

무선 센서 네트워크 상에서 이동성 싱크를 지원하기 위한 다중 경로 설정과 효율적 에너지 소비 프로토콜

신 용 제*, 박 수 창°, 이 의 신*

Multipath Construction and Efficient Energy Consumption Protocol for Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks

Yongje Shin*, Soochang Park°, Euisin Lee*

요 약

무선센서네트워크(WSNs)에서는 화재 경보기 와 같은 긴급상황을 적용할 때 소스부터 이동 싱크까지의 경로에 서는 신뢰성 있는 데이터 전달을 요구한다. 이동 싱크 로부터 신뢰성 있는 데이터 전달을 하기 위해 많은 멀티 패스와 이동 지원 프로토콜이 연구되어왔으며 제안됐다. 그렇지만 이러한 프로토콜은 연결 품질이나 에너지 상태 정보를 고려하여 멀티 패스를 구성하지 않기 때문에 연결의 상태가 좋지 않고 에너지 고갈이 발생하여 멀티 패스 가 지속해서 재구성을 요구하는 상황을 발생시킨다. 그래서 본 논문은 WSN에서 이동 싱크를 위해 연결 품질이나 에너지 상태 정보를 사용한 프로토콜을 제안한다. 이런 프로토콜은 멀티 패스의 재구성을 줄이기 위해 연결 품질 이 좋고 에너지 상태 정보를 가진 센서 노드로 구성하는 방법을 사용한다. 또한, 이 프로토콜은 싱크의 이동으로 발생한 에너지 소비를 효율적으로 감소시키는 목적을 가지며 멀티 패스 재구성을 하기 위해 우리의 분석 모델을 기반으로 한 경로 재설정 방안을 제안한다.

Key Words : Wireless Sensor Networks, Multipath, Mobilesink, Robustness, Energy-efficiency,

ABSTRACT

In Wireless Sensor Networks (WSNs), emergency applications such as fire alerts or intruder detections request to accomplish reliable data delivery on a path from a source to a mobile sink. For reliably delivering data to a mobile sink, many multipath and mobility supporting protocols were proposed. However, since they do not consider link qualities and energy state information to construct multipath, they require frequent reconstructions of the multipath due to link or node failures from poor links or energy depletions. Moreover, since they use continuous footprint-chaining or periodic global path reconstructions to support sink mobility, they cannot perfectly provide multipath from a source to the mobile sink or can cause much energy consumption of sensor nodes to reconstruct multipath globally. Thus, we propose a multipath routing protocol based on link quality and

※ 이 논문은 2017학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

• First Author : (ORCID:0000-0001-7105-6026)Chungbuk National University Department of computer and Communication Engineering. yjshin@cbnu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-5486-3675)Chungbuk National University Department of Computer Science winter@chungbuk.ac.kr, 정회원

* (ORCID:0000-0002-0422-0647)Chungbuk National University Department of computer and Communication Engineering. eslee@cbnu.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2018-01-005, Received January 4, 2018; Revised February 13, 2018; Accepted May 28, 2018

energy state information for mobile sinks in WSNs. The proposed protocol constructs multipath consisting of sensor nodes with good link qualities and high energy states to reduce multipath reconstructions. The proposed protocol also uses a reverse path reconstruction and local modification scheme based on our analytical model to reconstruct multipath energy-efficiently due to movements of a sink.

1. 서 론

최근 VLSI의 발전은 마이크로프로세서와 무선 통신 기술, 환경 보호, 군사 작전, 물체 추적, 기타 등등 WSNs에서 잠재적인 응용에 사용된다^[1]. 무선 통신 및 장비의 발전은 저-비용 센서 노드의 많은 수로 인해 자율 구성된 무선 센서 네트워크를 개발할 수 있게 했다. 무선 센서 네트워크는 환경 모니터링, 스마트 전장, 홈 자동화, 및 교통체증 제어 등등과 같은 애플리케이션의 넓은 다양성을 위해 설계되고 개발되었다. 무선 센서 네트워크에서 화재 감지거나 경보기 같은 긴급상황에서의 적용은 이러한 VLSI의 하나의 주된 적용 예이다^[2]. 긴급 상황에서의 적용은 소스부터 이동 싱크까지 신뢰성 있는 데이터 전달이 필요하다^[3]. 또한, 영토 보안 및 침입 탐지와 같은 응급 애플리케이션들은 생명과 사람의 재산을 지키기 위해 중요한 데이터를 전송하는 것을 목표로 한다. 이들 애플리케이션들은 신뢰성과 목적지로 중요한 데이터의 신속한 전송을 최우선 목적으로 한다.

1.1 관련 연구

목적지로 데이터를 전달하기 위한 라우팅 방법으로는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째로 토폴로지 기반의 라우팅 그리고 두 번째로 지역적 데이터 기반의 라우팅 이 존재한다. 먼저 토폴로지 기반의 라우팅은 센서 노드 필드의 전체적인 노드들의 모든 토폴로지 정보를 바탕으로 생성된 테이블 데이터를 통하여 소스에서 목적지까지 최적 경로를 설정하는 라우팅을 얘기한다. 그리고 지역적 데이터 기반의 라우팅은, 토폴로지 데이터 테이블을 이용하지 않고 노드들의 지역적 정보를 바탕으로 데이터 전달을 위한 경로를 설정하기 때문에 토폴로지 기반의 라우팅에서 발생하는 항시 모든 노드의 토폴로지 정보를 바탕으로 테이블을 형성해야 하는 에너지 소모 점이 발생하지 않기 때문에 센서 노드들의 에너지 소모를 줄일 수 있어 센서 네트워크에서는 지역적 정보를 바탕으로 데이터를 전달하는 것이 더 효율적이다. 그리고 이러한 지역적 기반을 바탕으로 라우팅하는 것에는 단일 경로와 다중 경로가 존재하는데, 단일 경로에서 발생할 수 있는 경

로 차단과 같은 치명적인 오류 상황들을 다중 경로가 해결할 수 있으므로 본 논문에서는 다중경로에서 효율적인 데이터 전달 방안을 제시한다.

일반적으로 WSNs는 좋지 못한 전달이나 에너지 제약처럼 제한된 능력을 갖춘 센서 노드들의 경로 생성으로 구성되어 있어 노드나 연결 실패 때문에 경로 실패가 발생할 수도 있다^[4]. 또한, 이동 싱크는 센서 영역 내에서 carry out own mission을 하기 위해 자유롭게 움직일 수 있으므로 새로운 지역에서 데이터를 받기 위해 주기적으로 경로 재구성을 수행할 수도 있다. 지금까지의 많은 연구는 싱크의 이동을 다루기 위해 경로 실패와 이동성 지원 프로토콜을 각각 분리하여 서로 다른 멀티 패스 프로토콜로 제안해 왔다^[5-8]. 그러나 이동 싱크에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 멀티 패스 라우팅과 이동성 지원 둘 다 제공해야 한다. 멀티 패스 라우팅과 이동성 지원을 통합하는 연구는 WSNs의 특징과 관련된 몇 가지 이슈들을 다룬다^[9-11]. 첫 번째로 센서 노드는 신호가 약한 연결 품질을 가지고 있으므로 때문에 멀티 패스는 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 좋은 연결 품질과 밀집된 센서 노드 분포도를 가져야 한다^[5]. 두 번째로 WSNs의 수명은 센서 노드의 에너지 수명에 달려있으므로 센서 노드는 멀티 패스를 구성할 때 에너지를 고르게 소모해야 한다^[11]. 세 번째로 이동 싱크가 움직여 새로운 위치가 될 때마다 멀티 패스를 재구성해주기 위해 에너지를 효율적으로 사용하여 멀티 패스를 재구성해줘야 한다^[9].

지금까지 WSNs에서 많은 멀티 패스 라우팅 프로토콜이^[5,6,8] 제안됐다. 그중 몇 개는 멀티 패스를 구성할 때 홉 수를 줄이기 위해 먼 거리에 있는 다음 홉 노드를 선택한다^[5,6]. 분리형 멀티 패스를 비교하기 위해 다른 프로토콜들은 거리 또는 위치에 따라 이웃 노드들을 생성된 경로들의 수에 따른 그룹으로 분리한다. 그리고 각 그룹 안의 이웃 노드를 하나를 다음 전송 노드로써 선택한다^[8]. 그렇지만 멀티 패스 라우팅 프로토콜은 멀티 패스를 구성할 때 링크 품질이나 노드의 에너지 상태를 고려하지 않기 때문에 연결이 좋지 않고 에너지 고갈에서 오는 연결 또는 노드 실패 발생에 따라 빈번하게 멀티 패스의 재구성을 요청한

다. 더 나아가 센서 노드의 전송 실패는 WSNs의 수명을 단축한다. 이에 따라 이동성을 지원하는 많은 프로토콜들이 제안됐다. 보통 이동 싱크를 지원하기 위해 지속적인 footprint-chaining 방법과 주기적인 전역적 경로 재구성 방법을 사용한다^[10]. 그렇지만 지속적인 footprint-chaining 방법은 싱크의 이동에 따라 오직 하나의 경로만 만들 수 있으므로 소스에서 이동 싱크까지 멀티 패스를 완벽하게 제공해주지 못한다^[11]. 또한, 주기적인 전역적 재구성은 센서 노드의 많은 에너지 소비를 발생시킨다. 왜냐하면, 소스부터 이동 싱크까지 모든 싱크의 움직임에 따라 멀티 패스가 전역적으로 재구성되기 때문이다.

그러므로 본 논문에서는 WSN에서 이동 싱크까지의 데이터 전달에 있어 에너지 효율을 높게 하고 신뢰성을 지원하기 위해 연결 품질과 에너지 상태 정보를 기반으로 한 멀티 패스 프로토콜을 제안한다. 노드의 활동량이 많고 효율성이 좋은 멀티 패스를 생성하기 위하여 제안 방안은 센서 노드들의 연결 품질과 에너지 상태를 다음 전송 노드들의 결합체인 멀티 패스를 구성하기 위해 사용하는 특정 한계점보다 더욱 중요시하게 사용한다. 활동량이 좋은 멀티 패스는 연결의 상태가 좋지 않거나 에너지 고갈에서 발생한 연결 또는 노드의 실패에서 일어난 경로 재구성을 예방한다. 또한, 제안된 프로토콜은 싱크의 움직임으로 인해 멀티 패스를 재구성할 때 전역 경로 구성이나 지역 수정 방식을 사용한다. 전역 경로 구성이나 지역 수정 방식은 에너지를 효율적으로 사용하여 멀티 패스를 재구성할 때 우리의 분석 모델링을 기반으로 하여 전역, 지역 재구성 여부를 결정한다. 다양한 상황에서 수행된 시뮬레이션 결과는 제안된 프로토콜이 데이터 전송률 관점이나 지연, 에너지 소비나 에너지 사용 균형에서 기존의 프로토콜보다 더 나은 성능을 보여준다. 이 논문은 다음과 같이 구성된다. Section II는 제안된 프로토콜에 대해 자세히 기술하고 Section III는 시뮬레이션 결과를 이용해 제안된 프로토콜의 성능을 평가하고 Section IV에서 결론을 내린다.

II. 제안 방안

2.1 배경 및 동기

기존의 멀티 패스 라우팅 프로토콜은 연결 품질이나 센서 노드의 에너지 레벨을 고려하지 않고 멀티 패스를 구성해왔다. 그래서 만약 멀티 패스가 낮은 에너지 레벨 노드로 구성되어 있다면 노드에 급속한 에너지 고갈이 발생하여 네트워크 수명을 단축하게 된다.

만약 멀티 패스가 낮은 연결 품질 노드로 구성되어 있다면 경로 실패 확률이 증가하여 멀티 패스의 재구성이 빈번하게 일어날 것이다. 또한, 노드의 에너지가 고갈될 수도 있다. 더 나아가 기존의 프로토콜은 복잡한 알고리즘을 사용하는 센서 노드의 과정에 높은 오버헤드를 요구하며 에너지 효율성이 떨어지게 된다. 그렇지만 이러한 복잡한 알고리즘을 통하여 기술의 다양성과 결합할 수 있으며 싱크 움직임을 보조해 주기 위한 멀티 패스 재구성에 에너지를 효율적으로 제공하여 줄 수도 있다. 그러므로 제안된 프로토콜은 연결 품질과 에너지 레벨 정보를 기반으로 한 멀티 패스 구성 방식을 사용하고 멀티 패스 활용도 저하를 개선하고 센서 노드의 에너지를 분산하여 사용할 수 있도록 한다. 제안된 프로토콜은 센서 노드가 무분별하게 사용되고 있을 때 주어진 알고리즘을 통하여 노드 선택을 이용해 에너지 효율을 향상 시키고 에너지 소비 비율을 줄이기 위해 멀티 패스가 재구성될 때 하나의 알고리즘을 사용한다. 제안된 프로토콜은 더욱 정확한 노드 선택 알고리즘을 수행하고 실행 복잡도가 낮은 방법을 사용하여 노드 선택의 폭을 유연하게 제공하기 위해 threshold 개념을 사용한다.

2.2 네트워크 모델 및 프로토콜 개요

제안된 프로토콜을 설명하기 전에 사용하는 WSNs 개요에 대해 간단히 설명하자면, WSNs는 2차원 평면 센서에서 유한개의 노드를 가지고 있고 무작위로 배치된 센서 노드로 구성된다. 모든 센서 노드는 센서 노드의 인터넷 GPS 디바이스와 다른 지역화 정보 프로토콜에 의해 각자 지역 정보를 얻을 수 있다.^[12,13]. 게다가 멀티 패스를 위한 노드의 에너지 효율을 계산하기 위해 노드는 비콘 시그널에 대한 노드의 에너지 레벨과 지역 정보를 주기적으로 교환한다. 그러므로 노드는 데이터 전달 비율에 기반을 둔 이웃 노드의 링크 품질을 측정한다^[14]. 이 논문에서는 기본 경로와 대체 경로로 구성된 멀티 패스를 제안한다. 기본 경로와 대체 경로로 구성된 멀티 패스는 하나의 경로 프로토콜에서 경로 전달 실패가 일어나면 긴 경로 재구성 시간을 해결할 수 있는 방법이다. 왜냐하면, 대체 경로는 기본 경로의 실패가 일어날 때 지연시간 없이 데이터를 전송해 줄 수 있기 때문이다.

2.3 임계값 설정

기존에 존재하는 방안들은 주 경로와 보조 경로를 생성하기 위해 소스로부터 목적지까지 일직선 상의 하나의 가상의 선을 노드 테이블 상에 그려놓고 그 가

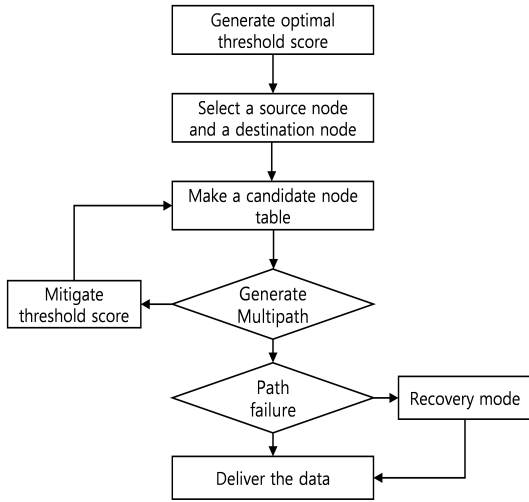


그림 1. 제안 방안 흐름도
Fig. 1. Flow chart of the proposed protocol

상의 선을 기준으로 위쪽으로 가까운 노드들 그리고 아래쪽으로 가까운 노드들을 각각 따로 연결하여 경로를 생성하는 방안을 택하였다. 그러므로 이런 가상 라인을 대신하기 위해 제안된 프로토콜은 소스와 목적지 사이에 있는 노드 중 조금 더 신뢰성 있는 노드를 선택하기 위해 노드 테이블 상에 가상 공간을 생성하고 threshold 세팅을 통해 이 구역에 있는 노드를 선택하게 된다. 각 노드는 방향에 상관없이 다양한 등급을 가지고 있으므로 기존의 가상 라인 세팅을 통해 노드 주변의 라인을 선택하는 방법은, 상태가 좋은 노드를 놓칠 가능성이 있다. 그러므로 제안된 프로토콜은 이동방향뿐만 아니라 반대 방향으로도 좋은 상태 노드를 검색하는 방법을 선택했다. 첫 번째 노드 선택은 소스에서 목적지까지의 경로를 만들기 때문에 중요하다. 손실이 적고 효율적으로 경로를 만들기 위해 여러 방향을 고려한 노드 선택 알고리즘을 가져야 한다. 그러므로 제안된 프로토콜은 최소한의 손실로 높은 효율을 내기 위해 이동하는 방향에서 통신 반경의 절반과 이동하는 방향의 반대 방향의 통신 반경 1/5을 사용하여 가상 라인을 대신한다. 제안된 프로토콜은 멀티 패스에서 노드를 선택하기 위해 경로 설정 지역을 나누어 각 생성된 경로 들이 교차점을 생성하지 않게 세팅 한다.

제안된 프로토콜은 각 센서의 통신 반경을 이용하여 구역을 나눈다. 이런 영역 구성은 다음을 전제로 한다. 노드의 통신 반경을 이용한 하나의 영역에는 적어도 하나의 N 노드가 존재하고 오직 하나의 경로만이 각 영역에서 생성되고 영역을 설정한 후에 경로가

설정된다. 경로 세팅의 첫 번째 단계는 Threshold 설정이다. 이 설정은 노드들의 파워 상태 그리고 통신 연결 상태 그리고 노드들이 배치 분포도의 상태를 최대치 100점으로 점수화하는 방법을 통하여 설정하게 된다. 이 설정 방법에 들어가는 힘을 기반으로 한 우선순위 큐 알고리즘은 threshold score의 크기를 오름차 순으로 정렬한다. 이것을 다른 말로 하면 이런 노드를 후계자라고 부르며 score가 낮은 후계자는 하나 하나 제거 되고 결국에 후계자의 수는 사용자가 알고리즘을 시작하기 전과 같게 된다. 그리고 모든 후계자는 오름차순으로 재배치 된다. 기본 경로와 대체 경로 두 개의 경로를 구성 하고 우선 순위가 높은 두 개의 노드를 선택해서 경로를 만들 때 시작 노드로 사용할 것이다. 만약 처음에 설정된 threshold 때문에 경로를 구성하기 어렵다면 threshold 값을 조정하거나 연속적으로 지역을 증가시켜서 아무런 문제 없이 경로를 구성하는 것이다.

노드 선택은 가상 공간에서 일어나고 기존 경로와 대체 경로는 가상 공간 내에 있는 노드로 구성된다. 노드 선택 과정을 사용해서 기본 경로와 대체 경로는 한 구역 이상의 예상을 벗어나지 않고 구성될 수 있는데 경로 실패가 발생했을 때 경로가 간결하고 효율적으로 복구를 수행하는 것을 도와주는 것은 두 경로 사이의 거리를 유지하기 때문이다. 노드의 표준 선택은 노드의 링크 품질과 에너지 효율 에 따라서 threshold 를 만족하는 노드로 구성된다. 가장 높은 품질의 노드를 선택함으로써 에러율이 감소하고 신뢰성이 증가하고 가상 공간에서 선택된 노드들 사이에 공백 영역이 발생할 확률을 줄이는 것은 경로 재구성성의 효율성의 문제 중 하나이다. 경로 구성은 다음 장에서 기술 하겠다.

2.4 경로 건설

기존의 경로 구성과는 달리 노드는 threshold를 만족하는 두 개의 시작 노드가 선택되고 이 점에서 신뢰성에 관한 경로의 정보는 각 노드의 링크 품질과 에너지 효율에 따른 점수로 설정되고 이 점수를 통하여 threshold가 각 상황에 따라 설정된다. 이런 점수는 링크 품질이나 에너지 효율에 의해 100점 만점으로 계산될 수 있고 점수의 비율은 5:5이지만 이 비율은 토 폴로지, 지역적인 문제점, 다양한 환경에 의하여 바뀔 수 있다. 계산된 점수를 사용하여 가상 공간에 있는 노드와 매치 되는지 확인하고 시작 노드로 사용되는 두 개의 노드는 목적지로 데이터를 보내기 전에 선택되며 서로 교차하지 않는다. 첫 번째 시작 노드가 선택되었을 때, 방향 영역과 가상 공간에서 첫 번째 시

작 노드를 제외한 threshold 점수를 만족하는 모든 노드는 다음 선택 후보자 노드가 된다. 만약 노드가 threshold 점수를 만족하지 못한다면 제안된 프로토콜은 새로운 경로를 생성하는데 back pressure, Threshold 재설정 또는 이전보다 높은 효율을 가진 노드들을 선택하기 위하여 노드 테이블의 정보를 새롭게 다시 얻는 것 통해 가상공간을 재설정하게 된다.

2.5 경로 건설

2.5.1 지역적 경로 재구성

기존 경로에서 싱크의 움직임이 발생했을 때 경로의 재구성은 모바일 싱크(M.S)로부터 이동 전에 있는 위치인 원래의 위치로 생성한다. 요점은 경로의 재구성이 기존 싱크의 위치에서 시작하지 않고 M.S에서 시작한다는 것이다. 게다가 다리 경로(B.P)는 기존의 경로와 새로운 경로 사이를 연결하고 싱크의 움직임에 의해 만들어져 에너지 소비 비율과 노드의 선택 지연 시간을 줄인다. 멀티 패스는 이동하기 전 M.S에서부터 기존의 싱크 위치까지 재구성한다. 그 이유는 싱크가 이동한 곳에서 경로 생성을 실행하는 것이 싱크가 이동하기 전의 지점에서 경로를 생성하는 방법보다 효율적이기 때문이다. 게다가 싱크가 이동한 뒤에 노드를 선택하는 것은 높은 비용을 소모하지 않는다. 노드들의 데이터 정보를 얻어온 후 전체 경로를 완성하고 데이터 전달을 하기 위하여 새로운 경로와 브리지 경로를 연결하는 작업을 수행해야 한다. 자세히 말하면 좋은 품질과 효율적인 노드를 선택하는 것은 움직이기 전의 노드의 통신 환경의 1/4 안의 threshold score이고 새로운 경로의 멤버가 될 노드를 선택하고 기존에 있던 두 개의 경로로부터 2개의 노드(N1, N3)를 만들고 새로운 경로로부터 2개의 노드(N2, N4)를 만든다. Src부터 M.S까지의 새로운 멀티 패스는 경로 상에서 각 두 개의 노드 연결로 두 개의

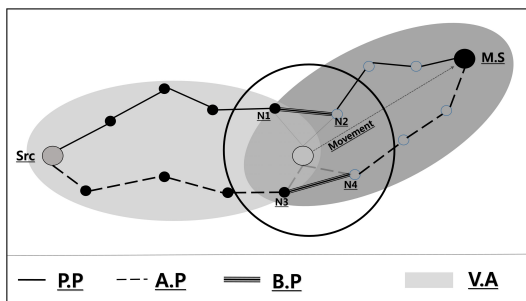


그림 2. 지역적 경로 재구성 방안
Fig. 2. Local Reconstruction

B.P가 만들어진 후에 구성되고 노드들은 쌍을 만든다. 그 결과 Src부터 M.S까지 멀티 패스를 구성하는 것 대신에 반대 방향에서 shifted position을 사용하므로 더 나은 차이점을 볼 수 있다. 그리고 이러한 방법을 통하여 노드의 오버헤드, 지연시간 에너지 소비를 줄이게 된다.

2.5.2 전역적 경로 재구성

Local reconfiguration 상에서는 경로를 재구성하는데 있어서 효율이 떨어지는 긴 경로 또는 오버헤드가 많이 발생하는 경로를 재생성 하는 상황이 존재한다. Fig. 1 같이 지속해서 지역 재구성 경로를 만드는 것은 에너지 효율에 유용하지 않다. 만약 기존 경로의 길이 총합이 새로운 경로의 길이 보다 길다면 Fig. 2 같이 전역적 재구성을 수행한다. 전역적 경로 재구성에서 기존 경로 길이의 총합과 새로운 경로 길이를 비교하는 것은 로컬 재구성을 하는 것보다 우선순위가 높다. 전역적 재구성이 진행될 때 경로를 만들고 노드를 선택하는 방법은 위에서 언급한 경로 구성을 기반으로 한다.

2.6 경로 실패 시 복구 방안

2.6.1 단일 홉 경로 실패 복구 방안

만약 한 홉 내에서 경로 실패가 발생하면 실패가 발생한 홉 내에서 경로를 재구성한다. 이전 홉에서 back pressure 작업을 할 때 threshold score를 이용하여 처음에 설정했던 노드를 다시 선택한다. 이전 작업에서 실패한 노드는 재검색 후보자에서 제외하고 새로운 후보자는 우선순위가 매겨져 우선순위가 가장 높은 threshold score의 노드는 경로 재구성을 위해 선택된다. 이 시점에서 만약 기본 threshold score 노드가 없다면 threshold score는 낮아질 수 있고 노드의 선택 폭을 넓게 만들 수 있다.

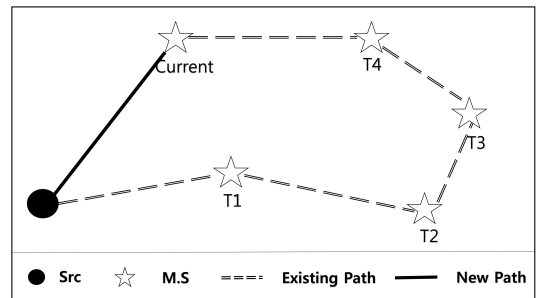


그림 3. 전역적 경로 재구성 방안
Fig. 3. Local Reconstruction

2.6.2 전체 경로 재구성 방안

때때로 위에서 언급한 과정을 하기 어려운 한 홉 재구성성이 있다. 만약 하나의 경로가 실패 상황을 만들어서 하나의 홉 재구성성의 back pressure 작업이 진행되었으나 여전히 경로를 만들 노드가 없거나 threshold가 2배나 뛰었다면 여전히 높은 에너지 레벨과 효율이 높은 노드는 존재하지 않는다. 제안된 프로토콜은 모든 노드가 있는 전체의 경로를 재구성한다. 이것의 첫 단계로 처음 시작 노드를 선택하고 노드가 선택되었을 때 위에서 언급한 노드 구성 방법에 따라 노드를 구성한다. 이전의 방법과의 차이점은 첫 번째 경로 방향은 우리가 사용할 수 있는 노드가 없으므로 다른 시작 노드를 사용하고 목적지까지 다른 방향을 선택해야 한다.

III. 성능 분석

이번 장에서 우리는 REER^[6]의 결과에 대한 예시를 들 것이다. REER은 프로토콜에 에러가 발생했을 때 마다 새로운 멀티 패스를 구성한다. 또한, REER은 싱크 이동을 고려하지 않으며 이러한 이동성 고려 부재로 인하여 싱크 이동 발생시 이동한 위치에서 계속하여 목적지를 찾기 위하여 멀티 패스 생성을 위한 패킷을 발생시키고 Overhead를 발생시켜 제안된 방안보다 효율이 떨어지게 된다. 제안된 프로토콜은 멀티 패스를 구성할 때 전역적 재구성과 지역 재구성 두 개의 재구성으로 이루어져 있다.

3.1 실험 모델과 성능 분석 항목

제안된 프로토콜과 REER를 구성할 것이다. 평가는 NS-3 Ver.3.23에서 수행되었다. 네트워크 설정은 1 이동 싱크와 150 센서 노드가 균일하게 분포되어있다. 센서 노드의 에너지 모델링은 MICA를 사용하였다. 센서 노드의 범위는 12m이며 송수신 에너지 소모는 각각 42mW, 29mW이다. 제안된 프로토콜과 REER은 센서 네트워크에 적합한 프로토콜인 IEEE 802.15.4 표준 프로토콜을 사용한다. 이동 싱크의 이동성 모델은 무작위로 모델링 작업을 수행하고 제안된 프로토콜의 성능 평가에 사용되었다. 이동 싱크는 2초마다 지역 정보를 지역 서버에 기록한다. 소스 노드는 정적 할당이고 다른 노드의 정보는 2초마다 싱크 지역 서버를 통해 알 수 있다. 각 멀티 패스의 최대 홉 수는 15 홉이다. 제안된 프로토콜의 성능 평가를 위해서 에너지 소비, 데이터 전송 비율을 비교하고 멀티 패스의 수명을 늘리기 위해 노드를 균일하게 사용

하는 방법에 대해 초점을 맞출 것이다.

3.2 실험 결과

Fig. 4 제안된 프로토콜과 REER의 전체 경로의 에러 비율에 따른 총 전송 비용을 보여준다. REER은 경로 생성과정에서 싱크 이동이 발생했을 때 기존 경로를 재구성 하지 않고 모든 노드의 상태 정보를 요구한다. 제안된 프로토콜에서는 이전 노드가 효율성과 에너지에 관하여 사용되고 재검색 없이 경로 생성 과정에서 싱크 이동이 발생했을 때 두 개의 재구성 단계가 있다.

그러므로 에러 비율이 증가하면 REER과 비교하여 총비용이 개선될 수 있다. Fig. 5는 에러율에 대한 생성된 경로의 신뢰성을 보여준다. 비록 에러율이 낮을 때는 제안된 프로토콜과 REER은 비슷한 신뢰도를 보여주지만, 에러율이 증가 할수록 기존의 방법보다 나은 신뢰도를 보여준다. 초기의 경로를 만드는 과정에서 제안된 프로토콜의 노드 선택 범위가 넓어서 제안된 프로토콜은 더 나은 노드를 고를 수 있고 REER보다 높은 신뢰성과 에너지 효율을 가질 수 있다. 제안된 프로토콜은 싱크 이동이 발생했을 때 이동된 싱

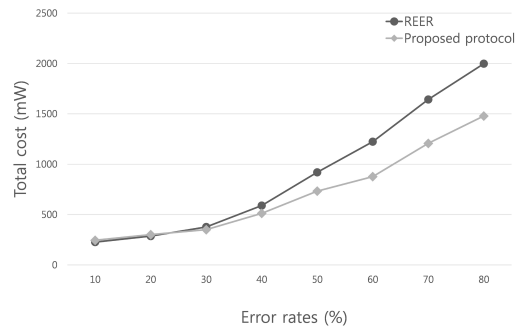


그림 4. 에러율에 따른 전체 에너지 소모량
Fig. 4. Total energy cost for the error rates

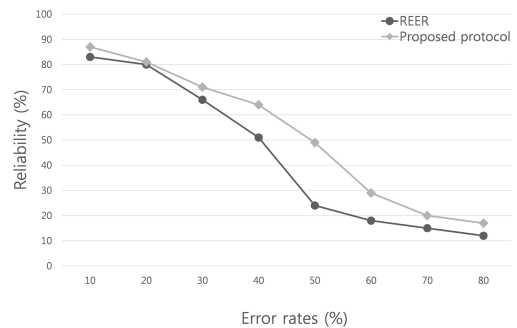


그림 5. 에러율에 따른 전체 경로 신뢰율
Fig. 5. Path Reliability for the error rates

크의 위치를 알기 위하여 전역적 재구성과 지역 재구성 두 가지의 재구성 단계를 가지고 있다. 위에서 언급한 모든 과정을 통해 제안된 프로토콜의 경로 신뢰성이 REER 보다 낮다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6의 총 노드 사용률은 싱크가 10회 움직였을 때 사용된 노드의 수를 말한다. 이 그림에서 제안된 프로토콜은 기존의 방법보다 나은 노드 사용률을 보여줍니다. 제안된 프로토콜은 높은 잠재력을 가진 노드를 놓치지 않기 위해서 다른 에너지와 상태를 가진 다양한 노드를 사용하기 때문이다. 더 나아가 제안된 프로토콜이 경로의 수명을 길게 할 수 있는 이유로 첫 번째는 노드 선택 단계에서 제안된 프로토콜은 넓은 노드 선택 범위를 가지고 있어 어떤 방향도 문제없이 높은 잠재력을 가진 노드를 사용할 수 있다. 두 번째로 제안된 프로토콜은 더 나은 노드를 선택하기 위해 threshold 이론을 사용한다. 또한, 싱크 이동이 발생했을 때 재구성을 줄일 수 있는 두가지 방법을 가지고 있다. 게다가 제안된 프로토콜은 우선순위 알고리즘을 사용하여 높은 잠재성 에너지와 신뢰성 있는 노드를 선택한다. 우리는 제안된 프로토콜의 사용률이 REER 보다 낮다는 것을 알 수 있다. Fig. 6은 10번의 시뮬레이션을 통해 각 경로의 노드의 수에 따라 사용되고 사용되지 않은 노드 사이의 평균 에너지 편차가 얼마나 다른지 보여준다. 일반적으로 효율이 높은 토폴로지는 에너지 측면에서 다양한 노드를 동등하게 소비해서 노드의 수명이 좋은 것을 말한다. REER은 threshold 이론을 사용하지 않고 노드가 고갈될 때까지 경로를 절대로 바꾸지 않고 사용하고 싱크가 매번 움직일 때도 다음을 예측하지 않고 지속해서 우선순위가 높은 노드를 사용한다.

그렇지만 제안된 프로토콜은 threshold 이론과 높은 신뢰성과 효율이 높은 다양한 노드로 높은 우선순

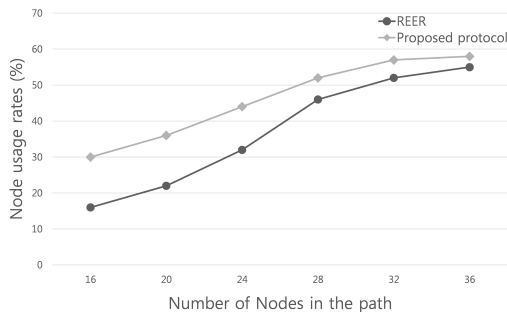


그림 6. 경로상의 노드 수에 따른 전체 노드 사용률
Fig. 6. Nodes usage rates for the number of nodes in the path

위 선택을 통해 노드를 사용한다. 전반적인 에너지 변화 관점에서 제안된 프로토콜이 동등한 에너지 소비 관점에서 더 나은 효율을 가지는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 평균 링크 품질에 따른 데이터 전달 비율을 보여준다. 그래프에 보이는 것처럼 평균 링크 품질 범위가 0.4~0.8일 때 전송률의 차이가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 제안된 프로토콜의 데이터 전송률이 링크 품질 0.2에서 REER 보다 낮은 이유는 우선 순위 때문이다. 링크 품질의 낮은 레벨에서 제안된 프로토콜은 경로의 수명에 초점에 맞춰 threshold 이론과 노드의 좋은 에너지 레벨을 사용하지 REER은 노드의 수명을 위한 어떤 예측도 없이 단지 전송률에만 초점을 맞추기 때문에 처음에는 REER이 제안된 프로토콜 보다 더 낮게 보인다

Fig. 9는 연결 품질에 따른 총 지연시간을 볼 수 있다. 제안된 프로토콜은 총 지연 시간의 20% 정도를 개선 시킨다. 제안된 프로토콜은 넓은 범위의 노드 선택 알고리즘을 가지고 있고 높은 잠재력을 가진 노드를 선택하기 위해 노드 선택 알고리즘은 다양한 방향과 threshold 이론을 포함하고 있다. 게다가 제안된 프로토콜은 이전에 언급한 노드 선택 과정에서 높은 잠

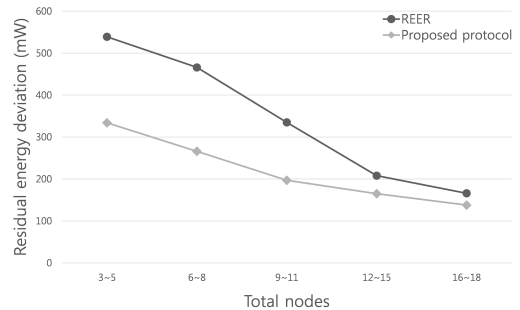


그림 7. 전체 노드 수에 따른 에너지 표준 편차
Fig. 7. Residual Energy deviation of nodes for total nodes in the path

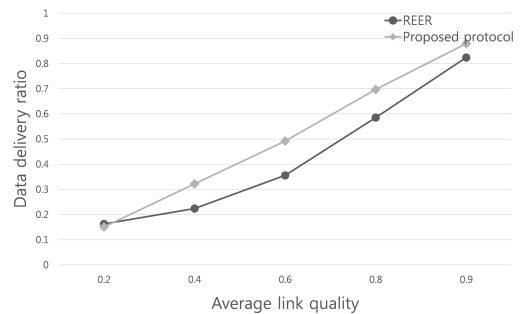


그림 8. 평균 링크 품질에 따른 전송률
Fig. 8. Delivery ratio for average link quality

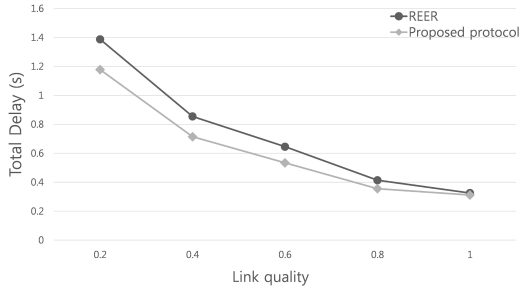


그림 9. 링크 품질에 따른 전체 딜레이
Fig. 9. Total delay for link quality

재력을 가진 노드를 사용해 경로의 수명을 더 길게 만들고 높은 데이터 전송률을 가지게 한다. 제안된 프로토콜은 경로의 재구성을 위해서 싱크의 위치 움직임에 의해 결정된 전역적 재구성과 지역 재구성 두 가지 재구성 방법을 사용하기 때문에 노드의 에너지 낭비를 하지 않게 한다. 그 결과 제안된 프로토콜은 REER 보다 전반적이 지연을 줄이는 측면에서 더 효과적이라는 것을 보여 준다.

Fig. 10은 연결 품질에 따른 총 구성 노드들의 에너지 소모율을 볼 수 있다. 제안된 프로토콜은 이동성을 지원하기 위하여 Threshold와 Bridge paths를 통하여 기존의 경로와 새롭게 생성된 경로를 효율적으로 연결해 줌으로써 싱크가 이동하더라도 연결 품질을 유지하며 기존에 존재하는 경로들을 이용하여 이동된 싱크로의 경로를 생성 유지해준다. 반면에 REER 프로토콜은 싱크가 이동함에 따라 지속해서 싱크의 위치로 새롭게 경로를 생성하기 때문에 연결 품질이 저하되어 최초로 생성된 경로로 데이터 전달이 원활히 이루어지지 않을 때 다중 경로를 지속해서 생성하기 때문에 에너지 낭비를 초래하여 제안된 방안보다 약 15~25% 가까운 에너지를 더 소모하게 된다.

Fig 11은 필드 내의 150개의 센서 노드가 모두 90%의 데이터 전송 성공률을 가지고 있고 각 경로가

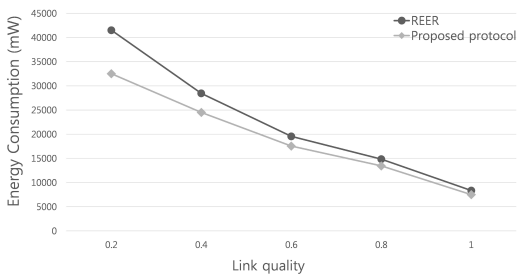


그림 10. 링크 품질에 따른 전체 에너지 소모량
Fig. 10. Total Energy consumption for link quality

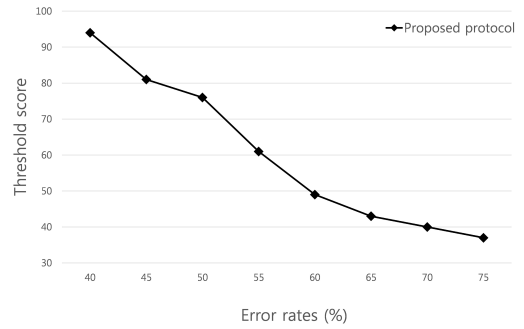


그림 11. 전체 에러율에 따른 임계값
Fig. 11. Error rates for the threshold score

10개의 노드를 이용하며 2개의 다중 경로를 생성했을 때 Threshold 점수에 따른 제안 방안 전체 경로의 Error rates를 나타내고 있다. REER을 같은 상황에서 시뮬레이션을 실행 하였을 때 전체 경로의 에러 발생 확률은 53%가 발생하였다. 이는, 제안 방안의 Threshold score 가 약 60점대 었을 경우에 해당하는 에러 확률을 나타내며, 제안 방안에서 Threshold score를 60점 이상 설정 하였을 경우 REER 보다 평균적으로 35%정도의 성능 향상을 나타낸다. Threshold score 가 90점을 넘기기 위해선 이상적으로 모든 노드들이 거의 100프로에 가까운 전송 성공률과 충분한 에너지가 있다 가정해야 한다. 그렇기 때문에 실제 성능 향상 폭은 20프로에 근접한다.

IV 결 론

이 논문에서는, 멀티 패스에서의 노드의 에너지 정보와 노드의 링크 품질을 이용해서 멀티 패스를 효과적으로 구성하고 WSNs에서 싱크의 이동성을 지원해주는 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 이동성이 발생하였을 때 노드 선택 과정과 전역적 재설정 그리고 지역적 재설정을 통한 경로 재설정 과정에서 있어 NS-3시뮬레이션을 통하여 에너지적 효율 측면과 노드들의 고른 사용을 통하여 전체적인 토폴로지의 성능 향상을 보여준다. 또한 이러한 다양한 상황에서의 시뮬레이션 결과는 제안된 프로토콜이 에너지 소비 효율 측면, 데이터 전송률, 지연 시간 부분에서 전반적으로 REER보다 우수하다는 것을 보여준다.

References

[1] I. Akyildiz, W. Su, and E. Cayirci, "A survey

- on sensor networks,” *IEEE Commun. Mag.*, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] D. Puccinelli and M. Haenggi, “Wireless sensor networks: Applications and challenges of ubiquitous sensing,” *IEEE Cir. and Syst. Mag.*, 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 Conf. Technol. for Homeland Secur.*, Waltham, MA, May 2008.
- [5] D. Ganesan, et al., “Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks,” *Mob. Comput. and Commun. Rev.*, vol. 1, no. 2, 2001.
- [6] B. Yahya and J. Ben-Othman, “REER: Robust and energy efficient multipath routing protocol for wireless sensor networks,” in *Proc. IEEE Globecom*, pp. 1-9, Honolulu, Hawaii USA, Nov. 2009.
- [7] 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,” *J. Comput. Networks and Commun.*, vol. 2013, Article ID 791097, p. 13, 2013.
- [8] H.-W. Oh, J.-H. Jang, K.-D. Moon, S.-C. Park E.-S. Lee, and S.-H. Kim, “An explicit disjoint multipath algorithm for Cost efficiency in wireless sensor networks,” *21st Annu. IEEE Int. Symp. Pers., Indoor and Mob. Radio Commun.*, pp. 1899-1904, Sept. 2010.
- [9] E. B. Hamida and G. Chelius, “Strategies for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 15, no. 6, pp. 31-37, Dec. 2008.
- [10] R. Pazzi, D. Zhang, A. Boukerche, and L. Mokdad, “E-TRAIL: Energy-efficient trail-based data dissemination protocol for wireless sensor networks with mobile sinks,” in *Proc. IEEE ICC*, pp. 1-5, Kyoto, Japan, 2011.
- [11] C. Intanagonwiwat, et al., “Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networking,” in *Proc. ACM MobiCom*, pp. 56-67, Rome, Italy, 2004.
- [12] S. Han, S. Lee, S. Lee, J. Park, and S. Park, “Node distribution-based localization for large-scale wireless sensor networks,” *Springer Wireless Networks*, vol. 16, no. 5, pp. 1389-1406. 2010.
- [13] A. Kannan, B. Fidan, and G. Mao, “Use of flip ambiguity probabilities in robust sensor network localization,” *Springer Wireless Networks*, vol. 17, no. 5, pp. 1157-1171, 2011.
- [14] Q. Chen, S. Kanhere, and M. Hassan, “Adaptive position update for geographic routing in mobile ad hoc networks,” *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 12, no. 3, pp. 489-501, 2013.
- [15] NS Project. (Oct. 2016) ns-3 2.23 [Online] Available: <http://www.nsnam.org/docs/release/3.23/doxygen>.
- [16] J. Hill and D. Culler, “MICA: A wireless platform for deeply embedded networks,” *IEEE MICRO*, vol. 6, no. 22, pp. 12-25, Nov.-Dec. 2002

신 용 제 (Yongje Shin)



2016년 : 충북대학교 정보통신공학부 (학사)
 2018년 : 충북대학교 전파통신공학 (석사)
 2018년~현재 : 충북대학교 전파통신공학 (박사과정)
 관심분야 : Vehicular Ad-hoc Networks, Wireless Sensor Networks, Routing, Mobility

박 수 창 (Soochang Park)



2011년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 (박사)

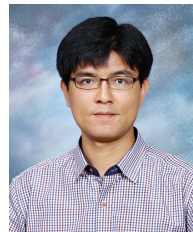
2012년~2016년 : HKUST-NIE Social Media Lab 연구원

2017년~현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 조교수

관심분야 : Social Networks, Cyber-Physical System, Mo-

bility, Routing Mobility Management, Qos in MANETs and WNS,

이 의 신 (Euisin Lee)



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