

이동 애드혹 네트워크에서 에너지를 고려한 동적 소스 라우팅 알고리즘

이 청 엽*, 신 용 현**

An Energy-aware Dynamic Source Routing Algorithm for Mobile Ad-hoc Networks

Cheong-Yeop Lee*, Yong-Hyeon Shin**

요 약

MANET(Mobile Ad-hoc Network)에서 이동 노드는 제한된 배터리로 동작한다. 네트워크의 종료를 막기 위해, 주어진 배터리를 효율적으로 소모하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 기존의 에너지를 고려한 라우팅 방법과 동적 소스 라우팅(DSR:Dynamic Source Routing)을 소개하고, 전체 네트워크의 생존시간과 전송되는 패킷의 개수를 증가시키기 위한 에너지를 고려한 동적 소스 라우팅 EDSR(Energy-aware Dynamic Source Routing)을 제안한다. 기존의 DSR에서는 남아 있는 에너지를 고려하지 않고 경로 선택을 하였지만, EDSR은 에너지 경계값(threshold)을 두어 배터리의 남아 있는 에너지 잔량을 고려하여 경로를 선택하게 된다. EDSR을 시뮬레이션을 통해 실험한 결과 전체 네트워크의 생존시간과 전송되는 총 데이터 패킷의 용량에서 향상된 성능을 보여주었으며, 소모되는 에너지도 고르게 분포되는 것을 확인하였다.

▶ Keyword : MANET, 에너지, 경계값, DSR, EDSR

Abstract

In Mobile Ad-hoc Network(MANET), mobile nodes are operated by limited batteries. Therefore, it is very important to consume the battery power efficiently to prevent termination of the network. In this paper, we propose Energy-aware Dynamic Source Routing(EDSR) which is based on the Dynamic Source Routing(DSR) to increase the packet transmission and lifetime of the network. If the battery power of a node reaches threshold level, then the node gives up the function of relaying

• 제1저자 : 이청엽 • 교신저자 : 신용현

• 투고일 : 2011. 08. 19, 심사일 : 2011. 09. 01, 게재확정일 : 2011. 10. 19.

* 서울과학기술대학교 산업대학원 컴퓨터공학과(seoultech computer the department of technology)

** 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과(seoultech computer the department of technology)

to save battery power except as a source and a destination node. While the conventional DSR doesn't consider the battery consumptions of the nodes, EDSR blocks the nodes from relaying whose battery powers are below the threshold level. Simulation results show the proposed EDSR is more efficient in packet transmission and network lifetime through the balanced battery consumption of the mobile nodes.

▶ Keyword : MANET, Energy, Threshold, DSR, EDSR

I. 서 론

MANET(Mobile Ad-hoc Networks)은 이동 노드들에 의해 임시적으로 생성되는 기반 구조가 없는 네트워크다. MANET에서 각 이동 노드들은 시작 노드와 종료 노드 역할을 할 뿐 아니라, 전파 범위에 들지 않는 이동 노드들과 통신을 하기 위해 라우팅 기능을 수행하여야 하며, 관리를 담당하는 중앙 노드가 없기 때문에 각각의 기능을 네트워크 내의 노드에 분산시켜 수행한다. 이런 노드들은 스스로 초기화 및 환경 설정을 할 수 있어야 한다[1]. MANET 내의 이동 노드들은 제한된 에너지로 동작해야 하기에 효율적인 알고리즘을 적용하여 최소의 자원 사용으로 최대의 성능을 목표로 한다. 이동 노드에 배터리가 없는 경우는 통신이 두절되고, 결국은 네트워크가 종료된다. 이동 노드들은 에너지 소비를 최소화하여 네트워크의 수명을 최대한 연장시키고, 최적의 경로를 설정하고, 링크의 단절을 최소화하여 경로를 유지하며 이를 통하여 높은 패킷 전송율을 얻어내는 것이 MANET의 주요한 목표이다.

MANET에서 각 이동 노드들은 제한된 배터리 용량을 가지므로 에너지를 고려한 경로 설정이 중요하다. 에너지를 고려한 라우팅 방법은 크게 전송 전력 제어 접근 프로토콜과 부하 분산 접근 프로토콜로 분류할 수 있다[2]. 전송 전력 제어 접근 프로토콜은 소스 노드로부터 목적지 노드까지 데이터 패킷을 전송하기 위해 요구되는 총 전송 에너지를 최소화하는 최적 경로를 선택한다. 데이터 전송이 많은 경로에 있는 노드는 에너지가 쉽게 고갈된다. 부하 분산 접근 프로토콜은 라우팅 경로를 선택할 때 에너지의 균형적인 사용에 초점을 맞춘다. 부하 분산을 고려한 라우팅 알고리즘으로는 MTPR(Minimum Total Transmission Power Routing), MBCR(Minimum Battery Cost Routing), MMBCR(Min-Max Battery Cost Routing) 등이 있다[3-5].

일반적으로 이동 애드혹 망에서의 라우팅 경로 설정 방법은 크게 테이블 기반(table-driven) 방식과 요구 기반

(on-demand) 방식으로 나뉜다. 테이블 기반 방식은 프로액티브(proactive) 방식이라고 불리며, 노드들끼리 주기적으로 라우팅 정보를 교환하여 언제나 가능한 모든 경로를 알고 있는 방식으로, 그에 따른 오버헤드가 매우 커서 네트워크의 부하가 많다. 반면, 요구 기반 방식은 리액티브(reactive) 방식이라고 불리며, 전송할 패킷이 생겨 라우팅이 필요할 때에 경로를 설정하기 때문에 초기 경로 설정의 지연은 있지만, 라우팅 테이블 갱신을 위한 주기적인 제어 패킷 전송이 필요하지 않으므로 이동 노드의 추가, 삭제가 빈번한 동적 네트워크에서 사용이 가능하다.

지금까지 제안된 에너지를 고려한 대부분의 라우팅 알고리즘은 테이블 기반 방식에 의하여 시작 노드가 목적지 노드까지 도달하는 모든 경로를 다 알고 있다는 가정 하에서 그 경로들 중 에너지까지 고려한 최적의 경로를 선택하는 방식이다. 하지만 테이블 기반 방식은 규모가 작고 토폴로지의 변동이 거의 없는 네트워크에서 사용될 수밖에 없는 단점을 가진다.

본 논문에서는 요구 기반 방식인 DSR(Dynamic Source Routing)[6]을 기반으로 하여 이동노드들의 에너지 잔량을 고려하는 효과적인 라우팅 기법인 EDSR(Energy-aware Dynamic Source Routing)을 제안한다. DSR은 에너지 잔량에 상관없이 최단 경로를 선택하지만, EDSR은 남아 있는 에너지의 경계값(threshold)을 고려하여, 에너지가 경계값 이하인 경우의 노드들은 경로 발견단계에서 경로설정에서 제외된다. 제안된 EDSR의 유효성을 판단하기 위해서 네트워크 시뮬레이터(Network Simulator) NS-2[7]를 이용하여 경계값이 없는 경우와 경계값이 있는 경우를 비교하였다. 경계값을 변화시키면서 실험을 진행하였고, 최적의 경계값을 찾아내었다.

2장에서는 에너지 상태를 고려한 기존의 라우팅 알고리즘과 DSR에 관련된 연구를 소개하고 3장에서는 제안하는 EDSR에 대하여 설명하고 4장에서 이에 대한 실험과 결과 분석을 하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

MANET은 동적이고, 빠르고 임의로 변화하는 제한된 대역의 무선 링크로 구성되는 멀티-홉 토폴로지(multi-hop topology)의 환경에서 이동 노드들 간의 협력적인 라우팅 기능으로 안정되고 효율적인 동작을 지원해야 하는 이동 노드들의 독립적인 시스템이다. 또한 라우팅 기능을 통해 외부와 보다 넓은 인터넷으로 연결되어 정보를 공유할 수 있어야 한다. 따라서 기존 무선 망이 가지는 여러 제한 사항을 가지면서 이동 노드들만의 집합체이기에 다음 특성에 더욱 더 민감하게 영향을 받는다.

첫째, 이동 노드들은 무선을 통해 통신을 하기 때문에, 전송 거리가 멀어질수록 데이터 전송율이 낮아지는 거리상 제약을 갖는다. 또한 노드수가 많을수록 평균적으로 사용할 수 있는 전송 대역폭이 줄어든다. 따라서 원거리 노드들 간의 통신을 위해서는 멀티-홉 통신이 필수적이다. 멀티-홉 통신을 위해 각 노드는 호스트 기능 외에 라우팅 기능도 포함한다.

둘째, MANET의 가장 큰 특성은 네트워크를 구성하는 이동 노드들이다. 이동 노드는 이동 컴퓨팅 기능을 가진 라우터로 동작한다. 이러한 이동 노드들은 제한된 배터리로 동작함으로써 기능상의 제약을 받는다. 에너지상의 제약은 통신 경로 선택의 주요 기준이 되고 있다. 따라서 네트워킹 기능을 구현하는 알고리즘은 최소한의 전력만 소모하도록 최적화되어야 한다.

셋째, MANET은 불안정한 링크 특성을 갖는다. 이동 노드들은 무선 채널을 사용함으로써 전송 거리와 전송 대역폭에 제약을 받고, 전파 간섭 및 다중 링크로 인한 보안 문제를 야기한다. 특히 브로드캐스트되는 라우팅 제어 메시지는 해킹의 위험이 크다. 또한 무선 링크의 높은 비트 에러율이 멀티-홉 이동 애드혹 망의 품질에 많은 영향을 끼친다[8].

넷째, MANET은 분산 운영 기능을 갖는다. 이동 애드혹 망의 이동 노드들은 보안 및 라우팅 기능 지원 등을 백본 망(backbone network)에 의존할 수가 없다. 따라서 이러한 기능들이 여러 노드들간의 협력에 의해 분산 운영된다.

MANET에서 에너지를 고려한 라우팅의 목적은 네트워크 생존시간을 최대화 하는 것이다. 이 장에서는 에너지 상태를 고려한 라우팅 알고리즘에 대해 알아보고, 에너지를 고려하지 않는 DSR을 소개한다.

1. 에너지 상태를 고려한 라우팅 알고리즘

MANET에서 에너지 소모를 줄이기 위한 연구가 물리 계층, 링크 계층, 네트워크 계층, 전송 계층, 응용 계층에 걸쳐 다양하게 진행되어 오고 있다. 이중 프로토콜 계층에서의 에너지 소모에 관한 연구 분야는 표 1과 같다.

표 1. 각 프로토콜 계층에서의 에너지 소모 연구
Tab 1. Study on energy consumption in each protocol layer

계층	에너지 소모 연구
링크 계층	불필요한 재전송 방지 채널 이용에 있어서의 충돌 줄임 수신 노드를 가능한 한 대기 모드로 동작 수신 노드를 위해 연속된 슬롯 할당 수신 모드에 있지 않은 경우 전원을 끄
네트워크 계층	경로 부하 고려 경로 선택시 배터리 수명 고려 제어 메시지 사용 빈도 줄임 제어 헤더의 크기 줄임 효과적인 경로 재설정 기술
전송 계층	재전송 줄임 패킷 손실을 해당 경로에 속한 노드 간에서 처리 저 전력을 사용하도록 하는 에러 복구 기술

기존 라우팅 프로토콜은 최단 경로를 통해 데이터 패킷을 송수신한다. 이 경우 일부 노드들에 패킷의 흐름이 집중되면 이 노드들은 다른 노드들에 비하여 에너지 소모가 심하게 되고 따라서 전체 네트워크의 에너지 불균형이 일어나고 네트워크가 종료되게 된다.

이동 애드혹 망에서 이전까지의 대부분의 라우팅 알고리즘들은 라우팅을 관리해주는 중앙의 고정된 기반구조 없이 최단 홉으로 정확히 목적지까지 패킷을 전달하는 방법에 초점이 맞추어져 있었다. 하지만 이렇게 나온 다양한 알고리즘들은 에너지의 사용 절약이나 형평성, 네트워크 전체의 수명을 늘리는 등의 문제들은 고려되지 않았었다[9,10,11].

그러나 현재 MANET에서의 라우팅 프로토콜은 에너지 절약을 고려하고 있어, 그 배터리 용량을 현명하게 이용함으로써 무선 노드의 수명을 확장할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 연구가 진행 중이다.

최소 전송 파워 총합 라우팅(minimum total transmission power routing, MITPR)은 이동 노드의 남은 배터리 양은 고려하지 않고, 전송 시 보내고 받는 에너지의 총합이 가장 작은 경로를 선택한다. 따라서 총 에너지 소비의 최소화를 이루는 방법이다. MITPR에 따르면, 홉의 수가 많더라도 에너지 총합이 가장 작은 경로라면, 홉의 수가 많은 경로가 택해지기 때문에, 전송 시간이 지연되고 노드와 네트워크의 수명은 보장되지 못한다. 문제는 각 이동 노드의 배터리 잔량을 고려하지 않으므로, 특정 단말을 많이 이용하게 되면 해당 단말이 먼저 죽게 되는 단점이 있다.

최소 배터리 비용 라우팅(minimum battery cost

routing, MBCR)은 MTPR의 단점을 극복하기 위해 남은 배터리 용량을 경로 비용 매트릭스로 한 라우팅 방식이다. 어떤 경로에서 각 이동 노드들의 남은 배터리 용량의 역수를 합하여 그 값이 적은 경로를 선택하므로 각 이동 노드의 에너지 소비 최소화를 이루는 방법이다. 하지만 비용 계산 시 총 합에만 의존하므로 특정 이동 노드가 배터리 잔량이 매우 적고 나머지 이동 노드가 매우 많은 경우도 이 경로를 선택하는 단점이 있다.

최소-최대 배터리 비용 라우팅(min-max battery cost routing, MMBCR)은 특정 이동 노드가 과용되는 것을 방지하기 위해 MBCR의 경로 비용 산출에서 총합이 아닌 해당 경로에서 배터리 용량이 가장 적은 이동 노드의 남은 배터리 용량을 비교하여, 남은 배터리 용량이 가장 큰 경로를 선택하는 방식이다. 그러므로 단말의 에너지 소비 균등 분배를 최적화한 방식으로 분류 할 수 있다. 이는 배터리 과용 이동 노드를 포함하는 경로를 배제하는 방식으로 배터리 소비가 망 전체에 균등하게 분배되지만, 항상 최소 전송 비용을 가진 경로를 선택하는 것이 아니므로 망 전체의 총 배터리 소비는 오히려 더 커질 수 있다는 단점이 있다.

2. DSR(Dynamic Source Routing)

DSR 프로토콜은 대표적인 요구 기반 방식으로 동작하는 MANET을 위한 라우팅 프로토콜로써 크게 두 단계로 구성된다. 소스 노드가 목적지 노드까지의 경로를 찾기 위한 경로 발견(route discovery) 단계와 이동 노드들의 빈번한 이동으로 인한 환경 변화에 따른 경로 유지(route maintenance) 단계가 있다.

2.1 경로 발견

DSR 프로토콜은 이동 노드 간에 전달할 메시지가 있는 경우에만 경로를 설정한다. 그림 1에서 처럼 소스 노드 A는 목적지 노드 E에 대한 경로를 발견하기 위한 요구 메시지인 RREQ(Route Request) 패킷을 인접 노드에게 브로드캐스트하게 된다. 브로드캐스트된 패킷을 수신한 인접 노드는 자신이 목적지 노드가 아닌 경우에는, 자기 노드를 패킷에 추가하여 인접 노드에게 다시 RREQ 메시지를 브로드캐스트한다. 자신이 목적지 노드일 경우는, 발견된 경로를 포함하는 RREP(Route Reply)패킷을 생성하여 소스 노드에게 응답하게 된다. 경로 발견 과정을 보다 효율적으로 하기 위해서 이동 노드들은 경로 발견 과정에서 선정된 RREQ와 RREP 패킷 정보를 캐시에 저장해둔다.

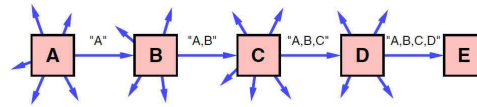


그림 1. 경로 발견 단계
Fig.1. Route discovery phase

2.2 경로 유지

경로 발견 과정에서 결정된 경로를 이용하여 패킷을 전송이 이루어진다. 하지만 노드의 이동이나 링크의 에러로 인해 패킷을 더 이상 전송할 수 없을 때 하는 작업이 경로 유지 단계이다. 그림 2처럼 노드 C가 데이터 패킷을 받고 노드 D로 전달하는 과정에서 C-D 간의 링크의 에러로 더 이상 전달이 불가능 할 때, 노드 C는 RERR(Route Error) 패킷을 만들어서 소스 노드 A에게 전달하고, 수신한 노드 A는 새로운 경로를 설정하게 된다.

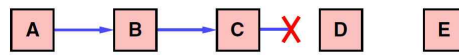


그림 2. 경로 유지 단계
Fig. 2. Route maintenance phase

III. 에너지를 고려한 DSR

본 논문에서는 DSR을 기반으로 하여, 에너지 잔량과 에너지 경계값을 고려하여 경로를 선택하는 EDSR을 제안한다. EDSR은 네트워크 생존시간과 전송되는 총 패킷의 수를 증가시킬 수 있다.

EDSR의 기본 방법은 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. EDSR 개요

첫째, 기존의 요구 기반 라우팅 프로토콜인 DSR의 경로 선출 절차를 따른다. 즉, 경로발견 방식(RREQ, RREP)과 데이터 전송 도중 노드간 링크가 끊어지는 경우(RERR) 새로운 경로를 찾아 유지하는 방법은 기존의 DSR 프로토콜과 동일하다.

둘째, 요구 기반 방식의 라우팅은 시작 노드에서 목적지 노드까지 단일한 최적의 경로를 설정한 후 메시지를 전송한다. 이 방법은 경로상의 특정 노드를 라우터로 사용하여 계속적으로 메시지를 전송하게 된다. 그 결과 라우터로 이용되는 노드의 에너지 소모를 증가시킴으로써 대부분의 에너지를 라우팅 기능 수행에 소비하게 된다. 즉, 트래픽이 특정 노드로 집중되는 문제가 발생한다.

특정 노드로 집중되는 트래픽을 우회시키기 위하여, 각 노드마다 에너지 값을 추가한다. 이는 특정 노드의 에너지를 절

약할 수 있게 해준다.

셋째, 네트워크의 에너지를 고려한 경계값을 도입하여 라우팅에 참여하는 특정 노드의 에너지 소모로 인한 전체 네트워크 종료를 막는다. 즉, 경로 설정에 있어서 에너지 경계값과 비교하여 에너지 잔량이 경계값 이하보다 작아지면 그 노드를 중계노드 역할에서 제외시키고, 시작 노드와 목적지 노드 역할만 하게 하여서 네트워크 생존시간을 연장시킨다.

기존의 DSR에는 에너지를 고려하는 부분이 없다. 즉, 에너지 잔량에 상관없이 최단 경로를 선택하게 되어 자주 이용되는 경로에 위치한 노드는 에너지가 쉽게 고갈되어 네트워크의 종료를 가져온다. EDSR에서는 에너지를 고려한 실험을 하기 위해서 DSR에 각 노드마다 에너지 값을 추가한다. 또, 경계값을 두어서 각 노드의 에너지 잔량이 경계값 보다 작을 경우는 노드는 에너지를 절약하기 위해서 중계 노드 역할을 하지 않고, 시작노드와 목적지 노드 역할만을 하게 실험한다.

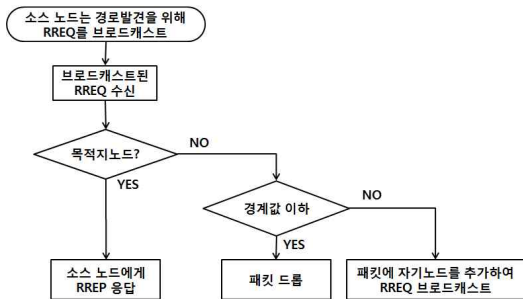


그림 3. 에너지를 고려한 DSR
Fig. 3. Energy-aware DSR

그림 3은 패킷이 브로드캐스트 되어 인접 노드에게 전송되어 처리 되는 부분이다. 소스 노드는 경로 발견을 하기 위해서 RREQ 패킷을 브로드캐스트 하게 된다. DSR에서는 인접 노드가 브로드캐스트된 패킷을 수신하면, 목적지 노드인지 확인 후에, RREP 응답이나 재전송을 하게 된다. 하지만 EDSR에서는 목적지 노드가 아닐 경우, DSR처럼 바로 재전송을 하는 것이 아니라, 에너지 잔량과 경계값을 비교하여, 경계값 이하일 경우는 패킷을 드롭시켜, 중계노드의 역할을 제외함으로써 에너지를 절약하게 된다. 패킷이 드롭될 경우 소스 노드는 다시 경로 발견 과정을 하게 되고, 경계값 이하의 노드는 소스 노드와 목적지 노드의 역할은 수행하지만, 중계 노드역할은 제외되게 된다.

이렇게 하면 경계값에 따라서 에너지 잔량이 적은 노드는 에너지를 절약할 수 있고, 전체 네트워크의 생존시간이 늘어 나게 된다. 늘어난 생존시간으로 인해 전송되는 패킷의 수도 증가되는 장점이 예상된다. 또한 에너지 잔량이 작은 노드는

에너지를 절약하게 되기 때문에, 에너지가 고르게 분포 될 수 있다. 최적의 경계값을 찾아내기 위하여 에너지 경계값을 변경하여 실험을 하였다.

2. EDSR 라우팅 절차

다음은 앞에서 제안한 EDSR의 일련의 라우팅 절차를 순차적으로 나타낸 것이다.

초기 또는 임의의 시점에서 각 노드의 에너지 잔량이 경계값 이상일 경우, 그림 4와 같이 시작 노드는 목적지 노드로 일반적인 DSR처럼 RREQ 메시지를 브로드캐스트한다. 이 때 각 노드는 RREQ 패킷을 수신하고, 자신 노드의 에너지 잔량과 경계값을 비교하여 자신이 라우팅에 참여할 것인지의 여부를 결정한다. 에너지 잔량이 경계값 이상이면 기본 DSR 프로토콜과 같이 다음 노드로 RREQ를 브로드캐스트 하고 그렇지 않으면 패킷을 버림으로써 경계값보다 작은 에너지를 가진 노드들은 라우팅에 참여하지 않도록 한다.

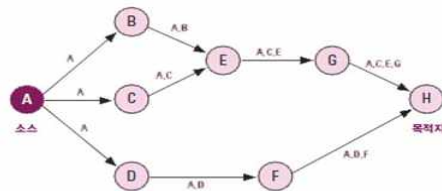


그림 4. 경로 요청
Fig. 4. Route request

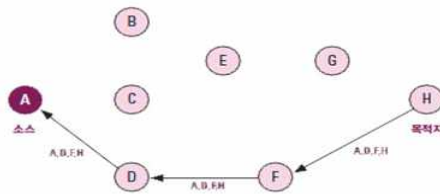


그림 5. 경로 응답
Fig. 5. Route reply

목적지 노드 H는 A-C-E-G-H의 경로와 A-D-F-H의 경로를 수신하고, 작은 홉 카운터를 가진 A-D-F-H의 경로를 선택하여 그림 5와 같이 시작 노드로 RREP을 전송한다.

시작 노드 A는 목적지 노드 H로 가는 경로를 A-D-F-H로 설정을 하게 되고 이 경로로 데이터를 전송 하게 된다. 일정 시간이 지난 후, 에너지가 소모되어 노드 C와 노드 F의 에너지가 경계값 이하가 된 경우는 그림 6과 같이 노드 F는 패킷을 드롭하게 된다.

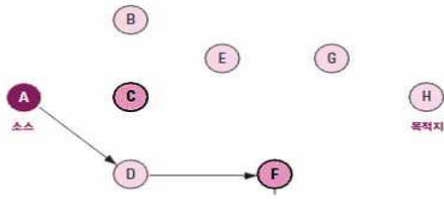


그림 6. 노드 C, F 에너지가 경계값 이하인 경우
(노드 F에서 패킷 드롭)
Fig. 6. Node C, F less than the threshold energy
(Packet drop at node F)

그러면, 일정 시간을 기다린 노드 F는 노드 H로부터 잘 수신했다는 확인을 받지 못하면, 경로의 에러를 감지하게 되고, 그림 7과 같이 시작 노드에게 RERR 패킷을 송신하게 된다

그림 8은 RERR 패킷을 수신한 시작 노드 A가 다시 경로 발견을 위해서 RREQ를 브로드캐스트하게 되고, 에너지 잔량이 경계값 이하인 노드 C와 노드 F의 경우에는 수신된 RREQ 패킷을 드롭한다. 노드 C와 노드 F는 데이터 전달을 해주는 라우터 역할, 중계 노드에는 참여하지 않고, 시작 노드와 목적지 노드의 역할만 하게 된다. 시작노드 A는 A→B→E→G→H의 새로운 경로로 목적지 노드 H에게 데이터를 전송하게 된다.

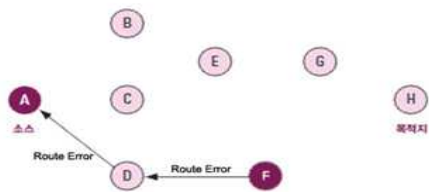


그림 7. 경로 에러
Fig. 7. Route error

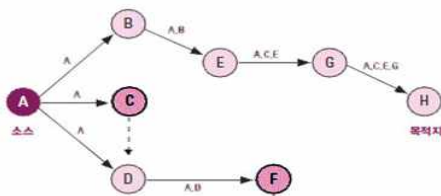


그림 8. 패킷이 드롭되는 경우
Fig. 8. Packet drop

에너지를 고려한 EDSR에서는 홉 카운터로 인해 경로 설정이 되는 것이 아니라 각 노드의 에너지 잔량을 고려하여 경로 설정을 하게 된다

IV. 실험 결과 및 분석

본 장에서는 NS-2(Network Simulator-2)를 이용한 시뮬레이션 환경 설정을 설명하고, 경계값에 따른 네트워크의 생존시간과 남아 있는 에너지의 총합, 종료된 노드의 개수, 전송된 패킷의 개수를 분석하였다. 그리고 그 결과를 경계값이 없는 경우와 경계값을 변경시키면서 비교, 분석하였다.

1. 시뮬레이션 환경

EDSR은 에너지를 고려하기 위해 NS-2.33에 있는 DSR 프로토콜을 수정하여 구현하였다. DSR은 라우팅 테이블을 항상 유지하는 것이 아니라, 요청 시에만 라우팅 정보를 생성하기에 평소에는 라우팅 정보를 관리할 필요가 없고 경계값만 확인하여, 라우팅에 참여시킬지의 여부를 결정할 수 있다. 실험에 사용된 시뮬레이션 환경에 대한 상세한 정보는 표 2와 같다. 이동 노드는 670m * 670m 영역에서 임의로 이동하고, 50 개의 노드가 존재한다. 데이터 트래픽은 CBR(constant bit rate) UDP 트래픽으로 패킷은 초당 4 개를 전송한다. MAC 계층은 IEEE 802.11을 사용하였고, 전체 시뮬레이션 타임은 1000초로 하였다.

표 2. 시뮬레이션 환경
Table 2. Simulation Environment

매개 변수	값
프로토콜	NS-2.33의 DSR
네트워크 크기	670 x 670 m
노드의 개수	50 개
초기 에너지 값	10 Joules
MAC 계층	IEEE 802.11
트래픽 유형	CBR over UDP connection
패킷 크기	512 bytes
패킷 전송 간격	4.0 packets/sec
발생되는 UDP 개수	10 개

2. 시뮬레이션 및 결과분석

생존 시간은 데이터 수신이 종료된 시간을 말한다. 충분한 종료시간을 가지고 실험을 진행하였고 경계값에 따라서 증가되는 생존시간을 표 3과 그림 9에 나타내었다. 경계값이 없는 경우는 약 782 초 경과 후 네트워크가 종료되었지만 경계값이 10%인 경우는 에너지 잔량이 10%일 때부터 EDSR을 사용하게 되면 생존시간은 892.3초로 경계값이 없는 경우

에 비해 생존시간이 약 14% 증가하게 된다. 경계값이 25%인 경우에는 생존시간이 약 24% 증가하게 된다. 따라서 경계값을 많이 적용시킬수록 생존시간도 증가한다.

표 3. 경계값에 따른 생존시간
Table 3. Survival time by threshold

경계값	생존시간	생존시간 증가율
0.00	782.2	1
0.10	892.3	1.14
0.15	924.9	1.18
0.20	953.4	1.21
0.25	971.4	1.24

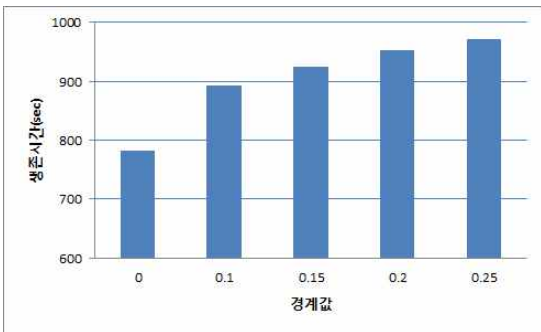


그림 9. 경계값에 따른 네트워크 생존시간
Fig. 9. Survival time by threshold

표 4와 그림 10은 시간에 따른 전체 노드의 남아 있는 에너지의 총합에 대한 표와 그래프다. 50개의 노드가 10J의 에너지를 가지고 시작하여 시작 시 전체 네트워크의 총 에너지는 500J이다. 시간이 지나면서 노드의 이동, 데이터의 전달, 송수신으로 인해 에너지가 소비된다. 경계값이 없는 경우는 급격하게 에너지 총량이 줄어들지만, 경계값이 있는 경우는 총 에너지가 훨씬 완만하게 소모됨을 보였다.

표 4. 시간에 따른 에너지 총합
Table 4. The total energy by time

시간 \ 경계값	700	750	780	850	890	950	970
0.00	117.7	74.9	23.1	-	-	-	-
0.10	117.7	76.0	55.0	22.0	13.7	-	-
0.15	117.7	81.3	61.5	26.8	16.8	-	-
0.20	118.7	86.5	69.6	33.4	20.5	12.4	-
0.25	119.6	90.3	74.9	39.9	25.8	13.6	12.5

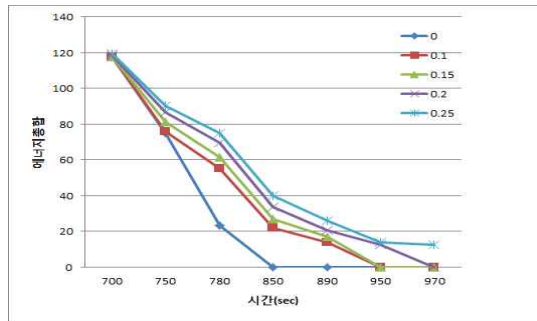


그림 10. 시간에 따른 에너지 총합
Fig. 10. The total energy by time

표 5와 그림 11은 시간이 지남에 따라 전체 50개의 노드 중 에너지가 0이 되는 노드의 개수에 대한 표와 그래프다. 경계값이 없는 경우는 급격하게 에너지가 0이 되는 이동노드의 개수가 증가하여 네트워크가 종료 되지만, 경계값이 있는 경우는 훨씬 천천히 경계값이 0이 되는 노드가 나타나게 된다. 시간이 890초 경과하고 경계값이 0.1일 경우 50개의 노드 중 22개가 종료하고 28개의 노드가 살아서 서비스를 하고 있다. 비교적 적은 경계값으로 생존하는 노드 수를 크게 늘일 수 있다. 경계값이 클수록 에너지가 남아 있는 노드의 수가 증가하고, 경계값으로 인해 에너지가 고르게 분포됨을 보인다.

표 5. 시간에 따른 에너지가 0이 된 노드 수
Table 5. The number of nodes the energy becomes zero over time

시간 \ 경계값	750	780	850	890	950	970
0.00	0	12	43	45	-	-
0.10	0	0	12	22	30	30
0.15	0	0	12	19	28	30
0.20	0	0	3	15	26	30
0.25	0	0	2	12	25	26

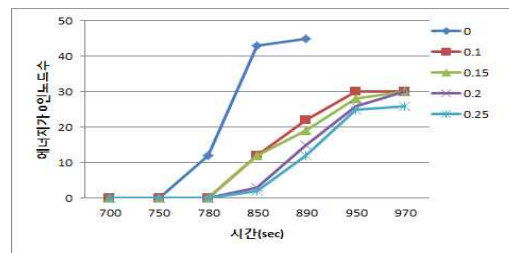


그림 11. 시간에 따른 에너지가 0이 된 노드 수
Fig. 11. The number of nodes the energy becomes zero over time

표 6과 그림 12의 결과를 보면 시간에 따라 전송 패킷 개수는 증가한다. 경계값이 없는 경우는 782초까지 1725개의 패킷이 전송되고 네트워크가 종료되지만, 경계값이 10%인 경우는 패킷이 1840개가 전송이 되어서 경계값이 없는 경우에 비하여 약 6%의 데이터 패킷의 전송 증가율을 보여준다. 성공율은 조금 떨어지지만, 전송되는 패킷 개수는 증가되는 것을 표와 그래프를 통해서 확인할 수 있다.

표 6. 최종 시간에 따른 전송 패킷의 수
Table 6. The number of packets sent over the last hour

경계값	최종시간	패킷수	증가율
0.00	782	1725	1
0.10	892.2	1840	1.06
0.15	924.9	1808	1.04
0.20	953.4	1783	1.03
0.25	971.4	1760	1.02

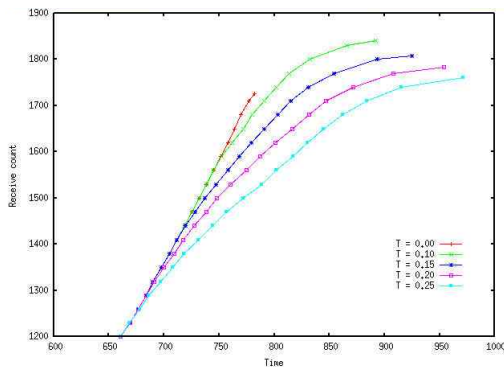


그림 12. 시간에 따른 전송 패킷 개수
Fig. 12. The number of packets sent over time

V. 결론

그동안 MANET의 제약조건 하에서 네트워크 성능을 향상시키기 위한 많은 방법들이 제안되었지만, 에너지 소모 차원에서 비효율적인 경우가 많다. MANET에서는 각 이동 노드의 배터리가 유한한 자원이므로 이러한 환경의 라우팅 프로토콜은 각 이동 노드들의 에너지를 고르게 분포시켜, 네트워크의 수명을 연장하기 위하여 에너지를 효율적으로 사용해야 한다.

본 논문에서는 MANET에서 사용되는 기존의 요구 기반 라우팅 프로토콜인 동적 소스 라우팅을 기반으로 이동 노드의 생존시간을 최대화 하는 EDSR 라우팅 알고리즘을 제안하였다. EDSR은 각 노드의 에너지 잔량과 경계값을 비교하여 에

너지 잔량이 경계값 이하이면 시작 노드와 목적지 노드 역할만 수행하고, 중계노드 역할을 제외시켜주는 방법을 사용한다.

표 7. 경계값에 따른 증가율
Table 7. Growth over threshold

경계값	생존시간 증가율	전송패킷수 증가율
0.00	-	-
0.10	14%	6%
0.15	18%	4%
0.20	21%	3%
0.25	24%	2%

NS-2를 이용한 실험에서 표 7에서와 같이 경계값이 0.1인 경우 생존시간 증가율은 약 14%로 적은 경계값으로도 생존시간 증가율이 크게 향상되었다. 경계값이 더 크게 잡아도 생존시간 증가율이 비례하여 증가되지는 않았다. 전체 네트워크의 전송 패킷수도 경계값 0.1일 때 6%나 증가되고 이 이후의 증가율은 오히려 미미한 것으로 나타났다.

또한 시간에 따른 전체 이동노드의 에너지 총합이 경계값을 두는 경우 서서히 감소되고, 에너지가 0이 되는 이동노드 수도 서서히 증가되었다. 즉 EDSR에서는 전체 노드의 에너지가 상대적으로 균등하게 분포하게 되어 전체 네트워크의 생존시간을 향상시켜주었다.

향후 연구로는 또한 주변 이동 노드들의 에너지 상태를 고려하여 대부분의 주변 노드들의 에너지 잔량이 경계값보다 작으면, 경계값을 동적으로 변화시킬 수 있는 연구도 필요하다.

참고문헌

- [1] C.K. Toh, "Ad hoc mobile wireless Networks," Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [2] S. Arumugam, G.Mary Jansi Rani, "Performance Analysis of Power Efficient Hierarchical Extension of Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," International Conference on Computer and Communication Engineering, May 2008.
- [3] C.K. Toh, "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks," Communications Magazine, IEEE, June 2001.

- [4] Dongkyun Kim, J.J. Garcia-Luna-Aceves, Katia Obraczka, Juan-Carlos Cano, Pietro Manzoni, "Routing mechanisms for mobile ad hoc networks based on the energy drain rate," IEEE transaction on Mobile Computing(TMC'03), IEEE, April 2003.
- [5] Kyungtae Woo, Chansu Yu, Dongman Lee, Hee Yong Youn, Ben Lee, "Non-blocking, localized routing algorithm for balanced energy consumption in mobile ad hoc networks," Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems(MASCOT'01), IEEE, August 2001.
- [6] D. Johnson, Y. Hu, D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," IETF RFC 4728, February, 2007.
- [7] The Network Simulator - NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [8] M. Nilsson, "Third-generation radio access standards," Ericsson Review No. 3, pp. 110-121, 1999.
- [9] D.B. Johnson, D.A. Maltz, Yih-Chun Hu, and G. Jorjeta, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," IETF Internet Draft : draft-ietf-menet-dsr-09.txt, Apr. 2003.
- [10] C.E. Perkins, E. M. Belding-Royer, and S. R. Das, "Ad Hoc On-demand Distance Vector(AODV) Routing," IETF Internet Draft : draft-ietf-menet-aodv-13.txt, Feb. 2003.
- [11] P. Jacquet and T. Clausen, "Optimized Link State Routing Protocol," IETF Internet Draft : draft-ietf-manet-olsr-10.txt, May 2003.

저자 소개



이 청 업

2007 : 서울과학기술대학교
컴퓨터공학과 공학사.
현 재 : 서울과학기술대학교
컴퓨터공학과 석사과
정
관심분야 : 네트워크, 모바일컴퓨팅
Email : cylee@seoultech.ac.kr



신 용 현

1988 : 서울대학교 계산통계학과
이학사.
1991 : 서울대학교 계산통계학과
전산과학전공 이학석사
2004 : 서울대학교 전기컴퓨터
공학부 공학박사
현 재 : 서울과학기술대학교
컴퓨터공학과 조교수
관심분야 : 시스템소프트웨어, 모
바일컴퓨팅
Email : yshin@seoultech.ac.kr

