

# 무선 센서네트워크에서 다중 경로 선정에 기반한 에너지 인식 소스 라우팅 프로토콜

준회원 황도연\*, 종신회원 임재성\*

## An Energy Aware Source Routing with Disjoint Multipath Selection for Wireless Sensor Networks

Do-youn Hwang\* *Associate Member*, Jae-Sung Lim\* *Lifelong Member*

### 요 약

무선 센서네트워크(Sensor Network)에서는 많은 수의 센서 노드를 영구적으로 사용하기 보다는 일회성의 목적으로 사용하기 때문에 센서 네트워크를 구성하는 노드들의 수명을 장시간 유지시키는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서 본 논문에서는 무선 센서네트워크의 연결 유지 시간(network lifetime)을 연장시키기 위한 EASR(Energy Aware Source Routing) 프로토콜을 제안한다.

제안하는 EASR 기법은 기존의 EAR(Energy Aware Routing)<sup>[1]</sup>처럼 다중 경로 중에 확률에 의해 결정되는 단일 경로로만 데이터 트래픽을 전송하여 에너지 소비를 분산시키는 방법을 사용한다. 하지만 제안하는 EASR 기법에서는 기존의 SMR(Split Multipath Routing)<sup>[2]</sup>에서 사용되는 다중 경로 선정 기법을 개선한 방법으로서 센서 노드들의 에너지 소비를 최소화 하기 위하여 다중 경로간의 overhearding 지수를 정의하고 이를 근거로 overhearding 현상에 의한 에너지 소비를 최소화 하는 다중 경로를 설정하는 기법이다.

제안하는 EASR 기법이 무선 센서네트워크 환경에서 노드의 수명을 장시간 유지시키고 합리적인 데이터 전송 지연시간을 갖는다는 것을 시뮬레이션 분석을 통해 확인하였다.

Key Words : EASR, wireless sensor networks, routing protocol, overhearding ratio, network lifetime

### ABSTRACT

In wireless sensor networks(WSNs), it is crucial to maintain network connectivity as long as possible since nodes are battery-powered and unchange-able. We propose a new routing protocol called Energy Aware Source Routing(EASR) which can be efficient in respect of network lifetime and long-term connectivity.

Our protocol is multipath source routing, only one path will be selected at the same time and each path has probability to be selected like as Energy Aware Routing(EAR) protocol<sup>[1]</sup>. The route discovery procedure of EASR protocol is reformed from the route discovery procedure of Split Multipath Routing(SMR) protocol<sup>[2]</sup>. However, there is the difference between SMR and EASR. In EASR, we define an overhearding ratio in order to reduce energy waste due to overhearding effect among each selected path. Thus, we can establish energy efficient multiple paths by making use of overhearding ratio.

The simulation results are also demonstrated that our scheme increases in network lifetimes, and achieves reasonable packet latency time.

\* 아주대학교 정보통신전문대학원 ({soyosoyo, jaslim}@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-09-394, 접수일자 : 2005년 9월 30일

## I. 서론

무선 센서네트워크 기술은 일상 환경이나 인간의 통제가 불가능한 환경에서 다양한 응용이 가능한 기술로서, 유비쿼터스 환경의 중요한 핵심기술이며 이동 컴퓨팅과 통신 분야에서 활발한 연구와 관심이 증대되고 있다. 현재 생산되는 무선 센서의 각 노드의 크기는 약 1센티미터 내외의 작은 크기를 가지며 기존의 ad hoc 네트워크와 비교할 때 훨씬 많은 수의 노드가 밀집된 망을 구성하게 된다. 무선 센서네트워크의 노드는 무엇보다 작은 크기와 외부에 고정되어 있는 특성상 임의의 시간에 전력 에너지를 공급받기 보다는 제한된 시간 안에 주어진 임무를 수행하게 된다.

무선 센서 네트워크의 수명을 최대로 유지하기 위한 에너지 효율적인 통신 프로토콜이 각 계층별로 활발히 연구되고 있다. 그 중에 본 논문에서 제안된 EASR은 라우팅 프로토콜의 관점에서 에너지 효율을 높이기 위한 알고리즘이다. 앞에서 언급했듯이, 무선 센서네트워크의 특성상 ad hoc 환경에서 제안된 대부분의 라우팅 프로토콜은 무선 센서네트워크에는 적합하지 않다. 한 예로, 기존의 무선 ad hoc 환경에서의 라우팅 프로토콜들은 대체로 단일 최적화 경로를 찾아서 데이터 전송을 하는데, 단일 경로에 기반한 라우팅 프로토콜은 해당 경로에 위치한 센서 노드들의 에너지를 집중적으로 소모하게 한다. 즉, 센서네트워크를 구성하는 노드 중 일부 노드가 에너지를 모두 소비해서 제 기능을 발휘하지 못하게 된다. 이런 경우 토폴로지의 변경뿐만 아니라 경로 재설정 및 재송신을 요구하는 상황이 발생하게 되고 불필요한 에너지의 낭비를 초래하게 된다.

EAR(Energy Aware Routing)<sup>[1]</sup>은 에너지의 효율성을 높이기 위한 대표적인 무선 센서네트워크의 라우팅 프로토콜로서 최적 경로 외에 대체 경로를 두어서 선택 가능한 복수 개의 경로 중에 확률에 의해 결정되는 경로로 데이터 트래픽을 전송하여 에너지 소비를 분산시킨다. 따라서 EAR은 단일 경로의 집중적인 에너지 고갈 현상을 막을 수 있다. 하지만, EAR은 단일 도약(single-hop) 경로 정보만을 이용하여 데이터를 전송하므로 송신 노드(source)에서 수신 노드(destination)까지 데이터를 전송하는데 지연 되는 시간(end-to-end latency time)이 크게 증가될 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해서, 본 논문에서는 DSR(Dynamic Source Routing)<sup>[3]</sup> 프로토

콜과 같은 송신 노드가 수신 노드까지 경로정보를 모두 알게 되는 소스 라우팅 방법을 사용한다. 즉, 에너지 효율적이면서 동시에 데이터 전송 지연시간을 적절하게 유지해줄 수 있는 EASR(Energy Aware Source Routing) 프로토콜을 제안한다.

제안하는 EASR 프로토콜에서 중요한 점은 네트워크의 연결을 오래도록 유지하기 위해서 복수의 중첩되지 않은 경로를 찾아내야 하는 것이다. DSR에서는 RREQ(Route Request) 전송 과정에서 중복되는 RREQ는 모두 중간 노드(intermediate node)에서 버려지므로 비 중첩 다중 경로를 설정하는데 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존에 ad hoc 네트워크에서 개발된 SMR(Split Multipath Routing)<sup>[3]</sup> 프로토콜을 사용하여 다수의 다중 경로를 확보하였다. 하지만, 실험을 통해서 살펴본 결과 비록 경로가 중첩되지 않더라도 다중 경로를 구성하는 노드 간 overhearding에 의한 에너지 소비가 크게 발생한다는 것을 알 수 있었다. 이런 현상은 다중 경로를 사용하여 데이터를 전송 함에도 불구하고 네트워크의 부분적인 노드의 에너지 고갈을 초래하게 된다.

따라서 본 논문에서는 이러한 에너지 낭비를 극복할 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜을 설계하였다. Overhearding 현상에 의한 에너지 소비 문제를 해결하기 위해서 다중 경로간의 overhearding 지수를 정의하고 이를 근거로 에너지 낭비를 최소화하는 기법이다. 제안하는 EASR 프로토콜은 중첩되지 않는 다중 경로를 선택하고 다중 경로간의 overhearding 현상을 극복함으로써 네트워크의 연결을 장시간 유지할 수 있게 한다. 그리고 데이터의 전송시 확률에 의한 대체 경로를 사용하므로 에너지 소모가 네트워크에 분산되는 효과가 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 overhearding 현상에 의한 에너지 고갈 문제점을 설명하고, III장에서는 기존에 연구되었던 라우팅 프로토콜에 대해 간단히 기술한다. IV장에서는 본 논문에서 제시하고 있는 EASR 프로토콜을 자세히 기술한다. V장에서는 제안된 EASR 프로토콜의 성능을 시뮬레이션으로 분석 논의하고, VI장에서 결론을 맺는다.

## II. Overhearding에 의한 에너지 고갈 현상

데이터 전송 시 고정적인 단일 경로가 아닌 여러 경로를 사용하게 되면 네트워크의 부분적인 에너지 고갈 문제를 해결할 수 있다. EAR<sup>[1]</sup> 프로토콜은 데이터 트래픽을 대체 경로를 사용하여 분산시킴으로

써 특정 경로의 급격한 에너지 소모를 방지할 수 있다. 그러나 데이터 트래픽을 분산시키더라도 경로 간에 간격이 충분치 않아서 데이터 트래픽을 over-hearing할 수 있는 위치에 존재하게 되면 불필요한 에너지 소모가 일어난다는 것을 알 수 있었다. 그림 1은 over-hearing 현상에 의해서 일어나는 에너지 소모 현상을 보여주고 있다. 그림 1에서 노드 {s, j, i, h, g, f, d} 는 선택된 3개의 경로 중에 데이터 전송이 일어나고 있는 하나의 경로를 보여주고 있다. 다른 2개의 경로는 데이터 전송을 하지 않고 있지만, 노드 {l, m, n, p, q, c, k, e}는 데이터 전송을 over-hearing 할 수 있다. 즉, 직접 데이터 전송에 참여하지 않더라도 over-hearing에 의해 에너지 소모를 겪게 되는 것이다. 본 논문에서는 이 over-hearing의 정도를 수치적으로 판단할 수 있도록 over-hearing 지수를 정의하고 이를 통해서 문제점을 해결하는 알고리즘을 제안하고 있다.

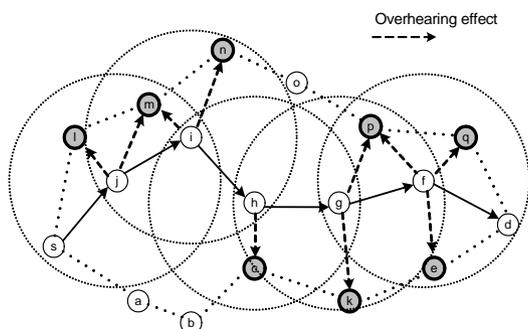


그림 1. 경로간 over-hearing 현상에 의한 에너지 소모

### III. 관련 라우팅 프로토콜

최적화된 단일 경로를 찾아내는 것은 일반적인 ad hoc 환경에서의 라우팅 프로토콜의 접근 방법이다. DSR<sup>[3]</sup>은 request/reply 과정을 이용해서 경로를 설정하고 데이터를 전송하는 방식이다. 그러나 DSR은 특정 경로를 데이터 전송에 지속적으로 사용하게 되므로 선택된 경로의 에너지를 급속히 고갈시키고 전체적인 네트워크의 연결 유지시간을 단축시키게 된다.

한편, 무선 센서네트워크에 적용하기 위해 고안된 on-demand 라우팅 프로토콜로 EAR<sup>[11]</sup>이 있다. EAR은 목적지까지의 다중 경로를 설정하고 데이터 전송시마다 확률에 의해 특정 단일 경로를 선택하여 전송하게 된다. 하지만, EAR은 단일 도약(single hop)간의 경로 정보만을 유지하므로 데이터 전송이

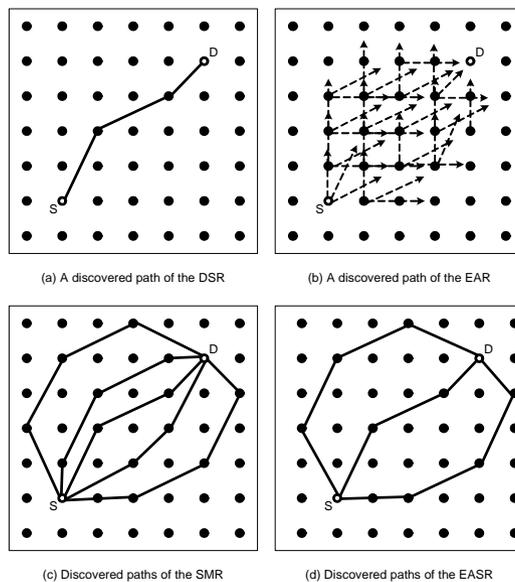


그림 2. 관련 라우팅 프로토콜의 경로 설정과정 수행

목적지까지 완료되는데 소요되는 시간을 보장해 줄 수 없다.

SMR<sup>[2]</sup>은 중복되지 않는 다중 경로를 선정하는 기법을 통해 선정된 복수 개의 전송 경로를 활용하여 데이터를 전송하는 프로토콜이다. 무선 ad hoc 환경에서 제안된 기법으로 사용하는 경로 설정 방식은 비교적 다수의 중복되지 않는 경로를 찾아내는데 효율적이다. 그리고 SMR도 역시 on-demand 라우팅 프로토콜이며 경로 설정 과정에서 중간 노드에서 수신된 RREQ가 중복되더라도 다른 경로를 거쳐오는 경우 RREQ를 전파할 수 있다. 이런 방식은 DSR과는 다르게 다수의 경로 정보를 확보할 수 있게 한다. 그러나 경로가 서로 중복되지 않더라도 서로 이웃에 있다면 over-hearing 현상에 의해 에너지의 소비가 발생 한다 위의 그림 2는 다양한 라우팅 프로토콜의 경로 설정 과정을 통해서 결정된 경로와 본 논문에서 제안하는 EASR의 결정된 경로를 각각 보여주고 있다.

### IV. 제안하는 EASR 프로토콜

#### 4.1 제안하는 EASR의 다중 경로 선정

본 논문에서 제안된 알고리즘의 핵심은 에너지 효율적인 다수의 전송 경로를 확보하는 것이다. EASR의 다중 경로 설정 과정은 기존의 라우팅 프로토콜 SMR과 유사하지만, SMR은 단지 중복되지 않는 다중 경로를 선택할 뿐 over-hearing 현상은 고

려하지 않는다. 반면, EASR은 데이터 전송 경로를 확보하는 과정에서 추가적으로 route reply로부터 얻어지는 이웃 노드의 주소 정보를 이용하여 경로 간의 overhearding에 의한 에너지 소비를 최소화 할 수 있는 경로를 선택을 할 수 있다. 뿐만 아니라 데이터 전송에 사용하는 경로가 매번 변경될 수 있어서 각 경로의 에너지 소비를 분산시킬 수 있다. EASR의 다중 경로 설정 과정은 route request, route reply, route selection으로 구성되어 있다.

4.1.1 Route Request.

본 논문에서 제안하는 기법은 SMR에서와 동일하게 RREQ(Route request message)를 flooding하여서 최대 분리를 다수의 다중 경로를 확보 한다. RREQ를 flooding 하는 과정에서 기존의 RREQ에 의해 형성된 경로와 다른 경로를 거쳐서 온 RREQ는 중복 여부와 무관하게 forwarding 해준다. 이때 중복된 RREQ의 거쳐 온 경로의 도착수가 기존의 RREQ보다 크지 않아야 한다. 결과적으로 좀더 많은 수의 다중 경로를 확보할 수 있는 것이다.

4.1.2 Route Reply

본 논문에서는 네트워크에 존재하는 모든 노드들이 자신의 이웃 노드의 주소(neighbor list)를 알고 있다고 가정한다. 일반적으로 on-demand 라우팅 프로토콜은 RREP(Route reply message)가 송신 노드로 전송될 때 경로정보를 모두 RREP에 기록한다. 그러므로 RREP를 수신하면 송신 노드는 수신 노드까지의 경로를 모두 알 수 있다. 하지만, 이 외에도 본 논문의 알고리즘에서는 RREP가 담아가야 할 추가적인 정보가 있다. 제안된 EASR에서 수행하는 두 가지 과정은 아래와 같다.

- 가) 중간 노드들의 남아있는 에너지 량을 RREP에 기록한다.
- 나) 중간 노드들의 이웃 노드 주소 정보를 RREP에 기록한다.

중간 노드들의 이웃 노드 주소 정보는 다음에 수행하게 될 route selection 과정에서 overhearding현상에 의한 에너지 소비를 줄일 수 있는 경로 설정에서 사용되고, 남아있는 에너지 량은 각 경로에 할당될 데이터 전송 확률로 계산된다.

4.1.3 Route Selection.

앞에서 수행된 route request/reply 과정에서 확보

된 다수의 경로 중에서 적어도 두 개 이상의 중첩되지 않고 overhearding을 겪지 않는 경로를 확보해야 한다. 즉, route selection 과정에서는 확보된 다수의 경로 중에서 에너지 효율적인 경로만을 선택하는 일을 수행하게 된다. 이를 위해서 확보된 경로는 중첩되거나 overhearding에 의한 에너지 소모가 큰 경로는 데이터 전송경로에서 제외시킨다. 다수의 확보된 경로 중에서 제외되어야 하는 경로의 조건은 아래와 같다.

- 가) 새로 도착한 RREP의 경로 정보가 기존의 선택된 경로 정보와 중복된다.
- 나) 새로 도착한 RREP의 이웃 노드 주소 정보가 기존의 선택된 데이터 전송 경로 정보와 중복된다.

조건 가)는 필수 불가결하다. 이렇게 하면 중첩되는 경로는 데이터 전송 경로에서 모두 배제시킬 수 있다. 이와 다르게 두 번째 조건은 유연성을 갖는다. 즉, 식(1)에서 나타내는 overhearding 지수의 임계치(threshold)를 설정하여서 그 값을 초과 할 경우만 데이터 전송 경로에서 제외시킨다. 그러므로 임계치를 조절하면 다른 결과를 낼 수 있다.

$$O_k = \frac{\sum_{x \in S_{new}} |N_x \cap S_k|}{|S_k|} \tag{1}$$

$O_k$ 는  $k$ 번째 경로의 overhearding 지수를 나타낸다. 그리고  $k$ 번째 경로는 이미 라우팅 캐쉬에 저장된 선택된 경로이다.  $S_k$ 는  $k$ 번째 경로에 존재하는 중간 노드의 집합을 나타내고,  $S_{new}$ 는 송신 노드에 새로 도착한 RREP의 경로정보에 기록된 중간 노드의 집합을 의미한다.  $N_x$ 는 노드  $x$ 의 이웃 노드 주소를 의미하며  $|S_k|$ 는 집합  $S_k$ 의 원소의 개수를 나타낸다. 그림 3은 중첩된 경로가 아니더라도 overhearding 지수의 수치가 임계치보다 높아서 선택되지 않는 경로의 한 예를 보여주고 있다. 이 그림에서  $S_1$ 은 {a, b, c},  $S_2$ 는 {e, f, g} 그리고  $S_{new}$ 는 {l, k, j, i, h}이다. 다음으로  $N_h, N_i, N_j, N_k, N_l$ 들은  $S_{new}$ 의 중간 노드들의 이웃 노드 주소의 집합이다. 예를 들어,  $N_h$ 는 {i, g, c}가 된다. (a, b, c)가 경로 1이고 (e, f, g)는 경로 2라고 가정하면, 식(1)을 적용하였을 때,  $O_1$ 은 0.33 그리고  $O_2$ 는 2.33이라는 것을 알 수 있다. 만약 overhearding 지수의 임계치를 0.4라고 가정하면, overhearding 지수의 임계치보다 큰 값을 지닌  $O_2$ 에 해당하는 경로는 에너

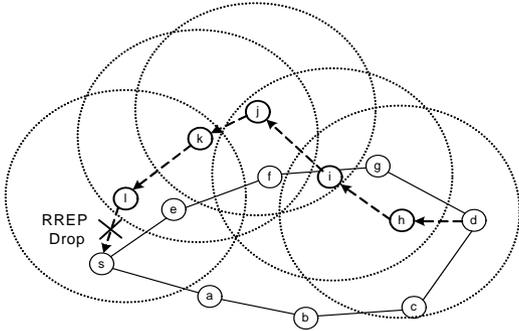


그림 3. EASR의 overheard를 고려한 경로 선정

지 효율적인 측면에서 부적합하여 선택되지 않을 것이다. 왜냐하면, overheard 지수는 overheard에 의한 에너지의 낭비를 나타내는 척도이기 때문이다.

4.2 제안하는 EASR의 데이터 전송

데이터를 전송하는 과정에서 송신 노드는 각 경로에 할당된 전송 확률에 따라 선택된 경로로 데이터를 전송한다. 즉, 데이터 전송에 사용하는 경로가 고정되지 않아서 집중적인 에너지 고갈을 방지할 수 있는 것이다. 각 경로에 데이터 전송 확률은 다음과 같은 수식에 의해 결정된다.

$$P_n = E_n / \sum_{k=1}^S E_k \tag{2}$$

식 (2)에서  $P_n$ 은  $n$ 번째 경로의 데이터 전송 확률이고,  $S$ 는 송신 노드에서 선택된 전체 경로의 집합을 나타낸다.  $E_n$ 은  $n$ 번째 경로의 에너지 수치 (energy metric)이다. 에너지 수치  $E_n$ 을 계산하는 수식은 아래와 같다.

$$E_k = (R_k)^\alpha \cdot (1/n_k)^\beta \tag{3}$$

수식 (3)에서  $R_k$ 는  $k$ 번째 경로에 속해있는 중간 노드의 남아있는 에너지의 평균값이고, 여기서  $R_k$ 는 초기 에너지에 의해 표준화(normalized) 된 값이다.  $n_k$ 는  $k$ 번째 경로의 도약 횟수(hops)이다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 weighting factor이다.  $\alpha$ 는 에너지 효율적인 측면을,  $\beta$ 는 데이터 전송 소요시간의 중요도를 조절할 수 있다.

그림 4는 각각의 경로에 적용한 확률  $P_1$ 과  $P_2$ 에 따라 데이터를 전송 하는 모습이다. 확률에 따라 한번의 데이터 전송에는 하나의 경로만을 사용하게 된다.

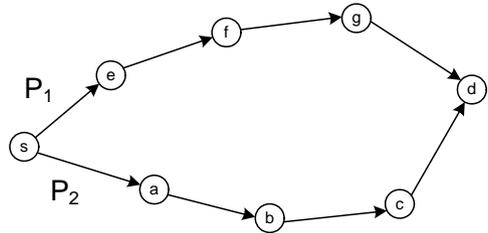


그림 4. EASR의 데이터 전송

V. 시뮬레이션 및 성능평가

5장에서는 제안된 EASR이 무선 센서 네트워크의 연결을 보다 오래 유지시킬 수 있는지를 기존의 기법들과 비교하여 나타내었다. 성능 분석을 위한 시뮬레이터는 NS-2.28을 사용하였으며 500미터×500미터 네트워크에 50개의 노드가 랜덤하게 분포된 환경을 가정하였다. 또한, 송신측과 수신측이 이웃하지 않도록 송·수신 노드 간은 충분한 거리를 두었다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 나타낸 것이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

parameters	value
Packet size (bytes)	30
Number of nodes	50
TxPower (mW)	15
RxPower (mW)	10
Initial node energy (Joules)	0.2
( $\alpha$ , $\beta$ )	(1, 0.1)
Overhearing ratio threshold	0.4/0.7/1.5
Packet arrival rate (packet/s)	17~167
Simulation time (sec)	100

그림 5는 시간이 경과함에 따라 네트워크상에 존재하는 동작 가능한 노드의 수를 그래프로 나타낸 것이다. Overhearing 지수의 임계치는 0.4를 사용하였다. 이것은 실험에 의해 결정된 값으로 가장 좋은 성능을 보였던 값을 선택한 것이다. DSR과 같은 단일 경로를 이용하는 경로 선정 방식은 지엽적인 에너지 고갈에 의해 경로가 빈번히 단절되고 추가적인 RREQ를 전송시켜야 하므로 에너지 소모에 의해 동작 가능한 노드의 수가 크게 줄어드는 모습을 보이고 있다. 그리고 약 65초 에서부터 송신 노드는 더 이상 경로를 찾을 수 없게 되었다. 한편, SMR의 경로 선정방식을 사용하여 데이터를 확률에

따라 분산해 전송할 경우 지역적인 에너지 고갈을 극복하게 되어 DSR보다 좋은 성능을 보이지만, overheard에 의한 에너지 낭비가 존재하므로 동작 가능한 노드의 수가 줄어들게 된다. 본 논문에서 제시한 EASR의 라우팅 경로 선정방식은 데이터를 확률에 따라 분산 전송할 뿐만 아니라 overheard에 의한 전송 경로에 존재하는 노드의 에너지 낭비도 피할 수 있어 가장 우수한 성능을 보인다. 그러나 전송 경로 상에 존재하지 않는 노드의 overheard는 막을 수 없지 않는가라는 의문이 생길 수 있다. 그러나 대부분의 에너지 소모는 데이터 전송 경로에서 발생하게 된다. 즉, 전송 경로의 overheard에 의한 에너지 소모는 극심하게 네트워크의 연결 유지 시간을 단축시키지만, 데이터 전송이 일어나지 않는 노드의 overheard에 의한 에너지 소모는 전체 네트워크 유지시간에 극심한 타격을 주지는 않는다는 것이다.

그림 6은 Overheard 지수의 임계치 변화에 따른 EASR의 동작 가능한 노드의 갯수를 나타내고

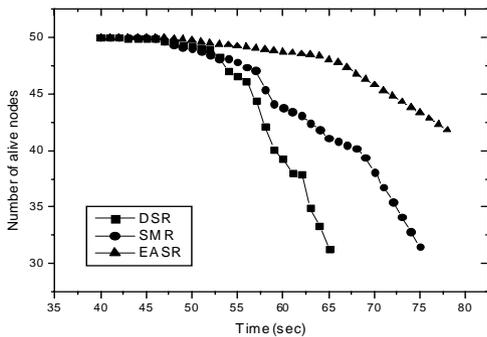


그림 5. 시간에 따른 동작 가능한 노드의 개수

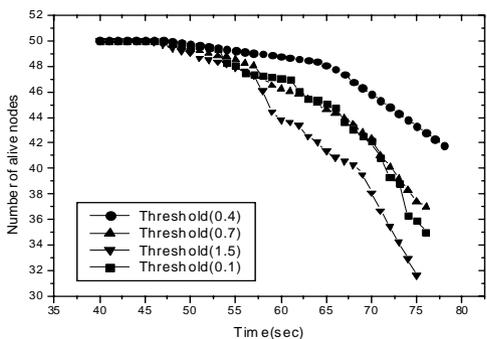


그림 6. Overheard 지수의 임계치 변화에 따른 EASR의 동작 가능한 노드의 개수

있다. 그림 6에서 보는 바와 같이 overheard 지수의 임계치가 1.5인 경우 overheard를 대부분 허용하는 경로가 선정되어서 SMR의 경로선정 방식에 의한 결과와 거의 동일하게 동작 가능한 노드의 수가 줄어들고 있다. 반대로 overheard 지수의 임계치를 0.4로 낮추면 overheard에 의한 에너지 소모가 줄어들어 네트워크의 연결 유지 시간이 연장되는 효과를 얻을 수 있었다. 즉, 작은 값의 overheard 임계치는 overheard 현상을 거의 허용하지 않게 되는 것이다. 만약에 아주 작은 수치의 임계치를 정하게 될 경우 모든 overheard현상을 허용하지 않게 되므로 다수의 경로를 선정하는데 실패할 가능성도 높아진다. 아래의 그림 6에서 보는 바와 같이, 임계치를 0.1로 하였을 경우 오히려 overheard 지수의 임계치 값이 더 큰 0.4의 경우보다 성능이 좋지 않은 모습을 관찰할 수 있다.

그림 7은 데이터 전송률에 따른 전송 지연 시간을 보여주고 있다. 데이터 전송에 소요되는 시간의 측면에서 보면 단일 최적화 경로를 사용하게 되는 DSR의 경로 선정 방식이 패킷 도착률(packet arrival rate)이 크지 않은 경우 좋은 성능을 보인다. 그러나 패킷 도착률이 증가하게 되면서 단일 경로를 사용하는 DSR은 큐잉 지연(queueing delay)이 발생하게 되어 데이터 전송에 소요되는 시간이 큰 폭으로 증가하게 된다. 하지만 SMR의 경로 선정 방식과 EASR은 다중 경로를 이용해서 데이터 트래픽을 분산시키는 효과가 있으므로 큐잉에 의한 시간 지연을 완화시킬 수 있다. 그림 7에서 관찰할 수 있듯이 80pps의 데이터 율에서부터 큐잉 지연에 의해 DSR의 전송 지연시간이 큰 폭으로 상승하고, 상대적으로 SMR과 EASR의 성능이 좋은 것을 관찰할 수 있다.

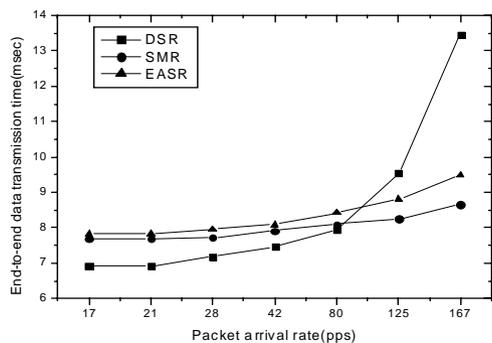


그림 7. 데이터 전송률에 따른 전송 지연 시간

## VI. 결론

본 논문에서는 무선 센서네트워크를 위한 EASR 프로토콜을 제안하고 그 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석해 보았다. Route request/reply 과정을 통해서 추가적인 정보를 획득하여 over-hearing 지수를 계산하고 경로 선택과정에서 적용함으로써 시뮬레이션에서 관찰할 수 있었던 over-hearing에 의한 에너지 소비를 줄여 네트워크의 연결 유지시간을 크게 증가시킬 수 있었다. 그리고 over-hearing 지수의 임계치의 선택이 EASR의 성능을 크게 좌우할 수 있다는 것도 알 수 있었다. 또한 EASR은 데이터의 전송을 다중 경로를 사용하여 수행하므로 경로의 단절이나 노드의 움직임에도 강한 특성을 가질 수 있다.

### 참고 문헌

[1] Rahul C. Shah and Jan M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks", IEEE Wireless Communication and Networking Conference, 2002.

[2] S. J. Lee and M. Gerla, "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks", ICC 2001.

[3] D. B. Johnson and D. A. Marltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," In Mobile Computing, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, Chapter 5, Kluwer Academic Publishers, 1996, pp. 153-181.

[4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks", IEEE/ACM Mobicom, 2000, pp. 56-67.

[5] R. Ogier, V. Rutenburg, and N. Shacham, "Distributed Algorithms for Computing Shortest Pairs of Disjoint Paths," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 39, no. 2, Mar. 1993, pp. 443-455.

[6] S. Singh, M. Woo, and C. S. Raghavendra, "Power aware routing in mobile ad hoc networks", IEEE/ACM Mobicom, Oct. 1998, pp. 181-190.

[7] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy conserving routing in wireless ad hoc networks", IEEE INFOCOM, 2000, pp. 22-31.

[8] J. Chou, D. Pelrovis, and K. Ramchandran.

"A distributed and adaptive signal processing approach to reducing energy consumption in Sensor networks:" in Proc. IEEE INFOCOM 2003, April 2003, San Francisco, CA.

[9] S. Doshi, S. Bhandare, and T.X. Brown. "An on-demand minimum energy routing protocol for a wireless ad hoc network: ACM Mobile Computing and Communications Review. vol. 6. no. 3, July 2002.

[10] S. Rhee, D. Seetharam and S. Liu. "Techniques for Minimizing Power Consumption in Low Data-Rate Wireless Sensor Networks" Wireless Communications and Networking Conference 2004, IEEE Vol. 3, Mar. 2004, pp. 1727-1731.

[11] 황도연, 권의혁, 임재성, "무선 센서네트워크에서 분리된 다중경로 선정에 기반한 에너지 인식 소스라우팅 프로토콜", 한국통신학회 하계학술대회, June 2005.

[12] X. Li, "Energy efficient wireless sensor networks with transmission diversity," Electron. Lett., vol. 39, no. 24, pp. 1753-1755, Nov. 2003.

[13] E. Altman, T. Basar, T. Jimenez, and N. Shimkin, "Competitive routing in networks with polynomial costs," IEEE Trans. Automat. Control, vol. 47, no. 1, pp. 92-96, 2002.

황도연 (Do-youn Hwang)

준회원



2005년 2월 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 졸업  
2005년 3월~현재 아주대학교 정보통신공학과 석사과정  
<관심분야> Wireless Mesh Networks, 무선 다중접근 방식

임재성 (Jae-Sung Lim)

중신회원



1983년 2월 아주대학교 전자공학과 졸업  
1985년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사  
1994년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사  
1985년~1988년 대우통신종합연구소 전임연구원

1988년~1995년 디지털정보통신연구소 책임연구원  
1995년~1998년 SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원  
1998년~현재 아주대학교 정보통신전문대학원 부교수  
<관심분야> 이동통신, 무선인터넷