

논문 2016-53-4-10

모바일 애드혹 무선 센서 네트워크에서 RF 에너지 하베스팅 기반 라우팅 프로토콜

(A RF Energy Harvesting Based Routing Protocol in Mobile Ad-hoc Wireless Sensor Networks)

심 규 현*, 안 병 구**

(KyuHyun Shim and Beongku An[©])

요 약

본 논문에서는 모바일 애드혹 무선 센서 네트워크에서 RF 에너지 하베스팅 기반 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 주요한 특징 및 기여도는 다음과 같다. 첫째, 모바일 센서 노드의 잔여에너지와 RF 에너지 하베스팅을 기반으로 한 라우팅 경로 설정. 둘째, 네트워크 및 경로의 생존시간을 증가시키기 위해서 모바일 센서 노드들의 에너지를 기반으로 한 경로의 평균 가용성과 안정성을 고려하여 경로를 설정한다. OPNET을 사용한 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가 결과는 RF 에너지 하베스팅을 기반으로 하여 경로의 가용성과 안정성을 고려한 라우팅 방법이 경로의 라이프타임을 효과적으로 향상시키는 것을 확인 할 수 있음을 보여준다.

Abstract

In this paper, we propose a RF energy harvesting based routing protocol in mobile ad-hoc wireless sensor networks. The main features and contributions of the proposed routing protocol are as follows. First, establishment of routing route based on both remaining energy of mobile sensor nodes and RF energy harvesting. Second, establishment of routing route by considering availability and stability of route based on energy of mobile sensor nodes to increase lifetime of networks and route. The performance evaluation of the proposed routing protocol using OPNET shows that the routing method considering both route availability and route stability based on RF energy harvesting can increase efficiently route lifetime.

Keywords : RF Energy harvesting, Routing, Mobile Ad-hoc wireless sensor networks, Route life time

I. 서 론

무선 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드는 기술의 발전으로 소형화가 되어 가는 추세이다. 노드의 소형화로 인해서 노드는 배터리, 메모리 등의 부품에 제약이 생기기 시작 했다. 이러한 제약은 기술로 어느 정도 해

결이 가능하였지만 그럼에도 불과하고 노드를 장시간 사용하기 위해서는 제한된 배터리를 주기적으로 교체 하거나 혹은 에너지를 공급 해줘야 한다. 하지만 네트워크의 설치 위치 및 환경에 따라 노드의 배터리를 교체하거나 에너지를 공급하는 작업에는 많은 비용 및 노력이 소요된다. 이러한 문제로 인해서 배터리 교체 비

* 학생회원, 홍익대학교 스마트도시과학경영대학원 전보시스템전공
(Information System Graduate School of Smart City Science Management, Hongik University,)

** 평생회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
(Dept. of Computer & information Communications Engineering, Hongik University)

© Corresponding Author(E-mail: beongku@hongik.ac.kr)

※ This research was supported by the MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning), Korea, under the ICT/SW Creative Research program (IITP-2015-R2212150026) supervised by the IITP(Institute for Information & communication Technology Promotion).

Received ; February 16, 2016

Revised ; March 9, 2016

Accepted ; March 29, 2016

용 및 노력을 줄이기 위해서 무선 센서 네트워크 분야에서는 노드의 라이프 타임을 증가 시켜 장시간에 걸쳐서 네트워크를 운용할 수 있는 방법에 대해 많은 연구가 진행되고 있다.^[1~3]

이러한 연구 중 하나인 에너지 하베스팅은 노드의 에너지 소모를 줄이는 것 외에도 자연계에서 지금 사용하지 않으면 그대로 사라지는 자연 에너지를 이용하여 노드의 배터리를 자가 충전 시키는 기술이다. 이 기술을 이용하여 노드의 배터리를 교체하지 않고 주변의 에너지를 이용하여 배터리를 자가 충전 하는 것이 가능하여 기존보다 장시간 노드를 운용이 가능하여 네트워크의 라이프 타임을 향상시키는 것이 가능 해졌다.

본 논문에서는 에너지 하베스팅이 가능한 모바일 애드혹 무선 센서 네트워크에서 RF 에너지에 의한 에너지 충전 환경을 구현하고 노드의 에너지를 인지하고 노드의 라이프 타임을 향상시켜 장시간 네트워크를 운용할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 관련연구에 대해서 설명한다. 제안된 라우팅 프로토콜은 제 III장에서 자세히 설명한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 성능 평가는 제 IV장에서, 결론은 제 V장에서 이루어진다.

II. 관련 연구

본 장에서는 본 연구와 관련된 On Demand 방식의 Direct Diffusion 라우팅 프로토콜과 에너지 하베스팅 환경에서 사용할 수 있는 라우팅 프로토콜 및 관련 연구들을 설명한다.

DD(Direct Diffusion)^[4]은 목적지로 데이터를 전송하기 위해서 먼저 싱크는 전달 받기 위한 데이터를 먼저 네트워크의 각 노드에 전송을 한다. 이때 각 노드가 전달 받는 데이터를 흥미 데이터라고 한다. 흥미 데이터를 전달받은 노드는 자신에게 인터레스트를 전달 해준 노드 중 전파 지연이 적고 주변 노드로부터 많은 흥미 데이터를 받은 노드를 경사도(gradient)로 설정한다. 각 노드는 흥미 데이터를 네트워크의 모든 노드가 전파 되도록 플러딩하고 또한 그 역경로를 경사도로 설정한다. 이렇게 함으로써 해당 네트워크의 노드는 흥미 데이터를 기반으로 싱크가 원하는 데이터를 얻게 될 시 경사도를 기반으로 싱크로 데이터를 전송하는 것이 가능하다. 이렇게 설정된 경로로 데이터를 전송할 때 마다 해당 노드는 해당 경로에 대해 강화를 하여 경로에 대한 신

뢰도를 높이게 된다. 이렇게 신뢰를 높이며 상대적으로 강화가 많이 된 경로를 통해 노드는 싱크로 데이터를 전송하게 된다.

AODV-EHA(Ad-hoc On Demand Vector - Energy Harvesting Aware)^[5]은 경로를 찾는 과정은 기존의 AODV와 동일하다. 다만 AODV의 경우 목적지에서 수많은 경로 중 하나를 선택할 때 소스와 목적지 사이의 홉 수를 기준으로 결정 하였다면, 해당 프로토콜은 소스에서 목적지까지 데이터를 전송하는데 사용되는 전송 에너지 비용을 고려하여 경로를 선택한다. 그렇기 때문에 해당 프로토콜을 이용하게 되면 경로의 이용 홉 수는 증가 될 수 있으나 경로의 센서들의 에너지 소모율은 감소되어 데이터를 전송하는데 있어 센서의 에너지 소모를 줄일 수 있게 된다.

Energy Harvesting Wastage-Aware 라우팅^[6]은 앞서 설명한 AODV-EHA가 전송 시 사용되는 에너지를 계산하여 에너지 소모를 줄이는 방향으로 경로를 설정하지만 해당 프로토콜은 센서의 데이터 전송 시 사용되는 에너지소모와 배터리 과 충전에 의해 생기는 에너지 낭비를 고려하였다. Energy Harvesting Wastage-Aware 라우팅 프로토콜에서는 경로를 설정할 때 Dynamic Source Routing 기법에 Energy Harvesting Wastage-Aware를 함께 고려하였다. 이를 고려한 라우팅 프로토콜은 경로를 설정할 때에 에너지 낭비를 최대한으로 줄여서 해당 경로를 설정하고 이용할 때에 네트워크에서 낭비되는 에너지와 전송 시 소모되는 에너지를 줄이면서 효율적인 데이터 전송을 가능하게 한다.

DEHAR(Distributed Energy Harvesting Aware Routing)^[7]은 홉 카운트와 에너지를 기반으로 새롭게 패널티라는 변수를 설정하여, 패널티가 낮은 경로를 데이터 통신을 하는데 사용하는 경로로 설정되게 설계한 프로토콜이다. DEHAR은 노드의 에너지 잔량을 거리 패널티로 새롭게 계산하고, 주변의 노드의 패널티를 기반으로 각 이용 센서와 패널티의 차이를 줄이기 위한 분산 패널티를 고려하여 경로를 이용하는데 있어서 특정 노드의 에너지 차이가 큰 구역을 피해서 경로를 설정하여 데이터를 전송한다.

RF Energy Harvesting^[8]은 주변 RFID 시스템의 리더 안테나에서 방사되는 RF에너지를 활용하여 노드의 배터리를 충전하는 기술이다. 이 기술을 활용하면 RFID 시스템 근처에서 사용되지 않고 사라지는 잉여 에너지를 이용하여 노드의 배터리를 충전하여 노드의 가동시간을 향상시켜 네트워크의 라이프 타임을 향상시

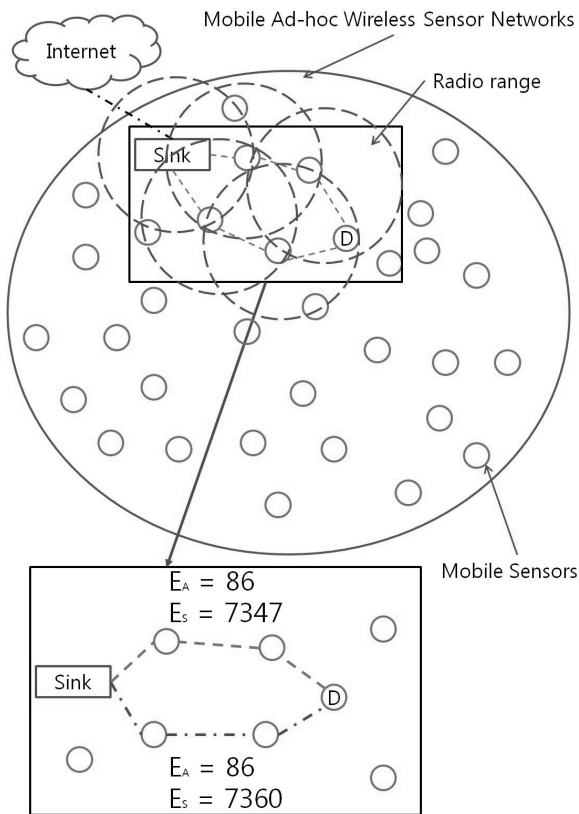


그림 1. 제안된 RF 에너지 하베스팅 기반 라우팅 프로토콜의 기본 개념
Fig. 1. The basic concepts of the proposed RF energy harvesting based routing protocol.

키는 결과가 나오게 된다.

RF 에너지 하베스팅을^[9] 통신과 동시에 진행하기 위한 연구도 진행되고 있다. 이러한 연구를 통해서 별도의 충전 시간을 갖고 충전만 하는 것이 아니라 통신을 진행하면서 에너지가 필요로 하게 되면 통신과 동시에 에너지를 충전하는 기법에 대해서도 연구가 진행되고 있다.

III. 제안된 RF 에너지 하베스팅 기반 라우팅 프로토콜

본장에서는 먼저 제안된 라우팅 프로토콜에 대한 기본 개념과 이론적인 설명을 하고, 그리고 알고리즘에 대한 설명을 자세하게 한다.

1. 기본 개념

그림 1은 제안된 RF 에너지 하베스팅 기반 라우팅 프로토콜의 기본 개념을 설명한다.

모바일 애드혹 무선 센서 네트워크(MAWSN)은 모

바일 센서 노드들과 싱크로 구성되어 있으며, 인터넷과 상호 연결 연동되어 있다. 제안된 라우팅 프로토콜은 싱크와 목적지 노드 사이에서 동작하는 프로토콜로서 경로의 라이프 타임을 향상시키기 위해서 센서의 잔여 에너지와 충전율 정보를 기반으로 센서의 가용성을 계산하고 이를 경로를 선택하는데 있어서 고려하였다. 여기서 가용성은 센서를 사용 가능한 정도의 기댓값이다. 따라서 가용성이 높은 센서는 다른 센서들과 비교하였을 때 높은 라이프 타임을 기대할 수 있다. 하지만 경로의 평균 가용성만으로는 경로 단절의 위험성을 갖는 경로상의 낮은 가용성의 센서의 유무를 구분이 불가능하다. 따라서 이를 구분하기 위해서 경로에 존재하는 센서들의 가용성을 곱의 값으로 나타내었을 때 가용성이 낮은 센서가 포함된 경로를 구분하는 것이 가능하다. 따라서 제안된 프로토콜에서는 먼저 경로의 평균 가용성을 계산하여 1순위로 경로를 선택한다. 다만 평균 가용성이 어떤 값 이상인 경로가 2개 이상 있는 경우 경로의 안정성도 계산하고 이를 고려하여 경로를 선택한다.

2. 이론적인 분석

제안된 라우팅 프로토콜에서 사용되는 주요 파라미터로는 센서의 가용성, 경로의 평균 가용성과 안정성이다.

$$E_A = (E_N P + C_N (1 - P)k) \quad (1)$$

$$E_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_N P + C_N (1 - P)k) \quad (2)$$

$$E_S = \frac{1}{N} \prod_{i=1}^N (E_N P + C_N (1 - P)k) \quad (3)$$

제안된 프로토콜에서 경로를 선택하기 위해서는 각 센서들의 가용성을 계산해야 한다. 이는 식 (1)을 이용하여 센서의 가용성을 계산할 수 있다. 식 (1)에서 E_N 는 센서의 잔여 에너지를 의미한다. C_N 은 센서의 단위 시간당 에너지 충전율을 의미하며, P 는 가용성에 대한 센서의 잔여 에너지와 충전율의 밸런스를 의미한다. P 가 1에 가까울수록 가용성은 센서의 잔여 에너지를 높은 비중으로 둘 것이고, 0에 가까운 수치는 센서의 에너지 충전율에 높은 비중을 두는 것을 의미한다.

식 (2)는 식 (1)을 이용하여 경로의 평균 가용성을 계산한 것이다. N 는 경로에 존재하는 센서의 수를 경로에 존재하는 센서의 가용성의 총합을 센서의 수로 나눔으로써 경로의 평균 가용성을 계산할 수 있다.

식 (3)는 식 (2)를 이용하여 경로의 평균 가용성을 계산하였을 때 가장 높은 평균 가용성을 가진 경로가 두 개 이상 존재하는 경우 경로들 중에 안정성이 높은 경로를 선택하기 위해서 경로에 존재하는 센서의 가용성의 곱을 계산하고 이를 다른 경로와 비교하여 보다 높은 안정성을 가진 경로를 선택한다.

3. 알고리즘 설명

제안된 라우팅 프로토콜의 알고리즘을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- **Step 1:** 소스노드(싱크)는 목적지노드로의 경로를 탐색하기 위해서 이웃노드로 Route Request(RREQ)를 브로드캐스트 한다. RREQ에는 소스 ID(싱크 ID), 목적지 ID, 임시경로 정보를 저장하여 전송한다. 임시 경로 정보에는 RREQ가 거쳐 온 노드의 ID, 노드의 잔여 에너지, 노드의 에너지 충전율이 저장된다.
- **Step 2:** RREQ를 받은 노드는 다음과 같은 동작을 수행한다. RREQ의 소스 ID, 목적지 ID, 임시 경로를 노드의 라우팅 테이블에 저장한다. RREQ를 수신한 노드가 목적지 여부를 확인한다. 수신 노드가 목적지인 경우 대기한다. 수신 노드가 목적지가 아닌 경우 수신 노드의 ID, 노드의 잔여 에너지, 노드의 에너지 충전율을 RREQ의 임시 경로에 업데이트 한 뒤 RREQ를 이웃노드로 브로드캐스트 한다.
- **Step 3:** 목적지 노드가 RREQ를 수신하면 목적지에서는 수신된 RREQ 정보를 이용하여 다음과 같은 동작을 수행한다. 수신 받은 RREQ를 토대로 싱크와 목적지 사이의 경로를 구성하는 센서들의 가용성을 라우팅 테이블에 저장된 임시경로 정보와 식 (1)을 이용하여 계산한다. 그 다음 식 (2)을 이용하여 경로의 평균 가용성을 계산한다. 경로들 중 가장 높은 평균 가용성을 가진 경로를 Route Reply(RREP)를 전송할 경로로 설정한다. 이 때 높은 가용성을 가진 경로가 두 개 이상 존재하는 경우(즉, 경로 가용성 값이 어떤 경계값 이상의 값을 가지는 경로가 두 개 이상 존재할 때) 식 (3)을 이용하여 경로들의 안정성을 계산하여 안정성이 가장 높은 경로를 RREP를 전송할 경로로 설정한다. RREP을 전송할 경로가 설정되면 RREP에 설정된 경로 정보, 소스 ID, 목적지 ID를 저장하여 소스노드(싱크)로 설정된 경로정보를 따라서 RREP를 전송한다.
- **Step 4:** RREP를 받은 노드는 다음과 같은 동작을 수행한다. RREP를 수신한 노드는 자신의 ID를

표 1. 시뮬레이션 환경

Table 1. Simulation environments.

Network Size	1 km × 1 km
No. of Sink Node	1
No. of Mobile Node	50
Random Way-point Mobility	speed : 0~ 60 km/h
	direction : 0~2π
Random Pause Time	0~10 sec
Radio Range	250 m
Capacitor	100 mW
Transmit/Receive Cost	1 mW
Charge rate	1~5 mW

RREP의 경로 정보와 비교하여 수신 여부를 확인하고, 다음과 같은 동작을 수행한다.

- ▷ 경로 정보에 자신의 ID가 있는 경우 RREP의 경로 정보를 노드의 라우팅 테이블에 업데이트 한다. 경로 정보에 자신의 ID가 없는 경우 RREP를 폐기하고 무시한다.
- ▷ RREP를 수신한 노드가 소스인지 여부를 확인 수신한 노드가 소스인 경우 해당 경로를 사용하여 목적지와 데이터 패킷 전송을 진행한다.
- ▷ 수신한 노드가 소스가 아닌 경우 다음 노드로 RREP를 전송하며, 소스가 RREP를 수신할 때 까지 반복 수행한다.

IV. 성능평가

1. 성능평가 환경

본장에서는 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가를 OPNET(Optimized Network Engineering Tool) 시뮬레이터를 사용하여 수행 한다. 표 1은 시뮬레이션 환경을 설명한다.

시뮬레이션을 진행한 네트워크 사이즈는 1km x 1km의 넓이로 설정하였고, 싱크(sink)를 제외한 노드들은 Random way-point mobility 방법으로 네트워크 내에서 이동한다. 싱크는 한 개의 단일 싱크이며, 모바일 노드는 50개를 배치하였다. Random way-point mobility에서 센서 노드들은 각각 무작위 위치를 목적지로 설정하고 노드는 목적지로 위치를 이동하는 특성을 갖는다. 이 때 센서는 다음과 같이 이동성이 결정된다. 먼저 목적지로 이동하기 위해 센서를 중심에서 360도(0~2π) 전 방향 중 목적지와 일직선을 갖는 방향으로 벡터 방향성을 가지며, 노드가 정해진 벡터 방향성으로 이동하기 위한 속도는 0~ V_{max} 사이의 무작위 속도로 설정

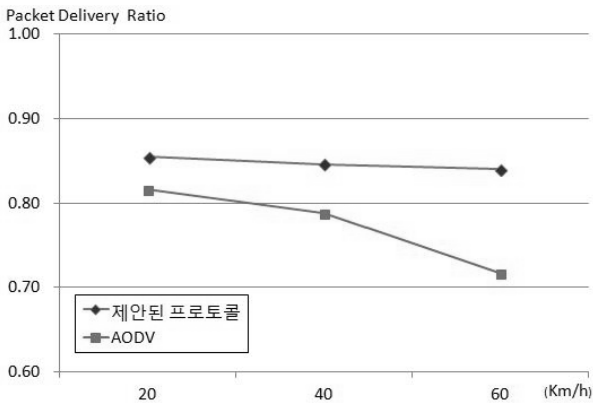


그림 2. 노드 이동성 함수로서의 PDR
Fig. 2. PDF as a function of node mobility.

된다. 이 때 V_{max} 는 60 km/h 으로 설정하였다. 모바일 노드는 설정된 목적지에 도착한 이후 0~10초 사이의 무작위 정지 시간(pause time)을 갖는다. 한 세션 설정 주기(session setup interval time)는 10~15초 사이에서 무작위로 설정되며, 데이터 전송은 지수분포에 따라서 소스노드(싱크)에서 데이터를 전송한다. 시뮬레이션에서 센서의 배터리는 100mW로 설정하였고 신호 전송 및 수신 시 1mW를 소비하며, 충전 시에는 1~5mW 사이의 무작위 값으로 충전이 된다. 마지막으로 센서의 가용성을 계산하는 식(1)을 계산 할 때 소스는 0번째 노드로서 계산에 제외되며, P 는 0.7, k 는 20으로 두어 시뮬레이션을 300초간 진행하였다.

2. 성능평가 결과

그림 2에서는 제안된 프로토콜의 성능비교를 위해서 AODV 프로토콜과의 PDR 성능비교를 보여준다. PDR은 경로가 설정된 뒤 소스노드(싱크)에서 전송된 패킷의 목적지 노드로의 성공적인 전송 성공률을 의미한다. 이는 경로가 형성된 후 경로의 통신 신뢰성을 나타낸다. 그림 2를 보게 되면 제안된 프로토콜에 비해 AODV 프로토콜이 낮은 성능을 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 AODV 프로토콜이 에너지 하베스팅 환경을 고려하지 않아서 경로의 노드수가 적은 경로만 우선적으로 사용하여 특정 경로의 과부하로 노드 에너지가 0이 되어 경로를 유지할 수 없게 되는 문제점이 나타나서 이러한 결과를 확인할 수 있다.

그림 3에서는 제안된 프로토콜의 성능비교를 위해서 AODV 프로토콜과의 Delay 성능비교를 보여준다. 여기서 Delay는 소스노드(싱크)와 목적지간의 경로를 설정하는데 걸리는 시간을 의미한다. 그림 3에서 AODV 프

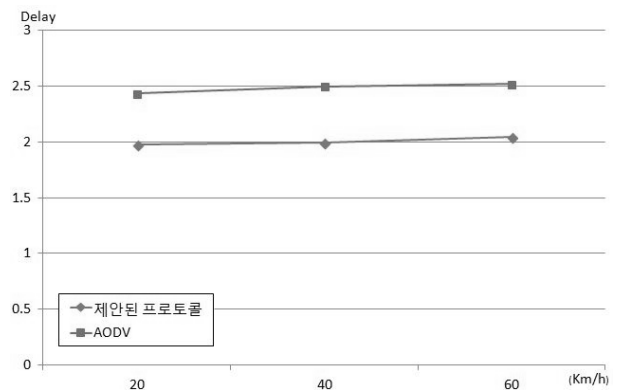


그림 3. 노드 이동성 함수로서의 Delay
Fig. 3. Delay as a function of node mobility.

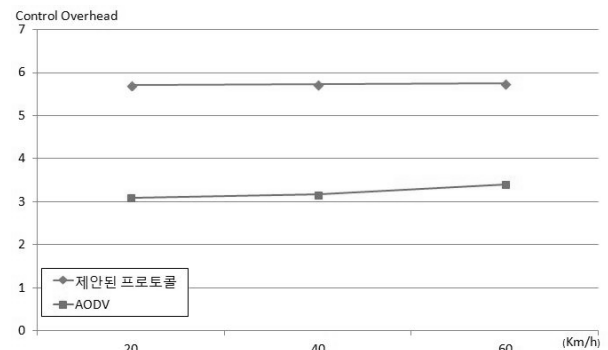


그림 4. 노드 이동성 함수로서의 Control Overhead
Fig. 4. Control Overhead as a function of node mobility.

로토콜이 제안된 프로토콜에 비해 높은 Delay를 보이는데 이는 AODV 프로토콜의 센서들의 가용성이 낮아서 빠른 경로를 형성 할 수 있는 센서들이 에너지가 0이 되어서 경로를 형성 할 수 없어서 다른 경로를 사용하게 되어 이런 결과를 확인할 수 있다.

그림 4에서는 제안된 프로토콜의 성능비교를 위해서 AODV 프로토콜과의 Control Overhead 성능비교를 보여준다. 여기서 Control Overhead는 경로 설정을 위해서 세션 당 각 센서 노드가 사용한 시그널링 수를 나타낸다(시그널링수/세션/센서노드). AODV 프로토콜에 비해 제안된 프로토콜의 Control Overhead가 높음을 그림 4를 통해서 확인할 수 있다. 이러한 결과는 센서의 가용성이 높은 제안된 프로토콜에서는 RREQ를 수신할 때 마다 센서가 RREQ를 주변 노드로 브로드 캐스트를 하여 네트워크에 존재하는 모든 센서들이 RREQ를 전파 하는 것이 가능한데, 그에 반해 AODV의 경우 싱크 주변의 센서들의 에너지가 먼저 소진되어 RREQ를 수신도 못하고 전파도 못하는 상태가 되어 제안된 프로토콜보다 Control Overhead가 낮은 결과를 보여준다.

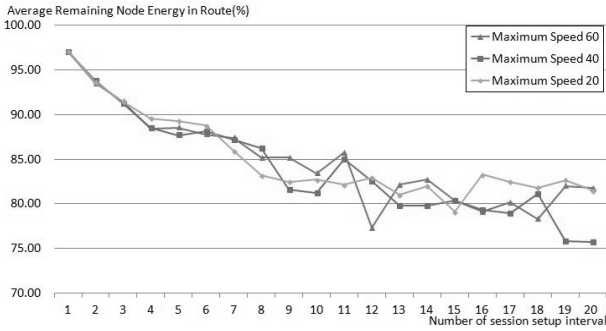


그림 5. 세션 셋업 횟수에 따른 경로의 평균 잔여 에너지
Fig. 5. Route average remaining energy for proposed routing protocol as a function of number of session setup.

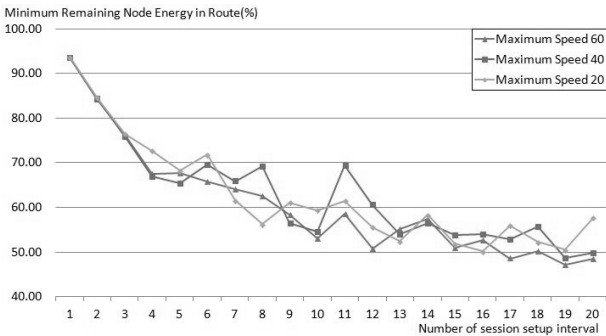


그림 6. 세션 셋업 횟수에 따른 경로의 최소 잔여 에너지
Fig. 6. Route minimum remaining energy for proposed routing protocol as a function of number of session setup.

그림 5와 그림 6에서는 제안된 프로토콜에 따라 설정된 경로의 평균 잔여 에너지와 최소 잔여 에너지를 보여준다. 그림 5에서 말하는 경로의 평균 잔여 에너지는 각 세션마다 경로를 구성하는 센서들의 잔여 에너지의 평균값을 의미한다. 그림 6에서 말하는 경로의 최소 잔여 에너지는 각 세션마다 경로를 구성하는 센서노드 중에서 최소 에너지를 보유한 센서노드의 에너지를 의미한다. 따라서 그림 5와 그림 6을 보게 되면 제안된 프로토콜을 이용하여 설정된 경로의 평균 잔여 에너지와 최소 에너지를 확인 할 수 있다. 또한 그림 6을 통해서 경로의 안정성을 고려하였기에 경로의 최소 에너지의 패턴이 평균 잔여 에너지와 유사한 패턴 형성되는 것을 확인 할 수 있다.

그림 7에서는 네트워크에서 제안된 프로토콜에 사용되는 노드들의 잔여 에너지의 평균값을 나타낸다. 그림 7에서와 같이 주기적으로 경로를 재설정하고 이를 경로로 하여 데이터를 송수신하며 네트워크의 주기적인 에너지 소비가 있음에도 네트워크에 소속된 노드들의 에

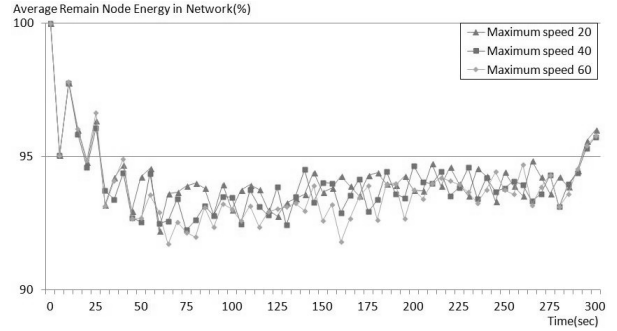


그림 7. 시뮬레이션 시간에 따른 네트워크의 평균 잔여 에너지
Fig. 7. Network average remaining energy for proposed routing protocol as a function of simulation time.

너지 평균이 일정하게 유지되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 에너지 소비량이 초기엔 큰 폭으로 변화 하였지만 시뮬레이션 시간이 경과함에 따라 점차 에너지 변화 폭이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 이 점은 설정된 RF 에너지 하베스팅 환경의 네트워크에서 가용성과 안정성이 높은 센서로 구성된 경로를 데이터 송수신 하기 위한 경로로 사용하기 때문에 그림 7에서와 같이 네트워크의 잔여 에너지 측면에서 높은 수준을 유지하는 것을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 에너지 하베스팅이 가능한 모바일 애드혹 무선 센서 네트워크 환경에서 경로와 네트워크의 라이프 타임을 증가시켜서 궁극적으로 데이터 전송을 향상을 효과적으로 지원하기 위해서 모바일 센서노드들의 에너지 관점에서 라우팅 프로토콜 연구를 진행하였다. 본 논문에서 제안된 프로토콜의 경우 모바일 애드혹 센서 네트워크에서 기존의 라우팅 프로토콜에서 에너지가 부족한 문제점을 해결하고자 에너지 하베스팅을 고려하였고, 에너지 측면에서 에너지를 효과적으로 소모 및 보존이 가능하게 모바일 센서노드들의 가용성과 안정성을 계산하여 경로를 설정하였다. 그 결과 AODV 프로토콜과 제안된 프로토콜을 성능 비교하였을 때 제안된 프로토콜이 높은 성능과 향상된 경로 및 네트워크 라이프 타임을 보여줬다. 현재 본 연구진들은 본 논문의 연구결과를 바탕으로 하여 에너지 하베스팅을 기반으로 한 경로 및 네트워크의 라이프 타임을 향상 시킬 방법에 대하여 연구를 지속적으로 진행하고 있다.

REFERENCES

- [1] S. Sudevalayam and P. Kulkarni, "Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 13, no. 3, pp. 443-461, September 2011.
- [2] Shusen Yang, Xinyu Yang, McCann, J.A., Tong Zhang, Guozheng Liu and Zheng Liu, "Distributed Networking in Autonomic Solar Powered Wireless Sensor Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications /supplement - Part 2, vol.31, no.12, pp.750-761, December 2013.
- [3] Ming Li, Pan Li, Xiaoxia Huang, Yuguang Fang and Glisic. S., "Energy Consumption Optimization for Multihop Cognitive Cellular Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol.14, no.2, pp.358-372, February 2015.
- [4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, vol. 11, no. 1, pp. 2 - 16, February 2003.
- [5] Pu Gong, Quan Xu, Chen, T.M., "Energy Harvesting Aware routing protocol for wireless sensor networks," Proc. of CSNDSP2014, pp. 171-176, July 2014.
- [6] Martinez, G, Shufang Li and Chi Zhou, "Wastage-Aware Routing in Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, vol.14, no.9, pp. 2967-2974, September 2014
- [7] Jakobsen M.K., Madsen J, and Hansen M.R., "DEHAR: a Distributed Energy Harvesting Aware Routing Algorithm for Ad-hoc Multi-hop Wireless Sensor Networks," Proc. of IEEE WoWMoM 2010, pp.1-9, June 2010.
- [8] J. H. Park, "Low power RF Energy Harvesting form UHF RFID System," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 23, no.1, pp. 182-187, January 2009.
- [9] K. Kawashima and F. Sato, "A routing protocol based on the power generation pattern of sensor nodes in energy harvesting wireless sensor networks," Proc. of NBIS2013, pp. 470-475, September 2013.

저 자 소 개



심 규 현(학생회원)
2015년 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 (BS)
2015년~현재 홍익대학교 스마트도시과학경영대학원 정보시스템전공 재학

<주관심분야: Wireless Networks, Mobile Ad-hoc Sensor Networks, Energy Harvesting>



안 병 구(평생회원)
1988년 경북대학교 전자공학과 (B.S)
1996년 (미)New York University (Polytechnic), Dept. of Computer and Electrical Eng., NY, USA (M.S)

2002년 (미)New Jersey Institute of Technology (NJIT), Dept. of Computer and Electrical Eng., NJ, USA (Ph.D)

1989년~1994년 포항산업과학기술연구원(RIST), 선임연구원

2012년 대한전자공학회 컴퓨터소사이어티 회장

2003년~현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

<주관심분야: Mobile Wireless Networks, Ad-hoc & Sensor Networks, 5G Networks, IoT, Mobile Cloud Computing, Multicast Routing, QoS Routing, VLC, Cognitive Radio Networks, Energy Harvesting, Physical Layer Security, Cross-Layer Technology, Network Coding, Cooperative Communication, Bioinformatics>