역적 재구성만 하는 프로토콜의 딜레이는 증가한다. 그리고 지역적 재구성만 하는 프로토콜의 딜레이의 증가율은 지역적 재구성만 하는 프로토콜의 딜레이 증가율 보다 낮다.

제안방안과 광역적 재구성만 하는 프로토콜은 유사한 딜레이를 가지지만, 제안방안은 광역적 재구성만 하는 프로토콜보다 낮은 딜레이를 가진다.

Fig. 12는 데이터 패킷의 사이즈에 따른 딜레이를 보인다. 광역적 재구성만 하는 프로토콜은 처음부터 높은 딜레이를 가지게 된다. 그리고 지역적 재구성만 하는 프로토콜은 딜레이의 증가율이 증가한다. 반면에 제안방안은 계속해서 최적의 방안을 선택하기 때문에 지역적 재구성만 하는 프로토콜보다 낮은 딜레이를 가짐을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 모바일 이벤트에 의한 연속적인 소스의 생성을 지원하기 위한 에너지 효율적인 멀티패스 라우팅 프로토콜을 제안했다. 제안방안은 연속적인 소스로 부터 이전 멀티패스를 이용한 효율적인 라우팅을 위해 지역적 재구성, 광역적 부분 재구성 그리고 광역적 전체 재구성의 세 가지 방안을 고려한다. 세 가지 재구성 방안 중 하나를 선택하기 위해서, 제안방안은 멀티패스를 재구성하고 구성된 멀티패스로 데이터를 포워딩하는 비용의 합을 분석적인 에너지 소비 비용 모델을 제시한다. 지역적인 멀티패스 재구성에서, 제안방안은 이전 소스에서 새로운 소스로 기존의 멀티패스를 이용한 지역적으로 재구성한다. 광역적 부분 멀티패스 재구성에서, 제안방안은 현재 멀티패스의 일부 패스만을 재사용하고, 다른 하나의 패스는 소스에서

싱크로 새로 재구성한다. 다양한 환경에서 수행된 시뮬레이션 결과는 모바일 이벤트를 위한 멀티패스 라우팅을 지원하기 위한 제안방안이 에너지 소비와 데이터 전송 딜레이 관점에서 다른 프로토콜들 보다 더 효율적인 것을 증명했다.

References

[1] I. Akyildiz, W. Su, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp.102-114, Aug., 2002.

[2] P. Rawat, K. Singh, H. Chaouchi, and J. Bonnin, "Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies," *The Journal of Supercomputing*, Vol. 68, Iss.01, pp.1-48, Apr., 2014.

[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] G. Zhou, Z. Zhu, P. Zhang, and W. Li, "Source-Aware Redundant Packet Forwarding Scheme for Emergency Information Delivery in Chain-Typed Multihop Wireless Sensor Networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol.11, No.3, Article ID 405374, Mar., 2015.

[5] S. Chouikhi, I. Korbi, Y. Ghamri-Doudane, and L. Saidane, "A survey on fault tolerance in small and large scale wireless sensor networks," *Computer Communications*, Vol.69, pp. 22-37, Sep., 2015.

[6] D. Ganesan and 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] B. Liu, M. Chen, and M. Tsai, "Message-Efficient Location Prediction for Mobile Objects in Wireless Sensor Networks Using a Maximum Likelihood Technique," *IEEE Transactions on Computers*, Vol.60. No.6, pp.865-878, Jun., 2011.

[10] M. Bhuiyan, G. Wang, and A. Vasilakos, "Local Area Prediction-Based Mobile Target Tracking in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transaction on Computers*, Vol. 64, No.7, pp.1968-1982, Jul., 2015.

[11] Jinhyuk Yim, Hoewon Kim, and Euisin Lee, "A Multipath Routing Protocol for Enhancing Reliability and Real-time in Wireless Sensor Networks," in *Proc. KICS Summer Conference*, Aug., 2015.

[12] E. Lee, F. Yu, S. Park, S. Kim, Y. Noh, and E. Lee, "Design and analysis of novel quorum-based sink location service scheme in wireless sensor networks," *Wireless Networks*, Vol.20, Iss.03, pp.439-509, Apr., 2014.

[13] T. Wang, Y. Cao, Y. Zhou, and P. Li, "A Survey on Geographic Routing Protocols in Delay/Disruption Tolerant Networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol.12, No.2, Article ID 3174670, Feb., 2016.

[14] E. Lee, S. Park, F. Yu, and S. Kim, "Data gathering mechanism with local sink in geographic routing for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 56, No.3, pp.1433-1441, Sep., 2010.

[15] D. Chen, J. Deng, and P. Varshney, "Selection of a forwarding area for contention-based geographic forwarding in wireless multi-hop networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.56, No.5, pp.3111-3122, 2007.

[16] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.1, No.4, pp.660-670, Oct., 2002.

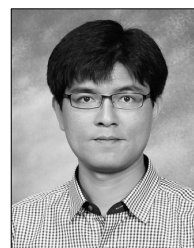
[17] Network simulator 3 [Internet], <http://www.nsnam.org>.

[18] 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.



김 회 원

e-mail : hwk@chungbuk.ac.kr
 2015년 충북대학교 정보통신공학부(학사)
 2015년~현 재 충북대학교 전파통신공학부 석사과정
 관심분야 : Wireless Sensor Networks,
 Vehicular Ad-hoc Networks,
 Routing, Multipath



이 의 신

e-mail : eslee@chungbuk.ac.kr
 2005년 충남대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2007년 충남대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2012년 충남대학교 컴퓨터공학과(박사)
 2014년~현 재 충북대학교 정보통신공학부 조교수
 관심분야 : Wireless Sensor Networks, Vehicular Ad-hoc
 Networks, Information-Centric Networking, Mobile
 Cloud Computing, Routing, Mobility, Multicasting