

MANET에서 배터리 잔량과 신호세기를 동시에 고려한 Power-aware 라우팅 프로토콜

박 건 우^{**} · 최 종 오[†] · 김 형 진^{**} · 송 주 석^{***}

요 약

MANET은 토폴로지의 빈번한 변화에 따라 경로가 짧은 기간 동안만 유지되고 모든 노드는 에너지를 배터리에 의존하기 때문에 배터리에 많은 제약을 받는다. 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 못하다. 또한 전체 파워소모는 줄일 수 있으나 파워소모의 균형을 이루지 못함으로써 네트워크 수명을 오래 지속시킬 수 없는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 배터리 잔량과 신호세기를 동시에 고려하여 각 노드들의 균형된 파워소모와 네트워크 전체의 파워 소모를 최소화함으로써 네트워크 수명을 오래 지속시키기 위한 프로토콜인 RBSSPR(Residual Battery Capacity and Signal Strength Based Power-aware Routing Protocol in MANET)를 제안한다. RBSSPR은 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing)를 기반으로 하였다. NS-2 네트워크 시뮬레이션 결과를 통해, 제안된 RBSSPR이 특정 노드로 집중되는 트래픽을 분산시켜 파워소모의 균형을 이루고 네트워크 전체의 파워소모를 최소화함으로써 네트워크 수명을 연장시킴을 보였다.

키워드 : MANET(모바일 애드혹 네트워크), 신호세기, 배터리 잔량, 파워를 고려한 라우팅 프로토콜

Residual Battery Capacity and Signal Strength Based Power-aware Routing Protocol in MANET

GunWoo Park^{**} · Jongoh Choi[†] · HyungJin Kim^{**} · JooSeok Song^{***}

ABSTRACT

The shortest path is only maintained during short time because network topology changes very frequently and each mobile nodes communicate each other by depending on battery in MANET(Mobile Ad-hoc Network). So many researches that are to overcome a limitation or consider a power have executed actively by many researcher. But these protocols are considered only one side of link stability or power consumption so we can make high of stability but power consumption isn't efficient. And also we can reduce power consumption of network but the protocol can't make power consumption of balancing. For that reason we suggest RBSSPR(Residual Battery Capacity and Signal Strength Based Power-aware Routing Protocol in MANET). The RBSSPR considers residual capacity of battery and signal strength so it keeps not only a load balancing but also minimizing of power consumption. The RBSSPR is based on AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing). We use ns-2 for simulation. This simulation result shows that RBSSPR can extense lifetime of network through distribution of traffic that is centralized into special node and reducing of power consumption.

Key Words : MANET(Mobile Ad-hoc Network), Signal Strength, Residual Battery, Power-aware Routing Protocol

1. 서 론

MANET(Mobile Ad-hoc Network)에서 각 노드들은 기지국이나 Access Point(AP)와 같은 인프라가 존재하지 않

으며 노드 자체적으로 라우팅 기능을 갖고 상호 통신한다. 따라서 지진, 태풍, 테러에 의한 재난 및 재해 지역과 특히 전쟁터와 같은 기반 시설이 없는 환경에서 적용 할 수 있는 장점을 가진다. 그러나 MANET은 무선망으로 연결된 이동 노드들이기 때문에 토폴로지가 자주 변하고 한정적인 전원 용량과 제한적인 전파 범위를 갖고 있어 경로 불연속이 발생 할 수 있는 단점이 있다.

MANET 라우팅 프로토콜은 크게 Table-Driven 방식과 On-Demand 방식으로 분류할 수 있다[1]. Table-Driven 방

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

† 준 회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정

** 준 회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정

*** 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 정교수

논문접수 : 2006년 1월 26일, 심사완료 : 2006년 3월 27일

식은 각 노드들이 라우팅 정보를 라우팅 테이블에 항상 유지하기 때문에 노드들의 이동이 빈번히 발생할 경우 제어 패킷으로 인한 오버헤드가 크다. 반면에 On-Demand 방식은 송신자가 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 소모 측면에서 비효율적이다. 이러한 단점을 보완하기 위해 MTPR(Minimum Transmission Power Routing), MBCR(Minimum Battery Cost Routing), BECT(A Balanced Energy Consumption Algorithm by Threshold-Tuning) 등과 같은 파워를 고려한 프로토콜들이 제안되었다. 하지만 이와 같은 프로토콜들은 에너지 소모를 감소시키거나 또는 에너지 소모의 균형을 이루는 어느 한 측면만을 고려했다. 따라서 에너지 소모 측면만을 고려할 경우 전체 네트워크의 에너지 소모는 감소시킬 수 있었으나 각 노드들의 균형적인 에너지 소모는 불가하였다. 반면에 균형적인 에너지 소모 측면만을 고려한 경우 노드들의 에너지 소모는 전반적으로 균형을 이루었으나 전체 네트워크의 에너지 소모량은 크게 감소하지 않는 결과를 가져왔다. 따라서 이와 같은 단점을 보완할 새로운 프로토콜이 필요하다.

본 논문에서는 배터리 잔량과 신호세기를 동시에 고려하여 네트워크 전체의 에너지 소모를 최소화 하고 배터리 잔량에 대한 임계치를 부여함으로써 각 이동 노드의 균형된 에너지 소모를 통해 네트워크 수명을 좀 더 오래 지속시키기 위한 프로토콜인 RBSSPR(Residual Battery Capacity and Signal Strength Based Power-aware Routing Protocol in MANET)을 제안한다.

2절에서는 기존의 MANET에서 연구되어온 라우팅 프로토콜들을 소개한다. 3절에서는 제안하는 프로토콜인 RBSSPR에 대해 자세히 알아보고, 4절에서는 성능 평가를 통해 RBSSPR의 효율성을 증명해 본다. 마지막으로 5절에서는 결론을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 MTPR(Minimum Transmission Power Routing)

MTPR은 경로에 참가한 노드들의 전체적인 전송 전력 소모량을 고려하여 경로를 설정하는 프로토콜로 전송 전력 함수를 사용한다[2]. 일반적인 경로 $r_d = n_0, n_1, \dots, n_d$ 가 있다고 가정하자. 여기서 n_0 는 소스 노드이고 n_d 는 목적지 노드이다. $T(n_i, n_j)$ 가 홉(n_i, n_j)를 통해 전송할 때의 소모되는 에너지를 나타낸다고 할 때 이 경로에 대한 전체적인 전송 전력은 수식 (1)과 같다.

$$P(r_d) = \sum_{i=0}^{d-1} T(n_i, n_{i+1}) \quad (1)$$

최적의 경로를 r_0 라고 한다면 $P(r_0) = \min\{P(r_j)|r_j \in r^*\}$ 이다. 여기서 r^* 는 모든 가능한 경로들의 집합을 말한다. 필요한 전송 전력은 d^a 에 비례한다. 여기서 d 는 두 노드 사이의 거리이고 a 는 손실 파라미터로서 일반적으로 $2 \leq a \leq 4$ 이다.

전체 전송 전력은 이동 노드들의 수명 시간과 연관되기 때문에 중요한 측정값이라고 할 수 있다. 그러나 이것은 네트워크의 전체적인 전력 소비량을 줄일 수 있다고 하더라도 각 노드의 수명시간을 직접적으로 반영하지는 않는다. 따라서 각 노드의 수명시간을 고려하기에는 부적절한 프로토콜이라 할 수 있다.

2.2 MBCR(Minimum Battery Cost Routing)

MBCR은 전체적인 잔여 배터리 용량을 고려하여 경로를 설정하는 프로토콜로 전원 비용 함수를 사용한다[2]. 시간 t 일 때 노드 n_i 의 배터리 용량을 c'_i 라고 하고, 노드 n_i 의 전원 비용 함수를 $f_i(c'_i)$ 라고 하자. 노드의 잔여 용량이 작을수록 패킷 전달을 꺼릴 것이므로, 전원 비용 함수를 (2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$f_i(c'_i) = \frac{1}{c'_i} \quad (2)$$

배터리 용량이 감소함에 따라 노드 n_i 에 대한 비용함수의 값은 증가할 것이다. D_j 개의 노드들로 구성된 경로 i 에 대한 전원 비용 R_i 은 수식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_j = \sum_{i=0}^{D_j-1} f_i(c'_i) \quad (3)$$

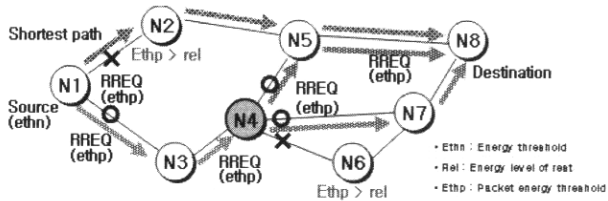
MBCR은 전체적인 잔여 배터리 용량이 최대값인 경로를 찾아내기 위해서 전원 비용이 최소인 경로 i 를 선택한다. 이렇게 선택된 경로 i 의 전원 비용 R_i 는 수식(4)를 만족한다.

$$R_i = \min\{R_j | j \in A\} \quad (4)$$

A 는 모든 가능한 경로들의 집합이다. 배터리 용량이 라우팅 프로토콜에 직접 관여하기 때문에 특정 노드에 집중되는 것을 예방 할 수 있다. 그러나 전원 비용 함수의 합계만 고려하기 때문에 배터리 용량이 얼마 남지 않은 노드들을 포함한 경로가 선택될 가능성이 있다. 따라서 MBCR은 모든 노드의 전원을 균등하게 사용하지 못하는 단점이 있다.

2.3 BECT(A Balanced Energy Consumption Algorithm by Threshold-Tuning)

BECT는 에너지가 부족한 노드들이 라우팅 경로에 포함되어 전체 네트워크의 수명을 단축시키는 문제점을 해결하기 위해 제안된 Threshold-Tuning을 통한 균형적인 에너지 소모 알고리즘이다[3].

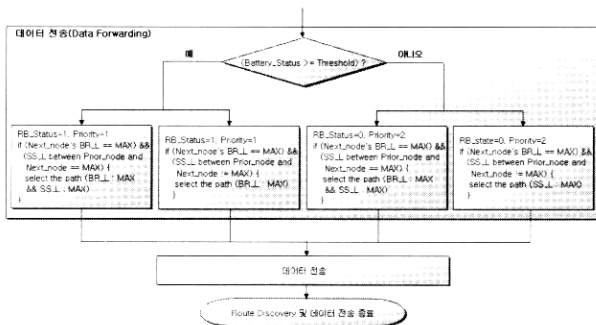
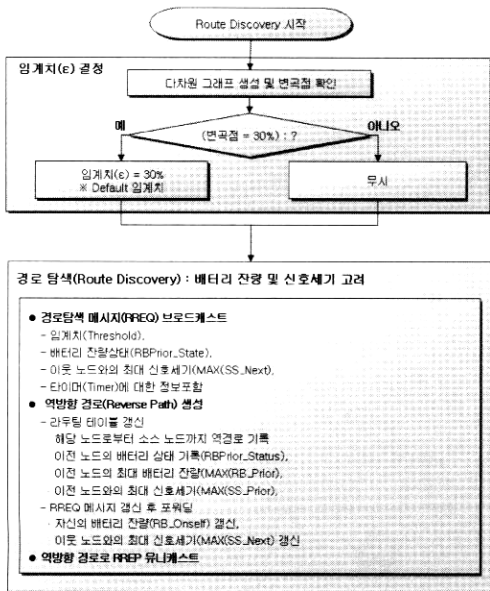


(그림 1) BECT의 경로설정 예

BECT는 균형된 에너지 소모라는 메트릭을 사용함으로써 에너지 사용 측면에서는 어느 정도 효율적이거나 홉 수가 고려되지 않기 때문에 네트워크 전반적으로 처리율이 감소되는 단점을 가지고 있다.

(그림 1)에서 N2, N6가 배터리 잔량이 충분하지 않은 노드로 판단될 경우 라우팅 경로는 노드 N1-N2-N5-N8 대신, 노드 N1-N3-N4-N5-N8 또는 노드 N1-N3-N4-N7-N8이 선택된다. 이와 같이 최단 경로가 아닌 경로가 설정되는 경우가 많아지면 처리율 측면에서 비효율적이 된다.

3. RBSSPR(A Residual Battery Capacity and Signal Strength Based in Mobile Ad-hoc Network)



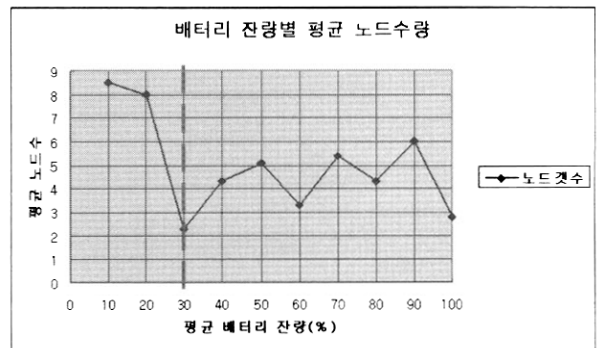
(그림 2) RBSSPR의 동작과정

지금까지 대부분 MANET 라우팅 프로토콜에 대한 연구들은 End-to-End 지연감소, 배터리 소모의 최소화 및 균형된 에너지 소모 중 어느 한 측면에만 중점을 둔 연구들로 네트워크가 전반적으로 안정적이면서 동시에 각 노드들의 균형된 파워 소모 및 파워 소모의 최소화를 유지하기에는 어려움이 있었다[4].

따라서, 본 논문에서는 배터리의 잔량과 신호세기를 동시에 고려하여 파워소모를 최소화 시키고 배터리 잔량에 대한 판단기준인 Threshold를 사용함으로써 파워소모의 균형을 이루기 위한 RBSSPR을 제안한다[5]. RBSSPR은 AODV를 기반으로 하였으며 경로 설정을 위한 동작과정은 (그림 2)와 같다.

3.1 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 3) MANET에서 AODV를 적용한 평균 배터리 잔량 : 노드수

(그림 3)은 MANET에서 AODV를 적용한 노드별 평균 배터리 잔량을 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.

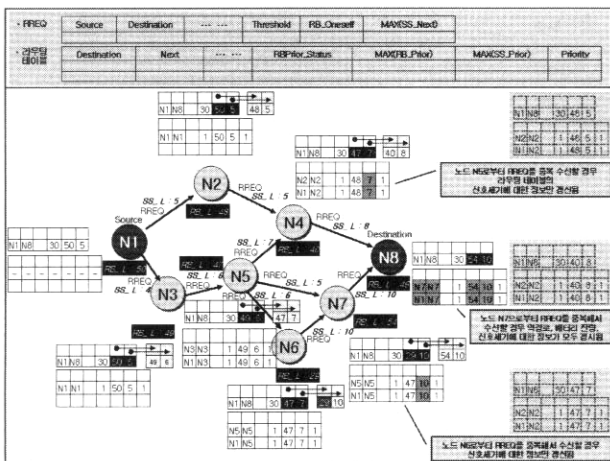
3.2 경로탐색(Route Discovery)

소스 노드는 목적지 노드까지 가는 경로를 찾기 위해 이웃노드들에게 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 배터

리 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. RREQ 메시지는 여러 노드로부터 중복 수신될 수 있기 때문에 중복 수신된 RREQ 메시지는 해당 노드가 가지고 있는 라우팅 테이블의 필드값과 중복 수신한 RREQ 메시지의 관련 필드값을 비교하여 라우팅 테이블의 갱신여부를 판단하기 위해서만 사용되며 더 이상 포워딩 하지 않고 버린다.

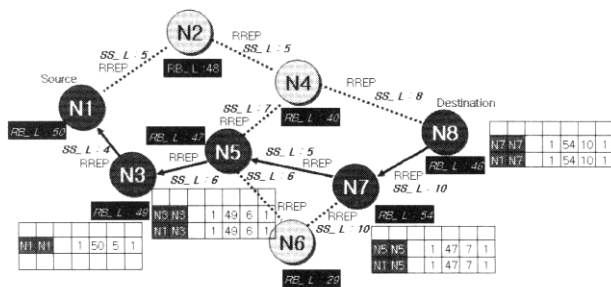
라우팅 테이블 갱신 과정이 끝나면 중간노드는 수신한 RREQ 메시지의 배터리 잔량에 대한 필드는 자신의 배터리 잔량으로 갱신하고 신호세기에 대한 필드는 자신과 이웃 노드와의 신호세기 중 최대값을 갖는 신호세기로 갱신하여 브로드캐스트 한다.



(그림 4) Procedure for RREQ forwarding

(그림 4)는 소스 노드로부터 목적지 노드까지 경로탐색에 대한 과정을 나타낸 그림으로 각 노드들은 네트워크 전반에 대한 배터리 잔량 및 신호세기에 대한 정보를 알게 된다.

위와 같은 과정을 통해 RREQ 메시지를 수신한 목적지 노드는 RREQ 송신자에게 RREP 메시지를 유니캐스트 한다. RREP 메시지는 각 노드들이 가지고 있는 라우팅 테이블의 역경로를 참조하여 유니캐스트 되며 최종적으로 소스 노드가 RREP를 수신하게 되면 전체 경로가 설정된다. 이와 같이 설정된 경로는 각 노드의 배터리 잔량 및 신호세기에 대한 정보가 동시에 고려되며 배터리 잔량에 대한 임계치를



(그림 5) Procedure for RREP message reply

기준으로 배터리 잔량 또는 신호세기 중 어느 측면에 우선순위를 부여하여 경로를 설정할지가 함께 고려된다.

(그림 5)에서 목적지 노드 N8로부터 소스 노드 N1까지 각 노드들이 유지하고 있는 라우팅 테이블의 역경로 정보에 따라 노드 N8-N7-N5-N3-N1로 RREP가 유니캐스트 되면서 소스 노드로부터 목적지 노드까지 경로가 설정 된다.

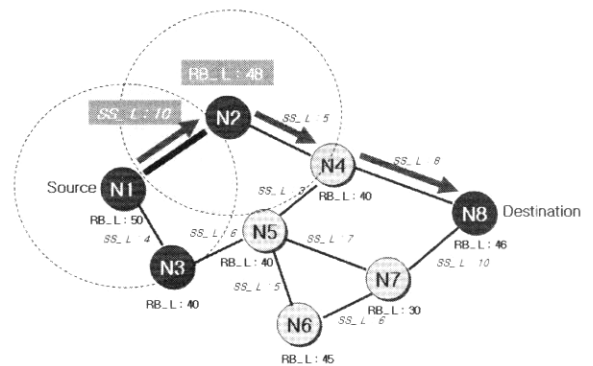
3.3 데이터 패킷 전달(Packet Forwarding)

RBSSPR은 우선 네트워크의 배터리 잔량과 신호세기에 대한 정보를 알아낸다. 다음으로 각 노드들의 배터리 잔량에 대한 임계치(Threshold)를 적용하여 배터리 잔량이 충분한 노드인지 충분하지 않은 노드인지를 확인한다. 만약 배터리 잔량이 충분한 노드로 확인되면 배터리 잔량에 우선순위를 부여하고 배터리 잔량이 충분하지 않은 노드로 확인되면 노드간의 신호세기에 우선순위를 부여하여 경로를 설정한다. 이와 같은 경로 설정과정을 통해 데이터 패킷은 다음과 같이 네 가지 경우로 분류되어 전송된다.

3.3.1 배터리 잔량이 충분한 노드로 확인된 경우

(1) Case 1: 배터리 잔량과 신호세기 모두 최대

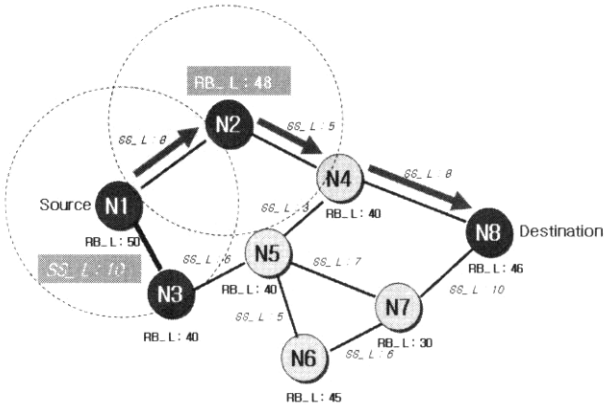
배터리 잔량에 우선순위를 부여하여 경로를 설정한다. 즉 노드 사이의 신호세기 보다 한 홉 떨어진 노드들 중 배터리 잔량이 최대인 노드를 선택하면서 설정된 경로를 통해 최종 목적지까지 데이터를 전송한다. (그림 6)에서 노드 N2와 노드 N3중 노드 N2의 배터리 잔량이 48로 최대값을 갖기 때문에 노드 N2가 선택된다. 따라서 데이터 패킷은 노드 N1-N2-N4-N8을 경유하여 전송 된다.



(그림 6) 배터리 잔량이 충분한 상태에서의 경로설정(1)

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

(그림 7)에서도 (그림 6)과 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.



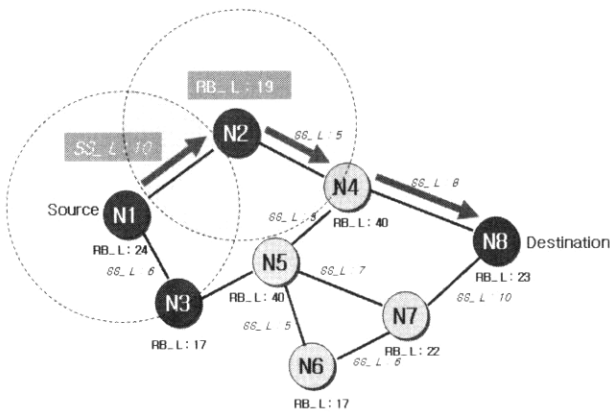
(그림 7) 배터리 잔량이 충분한 상태에서의 경로설정(2)

3.3.2 배터리 잔량이 충분하지 않은 노드로 확인된 경우

(1) Case 1: 배터리 잔량과 신호세기 모두 최대

신호세기에 우선순위를 부여하여 경로를 설정한다. 즉 한 홉 떨어진 이웃 노드들의 배터리 잔량보다는 두 노드사이의 신호세기가 최대인 경로가 선택되면서 최종 목적지까지 데이터 패킷을 전송한다.

(그림 8)에서 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.

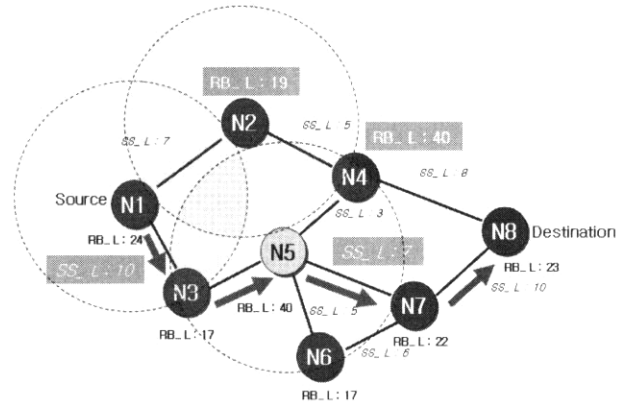


(그림 8) 배터리 잔량이 충분하지 않은 상태에서의 경로설정(1)

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

(그림 9)에서도 (그림 8)과 동일한 방법으로 경로가 설정된다. 따라서 노드 N2가 노드 N3 보다 배터리 잔량은 많지만 노드 N1-N3 사이의 신호세기가 노드 N1-N2 사이의 신호세기보다 크기 때문에 노드 N3가 선택된다. 노드 N5는 노드 N4, N6, N7 중 최대 배터리 잔량을 보유하고 있는 노드 N4를 선택하지 않고 노드 N5와의 신호세기가 최대인 노드 N7을 선택한다. 따라서 데이터 패킷은 노드 N1-N3-N5-N7-N8을 경유하여 전송된다.

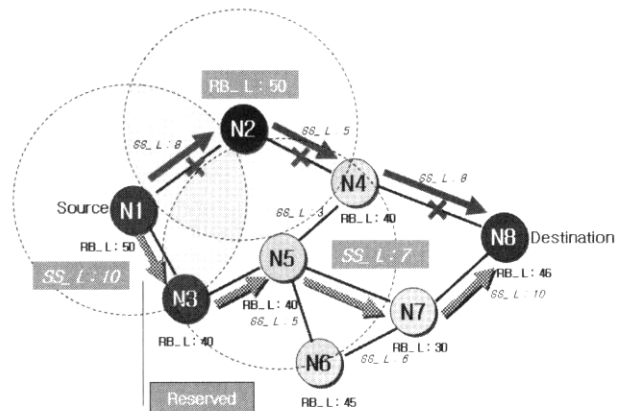
이와 같이 RBSSPR은 네 가지 경우로부터 구축된 경로를 이용하여 데이터 패킷을 전송한다.



(그림 9) 배터리 잔량이 충분하지 않은 상태에서의 경로설정(2)

3.4 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 경로 배터리 잔량에 따라 경로 설정 시 부여한 우선순위를 기반으로 한다.



(그림 10) 대체경로를 통한 경로 복구

(그림 10)에서 노드 N3이 선택되면서 경로가 설정된 이유는 임계치에 의해 배터리 잔량이 충분한 것으로 확인되어 배터리 잔량에 우선순위를 두고 경로가 설정되었기 때문이다. 이와 같은 경우 소스 노드인 N1은 신호세기가 최대인 노드 N1-N3의 경로를 대체 경로로 유지할 수 있다. 이렇게 소스 노드가 최초 노드 N2를 선택하지 않고 노드 N3을 선택하게 됨으로써 신호세기에 우선하는 N1-N3-N5-N7-N8의 대체 경로를 유지할 수 있게 된다. (그림 11)에서와 같이 노드 N3이 turn-off 되어 경로가 끊어지게 되면 소스 노드는 처음부터 다시 경로 탐색을 위한 RREQ를 브로드캐스트하지 않고 이미 구성된 대체 경로를 이용하여 데이터 패킷을 전송한다. 이전노드가 신호세기와 배터리 잔량을 만

족하는 대체 경로를 유지하고 있지 않으면 처음부터 다시 경로 탐색과정을 수행하여 경로 재설정을 한다.

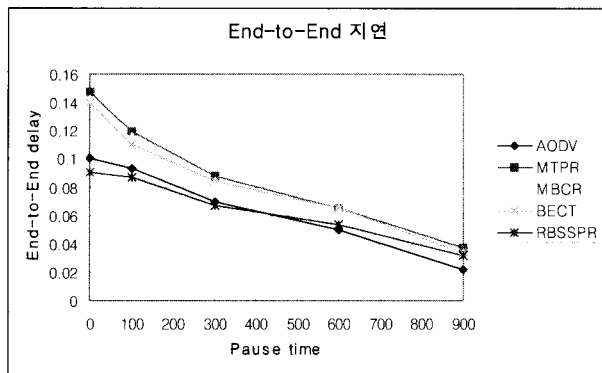
4. 성능 평가

이번 절에서는 NS-2를 통하여 RBSSPR과 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[6]. Idle 모드에서의 에너지 소모는 무시할 수 있으며 노드는 non-promiscuous 모드에서 작동하는 것으로 가정하였다[7]. 이동성 및 트래픽 모델은 <표 1>과 같으며 시뮬레이션 결과에서 pause time이 0초일 경우는 모바일 노드가 시뮬레이션 시간동안 항상 움직이는 것을 의미하고, 900초일 경우는 이동성이 없는 것을 의미한다.

<표 1> 이동성(mobility) 및 트래픽(traffic) 모델

Simulation Time	900sec
Terrain Dimensions	1000 × 1000
Number of nodes	50
Node placement	UNIFORM / RANDOM
Routing protocol	AODV / MTPR / MBCR / BECT / RBSSPR
Traffic	<ul style="list-style-type: none"> • CBR / 10, 20, 30 sources • Packet size : 512 bytes • Packet Interval : 5 packets/s
Movement	<ul style="list-style-type: none"> • Random waypoint - pause time : 0~900 sec - speed : min 0, max 25m/s

4.1 End-to-End Delay



(그림 11) 정지시간에 따른 End-to-End 지연

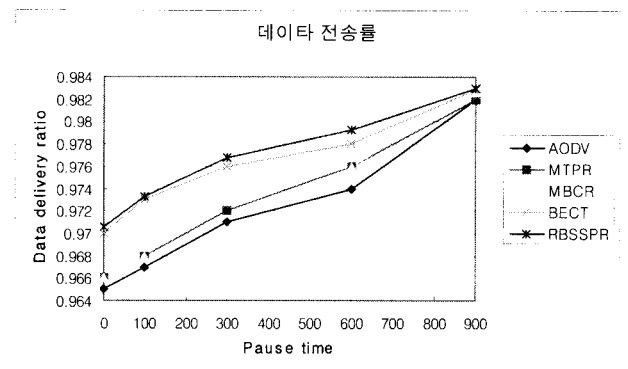
(그림 11)은 End-to-End 지연을 나타낸 것으로 이동성이 큰 환경일수록 배터리 잔량과 신호세기를 동시에 고려한 프로토콜인 RBSSPR이 홉 수만을 메트릭으로 하는 AODV 보다 양호한 성능을 나타내고 있다. 하지만 정적인 환경에 가까워질수록 AODV가 가장 양호한 성능을 나타낸다.

AODV의 경우 홉 수를 주요 메트릭으로 하기 때문에 이동성이 작은 환경에서는 가장 양호한 End-to-End 지연을

보인다. 반면에 이동성이 커질수록 배터리의 비효율적 사용에 의한 turn-off 되는 노드가 많아져 경로 재설정과정이 빈번하게 이루어짐으로써 End-to-End 지연시간이 증가하는 것으로 볼 수 있다.

파워를 고려한 프로토콜들 중 MTPR은 전송전력 분포에 따라서 홉 수가 더 많아지는 경로를 선택하는 경우가 다수 발생하여 End-to-End 지연이 전반적으로 크게 발생하였다. 전원 비용 측면을 고려한 MBCR과 에너지의 균등한 사용을 추구하는 BECT는 유사한 End-to-End 지연을 나타내고 있다. RBSSPR은 특히 이동성이 큰 환경에서 링크의 안정성과 각 노드의 수명주기를 연장시킴으로써 노드의 turn-off에 의해 발생하는 경로 재설정 과정이 감소함에 따라 End-to-End 지연시간이 감소됨을 알 수 있다. 또한 경로 재설정시 처음부터 다시 경로탐색과정을 거치지 않고 바로 대체 경로를 통해 데이터 전송이 가능하므로 그에 따른 End-to-End 지연이 감소됨을 확인할 수 있다.

4.2 Data Delivery Ratio



(그림 12) 정지시간에 따른 데이터 전송률

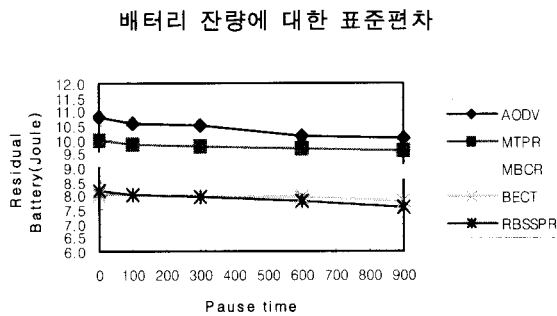
데이터 전송률은 (그림 12)와 같이 AODV, MTPR, MBCR, BECT, RBSSPR 모두 96% 이상을 나타내고 있으며 RBSSPR이 97% 이상으로 가장 양호한 데이터 전송률을 나타낸다. RBSSPR과 BECT는 비슷한 성능을 나타내며 정적인 환경에서 보다 이동성이 큰 환경에서 AODV, MTPR, MBCR에 비해 더 큰 성능 향상을 보이고 있다. 정적인 환경에서는 파워의 소모에 따른 turn-off 되는 노드의 수량이 데이터 전송률에 미치는 영향 보다 라우팅 경로 변경에 의한 링크 단절로부터 발생 하는 데이터 손실이 데이터 전송률에 더 큰 영향을 미치기 때문에 이동성이 큰 환경에서 보다는 성능에 있어서 작은 차이를 나타낸다.

이와 같은 결과는 신호세기에 의한 링크의 안정성과 배터리의 균등한 사용에 따른 링크 단절의 최소화가 데이터 전송률에 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

4.3 Average Energy Standard Deviation

배터리 소모의 균형정도를 알아보기 위해 900초 시뮬레이션 후 각 노드의 배터리 사용에 대한 표준편차를 이용한다. 사용하고 남은 배터리량의 표준편차가 크면 특정 노드들이

경로설정에 빈번히 사용됨으로써 배터리 사용에 있어서 불균형을 이루고 있음을 의미한다. 반면에 표준편차가 작으면 경로 설정 시 특정노드들이 경로 설정에 빈번히 참여하는 횟수가 적다는 의미이므로 각 노드들의 배터리가 좀 더 균등하게 소모됨을 알 수 있다.



(그림 13) 정지시간에 따른 배터리 잔량에 대한 표준편차

(그림 13)은 배터리 잔량에 대한 표준편차를 나타낸 그래프로 이동성이 큰 환경에서 RBSSPR은 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 나타낸다.

BECT는 주요 목적이 균형적인 에너지 소모이기 때문에 균형된 배터리 소모에 있어서 가장 양호한 성능을 보이고 있다. 하지만 정적인 환경에서는 RBSSPR에 비해 낮은 성능을 보이고 있는데 이와 같은 결과는 신호세기에 의한 링크의 안정적인 측면을 고려하지 않았기 때문인 것으로 보인다.

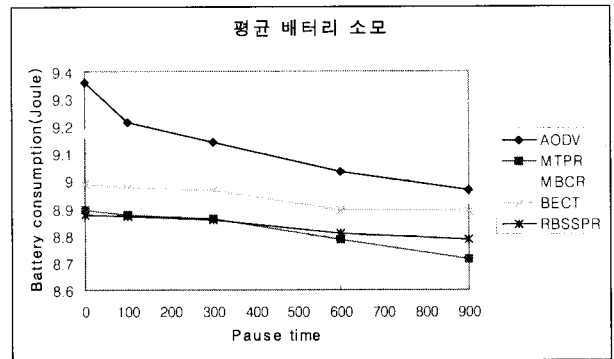
MBCR은 전원 비용 함수의 합계만 고려하기 때문에 배터리 용량이 얼마 남지 않은 노드들을 포함한 경로가 선택될 가능성이 있다. 따라서 각 노드의 전원 비용을 실제로 반영하기는 했지만 모든 노드의 전원을 공평하게 쓰지 못하고 있음을 알 수 있다. MTPR은 전송 전력 소모량의 최소화에 대한 측면을 주요 메트릭으로 하기 때문에 배터리 잔여량은 고려되지 않으므로 경로 설정 시 특정 노드의 참여 횟수가 증가하게 된다.

이와 같은 결과를 통해 파워를 고려하여 경로를 설정하는 것이 홉 수만을 고려하는 프로토콜보다 네트워크에 존재하는 다수의 노드들이 배터리를 좀 더 균등하게 사용하는 것을 확인 할 수 있다. 특히 배터리 잔량과 신호세기를 동시에 고려했을 경우 홉 수만을 고려하거나 배터리 소모의 감소만을 목적으로 하는 프로토콜에 비해 좀 더 균형된 배터리 소모를 하고 있음을 확인 할 수 있다.

4.4 Average Energy Consumption

(그림 14)는 정지시간에 따른 평균 에너지 소모율에 대한 그래프로 이동성이 큰 환경에서 RBSSPR은 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.



(그림 14) 정지시간에 따른 평균 에너지 소모율

MTPR은 전송전력분포에 따라 홉 수가 더 많아지는 경로 선택이 다수 발생하여 노드들의 배터리 잔여량을 유지하는데 실패하게 된다. 결국 각 노드의 수명 시간을 연장하는데 성공하지 못함으로써 좋은 결과를 얻기 위해 홉 수를 추가로 고려하게 되므로 최소 홉 방식과 비슷해 실제적으로 에너지 소모를 크게 감소시키지는 못하고 있다.

하지만 RBSSPR의 경우 배터리 잔량과 신호세기가 동시에 고려되기 때문에 신호세기가 양호한 경로는 노드간의 전송 거리가 가까워 적은 전송파워를 통해 데이터 패킷을 전송 할 수 있기 때문에 배터리 소모를 줄일 수 있다. 즉 소모되는 배터리량을 줄이기 위해서는 두 노드간의 거리, 배터리 잔량, 노드간의 신호세기 등에 대한 다양한 정보를 적용하는 것이 에너지를 보다 적게 사용하는 것을 확인 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 MANET에서 에너지 소모의 최소화 및 균형된 에너지 소모를 위한 RBSSPR을 제안하였다. RBSSPR은 데이터 전송으로 인한 각 노드의 불균형된 에너지 소모를 방지하고 에너지 소모의 최소화를 위해 신호세기와 배터리 잔량을 동시에 고려하여 경로를 설정한다. RBSSPR은 NS-2를 이용한 시뮬레이션 결과에서 기존 홉 수만을 메트릭으로 하는 프로토콜이나 파워의 제한된 어느 한 측면만을 고려하는 프로토콜들 보다 에너지 사용 측면에서 양호한 성능을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

결론적으로 MANET에서는 배터리 잔량과 신호세기를 동시에 고려하여 안정적인 경로를 설정하고, 배터리 잔량에 대한 임계치를 부여하여 특정 노드가 경로 설정에 빈번하게 사용되는 것을 분산시킴으로써 에너지를 보다 효과적으로 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. Zheng and R. Kravets, "On-demand power management for ad hoc networks," Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies 2003 (INFOCOM 2003), Vol.1, Mar., 30-Apr., 3, 2003, pp.481~491.
- [2] 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.
- [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] K.-S. Kwak, K.-J. Kim, and S.-J. Yoo, "Power Efficient Reliable Routing Protocol for Mobile Ad-hoc Networks," 47th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems 2004 (MWSCAS '04), Vol.2, Jul., 25-28, 2004, pp. II-481~II-484.
- [5] 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.
- [6] 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, Vol.8, No.5, Sep., 2002.
- [7] Hagen Woensner, Jean-Pierre Ebert, Morten Schlager, Adam Wolisz. Power Saving Mechanisms in Emerging Standards for Wireless LANs: the MAC Level Perspective. IEEE Personal Communications, Vol.5, Issue 3, pp.40~48, Jun., 1998.

박 건 우



e-mail : pgw4050@emerald.yonsei.ac.kr
 1997년 충남대학교 컴퓨터과학(학사)
 2005년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과(석사)
 관심분야: Ad-hoc 네트워크, 센서네트워크

최 종 오



e-mail : jochoi@emerald.yonsei.ac.kr
 2002년 국방대학교 전산학과(석사)
 2003년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정
 관심분야: 센서 네트워크, IPv6, 네트워크 보안, Mobile Ad-hoc networks

김 형 진



e-mail : hyoung@emerald.yonsei.ac.kr
 2005년 연세대학교 컴퓨터산업공학(학사)
 2005년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과(석사)
 관심분야: Ad-hoc 네트워크, 센서네트워크

송 주 석



e-mail : jssong@emerald.yonsei.ac.kr
 1976년 서울대학교 전기공학(학사)
 1979년 한국과학기술원 전기전자공학(석사)
 1998년 Univ. of California at Berkeley, 컴퓨터과학(박사)
 1988년~1989년 Assistant Professor in Naval Postgraduate School
 1989년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 정교수
 관심분야: Information Security, Cryptography, Protocol Engineering