

무선 Ad-hoc 네트워크 환경에서의 균형화된 라우팅 에너지 소비 기법

정희원 강용혁*, 엄영익*

Balancing Routing Energy Consumption in Wireless Ad-hoc Network Environments

Yong-Hyeog Kang*, Young Ik Eom* *Regular Members*

요 약

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 이동 호스트의 에너지는 중요한 요소로 간주된다. 무선 ad-hoc 네트워크에서는 이동 호스트들이 라우팅 역할을 수행해야 하므로 네트워크 구조와 노드들의 위치에 따라 각 노드들의 라우팅 역할 수행에 필요한 에너지의 양에 차이가 있게 된다. 즉, 메시지가 자주 전송되는 경로에 있는 노드들은 라우팅 역할을 수행하면서 많은 에너지를 소비하게 되고, 메시지가 적게 전송되는 경로에 있는 노드들은 상대적으로 적은 에너지를 소비하게 된다. 본 논문에서는 에너지가 적은 노드의 라우팅 역할을 에너지가 많은 노드로 전이시켜 에너지가 적은 노드의 라우팅 에너지 소비를 줄이는 기법을 제안한다. 본 제안 기법에서는 특정 노드의 라우팅 역할을 다른 노드로 전이할 때 부가적인 지역 메시지의 송수신이 필요하게 되어 전이 프로토콜에 참여하는 노드들의 에너지 소비가 전체적으로 증가될 수 있다. 하지만, 이 기법은 전체 시스템에 존재하는 노드들의 에너지 양을 균등화시킴으로써 라우팅으로 인한 에너지 소비가 많은 노드의 수명을 연장시킬 수 있게 하여, 상대적으로 많은 노드들이 라우팅에 오랫동안 참여할 수 있게 하고 시스템의 성능과 수명을 향상시킬 수 있게 한다.

ABSTRACT

Energy is considered as a principal ingredient in mobile wireless ad-hoc networks. In such a network, any mobile node should be able to take a role in forwarding messages received from neighbor nodes. Energy of these nodes is consumed in different rates depending on message traffic routes. This paper proposes a scheme to balance routing energy consumption by transferring routing role from node with small energy to node with enough energy. This scheme requires additional local message transfer, increasing the energy consumption of nodes that are involved in the routing roles, and increasing total energy consumption of wireless ad-hoc network. But balancing of energy consumption increases the average node lifetime and make the system be able to live longer.

1. 서론

무선 ad-hoc 네트워크는 하부 네트워크 구조를 이용하지 않고 동적으로 임시적인 네트워크를 형성하는 무선 이동 호스트들의 집합으로 구성된다. 무선 ad-hoc 네트워크는 우선 네트워크를 구성하는

노드들의 에너지가 제한되어 있으며, 노드와 라우터 간의 통신을 위한 대역폭도 제한되어 있을 뿐만 아니라, 노드의 위치에 따라 무선 링크의 대역폭이 다양하게 변경될 수 있다는 특색을 갖는다. 무선 링크와 노드의 이동성으로 인해 무선 ad-hoc 네트워크는 시시각각으로 위상의 변화가 발생하여 네트워크

* 성균관대학교 전자전자 및 컴퓨터공학부 분산시스템연구실(jyhkang1, yeom1@ece.skku.ac.kr)
논문번호 : 010101-0516, 접수일자 : 2001년 5월 16일

를 구성하는 노드들 사이의 연결 상태가 자주 변경된다. 무선 ad-hoc 네트워크에 있는 노드들은 네트워크 층에서 동작하는 프로토콜에 따라 자신에게 오는 패킷을 목적지 노드 방향으로 포워딩하는 라우터 역할을 수행하기도 한다. 이러한 무선 ad-hoc 네트워크에 대한 연구는 IETF의 MANET WG에서 활발하게 진행되고 있다. 이 워킹 그룹은 라우팅 프로토콜의 연구와 개발을 주요 연구 분야로 지정하고 있으며, 수백 개의 라우터가 존재하는 네트워크까지 지원하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 이 워킹 그룹은 설정한 목표들을 성공적으로 완수한 후에는 라우팅의 부가적인 다른 기능까지 지원하도록 개발하는 것을 향후 연구과제로 삼고 있다^[1].

이러한 무선 ad-hoc 네트워크의 잠재적인 응용 분야로는 상업용으로는 MANET을 통하여 인터넷 접속을 연속적으로 허용하게 하는 이동 데이터 교환 (mobile data exchange) 서비스가 있으며, 외부 도움 없이 자치적으로 동작하는 이동 네트워크를 구성하여 셀 기반 이동 네트워크 구조보다 더 안정적 (robust)이고 설치비용이 싼 임시 네트워크를 구성하는 것과, 기존 네트워크와의 연동을 통해 이동 네트워크 구조를 확장하는 환경 등이 있을 수 있다. 이는 군사용 네트워크로도 이용 가능하며, 착용 컴퓨팅 (wearable computing) 환경과 마이크로-네트워킹 (micro-networking)도 MANET의 응용 분야가 될 수 있다. 또한 재난이나 소방사고 및 안전 사고와 구조 활동처럼 효율적이고 동적이며 극도로 빠른 배치가 필요한 네트워크도 주요한 응용 분야가 될 수 있다^[2].

무선 ad-hoc 네트워크에서 라우팅 프로토콜은 기초적인 설계와 구현 선택 사항에 따라 다음과 같은 기준으로 구분할 수 있다^[3].

- 1) 통신 모델 (communication model)
- 2) 구조 (structure)
- 3) 상태 정보 (state information)
- 4) 스케줄링 (scheduling)

무선 ad-hoc 네트워크에서 라우팅 프로토콜은 통신 모델에 따라 다중 채널 방식과 단일 채널 방식으로 구분되지만, 상당히 많은 무선 ad-hoc 네트워크에서 단일 채널 방식의 라우팅 프로토콜을 사용하고 있다. 구조 측면에서는 네트워크를 구성하는 노드들의 역할이 차이가 있고 없음에 따라 균등 (uniform) 방식과 비균등 (non-uniform) 방식으로 나뉘어 진다. 균등 방식 프로토콜은 모든 노드들이 라우팅 기법에서 다른 노드들과 비교했을 때 다른 역할을 수행

하지 않으며 비균등 방식 프로토콜은 라우팅 복잡도를 줄이기 위해 전체 노드가 라우팅 역할에 책임이 있는 것이 아니라 선택된 일부 노드들이 라우팅 역할을 수행하게 하는 방식이다. 세 번째 기준인 상태 정보는 네트워크 위상의 정보를 각 노드가 어느 정도 얻는가에 따라 위상 기반 (topology-based) 프로토콜과 목적지 기반 (destination-based) 프로토콜로 구분된다. 마지막으로 스케줄링 기준은 라우팅 정보를 언제 얻느냐에 따라 선행 (proactive) 방식 프로토콜과 반응 (reactive) 방식 프로토콜로 구분된다. 선행 방식 프로토콜은 지속적으로 라우팅 정보를 구해야 하므로 상당한 네트워크 대역폭이 요구되며, 노드가 빠르게 이동하는 환경에서는 미리 구한 라우팅 정보가 노드들의 이동으로 인해 부정확한 정보가 되는 문제가 있다. 반응 방식 프로토콜은 요구가 있을 때만 경로 설정 절차를 수행하며 이를 위해 전역적인 탐색 절차가 필요하다 경우도 발생한다. 이 기법은 패킷을 전송하기 전에 라우팅 정보를 얻기 위한 절차를 필요로 하므로 패킷의 전송이 지연되어 실시간 통신에 부적합하다.

현재 무선 ad-hoc 네트워크에 대한 연구는 주로 무선 링크로 구성된 노드들간의 라우팅 프로토콜 설계나 라우팅 프로토콜의 성능 평가에 집중되어 있다. 무선 ad-hoc 네트워크는 대역폭뿐만 아니라 에너지가 제한된 노드들로 구성되어 있다. 또한 각 노드들의 위치에 따라 트래픽이 많은 경로에 있는 노드들은 에너지 소비가 많고 트래픽이 적은 경로에 있는 노드들은 에너지 소비가 적게 되어 노드들의 에너지 소비가 현저하게 차이나게 되는 문제점이 발생할 수도 있다. 본 논문은 무선 ad-hoc 환경에서 노드들의 에너지 소비의 차이로 인해 발생할 수 있는 성능 저하를 줄이기 위해 무선 ad-hoc 네트워크에 있는 노드들의 에너지를 균등하게 하기 위한 기법을 제안한다. 본 제안 기법은 노드가 사용하는 전체 에너지를 고려하지 않고 주로 라우팅에 사용되는 에너지에 초점을 맞추어 라우팅 에너지 소비의 균등을 목표로 한다. 본 논문의 제안 기법에서는 에너지가 적은 노드로 하여금 에너지가 많은 다른 노드에게 라우팅 역할을 위임하게 하여 에너지가 적은 노드의 에너지 소비를 줄임으로써 가능한 많은 노드들의 수명 (lifetime)을 균등화하는 기법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 환경에서 노드의 에너지 소비와 관련된 기존 연구들을 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 라

우팅 에너지 소비의 균형 기법을 설명한다. 4장에서는 제안 기법과 기존 기법을 비교하기 위해 성능 평가 모델을 설정하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

무선 통신 환경에서 노드들의 라우팅에 소비되는 에너지에 대한 연구는 여러 가지 제안되어 있다. 우선 전체 시스템의 에너지 소비를 줄이는 기법으로 패킷 하나가 소스 노드에서 목적지 노드까지 도달하는 데 소비되는 에너지의 양을 최소화하는 기법들이 많이 제안되었다^[4]. 그러나 이러한 전체 시스템의 에너지 소비만을 줄이는 기법은 시스템에서 발생하는 많은 트래픽이 주로 최소 에너지 경로를 통하여 이루어지므로 최소 에너지 경로에 있는 노드들은 부하가 많아질 뿐만 아니라 에너지도 빨리 고갈되어 라우팅 성능이 저하되며 전체 시스템의 수명을 감소시키는 문제점을 가지고 있다^[4].

두 번째 방법은 전체 시스템의 에너지 소비는 늘어나더라도 전체 시스템의 수명을 연장하는 것을 목표로 하는 기법으로 노드들의 남아 있는 에너지를 비교하여 에너지를 많이 가지고 있는 노드는 에너지를 많이 사용하게 하고 이를 적게 가지고 있는 노드는 에너지를 적게 사용하게 하여 에너지 소비의 비율을 균등화하는 기법이다^[4]. 이 기법에서는 라우팅에 사용되는 에너지 소비의 비율을 균등화하기 위해서 흐름 증가 (flow augmentation) 알고리즘과 흐름 재지정 (flow redirection) 알고리즘을 이용하여 라우팅 경로를 설정하게 된다. 그러나 이러한 기법은 에너지 소비 비율을 균등화하는 작업이 부하가 될 수 있으며, 또한 네트워크 구조가 변경이 될 때마다 에너지 소비의 비율을 다시 계산해야 하는 문제점이 있다.

세 번째 방법은 노드가 응용 계층 정보를 분석하여 무선 통신이 필요하지 않는 응용일 경우에 무선 통신 기능을 잠시 중지시키는 알고리즘을 이용하여 무선 통신에 사용되는 에너지를 줄이는 기법이다. 또한 이 제안 기법에서는 노드들의 배치 상태를 이용하여 밀집 지역에서는 여러 노드들이 라우팅 역할을 수행하므로 라우팅 역할을 수행하지 않는 노드들의 불필요한 통신 부분을 잠시 중지시키는 방법도 제안하였다^[5]. 그러나 이러한 기법은 패킷을 전송하기 위해서는 중지된 무선 통신 기능을 동작시키는 데 걸리는 지연이 데이터 전송의 지연으로

나타나며, 무선 통신 기능이 중지된 상태에서 오는 패킷은 손실되어 데이터 전송의 품질이 떨어진다라는 문제점을 가지고 있다.

네 번째 방법으로는 에너지 자원을 관리하기 위해 경로 상태 (path-state) 기법에 의해 시간에 따라 노드들의 에너지 수준을 균등화하는 경로를 선택하기 위해 경로 캐시에 저장되어 있는 경로 계량 (path-metric)을 사용하여 경로를 선택하는 기법이다^[6]. 이러한 기법은 에너지수준을 캐시에 관리해야 하며 캐시 정보의 일관성을 유지하기 위해 경로 설정정보보다는 많은 메시지 송수신이 필요하게 되는 문제점이 있다.

III. 라우팅 에너지 소비의 균형 기법

1. 제안 기법 개요

본 논문에서 제안하는 기법은 기존의 에너지 소비를 다루는 연구에서 나타나는 여러 가지 문제점들을 줄이기 위해 다음과 같은 설계 원리를 가지고 무선 ad-hoc 환경에서의 라우팅 에너지 소비의 균형 기법을 설계하였다.

- 1) 에너지가 적게 남은 노드는 에너지를 적게 소비하게 한다.
- 2) 네트워크 구조의 변화에 적응력이 있어야 한다.
- 3) 데이터의 전송 지연 및 손실을 줄여야 한다.

우선 에너지가 적은 노드가 에너지를 적게 소비하게 하기 위한 기법으로는 에너지가 적은 노드는 라우팅 역할을 수행하지 않는 방법이 있다. 그러나 이러한 기법은 에너지가 적은 노드가 라우팅에 참여하지 않으므로 경로로 재설정해야 하며 이에 따라 전체 시스템의 성능을 저하시키는 문제점이 있다. 본 논문에서 제안하는 기법에서는 에너지가 적은 노드가 수행하는 라우팅 역할을 에너지가 많은 노드에게 전이시킴으로써 에너지가 적은 노드는 에너지를 적게 소비하게 한다. 라우팅 역할을 전이하는 노드가 자신의 라우팅 역할을 전이 받을 노드를 선택할 때는 에너지 소비의 균등화를 높이기 위해 라우팅 역할의 전이가 가능한 노드들 중에서 최적의 대체 경로를 가지고 있는 노드보다는 에너지가 가장 많은 노드를 우선적으로 선택하는 방식을 사용한다.

네트워크 구조의 변화에 적응력이 있는 기법이 되려면 네트워크 구조가 변경되더라도 노드의 에너지 소비의 형태가 지속적으로 균등화되어야 하는 데, 본 논문에서 제안하는 기법에서는 에너지가 적

은 노드의 라우팅 역할을 에너지가 많은 노드로 전이하였으므로 네트워크 구조가 변경되더라도 에너지가 많은 노드가 라우팅 기능을 계속 유지하고 있다면 노드의 에너지 소비의 형태가 계속적으로 균등화되어 에너지 소비의 균형을 위해 경로를 재설정해야 하는 문제는 없을 것이다.

데이터의 전송 지연 및 손실 문제와 관련하여 본 제안 기법에서는 에너지가 적은 노드에서도 경로를 계속 유지하게 하고 있으며, 라우팅 역할의 전이는 패킷 전송과는 독립적으로 수행되므로 데이터의 전송 지연 및 손실은 없을 것이다. 다만 라우팅 역할의 전이 후에는 변경된 경로로 패킷이 전송되므로 경로가 늘어남다면 늘어난 경로만큼 패킷의 전송 지연과 손실이 있을 수 있게 된다.

2. 메시지 형식

본 논문에서는 에너지가 적은 노드의 라우팅 역할을 에너지가 많은 노드로 전이하는 데 사용되는 프로토콜을 위해 기존 무선 ad-hoc 네트워크에서 사용되는 라우팅 관련 메시지들에 다음과 같이 다섯 가지의 부가적인 메시지들을 제안한다.

- 1) RTREQ (route transfer request)
 <id, E, path>
- 2) RTREP (route transfer reply)
 <id, E, valid_path>
- 3) RTVALID (route transfer validate)
 <id, E, validating_path>
- 4) RTVALREP (route transfer validate reply)
 <id, E, validating_path>
- 5) RTCONF (route transfer confirm)
 <id, path, valid_path>

RTREQ 메시지는 라우팅의 역할을 다른 노드에게 전이하고자 하는 노드가 생성하여 라우팅 역할의 전이를 요청하는 지역적 방송 메시지이다. RTREP 메시지는 라우팅의 역할을 대신 수행할 수 있는 노드가 라우팅 대체 경로가 타당한지를 검증한 후에 라우팅 역할의 전이를 요청한 노드에게 RTREQ 메시지에 대한 응답으로 보내는 메시지이다. RTVALID 메시지는 RTREQ 메시지를 보내기 전에 라우팅 대체 경로가 타당한지 검증하는 메시지이며, RTVALREP 메시지는 RTVALID에 대한 응답 메시지이다. RTCONF 메시지는 라우팅 역할을 전이하려는 노드가 패킷의 원래 경로에 있는 노드들에게 라우팅 역할이 다른 노드에게 전이되었음을 알리는 메시지이다.

각 메시지의 형식에서 id는 메시지의 생성자를 나타내며, E는 에너지의 크기를 나타내고, path는 경로를 나타낸다. RTREQ 메시지에서의 E는 라우팅 역할의 전이를 요청한 노드의 에너지를 나타내고, RTREP 메시지에서의 E는 valid_path에 있는 노드들의 에너지 중에 가장 적은 에너지의 양을 나타낸다. RTREQ 메시지의 path는 라우팅 역할이 전이되기 전의 패킷의 원래 전송 경로를 나타내며, RTREP 메시지의 valid_path는 RTVALID 메시지로 검증된 라우팅 대체 경로이다. RTVALID 메시지의 validating_path는 라우팅 대체 경로로 선정될 수 있는지를 판단하기 위한 검사 대상 경로를 나타내며, RTCONF 메시지의 path는 패킷의 원래 전송 경로를, 그리고 valid_path는 라우팅 대체 경로를 나타낸다.

3. 제안 기법의 기본 동작

본 제안 기법의 동작 원리를 그림 1의 예에서 볼 수 있다. 그림 1은 소스 노드 S에서 목적지 노드 D까지 SABCD로 패킷 전송 경로가 설정된 상황에서 중간에 위치한 노드 B가 에너지를 많이 소비하여 라우팅 역할을 다른 노드로 전이하는 예를 보여 준다. 라우팅 역할을 전이하는 프로토콜의 시작 시점은 중간 경로에 있는 노드가 패킷을 포워딩 해야 할 때 자신의 에너지 상태에 따라 RTREQ 메시지를 이웃 노드에게 보내는 시점이다. 즉, 노드 B는 소스 노드 S로부터 목적지 노드 D까지 가는 패킷을 노드 A로부터 받아서 노드 C로 포워딩 해야 하는 시점에 자신의 에너지 레벨에 변화가 있었을 때 RTREQ 메시지에 <B, E_b, SABCD>를 설정하여 이웃 노드들인 A, E, C와 I에게 보낸다. 하나의 라우팅 경로에 대해 RTREQ 메시지를 생성하는 빈도가 많으면 RTREQ 메시지로 인해 에너지 소비가 증가하는 문제가 발생할 수 있으므로 노드의 에너지를 여러 레벨로 구분하여 하나의 에너지 레벨에 똑같은 라우팅 경로에 대해서는 하나의 RTREQ 메시지만을 생성하도록 제한한다. RTREQ 메시지를 받은 노드 A, E, C와 I는 자신의 경로 테이블에서 노드 B를 거치지 않고 노드 S나 A에서 노드 C나 D를 연결할 수 있는 경로가 있는지를 확인하고 경로가 있으면 유효하고 타당한 경로인지를 검증하기 위해 RTVALID 메시지를 보내 확인한다. 예를 들어, 노드 A가 유지하는 라우팅 정보에 노드 A에서 노드 C를 연결하는 경로가 AEFC와 같이 있을 경우 RTVALID 메시지는 <id, E_b, AEFC>와 같이

설정되며 노드 A는 그 메시지를 경로 AEFC를 따라서 라우팅 되도록 전송한다. 노드 E에서는 RTVALID 메시지를 보낼 대상 경로로 노드 A에서 노드 C를 연결하는 AEFC와 노드 S에서 노드 C를 연결하는 SEFC를 라우팅 정보에 가질 수 있다. 노드 E는 자신의 라우팅 정보에서 찾을 수 있는 라우팅 대체 경로로 가능한 모든 경로로 RTVALID 메시지를 전송한다. 경로 AEFC 보다 경로 SEFC가 좀더 효율적인 라우팅 대체 경로의 선정 대상이 될 수 있어서 SEFC가 라우팅 정보로 유지되고 있다면 AEFC로 RTVALID 메시지를 전송해야 할 필요가 없을 것 같지만, 만약 경로 SE 사이에 임의의 노드 X가 있어서 경로가 SXE가 될 경우에 노드 X의 에너지가 노드 B의 에너지보다 작을 경우에는 문제가 된다. 그림 1 (b)의 예에서는 노드 E의 라우팅 정보에 SEFC가 없다는 가정을 하고 AEFC에 RTVALID 메시지를 보내는 예를 보여주고 있다. 경로 AEFC가 라우팅 정보에 유지되고 있다면 RTVALID 메시지는 노드 A로 보내는 메시지는 <E, E_b, EA>가 되고 노드 C로 보내는 메시지는 <E, E_b, EFC>가 된다. 노드 I에서도 노드 E와 마찬가지로 경로 AGHIC나 AGHID가 노드 I의 라우팅 정보에 있을 수 있으며 모든 경로로 RTVALID 메시지를 전송한다. 임의의 노드가 라우팅 대체 경로로 검증할 경로가 많을 경우 많은 RTVALID 메시지를 발생시켜 네트워크의 트래픽을 증가시키는 오버헤드를 발생시킬 수 있다. 그러나 이런 오버헤드는 임의의 노드에 RTVALID 메시지의 수를 제어하는 기법을 사용하여 줄일 수 있다. 또한, 여러 개의 노드가 같은 경로로 여러 개의 RTVALID 메시지를 전송하는 오버헤드가 발생할 수 있다. 그림에서 노드 E가 경로 AEFC에 RTVALID 메시지를 전송하고 노드 A도 경로 AEFC로 RTVALID 메시지를 전송할 때 발생할 수 있는 오버헤드이다. 이 경우에는 임의의 노드가 RTVALID 메시지를 전송한 내용과 그 결과를 저장하고 있다면 같은 경로로 RTVALID 메시지를 두 번 보내는 오버헤드는 줄일 수 있다.

RTVALID 메시지를 받은 노드는 노드 B의 에너지 양을 자신의 에너지와 비교하여 자신의 에너지가 적다면 RTVALID 메시지를 무시하고 노드 B의 에너지 양보다 자신의 에너지가 크다면 RTVALID 메시지를 목적지까지 포워딩하며 RTVALID 메시지를 받은 RTVALID 메시지의 목적지 노드는 자신의 에너지를 RTVALREP 메시지에 실어서 RTVALID

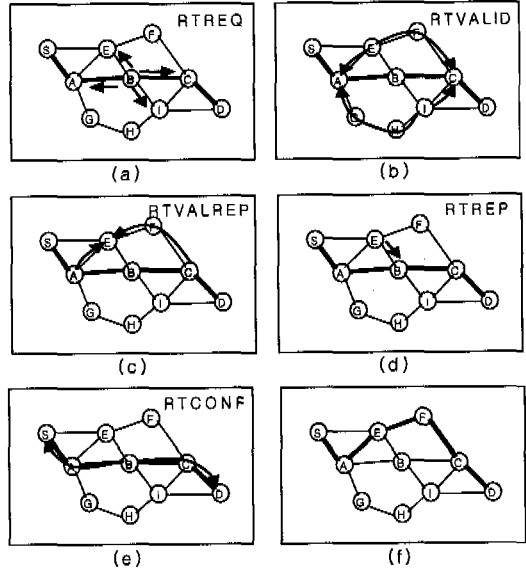


그림 1. 라우팅 기능 전이 프로토콜의 기본 동작 원리

메시지가 전송된 역 경로로 응답한다. 그림 1의 (c)에서 노드 C의 RTVALREP 메시지는 <C, E_c, CFE>가 되며 노드 A의 RTVALREP 메시지는 <A, E_a, AE>가 된다. RTVALREP 메시지를 받은 노드는 RTVALREP 메시지에 있는 에너지 값과 자신의 에너지를 비교하여 자신의 에너지가 더 적을 때 RTVALREP 메시지의 에너지의 값을 자신의 에너지 값으로 대체한다. 예를 들어 노드 F의 에너지가 노드 C의 에너지보다 적을 때 RTVALREP 메시지는 <C, E_c, CFE>가 된다.

RTVALREP 메시지를 받은 RTVALID 메시지의 목적지 노드는 대체 경로와 대체 경로에 있는 노드들의 에너지 중에 최소의 에너지를 RTREP 메시지를 넣고 RTREQ 메시지에 응답한다. 그림 1의 (d)에서 경로 AEFC 중에 노드 F가 최소 에너지를 가지고 있다면 노드 E가 노드 B에게 보내는 RTREP 메시지는 <E, E_b, AEFC>가 된다. 라우팅 대체 경로로 검증한 경로가 많을 경우 여러 개의 RTVALID 메시지를 전송한 노드는 여러 개의 RTVALREP 메시지를 받을 수 있으며 이 경우에는 여러 개의 RTVALREP 메시지만다 RTREP 메시지를 전송하는 대신에 가장 적당한 대체 경로를 선택한 후 RTREP 메시지를 보내면 메시지의 낭비를 줄일 수 있다. RTREQ 메시지에 대한 응답 메시지인 RTREP 메시지는 이웃하는 노드들의 네트워크 연결 상태와 에너지의 크기에 따라 하나도 발생하지 않을 수 있으며 여러 개의 RTREP 메시지가 받

생활 수도 있다. RTREP 메시지를 받은 노드는 받은 메시지를 통해 RTREP 메시지 안에 있는 경로와 RTREP 메시지 안에 있는 에너지를 비교하여 라우팅 대체 경로의 흡수가 짧고 라우팅 대체 경로에 있는 노드들의 에너지 중에 최소값이 큰 효율적인 라우팅 대체 경로를 선정하고 라우팅 역할의 전이를 완료하기 위해 RTCONF 메시지를 원래 경로로 전송한다. 그림 1의 (e)에서 노드 B는 라우팅 대체 경로로 AEFC를 선정하고 RTCONF 메시지를 <B, SABCD, SAEFCD>로 설정하고 패킷의 원래 경로로 전송한다. RTCONF 메시지를 받은 패킷의 원래 경로에 있는 노드들은 라우팅 정보를 라우팅

의 대체 경로로 수정하게 된다.

4. 라우팅 기능 전이 알고리즘

본 논문에서 제안된 라우팅 기능의 전이 프로토콜을 위해 각 노드가 수행해야 하는 알고리즘은 그림 2와 같다. 알고리즘에서 각 노드는 다음과 같이 자신의 에너지 양과 현재의 에너지 레벨에서 생성한 RTREQ 메시지들에 대한 정보를 유지해야 한다.

- E : 노드의 현재 에너지 양
 - RTREQ 테이블 : 현재의 에너지 레벨에서 생성한 RTREQ 메시지들의 정보 테이블
- 알고리즘에서 사용되는 source routing의 의미는

```

A.1 When energy level is changed down below the given threshold value
    empty RTREQ table;
A.2 When a node received a packet that should be forwarded
    if (pkt_path not in RTREQ table) {
        insert pkt_path into RTREQ table;
        Send RTREQ(i, Ei, pkt_path) to neighbor nodes;
    }
    else NOP;
A.3 When a node received RTREQ(j, E, pkt_path) message
    if (Ei > E) {
        while (∃ validating_path without j from prev_node to next_node in pkt_path)
            source routing of RTVALID(i, E, validating_path) along validating_path;
    }
    else discard message;
A.4 When a node received RTVALID(j, E, validating_path) message
    if (Ei > E) {
        if (i ≠ last node in validating_path)
            forward RTVALID(i, E, validating_path) along validating_path;
        else { /* last node in validating_path */
            Es = Ei;
            source routing of RTVALREP(i, Es, rev(validating_path)) along rev(validating_path);
        }
    }
    else discard message;
A.5 When a node received RTVALREP(j, Emin, validating_path) message
    if (Ei < Emin)
        Emin = Ei;
    if (i ≠ last node in validating_path)
        forward RTVALREP(i, Emin, validating_path) along validating_path;
    else /* first node in validating_path */
        send RTREP(i, Emin, valid_path) to RTREQ sender;
A.6 When a node received RTREP(j, Emin, valid_path) message
    wait another RTREP messages before timeout;
    select one valid_path by comparing Emin's and valid_path's in RTREP messages;
    source routing of RTCONF(i, pkt_path, valid_path) along pkt_path;
A.7 When a node received RTCONF(j, pkt_path, valid_path) message
    modify routing table;
    if (i ≠ first node in pkt_path)
        forward RTCONF(j, pkt_path, valid_path) along rev(prev_path(pkt_path));
    
```

그림 2. 라우팅 기능 전이 프로토콜을 위해 노드 i가 수행하는 알고리즘

해당 메시지가 경로를 따라서 전송되는 것을 의미하며, rev 함수는 주어진 경로에 대한 역 경로를 구하는 함수이며, prev_path 함수는 주어진 경로에 대해 소스 노드로부터 현재 노드 직전까지의 부분 경로를 구성하는 함수이다. 라우팅 전이 프로토콜의 메시지 형식에 사용되는 변수와 알고리즘에 사용된 변수들은 다음과 같이 정의된다.

- pkt_path : 패킷의 원래 경로를 저장
- prev_node : 패킷의 원래 경로 중에 라우팅 전이를 요청한 노드보다 앞에 있는 노드
- next_node : 패킷의 원래 경로 중에 라우팅 전이를 요청한 노드보다 뒤에 있는 노드
- validating_path : 라우팅 대체 경로로 타당한지를 검증하는 경로
- valid_path : 라우팅 대체 경로로 적합한 경로
- E_{min} : validating_path에 있는 노드 중에 가장 작은 에너지 양

알고리즘 A.1처럼 각 노드는 자신의 에너지를 여러 레벨로 구분하고 에너지 레벨이 변경될 때마다 RTREQ 테이블을 비운다. 또한 각 노드는 패킷 포워딩 요청을 받았을 때 A.2 알고리즘처럼 현재의 에너지 레벨에서 이 패킷의 경로에 대해 이미 라우팅 전이를 요청했었는지를 RTREQ 테이블을 조사하여 확인하고 요청한 적이 없다면 패킷의 경로를 RTREQ 테이블에 저장하고 그 패킷 경로에 대한 라우팅 역할을 전이하기 위해 RTREQ 메시지를 이웃노드들에게 전송한다. A.3 알고리즘은 RTREQ 메시지를 받은 노드가 라우팅 역할이 전이가 가능한 대체 경로가 있는지를 찾고 그 경로가 타당한지를 검사하기 위해 RTVALID 메시지를 전송하는 알고리즘이다. A.4 알고리즘은 RTVALID 메시지를 받은 노드가 RTVALID 메시지에 들어있는 validating_path가 라우팅 대체 경로로 적당한지를 평가하는 알고리즘이며 validating_path의 마지막 노드는 그 결과를 RTVALREP 메시지를 통해 응답한다. A.5는 RTVALREP 메시지를 받은 노드가 라우팅 대체 경로에 있는 노드의 에너지 중에 최소의 에너지 값을 구하면서 RTREP 메시지를 전송하는 알고리즘이다. A.6 알고리즘은 RTREP 메시지를 받은 즉 라우팅 역할의 전이를 요청한 노드가 여러 곳에서 오는 RTREP 메시지 중에 라우팅 대체 경로로 적당한 경로를 선정하는 알고리즘이며 그 결과를 RTCONF 메시지에 넣고 패킷의 원래 경로로 전송한다. 라우팅 대체 경로로 적당한 경로를 선정하는 방법은 여러 RTREP 메시지를 통해 라우팅

대체 경로의 홉 수가 적고 라우팅 대체 경로에 있는 노드들의 에너지 중에 최소값이 큰 라우팅 경로를 선택하는 것이다. A.6 알고리즘은 RTCONF 메시지를 받은 노드가 원래 경로를 대체 경로로 변환하기 위해 자신의 라우팅 정보를 변경하는 알고리즘이다.

IV. 성능 평가

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 라우팅 에너지 소비의 균형 기법을 평가하기 위해서 복잡한 무선 ad-hoc 네트워크를 노드의 이동 모델과 메시지의 통신 모델, 그리고 노드의 에너지 모델로 세분하여 모델링하였다. 성능 평가의 목적은 본 논문에서 제안하는 라우팅 에너지 소비의 균형 기법이 기존 기법에 비해 라우팅에 사용되는 노드의 에너지의 균형 상태를 유지하는가를 평가하는 것이다.

1. 성능 평가 모델

무선 무선 ad-hoc 네트워크를 모델링하기 위해 성능 평가 모델에 사용되는 라우팅 프로토콜을 다음과 같이 단순화하였다. 무선 ad-hoc 네트워크에 사용되는 DSR (Dynamic Source Routing) 프로토콜과 유사하게 노드들은 주기적인 라우팅 정보를 교환하지 않으며, 목적지 노드까지의 경로를 찾는 기법으로는 경로 요청 패킷을 전체 시스템에 방송하는 기법을 사용하고, 각각의 노드에는 경로 캐시를 두어서 특정 노드까지의 경로를 유지하도록 한다⁷⁾. 또한, 각 노드의 에너지 레벨을 10 단계로 구분하여 각 단계별로 같은 경로에 대해서는 한번 이하의 라우팅 역할의 전이 요청을 할 수 있게 하였다. 무선 노드의 개수는 50개로 설정하고, 각 노드는 직사각형 (1100m × 300m)내의 어느 위치로도 이동이 가능하며, 각 노드가 직접적으로 통신할 수 있는 노드의 거리는 250m 이내로 제한하였다.

1) 이동 모델

시스템 내에 있는 각각의 노드들은 임의의 중간기점 (random waypoint) 모델에 따라 이동한다. 이동 시나리오는 중단 시간 (pause time)에 따라 특성이 다르게 나타난다. 각 노드는 중단 시간 동안 정지하다가 임의의 목적지를 직사각형 (1100m × 300m) 공간 내에서 선택한 후에 임의의 속도로 목적지까지 이동한다. 목적지에 도착한 노드는 중단 시간 (pause time)만큼 정지해 있다가 새로운 목적지를

선택한 후에 다시 임의의 속도로 이동한다^[7].

2) 통신 모델

성능 평가를 위한 통신 모델은 네트워크를 구성하고 있는 노드 중에 몇 개의 노드를 선택하여 트래픽의 소스 노드로 정하고, 트래픽의 소스 노드는 한 세션에서 전송하는 패킷의 수만큼의 패킷들을 목적지 노드까지 상수 비트율 (CBR : Constant Bit Rate)로 전송하도록 모델링하였다. CBR 소스 노드의 수를 변화시키는 것은 전체 시스템의 전송률을 변화시키는 것과 거의 동등한 효과를 가져오므로, 전체 시스템의 전송률의 변화에 따르는 성능 평가 모델은 CBR 소스 노드의 수를 변화하는 방식으로 단순화하여 모델링할 수 있다. 세션이 끝난 CBR 소스 노드는 휴지 시간 (think time) 동안 기다린 후에 다시 새로운 목적지를 선택하고 선택된 목적지의 세션을 시작한다^[8].

3) 에너지 모델

시스템 내에 있는 노드들이 가지는 에너지는 동등하게 100으로 초기화하여 패킷을 전송할 때는 0.06을 감소시키고, 패킷을 수신할 때는 0.03을 감소시키도록 모델링하였다. 또한, 노드의 에너지를 10개의 단계로 나누었으며, 각 단계별로 똑같은 경로에 대해서는 라우팅 역할의 전이 요청의 횟수를 한번 이하로 제한하였다.

2. 성능 분석

무선 ad-hoc 네트워크에서 라우팅에 사용되는 각 노드들의 에너지 소비량은 각 노드들의 패킷 송수신량과 비례하게 된다. 즉 노드 i에 남아있는 에너지는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$RemE_i = InitE_i - \alpha(S_{pkt_i} \times e_s + R_{pkt_i} \times e_r) \quad (1)$$

여기서 $RemE_i$ 와 $InitE_i$ 는 노드 i의 남아있는 에너지와 초기 에너지이며, α 는 비례상수이며, e_s 와 e_r 는 패킷을 전송 및 수신하는 데 소비되는 에너지를 나타내며, S_{pkt_i} 와 R_{pkt_i} 는 노드 i가 송신한 패킷의 수와 수신한 패킷의 수를 나타낸다. 임의의 노드가 송수신하는 패킷의 수가 많아지면 노드에 남아있는 에너지도 비례적으로 적어지게 된다.

본 논문에서 제안한 기법은 기존 기법에 비해 부가적인 패킷이 송수신되면서 추가적인 에너지 소비가 일어날 것이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$RemE_i = InitE_i - \alpha[(S_{pkt_i} + S_{pkt_i}') \times e_s + (R_{pkt_i} + R_{pkt_i}') \times e_r] \quad (2)$$

여기서 S_{pkt_i}' 와 R_{pkt_i}' 은 각각 노드 i가 제안 기법의 프로토콜로 인해 부가적으로 송신한 패킷의 수와 수신한 패킷의 수이다. 본 논문에서 제안한 기법은 지역적인 프로토콜이므로 S_{pkt_i}' 과 R_{pkt_i}' 은 전역적인 프로토콜에 의해 기하급수적으로 증가할 수 있는 S_{pkt_i} 와 R_{pkt_i} 에 비해 아주 작을 것이다.

본 논문에서는 노드들의 에너지들의 균형 상태를 비교하기 위해 시뮬레이션을 통해 노드들의 에너지의 분산을 구해서 각 노드들의 남아있는 에너지들의 산포의 정도를 비교할 것이다. 노드들의 에너지들의 평균과 노드들의 에너지들의 분산을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\mu = \sum_{i=1}^N \frac{RemE_i}{N} \quad (3)$$

$$\mu = \sum_{i=1}^N \frac{RemE_i'}{N} \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RemE_i - \mu)^2 \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RemE_i' - \mu')^2 \quad (6)$$

위에서 설명한 것처럼 제안 기법은 전체 에너지 소비량에 크게 영향을 주지 않을 것이므로 노드들에 남아있는 에너지들의 총합과 그 평균은 거의 비슷할 것이다.

$$\mu \approx \mu' \quad (7)$$

본 논문에서 제안하는 기법의 원리는 에너지가 적은 노드가 패킷들을 라우팅하는 데 소비해야 할 에너지를 라우팅 역할의 전이를 통해 에너지가 많은 노드에게 소비하게 하는 것이므로 제안 기법의 성능 향상 요소는 라우팅 역할의 전이를 통해 에너지가 많은 노드가 에너지가 적은 노드 대신에 송수신 하게 되는 패킷의 수가 된다. 이 값을 구하기 위해 한 에너지 레벨에서의 패킷의 총 수를 L_{pkt} 라고, 라우팅 역할의 성공율을 $P(r)$ 이라고 임의의 노드가 라우팅 역할의 전이를 요청한 횟수를 N_r 이라 하면, 에너지가 적은 노드 대신에 에너지가 많은 노드가 송수신하게 되는 패킷의 수는 다음과 같이 β

를 비례상수로 하는 수식으로 표현된다.

$$T_{pkt} = \beta (P(r_i) \times N_{r_i} \times L_{pkt}) \quad (8)$$

이 T_{pkt} 값이 커질수록 $RemE_i'$ 의 값들을 더욱더 μ 에 가깝게 하여 σ^2 값을 σ 값보다 적게 할 것이다. 즉 라우팅 성공율이 높아질수록 또한 라우팅 역할의 전이를 요청한 횟수가 많아질수록 그리고 한 에너지 레벨에서의 패킷의 총 수가 많아질수록 노드들의 에너지는 평균에 가까워질 것이다.

3. 시뮬레이션 결과

제안 기법에 대한 성능을 평가하기 위하여 이산 사건 시뮬레이션 (event-driven simulation) 도구 중 하나인 SIMLIB을 이용하여 위에서 설명한 이동 모델과 통신 모델과 에너지 모델을 모두 구성하였다^[9].

시뮬레이션 매개 변수들은 표 1에 나타내었다. 무선 ad-hoc 네트워크의 크기는 1100m × 300m이며, 각 노드의 전송 범위는 250m로 통일하였다. 전체 시스템에 운용되는 노드의 수는 50개로 초기화하였고, CBR 소스의 수는 25개로 초기화하였다. 노드의 속도는 최소값을 0초로하고 최대값을 1초로 하는 균등분포로 모델링하였다. 한 노드가 세션이 끝난 후 다음 세션을 시작하기 전까지의 휴지시간 (think time)은 최소값을 0초로하고 최대값을 200초로 하는 균등분포를 사용하였다. 한 세션에서 전송되는 패킷들은 균일하게 0.025초마다 전송되도록 설정하였다. 노드의 에너지 레벨은 10단계로 구분하였고, 노드의 에너지 값은 100으로 초기화하여 패킷을

표 1. 시뮬레이션 매개 변수

Parameter	Value
X * Y	1100 * 300 m ²
TRANS_RANGE	250 m
NODE_NO	50
CBR_SRC_NO	25
NODE_SPEED	u(0 ~ 1) m/s
PAUSE_TIME	u(0 ~ 600) sec
THINK_TIME	u(0 ~ 200) sec
INTER_PKT_TIME	0.025 sec
INIT_ENERGY	100
ENER_LEVEL_NO	10
PKT_RECV_ENER	0.03
PKT_SEND_ENER	0.06

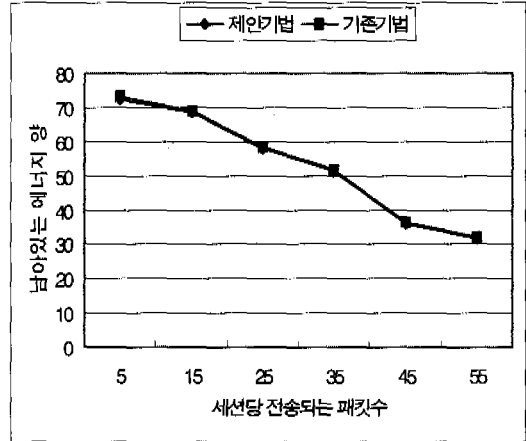


그림 3. 패킷 전송 부하에 따른 에너지 양 변화 추이 (시뮬레이션 시간 = 500)

송신할 때는 0.06의 에너지가 소비되고 수신할 때는 0.03의 에너지가 소비되도록 설정하였다.

그림 3은 한 노드의 세션 당 전송되는 패킷의 수를 변경하면서 미리 정해진 시뮬레이션 시간 동안 시뮬레이션을 수행하여 노드들의 에너지 평균값을 비교한 결과이다. 정성적 분석에 의하면 제안 기법은 지역적인 프로토콜이기 때문에 제안 기법에 의해 소비되는 에너지 양은 기존 기법에 비해 크게 차이는 없을 것이라 분석하였다. 그림 3은 제안 기법과 기존 기법의 남아있는 에너지 양들은 거의 차이가 나지 않고 있음을 보여 주고 있다. 또한 한 노드의 세션 당 전송되는 패킷의 수가 증가될수록 전체 시스템에 있는 각 노드들은 더 많은 패킷들을 송수신하게 되어 소비되는 에너지의 양도 많아지고 있음을 보여준다.

제안 기법의 라우팅 전이 프로토콜이 수행되는 횟수가 증가할 수록 그 만큼 부가적인 에너지가 소비되므로 기존 기법과의 에너지 소비의 차이가 선형적으로 증가하게 되는 것을 예상할 수 있으나 그림 3에서는 그 차이가 증가되지 않는 결과를 보여 주고 있다. 이러한 현상을 분석하기 위해 기존 기법과 제안 기법이 라우팅을 위해 송수신하는 전체 패킷 수를 비교하였다. 표 2에서 보이는 바와 같이 세션 당 전송되는 패킷 수가 증가할 수록 라우팅을 위해 송수신하는 패킷 수의 제안 기법과 기존 기법과의 차이는 점점 더 커지고 있다. 이는 제안 기법의 라우팅 전이 프로토콜이 기존 기법이 라우팅에 소비하는 에너지를 상쇄시키는 기능을 수행하는 것으로 분석된다.

표 2. 라우팅을 위해 송수신된 전체 패킷 수

세션 당 패킷 수	기존 기법	제안 기법	차이
5	3517.2	3515.6	1.6
15	9125.6	9079.4	46.2
25	16264.2	15997.2	267.0
35	23287.4	22993.6	293.8
45	29085.2	28595.2	490.0
55	35410.4	34738.0	672.4

그림 4에서는 한 노드가 세션 당 전송하는 패킷의 수를 기준으로 하여 노드들의 에너지들의 표준 편차를 구하여 비교하였다. 한 노드가 세션 당 전송하는 패킷의 수가 적을 때는 제안 기법의 표준 편차가 기존기법의 표준 편차와 거의 비슷한 값을 가지고 있으며, 한 노드가 세션 당 전송하는 패킷 수가 많을 경우에는 제안 기법의 표준 편차가 기존 기법의 표준 편차보다 작은 값을 가지게 되는 것을 보여주고 있다. 즉 노드가 한 세션 당 전송하는 패킷의 수가 많아질 수록 제안 기법이 기존 기법보다 노드들의 에너지는 균형 상태를 유지하고 있음을 보여주고 있는 것이다.

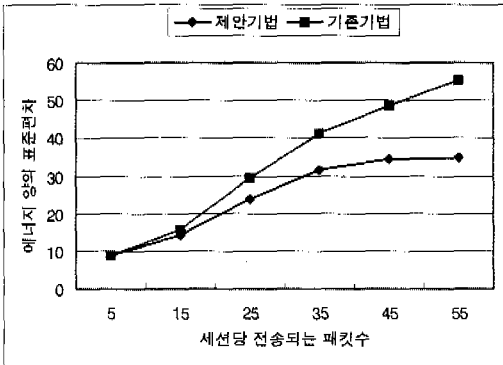


그림 4. 패킷 전송 부하에 따른 노드 에너지 양의 표준 편차 (시뮬레이션 시간 = 500)

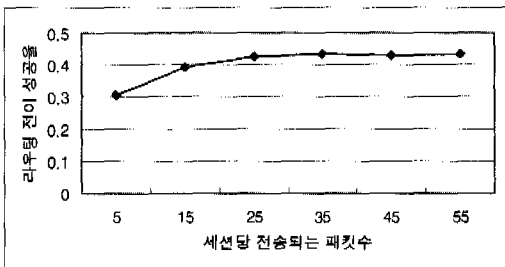


그림 5. 패킷 전송 부하에 따른 라우팅 전이 성공률

본 논문에서 제안하는 기법에 의해 에너지가 적은 노드 대신에 에너지가 많은 노드가 송수신하게 되는 패킷의 수는 성능 분석에서 $\beta(P(r) \times N_n \times L_{pkt})$ 로 구하였다. 여기서 L_{pkt} 가 에너지 균형 상태에 끼치는 영향을 알아보기 위해 시뮬레이션의 종료조건을 노드들의 에너지들의 평균이 50이 되었을 때로 설정하여, 노드가 세션 당 전송하는 패킷 수에 따르는 라우팅 전이 성공율과 표준 편차를 구하여 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 라우팅 전이 성공율은 세션 당 전송되는 패킷의 수에 따라 큰 차이가 없음을 보여주고 있으며, 세션 당 전송되는 패킷 수가 25개 이상이 되면 라우팅 전이 성공율이 거의 비슷하게 되는 결과를 보여주고 있다. 그림 6에서는 제안 기법의 표준 편차가 세션 당 전송되는 패킷의 수가 많아질수록 기존 기법의 표준 편차에 비해 더 적게 나오고 있음을 보여 주고 있다. 이 결과를 통해 본 논문에서 제안한 기법이 세션 당 전송하는 패킷의 수가 많아질수록 기존기법에 비해 노드들의 라우팅 에너지들의 균형 상태를 유지해 준다는 것을 알 수 있다.

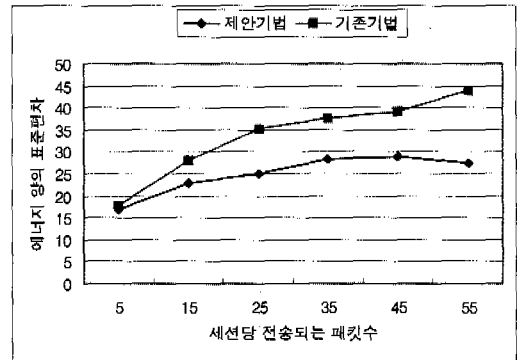


그림 6. 패킷 전송 부하에 따른 호스트 에너지 양의 표준 편차 (노드들의 에너지 평균 = 50)

본 논문에서 제안하는 기법이 네트워크 전체의 노드의 수에 따라 어떤 영향이 있는지를 평가하기 위해 시뮬레이션의 종료조건을 노드들의 에너지들의 평균이 50이 되었을 때로 설정하여 노드의 수에 따르는 라우팅 전이 성공율과 표준 편차를 구하여 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 그림 7에서는 라우팅 전이 성공율은 노드의 수가 증가할수록 같이 증가하며, 노드의 수가 어느 정도 이상이 되면 라우팅 전이 성공율은 일정한 수준에 이르게 됨을 보여주고 있다. 이 결과는 노드의 수가 증가할수록 라우팅

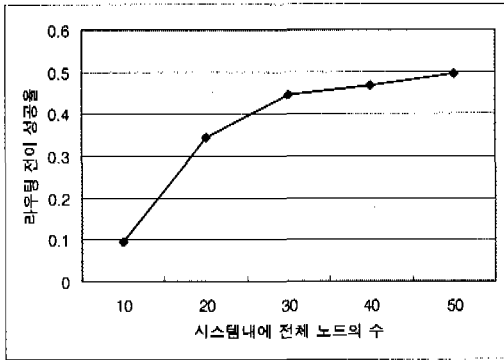


그림 7. 노드의 수에 따른 라우팅 전이 성공률

전이를 요청하는 노드 주위에 라우팅 역할을 전이 받을 수 있는 노드가 존재할 확률이 커짐을 보여준다. 그림 8에서는 노드의 수가 증가함에 따라 제안 기법의 표준 편차가 기존 기법의 표준 편차보다 더 적게 나오고 있음을 보여 주고 있다. 그림에서 세션 당 전송되는 패킷 수가 45에서 55로 증가할 때 표준 편차가 감소되는 현상은 단위 시간 당 네트워크 트래픽의 차이로 인한 시뮬레이션 시간의 차이로 인한 것이다. 즉, 세션 당 전송되는 패킷 수가 45인 경우가 시뮬레이션 시간이 길게 되며 이로 인해 분산 정도가 더 커지는 현상이 발생 할 수 있다.

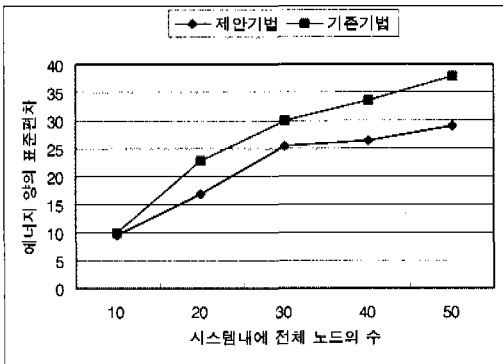


그림 8. 노드의 수에 따른 호스트 에너지 양의 표준 편차 (노드들의 에너지 평균 = 50)

본 논문에서 제안하는 기법이 무선 ad-hoc 네트워크의 수명을 향상시키는 지를 살펴보기 위해 무선 ad-hoc 네트워크의 수명을 전체 노드 중에 10%의 노드들이 에너지가 고갈되었을 때라고 정의하여 그 시간까지의 길이를 측정하여 그림 9에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 제안 기법이 기존 기법보다 무선 ad-hoc 네트워크 수명을 길게 함을 알

수 있다.

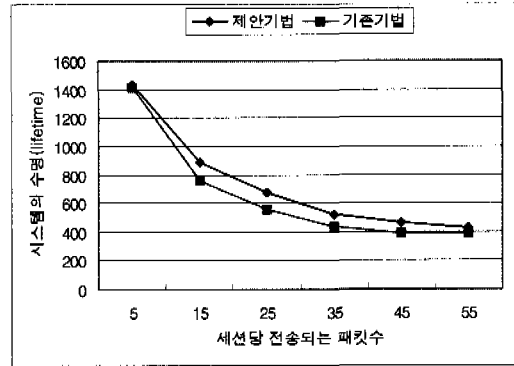


그림 9. 패킷 전송 부하에 따른 시스템 수명 시간 (에너지가 고갈된 노드의 수: 10%)

무선 ad-hoc 네트워크의 수명을 에너지가 고갈된 임의의 노드로 인해 무선 ad-hoc 네트워크가 분할(partition)되었을 때라고 정의한다면, 무선 ad-hoc 네트워크의 수명은 에너지가 고갈된 노드의 수가 많아질수록 짧아지게 된다. 그림 10은 호스트의 에너지 평균이 45일 때 에너지가 고갈된 노드들의 수를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 제안 기법이 기존 기법보다 에너지가 고갈된 노드의 수가 적으므로 무선 ad-hoc 네트워크가 분할될 확률이 적어지고 무선 ad-hoc 네트워크의 수명을 길게 할 것이다. 그림에서 세션 당 전송되는 패킷 수가 35에서 45로 증가할 때 에너지가 고갈된 노드의 수가 감소하는 현상을 단위 시간 당 네트워크 트래픽의 차이로 인한 시뮬레이션 시간의 차이로 인한 것이다. 그림 6에서 에너지 양의 표준 편차가 세션 당 전송되는 패킷 수가

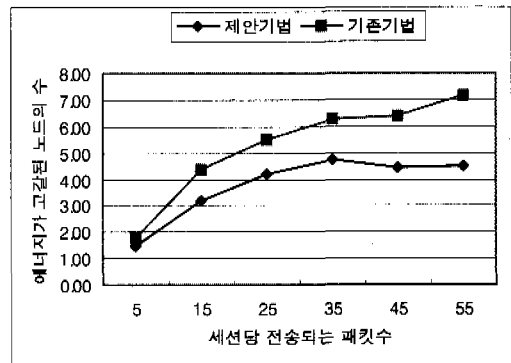


그림 10. 패킷 전송 부하에 따른 에너지가 고갈된 노드의 수 (노드들의 에너지 평균 = 45)

35와 45일 때 거의 비슷한 값을 가지고 있으나, 시물레이션 시간은 단위 시간 당 네트워크 트래픽의 차이로 인해 세션 당 전송되는 패킷 수가 35일 때가 더 길다. 그러므로, 세션 당 전송되는 패킷 수가 35일 경우가 에너지 양의 분산 정도가 더 커지게 되며, 이로 인해 고갈된 노드의 수도 많아지는 현상이 발생할 수 있다.

V. 결론

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 이동 호스트들의 에너지는 상당히 중요한 요소이다. 또한, ad-hoc 네트워크에 있는 모든 호스트는 자신에게 오는 패킷을 목적지 방향으로 전송하는 데 에너지를 소비하므로 노드의 위치에 따라 에너지 소비가 크게 차이가 날 수 있다. 즉 패킷이 많이 지나가는 경로와 적게 지나가는 경로에 있는 노드들 간에는 에너지 소비의 차이가 크게 나게 된다. 따라서 에너지를 많이 소비한 노드는 차후에 라우팅에 참여하지 못하는 상태가 되어서 상대적으로 작은 노드들로 시스템이 동작하게 되어 시스템의 성능을 감소시킨다. 본 논문에서는 에너지를 많이 소비한 노드가 에너지를 적게 소비하게 하기 위해 라우팅의 역할을 에너지를 적게 소비한 노드로 전이하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 노드들의 에너지 소비를 균등화함으로써 에너지 소비가 많은 노드의 수명을 연장시킬 수 있으므로 상대적으로 많이 노드들이 라우팅에 참여하게 되어 시스템의 성능과 수명을 향상시킬 수 있다.

복잡한 무선 ad-hoc 네트워크를 세 가지 모델로 세분화하여 모델링하고 시물레이션을 수행하여 제안 기법을 기존 기법과 비교하였다. 제안기법에서 필요한 라우팅 전이에 사용되는 메시지로 인해 소비되는 에너지는 기존 기법에 비해 크게 증가하지 않음을 보였으며, 제안 기법이 기존 기법에 비해 여러 가지 상황에서 노드들의 에너지들이 균등하게 유지되고 있음을 보였다. 특히 세션 당 전송되는 패킷의 수가 많을 수록 제안기법이 기존 기법에 비해 좋은 성능을 보였으며, 시스템에 노드들이 많아질수록 라우팅 전이 성공율이 높아져서 제안 기법이 기존기법보다 노드들의 에너지 상태가 균등하게 유지되었다.

참고 문헌

[1] Internet Engineering Task Force. MANET WG,

<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.

- [2] J. Macker and S. Corson, "Mobile ad hoc networking and the IETF," *Mobile Computing and Communications Review*, Vol 2, No 1, Jan. 1998.
- [3] L. Feeney, "A taxonomy for routing protocols in mobile ad hoc networks." SICS Technical Report T99:07. October, 1999.
- [4] Jae-Hwan Chang and L. Tassiulas, "Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks," *Proceedings of IEEE INFOCOM 2000*, March, 2000.
- [5] Ya Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Adaptive energy-conserving routing for multihop ad hoc networks." USC/Information Sciences Institute, Research Report527, October, 2000.
- [6] D. Maltz, "Resource management in multi-hop ad hoc networks," Technical Report CMU-CS-00-150. November 1999.
- [7] D. Johnson, D. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," In *Mobile Computing*, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [8] J. Broch and et al., "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols," *MobiCom*, Oct., 1998.
- [9] A. law and W. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2-ed., McGraw-Hill, 1991.
- [10] M. Stemm and R. Katz, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in hand-held devices," *IEICE* Vol. E80-B, No. 8, 1997.
- [11] L. Feeney, "Investigating the energy consumption of an IEEE 802.11 network interface," SICS Technical Report T99:11. December, 1999.
- [12] S. Das, C. Perkins and E. Royer, "Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks," in *INFOCOM*, pp 3-12, March 1997.

엄 영 익(Young Ik Eom)

정회원



1983년 2월 : 서울대학교

계산통계학과 학사

1985년 2월 : 서울대학교 대학원

전산과학전공 석사

1991년 8월 : 서울대학교 대학원

전산과학전공 박사

현재 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수
<주관심 분야> 분산 시스템, 이동 컴퓨팅 시스템,
분산 객체 시스템

강 용 혁(Kang Yong-Hyeog)

정회원



1996년 2월 : 성균관대학교

정보공학과 학사

1998년 2월 : 성균관대학교

정보공학과

컴퓨터공학전공 석사

2000년 2월 : 성균관대학교

전기전자 및 컴퓨터공학부

박사과정 수료

<주관심 분야> 분산 시스템, 이동 컴퓨팅 시스템,
Mobile Ad-hoc networks