

Mobile Ad-hoc 네트워크에서 Threshold 적용과 신호세기 기반의 효율적인 파워소모 라우팅 프로토콜

박건우*, 송주석**
 연세대학교 컴퓨터과학과
 e-mail : pgw4050@emerald.yonsei.ac.kr

Power Aware Routing Protocol based on Both Threshold by Residual Battery Capacity and Signal Strength in Mobile Ad-hoc Network

Gun-Woo Park*, Joo-Seok Song**
 Dept of Computer Science, Yonsei University

요 약

Mobile Ad-hoc 네트워크(MANET)에서 각 노드들은 한정된 배터리에 의존하여 통신한다. 이와 같은 제한사항을 극복하기 위해 링크의 안정성을 유지하거나 파워 소모를 고려한 프로토콜에 대한 연구들이 활발히 이루어져 왔다. 하지만 링크의 안정성 또는 파워 소모의 어느 한 측면만을 고려함으로써 링크의 안정성은 높일 수 있으나 파워 소모가 효율적이지 못했다. 반면에 전체 파워소모는 줄일 수 있었으나 파워소모의 균형을 이루지 못함으로써 네트워크 수명을 오래 지속시킬 수 없는 문제점이 발생 했다. 본 논문에서는 배터리 잔량에 대한 threshold를 적용함과 동시에 신호세기를 고려하여 각 노드들의 균형된 파워소모와 네트워크 전체의 파워 소모를 최소화함으로써 네트워크 수명을 오래 지속시키기 위한 프로토콜인 PRTRS(Power Aware Routing Protocol based on Both Threshold by Residual Battery Capacity and Signal Strength in Mobile Ad-hoc Network)를 제안한다. PRTRS는 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing)를 기반으로 하였다. NS-2 네트워크 시뮬레이션 결과 PRTRS는 특정 노드로 집중되는 트래픽을 분산시켜 파워소모의 균형을 이루고 네트워크 전체의 파워소모를 최소화함으로써 네트워크 수명이 연장됨을 확인하였다.

1. 서론

Mobile Ad-hoc 네트워크는 이동 노드들이 기반망의 도움 없이 자율적으로 구성하는 임시적인 네트워크이며 배터리에 많은 제약을 받는다. 지금까지 이러한 Mobile Ad-hoc 네트워크의 특성에 맞는 많은 라우팅 프로토콜들이 발전되어왔다.

Mobile Ad-hoc 네트워크 라우팅 프로토콜은 크게 Table-Driven 방식과 On-Demand 방식으로 분류할 수 있다. Table-Driven 방식은 각 노드들이 라우팅 정보를 테이블에 항상 유지하기 때문에 노드들의 이동이 빈번할 경우 제어패킷으로 인한 오버헤드가 크다. 반면에 On-Demand 방식은 필요한 경우에만 경로를 설정하므로 제어 패킷 오버헤드를 감소시킬 수 있다. On-Demand 알고리즘을 구현한 프로토콜로는 DSR(Dynamic Source Routing), AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing) 등이 있다. 그러나 이와 같은 프로토콜들은 홉 수만을 메트릭으로 사용하기 때문에 에너지 사용이 비효율적이고 그에 따라 네트워크 수명이 짧아지는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해 MTPR, MBCR, BECT 등과 같은 파워를 고려한 프로토콜들이 제안되었다[3,5]. 하지만 이와 같은 프로토콜들은 에너지 소모를 감소시키거나 또는 에너지 소모의 균형을 이루는 어느 한 측면만을 고려했다. 따라서 각 노드들의 균형적인 에너지 소모와 동시에 전체 네트워크의 에너지 소모량을 줄일 수는 없었다. 따라서 이와 같은 단점을 보완할 새로운 프로토콜이 필요하다.

본 논문에서는 배터리 잔량에 대한 threshold와 신호세기를 동시에 고려하여 네트워크 전체의 에너지 소모를 최소화하고 각 노드들의 균형된 에너지 소모를 위한 프로토콜인 PRTRS (Power Aware Routing Protocol based on Both Threshold by Residual Battery Capacity and Signal Strength in Mobile Ad-hoc Network)를 제안한다.

Capacity and Signal Strength in Mobile Ad-hoc Network)를 제안한다.

2절에서는 제안하는 프로토콜인 PRTRS에 대해 자세히 알아보고, 3절에서는 성능 평가를 통해 PRTRS의 효율성을 증명해 본다. 마지막으로 4절에서는 결론을 제시한다.

2. PRTRS

PRTRS는 배터리 잔량에 대한 threshold를 설정하고 신호세기를 고려하여 배터리의 균형적인 소모와 네트워크 전체의 파워소모를 최소화함으로써 네트워크 수명을 좀 더 오래 지속시키기 위한 프로토콜이다.[1,2]. PRTRS는 AODV기반으로 하였다.

2.1 임계치(Threshold) 설정

MANET의 일반적 환경인 1000m×1000m 구역에 50개 노드를 균등 분포시킨 상태에서 50회 시뮬레이션을 실시하여, 시뮬레이션이 매 회 끝날 때 마다 노드별 배터리 잔량을 산출하고 그에 대한 평균 노드수를 나타낸 그래프의 기울기 변화로 임계치를 정한다.



(그림 1) AODV를 적용한 평균 배터리 잔량 : 노드수

그림 1은 MANET에서 AODV를 적용한 노드별 평균 배터리 잔

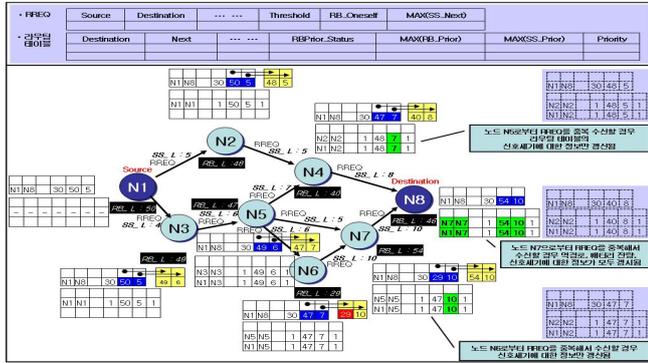
본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음

* 준 회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정

** 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 정교수

량을 나타낸다. 그래프상의 변곡점(Minimum point of inflection value)은 데이터 특성 값들이 변하는 기준으로 간주할 수 있으므로 변곡점을 배터리 잔량에 대한 레벨을 판단하기 위한 임계치로 정한다. 그래프 상에서 최소 변곡점인 30%를 default 임계치로 적용한다.

2.2 경로탐색(Route Discovery)

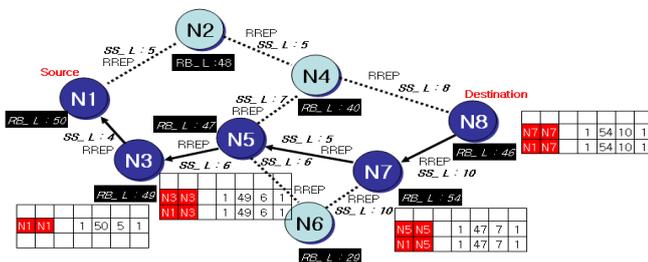


(그림 2) Procedure for RREQ forwarding

소스 노드로부터 목적지 노드까지 경로탐색 과정은 그림 2와 같다. 소스 노드는 목적지 노드까지 가는 경로를 찾기 위해 이웃노드(Neighbor Node)들에게 배터리 잔량에 대한 판단 기준인 임계치(Threshold), 자신의 배터리 잔량(RB_Oneself) 및 다음 노드와의 신호세기 중 최대값을 갖는 신호세기(MAX(SS_Next))에 대한 정보를 RREQ 메시지에 첨부하여 브로드캐스트 한다.

RREQ를 받은 중간 노드들은 자신이 목적지 노드가 아닐 경우 수신한 RREQ 메시지를 참고로 하여 라우팅 테이블에 소스 노드까지의 역경로(Reverse Route), 이전 노드의 배터리 상태(RBPrior_Status), 이전 노드의 최대 배터리 잔량(MAX(RB_Prior)), 이전 노드간의 최대 신호세기(MAX(SS_Prior)) 및 우선순위(Priority)에 대한 정보를 기록 또는 갱신한다.

라우팅 테이블 갱신 과정이 끝나면 중간노드는 수신한 RREQ 메시지의 배터리 잔량에 대한 필드는 자신의 배터리 잔량으로 갱신하고 신호세기에 대한 필드는 자신과 이웃 노드와의 신호세기 중 최대값을 갖는 신호세기로 갱신하여 브로드캐스트 한다.



(그림 3) Procedure for RREP message reply

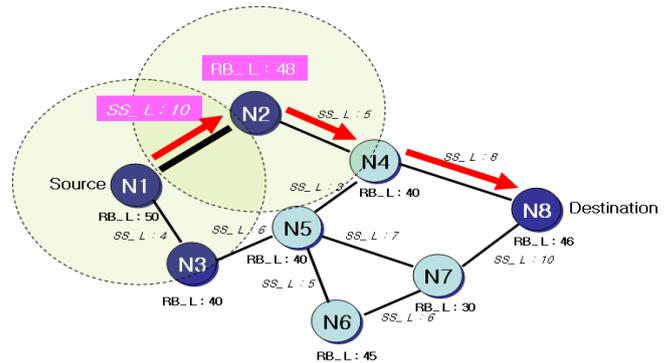
목적지 노드로부터 소스 노드까지 RREP 메시지가 유니캐스트 되면서 경로가 설정되는 과정은 그림 3과 같다. RREQ 메시지를 수신한 목적지 노드는 RREQ 송신자에게 RREP 메시지를 유니캐스트 한다. RREP 메시지는 각 노드들이 가지고 있는 라우팅 테이블의 역경로를 참조하여 유니캐스트되며 최종적으로 소스 노드가 RREP를 수신하게 되면 전체 경로가 설정된다.

2.3 데이터 패킷 전달(Packet Forwarding)

PRTRS는 우선 한 홉 떨어진 노드들이 보유하고 있는 최대 배터리 잔량과 신호세기에 대한 정보를 알아낸다. 다음으로 각 노드들의 배터리 잔량에 대한 임계치(Threshold)를 적용하여 배터리 잔량이 충분한 노드인지 충분하지 않은 노드인지를 확인한다. 이 과정에서 배터리 잔량이 충분한 노드로 확인된 경우는 배터리 잔량에 우선순위를 부여하고 경로를 설정한다. 만약 배터리 잔량이 충분하지 않은 노드로 확인되면 노드간의 신호세기에 우선순위를 부여하여 경로를 설정한다. 즉 데이터 패킷은 임계치에 의해 판단된 배터리 잔량과 신호세기에 의하여 다음과 같이 네 가지 경우로 분류되어 전송된다.

2.3.1 배터리 잔량이 충분한 노드로 확인된 경우

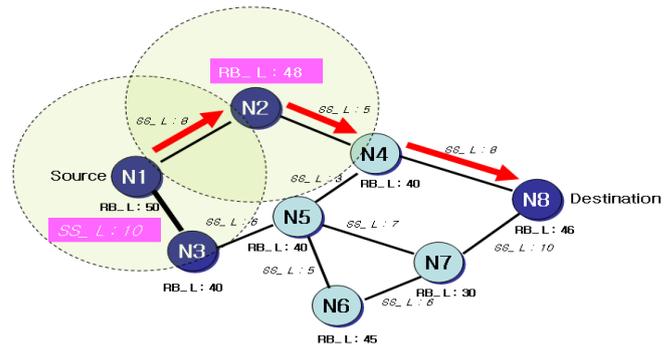
(1) Case 1 : 배터리 잔량과 신호세기 모두 최대



(그림 4) 배터리 잔량이 충분한 상태에서의 경로설정(1)

배터리 잔량이 충분한 노드로 확인된 경우이므로 배터리 잔량에 우선순위를 두고 경로를 설정한다. 그림 4의 경우 소스 노드와 한 홉 떨어져 있는 두 개의 노드 N2와 N3을 비교해 보자. 노드 N2의 배터리 잔량이 48로 두 개의 노드 중 최대값을 갖기 때문에 경로 설정 시 노드 N2가 선택된다. 따라서 데이터 패킷은 노드 N1-N2-N4-N8을 경유하여 전송 된다.

(2) Case 2 : 배터리 잔량은 최대이나 신호세기가 최대가 아닌 경우

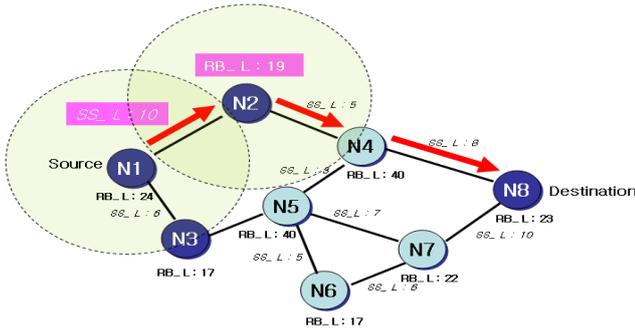


(그림 5) 배터리 잔량이 충분한 상태에서의 경로설정(2)

최초 배터리 잔량이 충분한 노드로 확인되었기 때문에 경로설정 시 배터리 잔량에 우선순위가 부여된다. 즉 그림 5에서도 그림 4와 동일한 방법으로 경로가 설정된다. 따라서 노드 N1-N2 사이의 신호세기가 8로 노드 N1-N3 사이의 신호세기인 10보다 작지만 노드 N2의 배터리 잔량이 48로 최대값을 갖기 때문에 노드 N2가 선택된다. 따라서 데이터 패킷은 노드 N1-N2-N4-N8를 경유하여 전송된다.

2.3.2 배터리 잔량이 충분하지 않은 노드로 확인된 경우

(1) Case 1 : 배터리 잔량과 신호세기 모두 최대

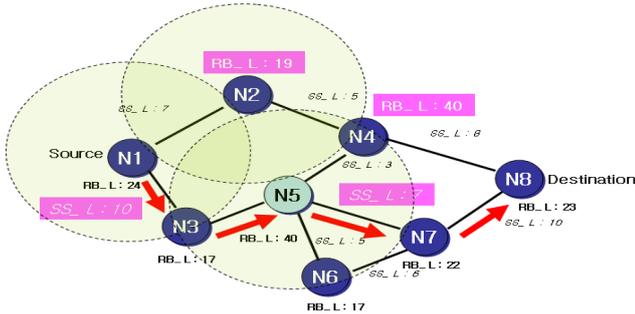


(그림 6) 배터리 잔량이 충분하지 않은 상태에서의 경로설정(1)

한 홉 떨어진 이웃 노드들의 배터리 잔량이 충분하지 않은 노드로 확인된 경우의 경로 설정은 신호세기에 우선순위를 부여한다. 즉 한 홉 떨어진 이웃 노드들의 배터리 잔량보다는 두 노드사이의 신호세기가 가장 큰 경로가 선택되면서 최종 목적지까지 데이터를 전송한다.

그림 6의 경우 노드 N1-N2 사이의 신호세기가 10으로 노드 N1-N3 사이의 신호세기인 6보다 크기 때문에 노드 N3이 선택된다. 따라서 데이터 패킷은 노드 N1-N2-N4 -N8을 경유하여 전송된다.

(2) Case 2 : 배터리 잔량은 최대이나 신호세기가 최대가 아닌 경우



(그림 7) 배터리 잔량이 충분하지 않은 상태에서의 경로설정(2)

최초 배터리 잔량이 충분하지 않은 노드로 확인되었기 때문에 경로설정 시 신호세기에 우선순위가 부여된다.

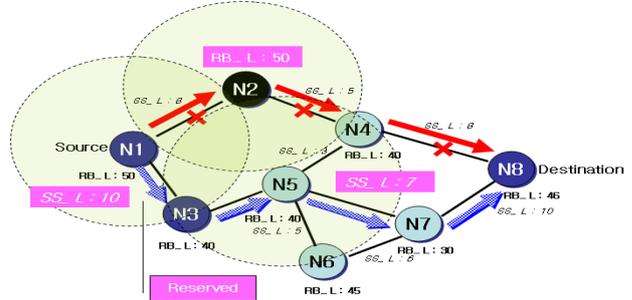
그림 7에서 소스 노드는 한 홉 떨어진 노드와의 신호세기를 확인하여 최대값을 갖는 경로를 선택한다. 즉 노드 N2가 노드 N3보다 배터리 잔량은 많지만 노드 N1-N3 사이의 신호세기가 노드 N1-N2 사이의 신호세기보다 크기 때문에 노드 N3가 선택된다. 노드 N3은 단일 경로를 갖기 때문에 노드 N5가 선택된다. 노드 N5는 한 홉 떨어진 노드 N4, N6, N7 중 배터리 잔량이 40으로 최대인 노드 N4를 선택하지 않고 노드 N5와의 신호세기가 7로 최대값을 갖는 노드 N7을 선택한다. 따라서 데이터 패킷은 노드 N1-N3-N5-N7-N8을 경유하여 전송된다.

이와 같이 PRTRS는 네 가지 경우로부터 구축된 경로를 이용하여 데이터 패킷을 전송한다.

2.4 경로유지(Route Maintenance)

데이터 패킷을 전송하는 도중, 경로상의 노드 중 하나가 이동하거나 turn-off 되면 바로 이전 노드는 RRER(Route Error)를 보내고 대체 경로를 이용하여 해당 데이터를 전송한다. 대체 경

로 설정은 배터리 잔량에 따라 경로 설정 시 부여한 우선순위를 기반으로 한다. 만약 배터리 잔량에 우선순위를 두고 경로 설정을 한 경우에는 신호세기가 최대인 또 다른 경로가 존재하면 그 경로를 대체 경로로 설정하여 나간다. 그와 반대로 신호세기에 우선순위를 두고 경로 설정을 한 경우에는 배터리 잔량이 최대인 또 다른 경로가 존재하면 그 경로를 대체 경로로 설정한다.



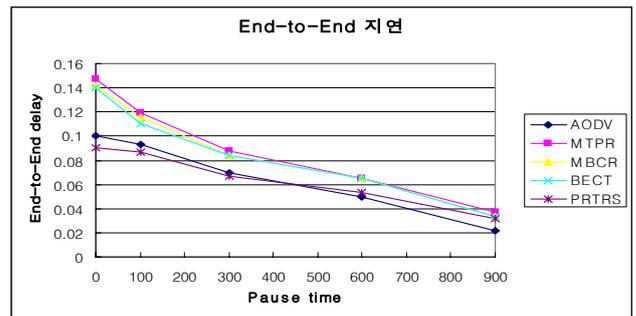
(그림 8) 대체경로를 통한 경로 복구

그림 8에서 노드 N3이 선택되면서 경로가 설정 된 이유는 임계치에 의해 배터리 잔량이 충분한 것으로 확인 되어 배터리 잔량에 우선순위를 두고 경로가 설정되었기 때문이다. 이와 같은 경우 소스 노드인 N1은 신호세기가 최대인 노드 N1-N3의 경로를 대체 경로로 유지 할 수 있다. 이렇게 소스 노드가 최초 노드 N2를 선택하지 않고 노드 N3을 선택하게 됨으로써 신호세기에 우선하는 N1-N3-N5-N7-N8의 대체 경로를 유지 할 수 있게 된다. 그림 8에서와 같이 노드 N3이 turn-off 되어 경로가 끊어지게 되면 소스 노드는 처음부터 다시 경로 탐색을 위한 RREQ를 브로드캐스트 하지 않고 이미 구성된 대체 경로를 이용하여 데이터 패킷을 전송한다. 이전노드가 신호세기와 배터리 잔량을 만족하는 대체 경로를 유지하고 있지 않으면 처음부터 다시 경로 탐색과정을 수행하여 경로 재설정 한다.

3. 성능 평가

이번 절에서는 NS-2를 통하여 PRTRS와 기존의 연구된 프로토콜들과의 성능을 비교 평가해본다. 에너지 모델은 Lucent 2Mb/s WaveLAN 802.11 랜카드를 기반으로 하였다. 성능평가시 transmit energy는 1.4W, receiving energy는 1.0W, listening/Idle energy는 0.83W, sleeping energy는 0.043W를 적용하였다[4]. 각 노드는 random waypoint 모델을 적용하여 1에서 5m/s의 속도로 정지시간(pause time)동안 멈추었다가 이동을 계속한다. 10개의 송신자들은 초당 5개의 Constant Bit Rate(CBR)의 트래픽을 발생시키며 각 패킷의 크기는 512 bytes이다.

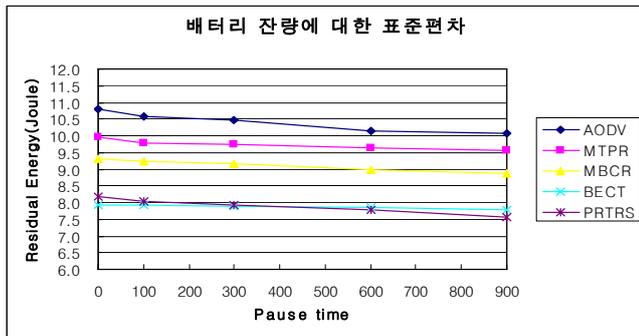
3.1 End-to-End Delay



(그림 9) 정지시간에 따른 End-to-End 지연

그림 9는 End-to-End 지연을 나타낸 것으로 이동성이 큰 환경일수록 파워를 고려한 프로토콜인 PRTRS가 홉수만을 메트릭으로 하는 AODV 보다 양호한 성능을 보이고 있다. 그중에서도 배터리 잔량과 신호세기를 모두 고려한 PRTRS가 가장 좋은 성능을 보이고 있다. 이와같은 결과는 안정적인고 효율적인 에너지 소모에 의한 링크의 안정성과 각 노드의 수명주기를 연장시킴으로써 노드의 turn-off에 의해 발생하는 경로 재설정 과정이 감소함에 따라 End-to-End 지연시간이 감소됨을 알 수 있다.

3.2 Average Energy Standard Deviation

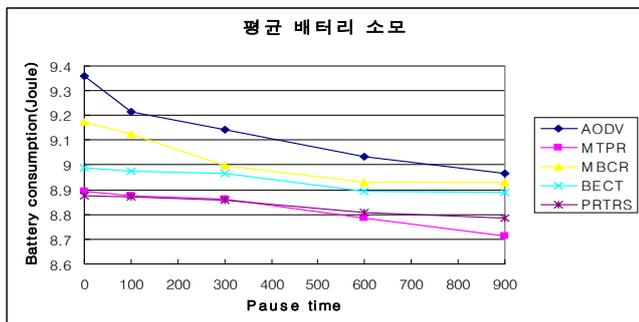


(그림 10) 정지시간에 따른 배터리 잔량에 대한 표준편차

그림 10은 배터리 잔량에 대한 표준편차를 나타낸 그래프로 이동성이 큰 환경에서 PRTRS는 AODV에 비해 32.2%, MTPR에 비해 22%, MBCR에 비해 14.1%의 성능 향상을 보인다. 하지만 BECT에 비해서는 3.2% 낮은 성능을 보인다. 정적인 환경에서는 AODV에 비해 33.3%, MTPR에 비해 26.7%, MBCR에 비해 17.2%, BECT에 비해 2.9%의 성능 향상을 보인다.

즉 홉수만을 고려하여 경로를 설정할 때 보다 파워를 고려하여 경로를 설정할 경우 노드들이 배터리를 좀더 균등하게 사용하고 있음을 알 수 있다. 특히 PRTRS와 같이 배터리잔량과 신호세기를 동시에 고려 할 경우 홉 수만을 고려하거나 배터리 소모의 감소만을 목적으로 하는 프로토콜에 비해 좀 더 균형된 배터리 소모를 하고 있음을 알 수 있다.

3.3 Average Energy Consumption



(그림 11) 정지시간에 따른 평균 에너지 소모율

그림 11은 정지시간에 따른 평균 에너지 소모율에 대한 그래프로 이동성이 큰 환경에서 PRTRS는 AODV에 비해 5.5%, MTPR에 비해 0.2%, MBCR에 비해 3.4%, BECT에 비해 1.3%의 성능 향상을 보인다. 정적인 환경에서는 AODV에 비해 2.1%, MBCR에 비해 1.7%, BECT에 비해 1.2%의 성능 향상을 보인다. 하지만 MTPR에 비해서는 0.8% 낮은 성능을 보인다.

즉 노드간의 거리, 배터리 잔량, 신호세기 등 데이터 전송 시 파워에 관계되는 다양한 정보를 적용하여 데이터를 전송 할 경우 에너지가 보다 적게 사용됨을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 모바일 에드혹 네트워크에서 에너지 소모의 최소화 및 균형된 에너지 소모를 위한 PRTRS를 제안하였다. PRTRS는 배터리 잔량에 대한 threshold 적용을 통해 데이터 전송으로 인한 각 노드의 불균형된 에너지 소모를 방지하고 그와 동시에 신호세기를 고려하여 에너지 소모를 최소화 할 수 있는 경로를 설정한다. 이와 같은 방법으로 경로를 설정하는 PRTRS는 NS-2를 이용한 시뮬레이션 결과에서 기존 홉 수만을 메트릭으로 하는 프로토콜이나 파워의 제한된 어느 한 측면만을 고려한 프로토콜들 보다 에너지 사용 측면에서 양호한 성능을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] San-Yuan Wang et al., "Signal Strength-Based Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", International Conference on Advanced Information Networking Applications(AINA'05), 2005 IEEE.
- [2] Rohit Dube, Cynthia D. Rais, Kuang-Yth Wang, Satish K. Tripathi, "Signal Stability-Based Adaptive Routing(SSA) for Ad-Hoc Mobile Networks," in IEEE Personal Communication Magazine, February, 1997.
- [3] J. Chang, J. Jang, "BECT: A Balanced Energy Consumption Algorithm by Threshold-Tuning for Mobile Ad Hoc Networks," 13th Joint Conference on Communication and Information 2003 (JCCI 2003), Apr. 2003.
- [4] BenJie Chen, Kyle Jamieson, Hari Balakrishnan, Robert Morris Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks. To appear in ACM Wireless Networks Journal, Volume 8, Number5, Sep. 2002.
- [5] Keith Scott, Nicholas Bambos "Routing and Channel Assignment for Low Power Transmission in PCS," Universal Personal Communications, 1996. Record., 1996 5th IEEE International Conference on pp.498-502 vol.2.