

논문 2017-54-2-9

모바일 애드혹 무선 센서 네트워크에서 동적 전송범위를 사용한 에너지 엔트로피 기반 다중경로 라우팅 프로토콜

(Energy Entropy based Multipath Routing Protocol using Dynamic Forwarding Range in Mobile Ad-hoc Wireless Sensor Networks)

심 규 현*, 심 규 성*, 남 상 엽**, 안 병 구***

(Kyuhyun Shim, Kyusung Shim, Sangyeop Nam, and Beongku An[©])

요 약

본 논문에서는 RF 에너지 하베스팅을 하는 센서로 구성된 모바일 애드혹 무선 센서 네트워크에서 적응적인 방향성 범위 안내가 가능한 에너지 엔트로피 기반의 다중경로 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 주요한 특징 및 기여도는 다음과 같다. 첫째, 센서노드의 에너지 정보를 기반으로 경로의 엔트로피로 계산하여 안정적인 경로 설정한다. 둘째, 경로의 안정성을 기반으로 전송범위를 동적으로 조절하고, 경로 설정에 참여하는 센서의 수를 조절하여, 경로 설정에 소모되는 에너지, 컨트롤 오버헤드, 시간지연을 줄여서 궁극적으로 데이터 전송 효율을 향상시킨다. OPNET을 사용한 성능 평가 결과 제안된 라우팅 프로토콜은 효과적으로 PDR을 지원 할 수 있음을 보여준다.

Abstract

In this paper, we propose an energy entropy based multipath routing protocol using dynamic forwarding range in mobile ad-hoc wireless sensor networks. The main features and contributions of the proposed routing protocol are as follows. First, can select stable routing routes by using the calculated route entropy based on energy information of sensor nodes. Second, using dynamic forwarding range based on the route stability of route entropy can reduce energy, control overhead, delay for route establishment, finally improve data transmission efficiency. The performance evaluation using OPNET shows that the proposed routing protocol can efficiently support PDR.

Keywords : RF Energy harvesting, Mobile Ad-hoc Wireless Sensor Networks, Multipath Routing

I. 서 론

최근 기술의 발전으로 하드웨어는 점차 소형화 되고 통신 속도는 점점 증가하며 무선통신기술이 우리 삶에

미치는 영향도 증가하고 있다. 일례로, 지리산 반달곰 프로젝트의 경우, 반달곰에게 센서를 장착하여 지리산에 방생하였다. 그리고 센서를 통하여 이들의 움직임을 관찰하는데, 만약 센서의 주기가 1년이라면 그 뒤로는

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

** 평생회원, 국제대학교 컴퓨터정보통신학과 (Dept. of Computer Information & Communication, Kookje College)

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

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

※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (Grant No. 2016R1D1A1B03934898) and by the Leading Human Resource Training Program of Regional Neo industry Through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of science, ICT and future planning (Grant No. 2016H1D5A1910577).

Received ; November 3, 2016 Revised ; January 21, 2017 Accepted ; December 1, 2016

반달곰의 움직임은 관찰 할 수 없다. 하지만 반달곰의 움직임을 그 이후에도 지속적으로 확인가능 하여야 한다. 이처럼 센서 네트워크는 한번 노드를 전개시키면 다시 그것을 유지 보수하는 것이 매우 힘들다. 따라서 이러한 노드들의 생존성을 높여 네트워크를 장시간 유지하는 기술에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.

연구^[1]의 무선 주파수, 압전, 태양광, 풍력과 같은 다양한 자원을 활용하여 에너지 하베스팅이 무선 센서 모듈에 적용될 수 있음을 연구하였다. 반면 연구^[2]의 경우, 자연에서 에너지를 얻는 것이 아니라 노드간의 통신시 발생하는 무선 주파수를 활용하여 충전을 하는 방식이다. 노드가 데이터를 전송하는데 필요한 시간을 t 라고 하면, 그중 α 만큼의 시간은 에너지 하베스팅을 하는데 신호를 사용하고 나머지 $t-\alpha$ 을 데이터 전송에 활용하는 것이다. 이처럼 다양한 방법을 노드에 적용하여 센서 네트워크내 노드들의 생존성을 높이는 연구가 진행 중이다. 이러한 방법들을 네트워크 계층에서는 다음과 같은 방법을 활용하고 적용한다. 논문^[3]의 경우, 경로를 선정하는데 있어서 경로의 hop수와 각 노드의 에너지양을 고려한다. 경로상의 에너지가 적은 노드가 존재하는 경우와 에너지가 급격하게 변화하는 구간이 존재하면 그 경로에 패널티를 주어서 데이터 전송 경로가 이러한 불완전한 경로로 선정되지 않도록 한다. 하지만 이 경우, 노드들이 고정된 경우에서 연구가 진행되었다. 논문^[4]의 경우, 노드에 태양광 패널이 설치된 고정노드에서 경로가 트리구조로 형성된 경우, 노드의 생존성에 대해서 연구 하였다. 그러나 고정된 노드라는 한계점을 갖고 있다. 논문^[5]에서는 AODV 라우팅 프로토콜을 사용하는 노드에 태양광 패널을 부착한 경우, 태양광 패널이 부착되지 않은 AODV를 비교하였다. 이를 통해 에너지 하베스팅을 하는 노드가 훨씬 더 생존성이 증가하여 네트워크도 장시간 유지 될 수 있음을 확인 하였다. 보다 발전하여 논문^[6]에서는 노드의 에너지량을 예측하고 이를 활용하는 에너지가 과 충전이 예상되는 노드를 이용하여 데이터 전송을 하는 라우팅 프로토콜을 제안하고 고정된 무선노드 환경에서 구현하였다. 이처럼 많은 논문이 에너지 하베스팅 정보를 라우팅 프로토콜에 적용하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 많은 연구들이 태양광 패널을 활용하여 충전을 하는 노드에 대해서 연구가 되고 있다.

엔트로피란, 특정 상황에서의 상대적인 안정도를 나타내는 척도로써, 안정도가 1에 가까울수록 안정한 상태를 나타낸다. 이를 이용하여 논문^[7]에서는 노드의 속

도를 엔트로피로 변환하여 라우팅 프로토콜에 적용될 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서는 이러한 엔트로피 개념을 에너지 변화량에 적용하여 경로의 상대적 에너지 상태가 안정적인 경로를 이용하는데 적용하였다. 논문^[8]에서는 AODVM에 엔트로피 개념을 추가한 라우팅 프로토콜을 제안하고 구현하였다. 그 결과 기존의 AODVM보다 나은 성능을 보였다. 이를 통하여 안정도를 나타내는 척도인 엔트로피를 라우팅에 활용하는 것이 나은 성능을 나타낼 수 있다.

데이터 전송에 참여하는 노드의 수가 많을수록 전체 네트워크에서 사용되는 에너지가 증가한다. 이를 방지하고 보다 효율적인 데이터 전송을 위하여 전송범위를 효율적으로 제한하여 네트워크의 수명을 늘리는 연구가 진행 중이다. 논문^[9]의 경우 전송경로를 결정할 때 이전 경로의 PDR을 이용하여 다음 전송시 전송범위를 선형적으로 변화하고 이를 수학적 모델과 시뮬레이션 결과와 비교 분석 하였다. 그러나 노드의 경로 선정 시 단순 PDR만 이용하여 에너지량을 고려하지 않아서 네트워크의 수명이 증가하였는지는 연구되지 않았다. 논문^[10]에서는 경로를 선정할 때 경로 상에 있는 노드의 엔트로피를 계산하여 경로의 안정성을 측정하고 전송범위를 다르게 했을 때, 전체 네트워크의 평균 에너지량과 최소 에너지량이 증가함을 통하여 전송범위가 전체네트워크에 효율적인 에너지사용에 필요한 요소임을 확인하였다. 논문^[11]에서는 전송범위를 조절함에 따라 경로 탐색 시 소요되는 Control overhead를 줄이고자 경로탐색을 위해 RREQ/RREP의 전송 시 전송범위를 조절함으로써 Control overhead가 줄어드는 것을 확인하였다. 전송범위를 실제로라는 제한된 환경에서 연구^[12]가 되기도 하였다.

이처럼 네트워크 계층에서 노드의 생존성을 높이고 보다 효율적인 경로 선정을 위해 많은 주제가 연구되고 있다. 하지만 실제 노드와 같이 에너지 하베스팅을 하는 노드모델을 이용한 무선 센서 네트워크에서 경로 선정할 때 에너지 변화량을 엔트로피로 변환하여 경로선정과 전송범위를 모두 변화시키는 라우팅 프로토콜은 없었다. 따라서 본 논문에서는 이러한 실제 노드모델과 유사한 환경에서 에너지 엔트로피 기반의 경로선정과 전송범위가 동적으로 변화되는 라우팅 프로토콜에 대해서 연구하고 구현 하였다. 본 논문의 기여도와 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 노드들의 효율적인 활용을 위해 라우팅 테이블 구현 시 노드들의 상대적 에너지를 엔트로피로 변환하여 경로선택에 활용한다.
- 네트워크의 효율적 운용을 위해 에너지 엔트로피 기반 경로의 안전성에 따라 선형적으로 전송범위를 변화시킨다.
- 안정적인 데이터 전송이 이루어지도록 다중 경로를 설정하여 데이터를 전송한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서 제안된 라우팅 프로토콜에 대한 설명을 한다. III장에서는 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가를 진행하고 마지막으로 결론을 IV장에서 설명한다.

II. EEMR: Energy Entropy based Multipath Routing

본 장에서는 제안하는 프로토콜 EEMR의 기본 개념, 동적 전송범위 설정, 알고리즘 순으로 설명한다.

1. 기본개념

다음 그림 1은 제안된 EEMR 프로토콜의 기본 개념이다.

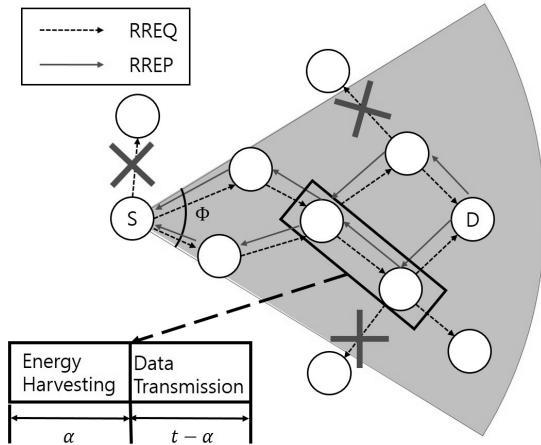


그림 1. 제안된 라우팅 프로토콜의 기본 개념
Fig. 1. The basic concepts of the proposed routing protocol.

무선 센서 네트워크를 구성하는 모바일 노드들은 RF 에너지 하베스팅을 이용하여 노드의 배터리를 자가 충전하는 것이 가능하다고 가정한다. 따라서 노드는 t 시간동안 데이터 전송하는데 그 중 α 시간동안은 무선 주파수를 이용하여 노드를 충전한다. 그리고 나머지 $t - \alpha$ 시간동안 데이터를 전송한다. 이러한 상황에서 각각의

노드들은 자신의 정보를 에너지 정보를 공유하여 이를 바탕으로 소스에서는 각 경로의 엔트로피 기반의 안정성을 계산한다. 계산된 안정성을 바탕으로 경로 선정 및 전송범위를 결정한다.

2. 동적 전송 범위 설정

본 장에서는 이러한 경로선정 및 전송범위를 결정하는 방법 중 전송범위를 결정하는 방법에 대하여 설명한다. EEMR에서 전송범위를 결정하는 방법은 그림 2와 같다. 설명에 앞서 본 논문에서는 각각의 노드들은 GPS를 활용하여 자신의 위치정보를 인지하고 있으며, 소스 노드는 목적지 노드의 위치정보를 사전에 알고 있다고 가정한다.

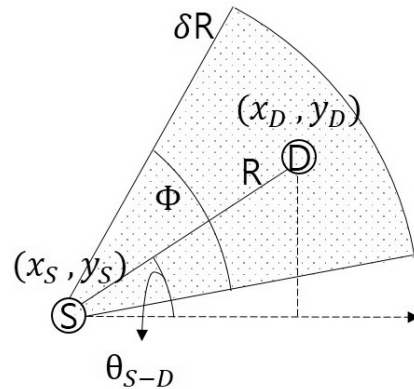


그림 2. EEMR 프로토콜의 동적 전송 범위
Fig. 2. Dynamic forwarding range(angle) of EEMR protocol.

공유되는 GPS 위치정보를 바탕으로 EEMR 프로토콜은 소스와 목적지사이의 거리(R)를 다음과 같이 계산한다.

$$R = \sqrt{(x_D - x_S)^2 + (y_D - y_S)^2} \quad (1)$$

여기서 (x_s, y_s) 는 소스의 위치 정보이고, (x_d, y_d) 는 목적지 위치정보이다. R 은 소스와 목적지간의 직선거리이다. 하지만 실제 네트워크상에서는 경로상의 노드들이 목적지 노드보다 먼 경우도 발생한다. 따라서 이러한 경우를 만족하기 위해서는 식(1)만으로는 부족하다. 따라서, 이러한 문제를 해결하면서 소스를 중심으로 하는 전송범위를 원방정식을 이용하여 나타내면 다음과 같다.

$$(\delta R)^2 = (x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 \quad (2)$$

식(2)에서 δR 은 소스를 중심으로 하는 원 방정식의

반지름인데 $\delta \geq 1$ 를 만족한다. δ 가 클수록 전송범위는 넓어진다. 이것은 무선 센서 네트워크 특성에 따라서 달라진다. 이후 전송각도는 다음과 같이 정의된다. 방향성 각도는 노드가 어느 방향을 향해서 전송을 할 것인지를 말한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\theta_{S-D} = \arctan\left(\frac{y_D - y_S}{x_D - x_S}\right) \quad (3)$$

방향성 각도 θ_{S-D} 는 그림 2에서 점선과 소스-목적지 사이 직선의 기울기를 나타낸다. 방향성 각도를 구하기 위해서는 $(y_D - y_S / x_D - x_S)$ 와 \tan 의 역함수를 이용하면 쉽게 얻을 수 있다.

Φ 는 실제 전송 범위를 나타내고 다음과 같다.

$$\Phi_{n+1} = \begin{cases} \theta_{S-D} + \theta_n \\ \theta_{S-D} - \theta_n \end{cases} \quad (4)$$

Φ_{n+1} 는 (n+1)번째 세션의 전송각도이다. 그리고 θ_n 은 n번째 세션에서의 경로 안정성(RSAVG)을 바탕으로 결정된다. Φ_{n+1} 의 범위는 다음과 같다.

$$\frac{\pi}{3} \leq \Phi_{n+1} \leq \pi \quad (5)$$

Φ_{n+1} 는 최대 π 이고 최소 $\pi/3$ 이다. 따라서, 이전 세션에서의 경로 안정성을 바탕으로 전송각도 변화량은 다음과 같다.

$$\theta_n = \pi(\alpha - RS_{AVG}) \quad (6)$$

이때, α 는 경로안정성의 기준 값으로 n번째 세션에서 경로안정성이 α 보다 낮으면 전송각도가 증가하고 α 보다 크면 전송각도가 감소한다. 식 (7)은 에너지 엔트로피 기반의 경로 안정성, RS_{AVG} ,을 나타낸다.

$$RS_{AVG} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \left(\prod_{h=1}^H \left(-\frac{eP_h(t) \log(P_h(t))}{\log e} \right) \right) \quad (7)$$

이때, I 는 소스-목적지 사이에 형성된 경로의 수, H 는 경로 상에 존재하는 노드의 수이다. $P_h(t)$ 는 측정노드와 인근노드와의 상대적 에너지량을 의미한다.

3. 알고리즘

제안된 라우팅 프로토콜의 알고리즘을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- Step 1: 데이터 통신을 위한 초기 정보를 설정한다. 설정된 초기 정보는 표 1과 같이 정보를 RREQ 메시

지의 헤더에 저장하고 소스는 주변 노드로 브로드캐스트 한다.

표 1. RREQ 메시지에 들어갈 헤더 정보
Table1. Header Information in RREQ Message.

소스 ID	소스위치 정보	목적지 ID	목적지 위치정보	이전노드 ID	이전노드 에너지 정보	θ_k
-------	---------	--------	----------	---------	-------------	------------

- Step 2: RREQ 메시지를 받은 노드는 다음과 같은 과정을 진행한다.

- ▷ RREQ 메시지 헤더의 정보를 자신의 라우팅 테이블에 저장하고, 저장된 위치 정보를 기반으로 방향성 범위를 계산한다.
- ▷ 계산된 방향성 범위를 기준으로 현재 노드의 위치가 방향성 범위 밖인 경우 이벤트를 정지한다.
- ▷ 노드의 위치가 방향성 범위 안인 경우 자신의 정보(위치정보, 에너지정보)를 RREQ 메시지 헤더에 업데이트 하고 주변 노드로 브로드캐스트 한다. 이 과정을 목적지가 받을 때 까지 반복한다.

- Step 3: RREQ 메시지를 받은 목적지는 다음과 같은 과정을 진행한다.

- ▷ RREQ 메시지의 헤더 정보를 자신의 라우팅 테이블에 저장한다.
- ▷ 이전 노드의 에너지 정보를 이용하여 엔트로피를 계산한다.
- ▷ RREP 메시지 헤더에 표 2와 같이 정보를 저장하고 이전 노드로 전송한다.

표 2. RREP 메시지에 들어갈 헤더 정보
Table2. Header Information in RREP Message.

소스 ID	목적지 ID	이전노드 ID	다음노드 ID	경로의 엔트로피 정보	다음노드 에너지 정보
-------	--------	---------	---------	-------------	-------------

- Step 4: RREP 메시지를 받은 노드는 다음과 같은 과정을 수행한다.

- ▷ RREP 메시지를 받은 노드는 메시지 헤더정보를 자신의 라우팅 테이블에 업데이트 하고 이전 노드 ID와 자신의 ID가 같은지 확인을 한다.
- ▷ 헤더의 이전노드 ID와 메시지를 수신 받은 노드가 다른 경우 이벤트를 정지한다.
- ▷ 메시지를 수신 받은 노드와 메시지의 이전노드가 같은 경우 라우팅 테이블에 저장된 주변 노드들의 에너지 정보를 가지고 경로의 엔트로피를 계산한다.
- ▷ 계산된 엔트로피 중 가장 안정성이 높은 이전노드로 RREP 메시지의 헤더 정보를 업데이트 하고 전

송한다. 이 과정을 소스가 RREP 메시지를 받을 때까지 반복한다.

- **Step 5:** RREP 메시지를 소스가 수신하게 되면 다음과 같은 과정을 진행한다.

- ▷ 라우팅 테이블을 업데이트 하고, 라우팅 테이블 정보에 따라서 목적지를 향하여 데이터 패킷을 전송한다.
- ▷ 데이터 전송이 끝난 소스는 다음 세션에서 사용할 전송 범위를 식(6)을 기반으로 계산하여 다음 세션에서 사용할 방향성 범위를 재설정한다.

III. 성능평가

본 장에서는 제안된 EEMR 라우팅 프로토콜의 성능 평가를 위해서 OPNET(Optimized Network Engineering Tool)을 이용하여 EEMR 라우팅 프로토콜과 기존의 라우팅 프로토콜과의 성능을 비교분석한다.

1. 성능평가 환경

성능 평가는 다음 표 3과 같은 환경에서 시뮬레이션을 진행한다.

표 3. 시뮬레이션 환경변수
Table3. Simulation environments value.

Network Size	1 km × 1 km
No. of Source Node	1
No. of Mobile Node	50
Random Way-point Mobility	minimum speed : 0(km/h)
	maximum speed : 20, 40, 60(km/h)
Random Pause Time	0~10 sec
Session Setup Interval Time	10~15 sec
Maximum Radio Range	250 m
Capacitor	45 W
Transmit/Receive Cost	1.2 W
Charge rate	0~1.35 W

시뮬레이션상의 네트워크 사이즈는 1km × 1km이며, 싱크노드 겸 소스의 역할을 하는 노드의 수는 1개이며 위치는 (0, 0)으로 한다. 소스는 싱크노드로서 외부로 데이터를 전달하는 노드이기 때문에 위치가 고정되어 있으며 에너지량은 무한대이다. 나머지 센서 영역에 위

치하는 노드의 수는 50개이며 각각의 노드의 위치들은 랜덤하게 배치되어있다. 그리고 각각의 노드는 Random way-point mobility 방식에 따라서 주기마다 목적지를 설정하고 목적지 (way-point)를 향해서 일직선으로 이동한다. 이때 이동속도는 0km/h에서 Vmax사이의 임의의 속도로 이동하게 된다. 이때, Vmax는 20km/h, 40km/h, 60km/h이다. 그리고 way-point에 도착한 노드는 0-10sec사이의 정지시간 (pause-time)을 갖는다. 이때, pause-time도 0-10sec 사이의 임의의 시간으로 정해진다. 그리고 한번 RREQ와 RREP를 통해서 경로가 설정되는 10-15초의 데이터 통신 의 세션 설정 주기 (session setup interval time)을 갖는다. 그리고 노드는 경로가 설정되면 1초마다 1개의 패킷을 전송하게 된다. 그리고 노드는 에너지 용량은 45W로 노드는 RF 에너지 하베스팅 방법을 이용하여 무선주파수를 이용하여 데이터 전송과 충전할 수 있다. 데이터 송/수신시에는 1.2W를 소비하고, RF 에너지 하베스팅의 경우, 통신 거리에 반비례 충전 하므로 최대 1.35W에서 0W만큼 충전한다고 가정한다.

2. 성능평가 파라미터

성능평가에 사용된 성능측정 파라미터들은 다음과 같다.

- **PDR(Packet Delivery Ratio):** 소스 노드가 보낸 패킷의 수와 목적지 노드가 받은 패킷 수의 비율을 나타낸다.
- **Control overhead:** 경로를 형성하기 위해 노드 당 주고받은 컨트롤 패킷(RREQ 메시지, RREP 메시지)의 사용량.
- **Delay:** 경로를 형성하기까지 걸린 시간.
- **경로의 평균 잔여 에너지:** 세션에서 생성된 경로를 구성하는 노드들의 평균 잔여 에너지량.
- **경로의 최소 에너지 노드의 에너지:** 세션에서 생성한 경로를 구성하는 노드들 중 최소 잔여 에너지를 갖는 노드의 잔여 에너지량.

3. 성능평가 결과

성능평가를 위해서 본 논문에서는 데이터 전송측면과 에너지 측면에서 EEMR과 기존의 라우팅 프로토콜을 비교 분석하였다. 데이터 전송측면을 비교분석하기 위해서 PDR, Control overhead, Delay를 비교 하였고,

에너지측면에서 비교분석하기 위해서 경로의 평균 잔여 에너지량과 경로의 최소 에너지 노드의 에너지량을 비교 분석하였다.

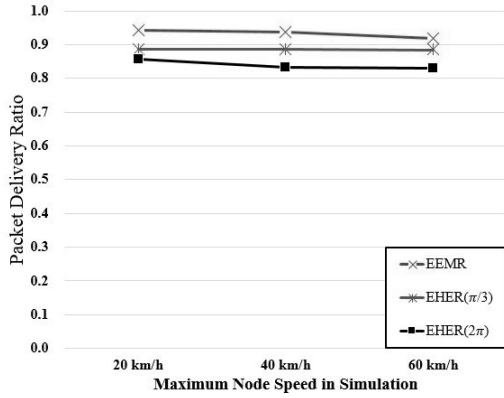


그림 3. 노드 이동성 함수로서의 PDR
Fig. 3. PDF as a function of node mobility.

그림 3은 V_{max} 가 증가함에 따라 EEMR과 기존의 라우팅 프로토콜의 PDR을 비교하였다. 본 논문에서 제안하는 EEMR이 기존의 라우팅 프로토콜보다 높은 PDR을 나타내는데 PDR이 높다는 것은 그만큼 그 라우팅 프로토콜에서의 데이터 전송의 신뢰성이 높다는 사실을 나타내고 있다. 그 이유로 EHER이 전송 범위가 $\pi/3$ 일 때와 2π 를 비교하였을 때 $\pi/3$ 인 경우 향상된 PDR을 보여주었다. 이러한 EHER과 EEMR를 비교하였을 때 전송 범위를 주는 편이 안정된 경로 선택과 데이터 전송을 할 수 있는 것을 그림 3을 통하여 확인하였다.

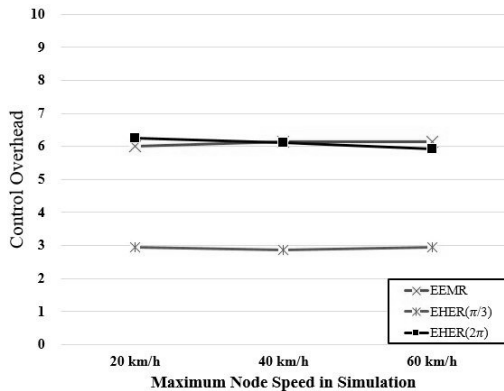


그림 4. 노드 이동성 함수로서의 Control Overhead
Fig. 4. Control Overhead as a function of node mobility.

그림 4는 V_{max} 가 증가함에 따라 경로 설정 시 사용되는 Control overhead를 나타낸다. 그림 4로부터 EEMR이 EHER과 비슷한 량의 Control overhead가 발생한 것을 알 수 있다. EEMR의 경우, 동적으로 전송범

위가 변함에도 불과하고 EHER 2π 인 경우와 비슷한 Control overhead가 발생하였다. 그 이유로는 EEMR의 최대 전송 범위인 π 로는 Control overhead를 효과적으로 줄이기에는 전송 범위 변수로는 큰 값으로 설명된다.

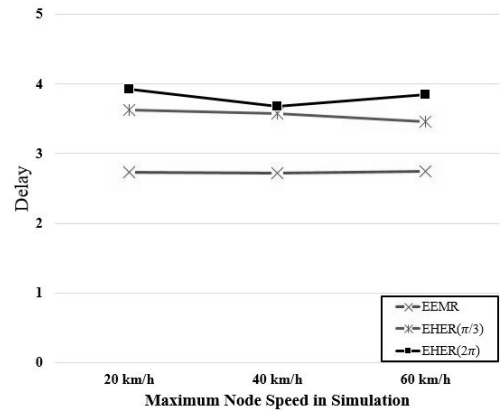


그림 5. 노드 이동성 함수로서의 Delay
Fig. 5. Delay as a function of node mobility.

그림 5는 V_{max} 가 증가함에 따라 경로 설정 시 Delay를 나타낸다. 그림 5를 통해서 전송 범위를 고려할 때 Delay 수치가 V_{max} 가 증가함에도 불과하고 일정한 Delay 수치를 보여주는 것을 확인이 가능하다. 그 이유는 전송 범위를 제한한 하여 경로를 설정 하는 경우가 낮고 일정한 Delay를 보여 주어 전송 범위를 설정하는 경우가 빠르고 안정적으로 경로를 설정하는 것으로 설명이 가능하다.

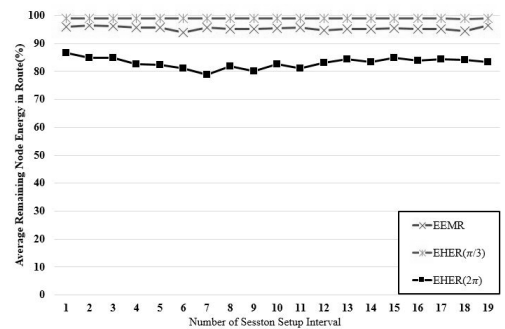


그림 6. 세션 셋업 횟수에 따른 경로의 평균 잔여 에너지
Fig. 6. Route average remaining energy for proposed routing protocol as a function of number of session setup.

그림 6는 세션 셋업이 이루어질 때 마다 생성된 경로의 평균 잔여 에너지량을 나타낸다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 전송범위가 2π 인 경우보다는 많고 $\pi/3$ 인 경우보다는 적은 평균 에너지량을 나타낸다. 그 이유로는 전송 범위가 $\pi/3$ 에 비해서는 많은 수의 Control overhead

를 사용하여서 설정된 경로들의 에너지량이 낮고, 전송 범위가 2π 와 비교하였을 때 에너지량이 향상된 결과를 보여준다. 따라서 동적인 전송범위를 갖는 경우가 에너지측면에서 안정성 높은 경로를 형성하는 것을 확인 할 수 있다.

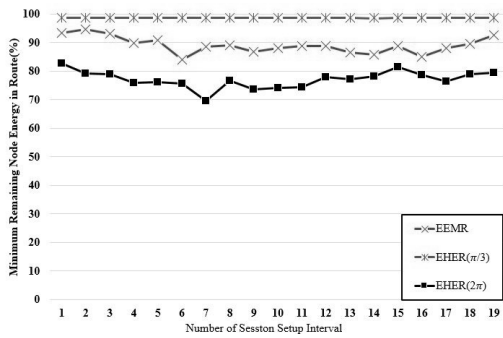


그림 7. 세션 셋업 횟수에 따른 경로의 최소 잔여 에너지
Fig. 7. Route minimum remaining energy for proposed routing protocol as a function of number of session setup.

그림 7은 세션 셋업이 이루어질 때마다 경로상의 최소 에너지량을 측정하는 것이다. 그림 7로부터 EEMR이 EHER에서 전송범위가 2π 인 경우 보다는 높고 EHER에서 전송범위가 $\pi/3$ 인 경우 보다는 낮은 것을 확인하였다. 그 결과 그림 7도 그림 6과 유사한 패턴의 에너지량을 보여준다. 그 이유로는 전송 범위가 $\pi/3$ 에 비해서 많은 수의 Control overhead를 사용하여서 설정된 경로들의 에너지량이 낮고, 전송 범위가 2π 와 비교하였을 때 에너지량이 향상된 결과를 보여준다. 따라서 동적인 전송범위를 갖는 경우가 에너지측면에서 안정성 높은 경로를 형성하는 것을 확인 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 RF 에너지 하베스팅을 하는 모바일 센서 노드가 존재하는 모바일 애드-혹 무선 센서 네트워크 환경에서 노드의 에너지 엔트로피를 활용하여 경로선정과 전송범위를 설정하는 라우팅 프로토콜(EEMR)을 제안하였다. 보다 구체적으로 경로의 엔트로피가 안정적인 경우 다음 세션 셋업 할 때 전송범위를 선형적으로 감소시키고, 불안정할 경우, 선형적으로 전송범위를 증가시켜서 데이터 전송 시 안정한 경우 보다 적은 수의 노드가 전송에 참여하고 불안정한 경우 많은 수의 노드가 전송에 참여 성능을 향상 시킬 수 있는 라우팅 프로

토콜을 제안하고 이를 OPNET을 이용하여 구현하였다.

구현결과 PDR의 경우 기존의 EHER보다 나은 성능을 보였다. 그러나 Control overhead의 경우, 전송범위가 변화함에 따라 Control overhead가 EHER 2π 인 경우와 비슷하였다. 그러나 세션 셋업 횟수에 따른 경로의 평균 잔여 에너지량과 최소 에너지량은 EHER 2π 인 경우와 EHER $\pi/3$ 인 경우 사이에 존재한다. 이를 통하여 각도가 변화함에 따라 에너지 소모량이 변하는 것을 확인 하였고, 이를 바탕으로 전송 범위가 에너지 소모량에 많은 영향을 준다는 것을 알았다.

현재 본 연구진들은 논문의 결과를 바탕으로 전송범위를 최적화하여 보다 네트워크 내 노드의 수명을 늘리는 방법과 Control overhead를 낮출 수 있는 방법을 연구 중에 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] N. T. Do, V. N. Q. Bao and B. An, "A relay selection protocol for wireless energy harvesting relay networks," Proc. of ATC 2015, Ho Chi Minh city, Vietnam, October 2015.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] E. Aldalu and U. Baroudi, "Does AODV perform better with energy harvesting?," Proc. of IWCMC 2015, Dubrovnik, pp. 361-366, August 2015.
- [6] G. Martinez, S. Li and C. Zhou, "Wastage-Aware Routing in Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, vol. 14, no. 9, pp. 2967-2974, September 2014.
- [7] B. An and S. Papavassiliou, "An entropy-based model for supporting and evaluating route stability in mobile ad hoc wireless networks," IEEE Communications Letters, vol. 6, no. 8, pp. 328-330, August. 2002.

- [8] F. Yang and B. Sun, "Ad hoc on-demand distance vector multipath routing protocol with path selection entropy," Proc. of CECNet 2011, XianNing, April 2011.
- [9] Suehyung Ha, Le The Dung, Beongku An, "A Route Stability-based Direction Guided Routing Protocol in Mobile Ad-hoc Wireless Networks," The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol.12, No.6, pp. 257-265, December 2012.
- [10] K. H. Shim, K. S. Shim and B. An, "EHER : An Energy Harvesting Aware Entropy-Based Routing Protocol in Mobile Ad-Hoc Wireless Sensor Networks," International Journal of Future Generation Communication And Networking, vol. 9, no. 8, pp. 273-282, August 2016.
- [11] R. Kumar Banka and Guoliang Xue, "Angle routing protocol: location aided routing for mobile ad-hoc networks using dynamic angle selection," Proc. of MILCOM 2002, vol. 1. pp. 501-506, October 2002.
- [12] R. Cai, G. Zhang and Y. Ji, "Adaptive Routing Protocol Based on Forwarding Angle in VANETs," Proc. of CICN 2015, Jabalpur, December 2015.

저 자 소 개



심 규 현(학생회원)
2015년 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 (BS)
2015년~현재 홍익대학교 스마트도시 과학경영대학원 정보시스템 전공 재학

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



심 규 성(학생회원)
2012년 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 (B.S)
2015년~현재 홍익대학교 스마트도시 과학경영대학원 정보시스템 전공 재학

<주관심분야: Wireless Networks, Mobile Ad-hoc sensor Networks, Cognitive Radio Networks, Physical Layer Security, Mobile Cloud Computing>



남 상 엽(평생회원)
2002년 단국대학교 전자공학과(Ph.D)
1987년~1992년 삼성종합기술원 정보 시스템연구소 주임연구원
1992년~1998년 (주)모토로라 반도체 통신 기술연구소 차장

1998년~현재 국제대학교 컴퓨터정보통신과 교수
<주관심분야: 임베디드시스템, USN/ RFID, 지능형로봇, 홈네트워크, 의용전자기기>



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>