

# 동적 소스 라우팅에서의 효율적인 파워 세이빙 알고리즘

정다운<sup>o</sup>, 노원중, 한규호, 임경수, 안순신

고려대학교 전자공학과 네트워크연구소

{ddauny<sup>o</sup>, njw, gatget, angus, shushin}@dsys.korea.ac.kr

## Effective Power Saving Algorithm under Dynamic Source Routing

Dawoon Chung<sup>o</sup>, Wonjong Noh, Kyuho Han, KyungSoo Lim, Sunshin Ahn  
Computer Network lab., Dep. Of Electronic Eng., Korea University

### 요 약

배터리 파워는 모바일 애드 hoc 네트워크(Mobile Ad hoc Network)에서 중요한 리소스이다. 기존의 라우팅 알고리즘에서는 노드의 파워를 on-off 시키는 방법으로 파워를 관리해왔다. 본 논문에서는 DSR (dynamic source routing)에서 route discovery, route maintenance를 할 때 각 노드의 배터리 파워 레벨을 고려하여 파워 레벨이 낮은 노드들은 RREQ packet을 보내지 않음으로써 소스에서 데스티네이션까지의 경로를 오래 유지시킬 수 있고, 또한 파워 레벨이 높은 하나의 노드에 트래픽이 집중되지 않도록 하기 위해 큐(queue)에 담겨있는 트랜스미션 패킷과 리시브 패킷의 수까지 고려하여 경로를 설정한다. 이 알고리즘을 이용함으로써 각 노드의 파워를 효율적으로 관리하는 물론, 전체 네트워크의 load 균형을 맞추므로 네트워크의 수명을 길게 할 수 있다.

### 1. 서론

현재 많은 연구가 진행되어온 MANET (Mobile Ad hoc Network)에서 정확하고 효율적인 route를 찾는 것에 대한 연구가 활발하다. 최근에는 노드들이 가지고 있는 제한된 양의 배터리 파워를 효율적으로 관리하는 라우팅 알고리즘과 한 노드로의 트래픽 집중을 막아 로드 밸런싱을 유지하여 전체 네트워크의 lifetime을 증가시키는 연구들이 이루어지고 있다.

이 논문의 2장에는 다이내믹 소스 라우팅, 3장에는 파워 세이브 라우팅에 대한 소개를 하고, 4장에는 다이내믹 소스 라우팅에서의 효율적인 파워 세이브 알고리즘에 대하여 제안한다.

### 2. 다이내믹 소스 라우팅 (Dynamic Source routing)

다이내믹 소스 라우팅은 두 가지의 온디맨드 매카니즘(on-demand mechanisms)으로 구성된다. 루트 디스커버리 (route discovery)와 루트 메인テナンス (route maintenance)이다. [1], [2],[3]

#### 2.1 루트 디스커버리 (Route Discovery)

소스 노드 A에서 데이터 패킷을 데스티네이션 노드인 E로 보내고자 할 때, E에 관한 루트 정보가 캐쉬에 존재하지 않는다면, 루트 디스커버리를 시작한다. 소스 노드는 루트 리퀘스트(route request) 패킷을 보내는데 이 패킷은  $\langle A \rightarrow B, A, id \rangle$ 의 정보를 담고 있다. 이것은 소스-데스티네이션 페어(source destination pair), 소스에

서 데스티네이션까지 가는 루트 정보, 식별자를 의미한다. 이 패킷이 현재 노드에서 이미 처리했던 패킷이라면 현재 노드에서는 패킷을 버리고, E까지의 루트가 캐쉬에 있다면 루트 리플라이(route reply) 패킷을 소스 노드인 A로 전송한다.

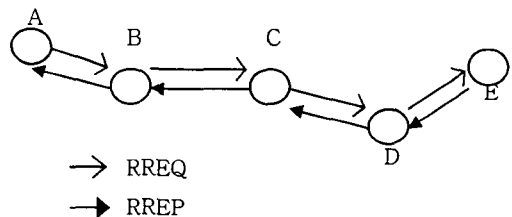


Figure 1. Route Discovery

이때 RREP packet에 RREQ packet의 소스로부터의 정보에 캐쉬 되어있던 루트 정보를 연결하여 packet이 왔던 루트를 역순으로 하여 A로 전송한다. E까지의 루트 정보가 캐쉬되어 있지 않은 노드 B가 RREQ packet을 받으면, RREQ packet에 자신의 정보를 넣어서  $\langle A \rightarrow E, AB, id \rangle$  라는 RREQ packet을 만들어서 이웃 노드로 rebroadcast한다. RREQ가 E에 도착하면 E는 A로 그 동안의 경로인 ABCDE라는 루트 정보를 담아서 A로 RREP packet을 전송한다. E에서 온 RREP packet

을 받은 A는 자신의 캐쉬에 ABCDE라는 루트 정보를 저장한다.

2.2 루트 메인テナンス (Route Maintenance)

C 노드에서 CD로의 링크가 깨진 것을 알게 되었을 때 루트 메인テナンス가 시작된다. 노드 C는 소스 노드인 A로 Route Error packet을 전송한다. 각 노드는 route error message를 받으면 자신의 캐쉬에서 깨진 링크가 있는 모든 루트를 삭제하고 소스로 RERR message를 전송한다.

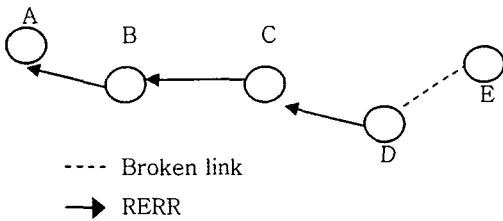


Figure 2. Route Maintenance

3. Power-Save Routing

네트워크 계층에서 제공되는 두 가지 파워를 절약하는 방법은 파워 인식 라우팅(power aware routing)과 최대 수명 라우팅(maximum lifetime routing)이다. 파워 인식 라우팅에서 라우팅 프로토콜은 최소의 파워를 소비하는 루트를 찾는 방식이다. 그러나 이 방식은 트래픽이 집중되는 노드의 수명이 줄어들게 만든다. 최대 수명 라우팅은 노드들 간의 에너지 소비를 균형을 맞출 수 있다. [4], [5], [6], [7], [8], [9]

파워 인식 라우팅의 대표적인 예로는 Minimum Total Power Routing (MTPR) [10]과 Minimum Battery Cost Routing (MBCR) [11]이 있다. MTPR에서는 power 소모가 제일 적은 route를 찾아서 데이터를 전송하는 방법을 사용한다. 즉  $P_{MTPR} = \min_{R \in S} P_R$  로 S는 가능한 모든 루트의 set을 의미한다. 그러나 이 기법은 모든 경로가 설정되었을 때만 사용 가능하다는 단점이 있다. 두 번째 라우팅 방법인 MBCR은 모든 중간 노드들의 battery capacity 역수의 합을 이용해서 루트를 설정하는 방법이다. 그러나 합의 최소값을 찾아서 루트를 설정해야 하기 때문에 몇몇의 노드들만 트래픽이 집중될 수 있기 때문에 이 노드들의 battery가 고갈되면 전체 경로가 망가질 수 있다는 단점이 있다.

최대 수명 라우팅의 대표적인 예로는 Lifetime Prediction Routing (LPR)이 있다. LPR은 네트워크 상의 노드들의 남은 에너지의 평균값을 예측하여 network lifetime을 최대화 시키는 것이 목적이다.  $Max T_{\Pi}(t) = Min(T_i(t))$  라는 식을 만족시키는 경로를 설정하는 것으로 이 때  $T_{\Pi}(t)$ 는 경로  $\Pi$ 의 lifetime,  $T_i(t)$ 는 경로  $\Pi$ 안의 노드의 lifetime 예상 값을 의미한다. [12] 그러나 이 기법은 모든 노드들이 RREQ packet에 기본적인 루트 정보 이외에 자신의 예상 lifetime을 예상하는 파워가 소모되고, 최종 목적지 노드에서는 서로 다른 경로에서 온 RREQ packet의 lifetime prediction 값을 연산하는데 파워가 소모되게 된다는 단점이 있다. 그리고, 최종목적지 노드에서는 lifetime prediction 값을 비교하여 경로를 설정하기 위하여 일정 시간을 기다려야 하는 단점이 있다.

4. 다이내믹 소스 라우팅에서의 효율적인 파워 세이빙 기법

본 논문에서 제안하는 기법은 power aware routing의 장점인 파워 레벨이 높은 노드들을 선택하여 경로를 만들어 파워 고갈에 따른 루트 재설정을 방지할 수 있는 점과 maximum lifetime routing의 장점인 보내고자 하는 데이터를 처리하는데 필요한 파워를 예측하여 루트를 설정하는 방법을 보완하여, 각 노드에서 자신의 파워 레벨을 계산하여 threshold power level보다 자신의 파워 레벨이 높을 경우에만 전체 경로 설정에 참여하게 된다. 또한 단순히 파워 레벨이 높다고 하여 여러 경로의 노드로 포함되는 것이 아니라 현재 큐에 들어있는 처리해야 할 패킷의 수까지 고려하여 파워 레벨을 계산하여 경로 설정에 참여하게 된다.

4.1 루트 디스커버리

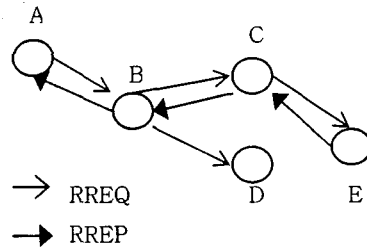


Figure.3  $P_{node D} < P_{Th}$  상황에서의 루트 디스커버리

소스 노드 A가 최종 목적지 노드인 E로의 경로를 알고자 할 때, DSR(dynamic source routing)에서와 마찬가지로 RREQ packet을 이웃 노드로 flooding한다. 이때 RREQ packet을 받은 각 노드들은 자신의 파워 레벨을 계산하여 Threshold값보다 파워 레벨이 높을 때에만 RREQ packet을 다시 이웃 노드로 전송한다. Figure 3에서 노드 D는 파워 레벨이 Threshold값보다 낮기 때문에 RREQ packet을 전송하지 않는다. 최종 목적지인 E에서 RREQ packet을 받으면 E는 RREP packet을 소스 노드인 A로 전송하게 되고 RREP packet을 받은 A는 Figure 4와 같이 자신의 루트 캐쉬에 E까지의 경로인 ABCE를 저장하게 된다. (Table. 1)

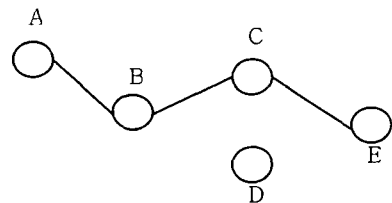


Figure 4. 최종 루트

이때 i 노드에서의 power threshold값은 식 (1)과 같이 계산한다. 각 노드의 큐는 M/M/1의 Poisson process [13] 이다. (1) 식은 각 노드에서의 파워 소모되는 양을 RREQ packet이 한 노드의 큐에 들어가서 처리되는데 소모되는 패킷당 파워인  $P_{RREQ}$ 와 RREQ

packet이 도착하기 이전에 각 노드의 큐에 Poisson process를 따라 도착해있던 packet들을 처리하는데 소모되는 패킷당 파워인  $P_{curr}$ 로 나누어 정의하였다.  $P_{curr}$ 에서 고려되어야 할 점은  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ 인데, 이는 각 노드들의 큐에 쌓이게 되는 패킷의 양은 노드들의 거리와 각 노드들의 패킷 처리 속도에 비례하여 증가하기 때문이다.

$$P_{th} = P_{RREQ} + P_{curr} \quad (1)$$

$$P_{RREQ} = V \sum_{n=0}^{\infty} n(1-\rho)\rho^n \quad (\text{단, } \rho = \frac{n\lambda}{\mu})$$

$$P_{curr} = \sum_{m=1}^{V-1} \{(\Delta t_1 + \Delta t_2)(m\lambda - \mu)\}^m$$

$n$  : 노드의 큐의 개수

$\lambda$  : 각 노드의 큐에 패킷이 들어오는 비율

$\mu$  : 노드가 처리하는 비율

$V$  : 전송해야 하는 전체 데이터의 패킷 수

$\Delta t_1$  : Transmission Delay

$\Delta t_2$  : Propagation Delay

**Intermediate Node :**

*Calculate its Threshold Power Level*

*If its current power level > Its Threshold Power Level  
Transmit Route Reply packet include its route information*

*If its current power level < Its Threshold Power Level  
Don't transmit Route Reply packet*

Table 1. 중간 노드에서의 Pseudocode

**5. 결론 및 향후 연구**

본 논문에서는 전송할 데이터의 패킷 수에 따라 필요한 파워의 Threshold값을 계산하여 전체 루트를 생성하는 라우팅 기법을 제안하였다. 각 노드에서 파워레벨을 계산해서 전체 루트를 생성하기 때문에, 한 노드에서의 파워레벨이 낮아짐에 따른 전체 루트 재생성에 대한 번거움을 줄일 수 있다. 또한 각 노드들의 현재 큐에 들어있는 처리해야 할 패킷의 수를 고려하여 파워 레벨을 계산하였기 때문에 파워레벨이 높은 노드로 트래픽이 집중되는 현상을 방지하여 로드 밸런싱을 제공할 수 있다.

향후 좀더 효율적이고 안정된 루트를 제공하기 위해서는 파워가 재충전되어 Threshold power level값보다 높아진 노드들을 효율적으로 경로에 포함시키는 방법을 고안해야 하고, 또한 파워 레벨을 두 단계로 나누어 아래 레벨보다 파워 레벨이 낮은 노드는 슬립모드로 전환하는 추가적인 모델이 제시되어야 할 것이다.

**6. 참고 문헌**

1. David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)" <http://www.ietf.org/internet->

[drafts/draft-ietf-manet-dsr-09.txt](http://drafts/draft-ietf-manet-dsr-09.txt) IETF MANET Working Group Internet-Draft 15 April 2003

2. Mohammad Ilyas, "The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks", CRC PRESS 2003

3. Dharma Prakash Agrawal, Qing-An Zeng, "Introduction to wireless and mobile systems" Brookscole 2003

4. S. Lindsey, K. Sivalingam and C.S Raghavendra, "Power Aware Routing and MAC protocols for Wireless and Mobile Networks", in Wiley Handbook on Wireless Networks and Mobile Computing, Ivan Stojmenovic, Ed., John Wiley & Sons, 2001

5. S. Singh, M.Woo and C.S. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Proceedings of Mobicom 98.

6. C.K.Toh, "Maximum battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad hoc Networks", IEEE Communication Magazine, June 2001.

7. J-H Chang and L. Tassiulas, "Energy conserving Routing in Wireless Ad-hoc networks," Proceeding of INFOCOM 2001.

8. C. Schurgers and M.B. Srivastava, "Energy efficient routing in wireless sensor networks," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2002.

9. M. Maleki, K. Dantu and M. Pedram, "Power-aware Source routing in mobile ad hoc networks", Proceedings of ISLPED '02, Monterey, CA.

10. K. Scott and N. Bambos, "Routing and Channel Assignment for Low Power Transmission in PCS", Proc. ICUPC '96, Oct. 1996, vol.2, pp. 498-502.

11. S. Singh, M. Woo, and C. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks", Proc. Mobicom '98, Dallas, TX, Oct. 1998.

12. Maleki, M. Dantu, K. Pedram, M. "lifetime prediction routing in mobile ad hoc networks" Wireless Communications and Networking, 2003. IEEE

13. Peter G. Harrison, Naresh M. Patel, "Performance Modelling of Communication Networks and Computer Architectures", Addison-Wesley 1994.