

모바일 Ad-hoc 네트워크에서 AODV 기반의 에너지 소비와 경로를 고려한 라우팅 프로토콜

박상현^o 김성천^o
서강대학교 컴퓨터학과
{loveis^o, ksc}@arqlab1.sogang.ac.kr

AODV-based Routing Protocol in Mobile Ad-hoc networks considering energy consumption and path of mobile nodes

Sanghyun Park^o Sungchun Kim^o
Dept. of Computer Science, Sogang University

요 약

Ad-hoc 네트워크는 기존의 유선 네트워크와 달리 여러 가지 제약과 갖고 있다. 그 중에서 가장 큰 제약은 배터리에 저장된 한정된 에너지에 의존해서 동작한다는 것이다. 어떤 모바일 노드가 배터리에 저장된 에너지를 모두 소비하게 되면, 그 노드는 더 이상 네트워크에 참여할 수 없게 된다. 이러한 현상이 증가하게 되면 네트워크가 두 개 이상의 서브 네트워크로 분할되는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 라우팅을 통하여 에너지 소비를 좀 더 효율적으로 네트워크로 분산시키기 위한 RDRP(Request Delay Routing Protocol)와 MMRP(Max Min Routing Protocol) 프로토콜들이 제안되었다. 본 논문에서는 에너지 상태에 따라 플러딩(Flooding)을 지연시키는 RDRP 방법에 현재 형성된 라우팅 경로까지 함께 고려한 EP-AODV(AODV considering Energy and Path)를 제안한다. 또한, NS-2(Network Simulator 2) 시뮬레이터를 이용한 성능 평가를 통하여 본 논문에서 제안된 프로토콜이 좀 더 에너지 소비를 네트워크 전체로 효율적으로 분산시킨다는 것을 보일 것이다.

1. 서 론

무선 네트워크는 크게 어떤 기반시설(기지국, AP)을 이용하여 통신이 이루어지는 셀룰러 네트워크와 어떤 기반 시설의 도움 없이 각 모바일 노드들이 단말 노드와 라우터의 역할을 함께 수행하여 통신이 이루어지는 Ad-hoc 네트워크가 있다. Ad-hoc 네트워크는 기반시설의 도움 없이 구성이 가능하기 때문에 대규모 정전 혹은 자연재해, 전쟁 등으로 인하여 기존의 기반시설을 통한 통신이 불가능한 긴박한 상황이나, 일시적으로 네트워크를 구성해야 하는 상황에서 사용될 목적으로 최근에 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, IETF(Internet Engineering Task Force) 내의 MANET(Mobile Ad-hoc Network) 워킹그룹에서 표준화가 활발히 이루어지고 있다 [1].

Ad-hoc 네트워크의 각 모바일 노드는 배터리에 저장된 한정된 용량의 에너지에 의지해서 동작한다. 이것은 곧, 어떤 모바일 노드가 자신의 한정된 용량의 에너지를 모두 소비하게 되면 그 모바일 노드는 더 이상 네트워크에 참여할 수 없음을 의미한다. 이렇게 자신의 에너지를 모두 소비한 모바일 노드가 증가하게 되면 네트워크가 두 개 이상의 서브네트워크로 분할되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 각 모바일 노드가 가진 한정된 용량의 에너지를 효율적으로 소비하도록 하는 것은 네트워크 성능에 중요한 영향을 미치게 된다.

기존에 연구된 Ad-hoc 네트워크에서 에너지 소비와 관련된 연구들은 크게 모바일 노드에서 소비되는 에너지를

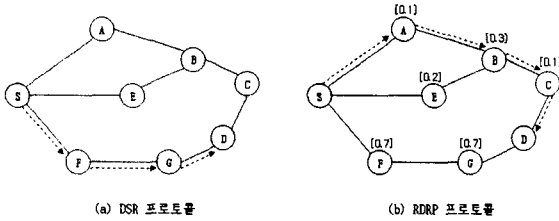
절약하기 위한 링크 계층에서의 접근과 에너지의 소비가 효율적으로 이루어지도록 하기 위한 네트워크 계층에서의 접근으로 나뉘어 진다. 본 논문에서는 네트워크 계층에서의 접근을 통해서 모바일 노드에서 소비되는 에너지가 전체 네트워크로 효율적으로 분산 되도록 하여 네트워크 시스템 활동시간(Network System Life-Time) [2]을 증가시킬 수 있는 방법에 대해서 알아본다. 각 모바일 노드에서 에너지 소비와 관련하여 고려될 수 있는 것은 저전력 CPU, 저전력 HDD, 저전력 LCD, 대용량 배터리 채용과 같은 것이 있지만, 본 논문에서는 라우팅에서 소비되는 에너지만을 고려하였다.

에너지 소비를 고려한 라우팅 프로토콜에는 정적인 토폴로지를 고려한 MTPR(Minimu Total Transmission Power Routing), MBCR(Minimum Battery Cost Routing), MMBCR(Min-Max Battery Cost Routing), CMMBCR(Conditional MMBCR) 프로토콜들과 동적인 토폴로지를 고려한 RDRP(Request Delay Routing Protocol)와 MMRP(Max Min Routing Protocol) 프로토콜[3]이 있다. 본 논문에서는 Ad-hoc 네트워크 환경에 적합한 동적인 토폴로지를 고려한 RDRP 프로토콜에서 각 모바일 노드의 현재 에너지 상태 뿐 아니라 설정된 라우팅 경로의 수를 함께 고려한 새로운 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존에 연구된 RDRP 프로토콜에 대해서 알아보고, 3장에서 RDRP 프로토콜을 개선한 EP-AODV 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

2. RDRP 프로토콜

RDRP 프로토콜의 기본 아이디어는 DSR 프로토콜의 경로 탐색 과정(Route Discovery)에서 발생하는 RREQ (Route Request) 제어 메시지를 이웃 노드들에게 플러딩(Flooding)하는 것을 각 모바일 노드의 배터리에 저장된 에너지 상태에 따라서 지연 시키는 것이다. DSR 프로토콜은 각 노드가 RREQ 메시지를 받으면, 그 즉시 인접한 이웃 노드로 플러딩을 하지만, RDRP 프로토콜은 각 노드가 가진 에너지의 상태에 따라서 일정시간 동안 RREQ 메시지의 플러딩을 지연 시켜서 좀 더 에너지의 상태가 좋은 노드들이 참여하는 경로가 선택될 수 있도록 하여서, 패킷 증계로 인하여 생기는 에너지의 소비를 전체 네트워크로 분산 시키도록 하였다.



[그림 1] DSR 프로토콜과 RDRP 프로토콜의 동작

어떤 노드 i 에서 시간 t 에 대해서 배터리에 저장되어 있는 에너지의 용량을 $c_i^t (0 \leq c_i^t \leq 100)$ 라고 하면, 노드 i 에 대한 RREQ 지연 함수를 $f_i(c_i^t)$ 라고 정의한다. 곧, RDRP 프로토콜에서 RREQ 메시지의 플러딩을 지연시키는 함수는 [식 1]과 같이 정의된다.

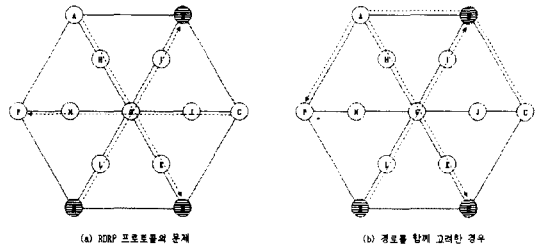
$$f_i(c_i^t) = \frac{0.5}{c_i^t + 0.5} \dots\dots\dots [식 1]$$

[그림 1]의 네트워크에서 각 모바일 노드 간에 RREQ 메시지의 전달시간이 모두 일정하다고 하면, [그림 1 (a)]에서 소스 노드 S에서 목적지 노드 D로의 라우팅 경로 설정할 때 DSR 프로토콜을 사용하면 소스 노드에서 발생 시킨 RREQ 메시지가 목적지 노드까지 도달하는 시간이 가장 짧은 S-F-G-D로 경로가 설정 된다. 하지만, [그림 1 (b)]에서 각 모바일 노드의 에너지 상태에 따라서 [식 1]을 이용한 지연함수를 통해서 RREQ 메시지의 플러딩을 지연시키게 되면 설정되는 경로는 S-A-B-C-D가 될 것이다. 곧, [그림 1 (b)]에서 각 노드의 위에 표시된 숫자가 각 노드의 현재 에너지에 따른 지연함수를 통한 RREQ 메시지의 지연 시간이라 하면 경로 $P_1=S-A-B-C-D$, $P_2=S-E-B-C-D$, $P_3=S-F-G-D$ 에 대해서 P_1 은 0.5초 지연, P_2 는 0.6초, P_3 는 1.4초가 지연되기 때문에 결국 RDRP 프로토콜에서는 P_1 이 선택된다.

3. EP-AODV 프로토콜

각 모바일 노드의 배터리에 저장된 에너지의 상태에 따라서 경로를 탐색하기 위한 RREQ 제어 메시지의 플러딩을 지연시켜서, 좀 더 배터리에 저장된 에너지의 상태가 좋은 노드들이 포함된 라우팅 경로가 설정되도록 하

는 RDRP 프로토콜은 모바일 노드의 시간에 따른 이동성을 고려해서 라우팅 경로를 설정하기 때문에 Ad-hoc 네트워크에 적합한 에너지 소비를 고려한 라우팅 프로토콜이라고 할 수 있다. 하지만, RDRP 프로토콜은 각 노드가 가진 현재 에너지 상태에 따라서 RREQ 메시지의 플러딩을 지연시키기 때문에 배터리에 저장된 에너지의 상태가 아주 좋은 특정 노드가 여러 경로의 설정에 참여할 수 있는 문제가 있다. 어떤 특정 노드가 많은 경로 설정에 참여하게 되면, 그 노드는 패킷을 증계하기 위한 부하가 가중되는 문제 뿐 아니라 다른 노드들에 비해서 자신의 에너지를 급속히 빨리 소모하게 되는 문제가 발생하는 문제가 생기게 된다.



[그림 2] RDRP 프로토콜의 문제점

[그림 2 (a)]에서 빗금으로 표시된 노드 {B, D, E}가 현재 배터리에 저장된 에너지가 좋은 않은 상태이고, 회색으로 표시된 노드 G가 현재 에너지의 상태가 아주 좋은 경우, RDRP 프로토콜을 사용하면 [그림 2 (a)]에서와 같이 P_{AD} , P_{CE} , P_{EB} 세 개의 경로에 노드 G가 참여하게 되어서, 패킷을 증계하기 위한 오버헤드와 급속히 자신의 에너지를 소비하게 되는 문제가 발생하게 된다. [그림 2 (a)]에서 나타난 RDRP 프로토콜의 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 모바일 노드의 에너지 상태 뿐 아니라, 현재 설정되어 있는 경로의 수도 함께 고려해서 [그림 2 (b)]와 같이 경로가 설정될 수 있도록 하기 위한 AODV 프로토콜에 기반 한 EP-AODV(AODV considering Energy and Path) 프로토콜을 제안한다.

EP-AODV 프로토콜은 RDRP 프로토콜과 달리 AODV 프로토콜에 기반 한다. AODV 프로토콜은 DSDV와 DSR 프로토콜을 결합한 방식으로, 소스 노드에서 목적지 노드로 경로 설정이 필요할 때 DSR 프로토콜과 같은 방법으로 RREQ 메시지를 이웃노드로 플러딩을 하여서 경로를 설정하게 된다. 하지만, DSR 프로토콜이 라우팅 캐쉬를 사용하는 반면 AODV는 일정시간 유지되는 라우팅 테이블을 사용한다. 따라서 AODV 프로토콜을 이용하면 현재 각 노드에 활성화되어서 사용 중인 경로의 수를 파악할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 AODV의 이러한 특성을 이용해서 현재 각 노드의 에너지 상태 뿐 아니라 설정되어 있는 경로의 수를 함께 고려해서 RREQ 메시지의 플러딩을 지연시키는 함수를 사용한 EP-AODV 프로토콜을 제안한다. 곧, EP-AODV 프로토콜은 각 노드의 배터리에 저장된 에너지의 상태 뿐 아니라, 설정되어 있는 경로의 수를 함께 고려해서 RREQ 메시지를 플러딩 하여, 패킷 증계를 통한 에너지 소비가 네트워크를 구성하는 모든 노드들에게 좀 더 균등하게

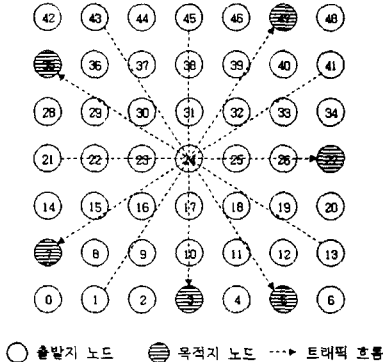
분산되도록 하여 향상된 네트워크 시스템 활동시간을 얻도록 하였다.

어떤 노드 s 에서 시간 t 에 대해서 배터리에 저장되어 있는 에너지의 용량을 $c_s^t (0 \leq c_s^t \leq 100)$ 라고 하고 경로의 수를 r_s^t 라고 하면, 노드 s 에 대한 RREQ 지연 함수를 $f_s(c_s^t, r_s^t)$ 라고 정의하면, EP-AODV 프로토콜에 의해서 설정되는 경로 $P_{sd}(s)$ 는 출발지 노드, d 는 목적지 노드)는 [식 2]와 같이 정의 된다.

$$P_{sd} = \min \{ T_{sd} | \forall T_{sd} = \sum_{s=1}^{d-1} f_s(c_s^t, r_s^t) \} \dots \dots \dots \text{ [식 2]}$$

4. 성능 평가

본 논문에서 제안된 EP-AODV의 성능 평가를 위해서 NS-2(Network Simulator) 시뮬레이터를 사용하였다. 모바일 Ad-hoc 네트워크 모델은 CMU(Carnegie Mellon University)의 Monarch Research Group 에서 NS-2 시뮬레이터를 위해서 개발한 모델을 이용하였다. 각 모바일 노드의 배터리에 저장된 초기 에너지는 10 줄(Joules)로 설정하고, 패킷을 전송할 때 600 m/W(Watts)가 소비되고, 패킷을 수신할 때 300 m/W가 소비되도록 설정하였다. 네트워크 토폴로지 모델은 [그림 3]과 같이 800m x 800m 내에 49개의 모바일 노드가 균등하게 배치 되도록 하였고, 각 모바일 노드는 시간에 따라서 랜덤하게 이동하도록 설정하여서 동적으로 토폴로지가 변화하도록 하였다. 트래픽 모델은 [그림 3]에서 보는 것처럼 (1, 47), (13, 35), (21, 27), (41, 7), (43, 5), (45, 3) 로 총 6개의 링크가 설정 하였다. 이때, 링크는 (출발지 노드, 목적지 노드)로 표현 되었다. 출발지 노드에서 목적지 노드로 발생하는 트래픽은 UDP 프로토콜에 기반 한 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽이 발생 되도록 하였다. CBR 트래픽에서 발생하는 패킷은 512byte로 설정 되었고, 초당 100개가 발생하도록 하였다.



[그림 3] 시뮬레이션 모델

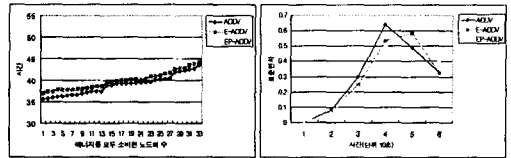
본 논문에서 제안한 EP-AODV 프로토콜의 성능 평가를 위해서 기존의 AODV와 [식 1]를 이용하여 경로 탐색과정에서 RREQ 메시지의 플러딩을 지연 시키는 E-AODV(AODV considering Energy) 프로토콜을 구현

하여 비교 하였다. 60초 동안 시뮬레이션을 진행해서 결과를 분석하였다. AODV, E-AODV, EP-AODV 프로토콜의 성능 평가를 위해서 두 가지 경우에 대해서 분석하였다. 첫 번째는 네트워크 시스템 활동시간을 측정하기 위해서 각 모바일 노드가 자신의 배터리에 저장된 에너지를 모두 소비하는 시간을 측정하였고, 두 번째는 [식 3]을 이용하여 시간에 따른 모바일 노드의 배터리에 저장되어 있는 에너지의 상태에 대한 표준편차를 측정하였다. [식 3]에서 m 은 평균을 나타내고, n 은 전체 노드 수를 나타낸다.

$$\text{표준편차} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i^t)^2 + m^2, \quad m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i^t \dots \dots \dots \text{ [식 3]}$$

EP-AODV 프로토콜에서 지연함수 $f_s(c_s^t, r_s^t)$ 는 실험을 통해서 [식 4]와 같이 설정하였다.

$$f_s(c_s^t, r_s^t) = \frac{0.5}{c_s^t + 0.5} + (r_s^t)^2 \dots \dots \dots \text{ [식 4]}$$



[그림 4] 시간에 따른 에너지를 모두 소비한 노드의 수
[그림 5] 시간에 따른 각 노드의 에너지 상태에 대한 표준 편차

성능 평가 결과를 분석해 보면 [그림 4]에서 제안된 EP-AODV 프로토콜이 에너지를 모두 소비한 노드가 발생하는 시간이 좀 더 늦음을 알 수 있고, [그림 5]에서 EP-AODV 프로토콜이 좀 더 에너지의 소비가 네트워크 전체로 효율적으로 분산됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 모바일 Ad-hoc 네트워크에서 각 모바일 노드의 배터리에 저장된 에너지의 효율적인 소비가 네트워크 성능에 중요한 영향을 미친다는 것을 알아보았다. 기존에 제안된 에너지 소비를 고려한 라우팅 프로토콜들에 대해서 알아보고, 기존에 제안된 RDRP 프로토콜의 문제를 개선한 EP-AODV 프로토콜을 제안 하였다. 시뮬레이션을 통해서 EP-AODV 프로토콜이 좀 더 에너지의 소비를 네트워크 전체로 분산시킴을 확인 하였다.

6. 참고문헌

[1] [http://www.ietf.org/IETF MANET Working Group](http://www.ietf.org/IETF%20MANET%20Working%20Group).
 [2] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks", IEEE INFOCOM 2000, pp. 22-31, 2000.
 [3] Wei Yu, Jangwon Lee, "DSR-based Energy-aware Routing Protocols in Ad Hoc networks", ICWN, http://www.ece.utexas.edu/~jangwlee/energy_wei.pdf, June 2002.