

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 균형화된 에너지 소비를 위한 효율적인 라우팅 알고리즘

정회원 김 현 호*, 준회원 김 정 희**, 강 용 혁***, 정회원 엄 영 익**

An Efficient Routing Algorithm for Balanced Energy Consumption in Wireless Ad-hoc Network Environments

Hyun Ho Kim* *Regular Member*, Jung-hee Kim** *Associate Member*,
Yong-hyeog Kang*** *Associate Member*, Young Ik Eom** *Regular Member*

요 약

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 이동 호스트의 배터리 수명을 최대화하는 것은 시스템의 수명과 성능을 향상시키므로 매우 중요하다. 이동 호스트들은 라우팅 역할을 수행하므로 네트워크의 구조와 이동 호스트들의 위치에 따라 이동 호스트들의 에너지 소비의 차이가 발생된다. 본 논문에서 각 이동 호스트는 에너지 트리를 유지하며, 메시지 트리 패킷을 이용하여 이웃 이동 호스트들의 에너지의 양을 주기적으로 파악한다. 이동 호스트는 패킷을 전송하기 위한 라우팅 경로를 설정할 때 에너지 트리와 너비우선 탐색을 이용하여 에너지 소비가 가장 적절한 경로를 선택한다. 제안기법은 무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 각 이동 호스트의 에너지의 양이 균등하게 사용됨으로써 제한된 배터리 용량을 가진 이동 호스트들이 최대한 오랫동안 동작하므로 시스템의 수명과 성능을 향상시킨다.

Key Words : Balanced Energy Consumption, Energy Tree, Wireless Ad-hoc Networks.

ABSTRACT

It is very important to maximize the battery durability of mobile host in wireless ad-hoc network environments, because it extends the durability and performance of the system. Since mobile hosts play a routing role, the network structure and the location of mobile hosts create a difference of energy consumption of mobile hosts. In this paper, each mobile host maintains energy tree and evaluates the amount of the energy of the neighboring mobile hosts by using message tree packet by periods. When mobile host sets up a routing path to send a packet, it selects the most proper path in order to consume energy effectively by using energy tree and breadth first search. In this paper, we suggest that, in wireless ad-hoc network environments, if each mobile host consumes balanced energy, mobile hosts of which energy capacity is limited can work as long as it can. Therefore, the durability and performance of the system can be extended.

I. 서 론

무선 ad-hoc 네트워크는 중앙 집중화된 관리나

표준화된 지원 서비스의 도움 없이 동적으로 임시 네트워크를 구성하는 무선 이동 호스트들의 집합이다^[1,2]. 이 네트워크는 백본 호스트나 다른 이동 호

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. IITA-2006-(C1090-0603-0046)

* 명지전문대학 컴퓨터정보과 (kimhh@mail.mjc.ac.kr), ** 성균관대학교 정보통신공학부 분산컴퓨팅연구실 (kimjh@ece.skku.ac.kr, yeom@ece.skku.ac.kr), *** 극동대학교 경영학부 (yhkang@kdu.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-02-060, 접수일자 : 2005년 2월 4일, 최종논문접수일자 : 2006년 11월 17일

스트로의 연결을 제공하기 위한 고정된 제어장치를 갖지 않으며, 각 이동 호스트는 라우터로 동작하며, 전달받은 패킷을 다른 이동 호스트로 전달한다. 무선 ad-hoc 네트워크에 대한 연구는 IETF의 MANET 워킹 그룹에서 활발하게 진행되고 있다³⁾. 현재 이 워킹그룹의 목적은 노드의 이동으로 인해 발생하는 동적 위상과 정적 위상 내에서 무선 라우팅 응용에 적합한 IP 라우팅 프로토콜의 기능을 표준화하는 것이다. 향후 연구과제는 기존의 반응 방식 프로토콜(reactive protocol)과 선행 방식 프로토콜(proactive protocols)로부터 좋은 구성요소를 이용하여, 반응 방식 MANET 프로토콜과 선행 방식 MANET 프로토콜 2개의 표준 라우팅 프로토콜을 개발할 예정이다.

이 네트워크를 구성하는 이동 호스트들은 에너지의 양이 제한되어 있다. 에너지 소비 기법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다⁴⁾. 우선, 전체 시스템의 에너지 소비를 줄이는 기법으로 하나의 패킷이 소스에서 목적지까지 도달하는데 소비되는 에너지의 양을 최소화하는 기법이 제안되었다^{5,6,7)}. 그러나 이 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 저하된다. 그러므로 전체 시스템의 수명을 감소시키는 문제점을 가지고 있다. 본 논문은 무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 특정 이동 호스트들에게만 편중된 에너지 소비는 시스템의 수명과 성능을 저하시키는데 이러한 문제점을 해결하기 위해 이 네트워크에 참여하는 이동 호스트들의 에너지 소비를 균등하게 하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 각 이동 호스트는 에너지 트리를 유지하며, 각 이동 호스트는 이웃 이동 호스트와 에너지 정보를 교환하기 위해 메시지 트리 패킷을 이웃 이동 호스트로 브로드캐스트한다. 각 이동 호스트는 패킷을 송부하기 위한 라우팅 경로를 설정할 경우 에너지 트리와 너비우선 탐색을 이용하여, 에너지 소비가 가장 적절한 경로를 선택한다. 그러므로 각 이동 호스트들은 에너지를 균등하게 사용하며, 제한된 배터리 용량으로 인한 이동 호스트의 동작시간을 최대한으로 길게 가짐으로써 시스템의 수명과 성능을 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 우리는 ad-hoc 네트워크 환경에서 이동 호스트의 에너지 소비와 관련된 연구를 소개하고, 3장에서 라우팅 경로 설정시 균형화된 에너지 소비를 위한 고려사항

을 설명한다. 4장에서 우리는 제안된 에너지 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 설명하며, 5장에서 제안 알고리즘과 AODV 프로토콜⁸⁾을 비교하기 위해 성능평가 모델을 설명하고 그리고 시뮬레이션 결과를 분석하며, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

Ad-hoc 네트워크 환경에서 패킷의 송수신을 위해 소비되는 이동 호스트들의 에너지에 대한 여러 가지 라우팅 알고리즘이 제안되었다¹¹⁾.

Energy Conserving Routing은 여러 노드들에게 남아있는 에너지의 양을 비교하여 에너지의 양을 많이 가지고 있는 노드는 에너지를 많이 사용하게 하고, 에너지의 양을 적게 가지고 있는 노드는 에너지를 적게 사용하게 하여 에너지 소비의 비율을 균등화하는 기법이다⁹⁾. 이 기법은 라우팅에 사용되는 에너지 소비의 비율을 균등화하기 위해서 흐름 증가(flow augmentation) 알고리즘과 흐름 재지정(flow redirection) 알고리즘을 이용하여 라우팅 경로를 설정한다. 그러나 이 기법은 에너지 소비의 비율을 균등화하는 작업이 부하가 될 수 있으며 또한, 네트워크 구조가 변경될 때마다 에너지 소비의 비율을 재계산해야 하는 문제점이 있다.

Adaptive Energy-Conserving Routing은 노드가 응용계층(application-level) 정보를 분석하여, 무선 통신(radio)이 필요하지 않는 응용일 경우, 노드가 무선 통신 기능을 잠시 중지시키는 알고리즘을 이용한다. 그러므로 이 알고리즘은 무선 통신에 사용되는 에너지의 양을 줄일 수 있다. 또한 이 기법은 노드의 밀집 지역에서는 여러 노드들이 라우팅 역할을 수행하는데, 라우팅 역할을 수행하지 않는 노드들의 불필요한 통신 부분을 잠시 중지시키는 방법도 제안하였다¹⁰⁾. 그러나 이 기법은 패킷을 다시 전송하기 위해서 중지된 무선 통신 기능을 동작시키는데 걸리는 지연이 데이터 전송의 지연으로 나타나며, 무선 통신 기능이 중지된 상태에서 오는 패킷은 손실되어, 데이터 전송의 품질이 떨어진다는 문제점을 가지고 있다.

PAR(Power Aware Routing) 프로토콜은 라우팅 경로를 결정할 때, 소스 이동 호스트와 목적지 이동 호스트 사이에 최소 라우팅(shortest routing) 경로 대신 하나의 패킷 당 소비되는 에너지의 양을 최소화, 네트워크가 분할될 때까지의 시간을 최대화, 이동 호스트의 에너지 레벨에서 분산을 최소화, 그리

고 패킷 당 비용을 최소화 등과 같이 에너지와 관련된 고려사항을 이용한다¹²⁾.

APR(Alternate Path Routing) 프로토콜은 같은 소스-목적지 쌍에 대해 여러 경로를 유지하여 네트워크 트래픽을 여러 경로로 분배함으로써 에너지 소비를 간접적으로 균형화 시키는 기법이다¹³⁾. APR의 성능은 서로 다른 경로가 얼마나 많은 노드들과 링크들을 공유하였는지를 나타내는 경로 커플링(route coupling)의 품질에 의존한다. 그러나 이 프로토콜은 네트워크 연결할 때 모든 변화에 대한 추적(tracking)은 많은 비용이 드는 문제점을 갖고 있다.

LEAR(Localized Energy Aware Routing) 프로토콜은 DSR 프로토콜에 근거한 프로토콜로써 참여하고 있는 모든 노드 사이에서 균형화된 에너지 소비에 직접 제어한다¹⁴⁾. 라우팅 경로가 탐색되었을 때 각 노드는 라우팅 경로의 선택과정에 참여할 것인지 안 할 것인지를 결정하기 위해 남아 있는 배터리 레벨에 대한 자신의 정보에 의존한다. 에너지가 부족한 노드는 데이터 패킷을 전송하지 않으므로써 배터리 에너지를 보존할 수 있다.

III. 라우팅 경로 설정시 균형화된 에너지 소비를 위한 고려사항

3.1 개요

기존 프로토콜은 소스에서 목적지까지 패킷을 전송하기 위해 라우팅 경로를 설정할 때 균형화된 에너지 소비를 위한 고려 사항들은 다음과 같다. 하나의 패킷 당 소비되는 에너지의 양을 최소화, 네트워크가 분할될 때까지의 시간을 최대화, 이동 호스트의 에너지 레벨에서 분산을 최소화, 그리고 패킷 당 비용을 최소화, 똑같은 소스-목적지 쌍에 대해 여러 경로를 유지하여 네트워크 트래픽을 여러 경로로 분배, 그리고 패킷을 전송하는데 필요한 전송 에너지 최소화¹⁷⁾ 등이 있다.

본 논문에서 균형화된 에너지 소비를 위한 에너지 트리 기반의 라우팅 알고리즘은 다음과 같은 원리를 가지고 설계되었다.

1) 무선 ad-hoc 네트워크에서 에너지의 양이 비교적 많은 이동 호스트는 에너지의 양이 적은 다른 이동 호스트보다 에너지를 더 소비하게 한다.

2) 각 이동 호스트는 이웃 이동 호스트에게만 메시지 트리 패킷을 지역 브로드캐스팅(local broad-

casting) 함으로써 네트워크 트래픽을 줄일 수 있다.

3) 각 이동 호스트가 라우팅 경로를 설정할 때, 각 이동 호스트는 에너지의 양이 가장 적은 이웃 이동 호스트를 피해서 경로를 설정한다.

3.2 에너지 트리와 메시지 트리 패킷의 구현방법

본 논문에서 각 이동 호스트는 에너지 트리를 유지하며, 에너지 트리는 이동 호스트 자신의 에너지 정보와 다른 이동 호스트의 에너지 정보를 갖고 있다. 이동 호스트는 현재의 에너지 트리를 이용하여 이웃 이동 호스트로 전송할 메시지 트리 패킷을 만든다. 메시지 트리는 이웃 이동 호스트로부터 전송 받은 에너지 트리이며, 메시지 트리 패킷은 이웃 이동 호스트로 전송할 메시지 트리 정보를 포함하고 있다.

그림 1은 이동 호스트 N이 유지하는 에너지 트리의 형식이며, 이 트리에서 각 이동 호스트는 이동 호스트 ID(N), 이동 호스트의 에너지 정보(E_N), 이동 호스트의 부모 이동 호스트(P_N), 그리고 이동 호스트의 자식 이동 호스트를 가리키는 포인터들로 구성된다. 이동 호스트 A에서 이동 호스트 A의 부모 이동 호스트(P_A)는 이동 호스트 N이다. 그리고 메시지 트리의 형식은 에너지 트리의 형식과 동일하다.

그림 2는 메시지 트리 패킷의 형식이며, 첫 번째 이동 호스트의 구성은 다음과 같다. 이동 호스트 ID(N_1), 이동 호스트의 에너지 레벨(E_{N_1}), 이동 호스트의 부모 이동 호스트(P_{N_1}), 이동 호스트가 자식 이동 호스트를 가리키고 있는 포인터의 총 개수(K), 그리고 이동 호스트가 자식 이동 호스트를 가리키는 포인터($L_0, L_1, L_2 \dots L_{K-1}$)만큼의 링크들로 구성된다. 예를 들어, K가 3이면 L_0, L_1, L_2 만큼의 링크가 필요하다. 두 번째 이동 호스트의 구성부터는

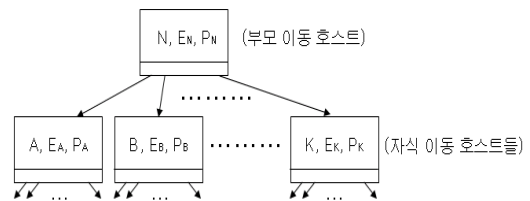


그림 1. 에너지 트리의 형식

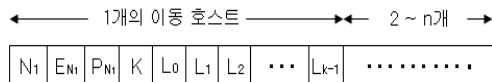


그림 2. 메시지 트리 패킷의 형식

첫 번째 이동 호스트의 구성을 따른다.

IV. 제한된 에너지 트리 기반의 라우팅 알고리즘

그림 3의 A.1 알고리즘은 이동 호스트가 무선 ad-hoc 네트워크에 접속할 때 수행하는 알고리즘으로 한 번만 수행하는 과정이다. 이동 호스트는 에너지 트리에서 이동 호스트 자신의 정보를 이용하여 루트 엔트리를 만든다. 그리고 이동 호스트는 메시지 트리 패킷 브로드캐스트 이벤트를 호출한다.

그림 3의 A.2 알고리즘은 각 이동 호스트가 이웃 이동 호스트와 에너지 정보를 교환하기 위해 t초마다 메시지 트리 패킷을 이웃 이동 호스트로 브로드캐스팅하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 이동 호스트의 현재 에너지 정보를 에너지 트리의 에너지 정

보(E_N)로 갱신하고, 에너지 트리를 이용하여 메시지 트리 패킷을 만든다. 그리고 이 알고리즘은 생성된 메시지 트리 패킷을 모든 이웃 이동 호스트들에게 브로드캐스트하며, t 초 후에 메시지 트리 패킷 브로드캐스트 이벤트를 예약한다.

그림 3의 A.3 알고리즘은 하나의 이동 호스트가 이웃 이동 호스트로부터 메시지 트리 패킷을 받았을 때 처리하는 알고리즘이다. 이 알고리즘의 처리 과정은 다음과 같다. 먼저 이 메시지 트리 패킷을 받은 이동 호스트가 메시지 트리 패킷을 이용하여 메시지 트리를 만든다. 그리고 이 이동 호스트는 메시지 트리의 루트(root) 이동 호스트의 엔트리를 (N, E_N, null) 형식으로 만들어서 bfs 큐에 삽입한다. 여기서 bfs 큐는 너비우선 탐색 큐를 의미한다. 큐가 텅 비어 있지 않는 동안, 이 이동 호스트는 bfs 큐

```

A.1 When the mobile host connects to the wireless ad-hoc network
    Make the root entry ( $N, E_N, \text{Null}$ ) using the information of mobile host itself in the energy tree
    Invoke a message-tree packet broadcast event

A.2 When the message-tree packet broadcast event is generated in mobile host  $N_i$ 
    Update the current energy information of mobile host to the  $E_N$  of the energy tree
    Make message-tree packet using the energy tree
    Broadcast this message-tree packet to all neighbor mobile hosts
    Reserve a message-tree packet broadcast event after t seconds

A.3 When a mobile host receives the message-tree packet from the neighbor mobile host
    Make the message tree using the message-tree packet
    Insert the root mobile host entry of message tree into the bfs queue
        /* the entry type is ( $N, E_N, \text{null}$ ) */
    While(the queue is not empty)
    {
        entry ( $V, E_V, P_V$ ) = dequeue from bfs queue
        /* V is any mobile host,  $E_V$  is the energy level of V,  $P_V$  is the parent mobile host of V */
        Insert the entries of all children of V into the bfs queue
            /* the entry type is ( $N, E_N, P_N$ ) */

        if ( $\exists V$  in the energy tree)
            if  $P_V = \text{null}$ 
                append V as the child mobile host of root mobile host in the energy tree
            else
                append V as the child mobile host of  $P_V$  in the energy tree
        else /* V exits in the energy tree */
        {
            update  $E_V$  of the energy tree as  $E_V$  of the message tree
            if the parent of V in the message tree is not the parent of V in the energy tree
                if the candidate path is more balanced energy path than the old path
                    /* the candidate mobile hosts are V + mobile hosts in the path from root to  $P_V$  in the energy tree */
                    /* the old mobile hosts are mobile hosts in the path from root to V in the energy tree */
                    change the parent of V in energy tree to  $P_V$  on the candidate path
        }
    }
    
```

그림 3. 이동 호스트가 무선 ad-hoc 네트워크에 접속할 때 수행하는 알고리즘(A.1)과 각 이동 호스트가 t초마다 메시지 트리 패킷을 이웃 이동 호스트로 브로드캐스팅하는 알고리즘(A.2)과 하나의 이동 호스트가 이웃 이동 호스트로부터 메시지 트리 패킷을 받았을 때 처리하는 알고리즘(A.3)

의 맨 앞에 있는 임의의 이동 호스트 V (처음에는 메시지 트리의 루트 이동 호스트가 됨)를 bfs 큐에서 꺼집어낸다. 그리고 이 이동 호스트가 이동 호스트 V의 모든 자식(children) 이동 호스트들의 정보를 (N, E_N, P_N) 형식으로 만들어서 bfs 큐에 삽입한다. 만일 이동 호스트가 유지하고 있는 에너지 트리에, 전송된 임의의 이동 호스트 V가 존재하지 않는다면 그리고 임의의 이동 호스트 V의 부모(parent) 이동 호스트가 null 이라면 이동 호스트는 이동 호스트 V를 에너지 트리의 루트 이동 호스트의 자식(child) 이동 호스트로 추가한다. 전송된 이동 호스트 V의 부모(parent) 이동 호스트가 null 이 아니라면 즉, 이동 호스트 V의 부모 이동 호스트가 존재한다면, 이동 호스트는 이동 호스트 V를 에너지 트리에 존재하는 V의 부모(parent) 이동 호스트의 자식(child) 이동 호스트로 추가한다. 만일 이동 호스트 V가 에너지 트리에 존재한다면 이동 호스트는 에너지 트리의 E_V 를 메시지 트리의 E_V 로 갱신한다. 만일 메시지 트리에서의 P_V 는 에너지 트리에서의 P_V 가 아니라면 그리고 후보 경로(candidate path)가 기존 경로보다 더 균형화된 에너지를 갖는 경로라면 이동 호스트는 에너지 트리에서 V의 부모를 후보 경로에 있는 P_V 로 바꾼다. 여기서 후보(candidate) 이동 호스트들은 이동 호스트 V와 에너지 트리에서 루트 이동 호스트에서 P_V 까지의 경로에 있는 이동 호스트들이다. 그리고 기존 이동 호스트들은 에너지 트리에서 루트 이동 호스트에서 이동 호스트 V까지의 경로에 있는 이동 호스트들이다. 우리는 이 논문에서 균형화된 에너지 소비를 위한 기준은 이동 호스트에 남아있는 에너지의 평균으로 하였다.

V. 성능 평가 및 분석

본 논문에서 우리는 균형화된 에너지 소비를 위한 에너지 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 평가하기 위해서 복잡한 무선 ad-hoc 네트워크를 이동 호스트의 이동 모델, 통신 모델 그리고 이동 호스트의 에너지 모델로 세분하여 모델링하였다. 성능평가의 목적은 제안 알고리즘이 AODV 프로토콜에 비해 각 이동 호스트가 균형화된 에너지 상태를 지속적으로 유지하는가를 평가하는 것이다. 그리고 우리는 임계 값(threshold value) 이하의 이동 호스트의 개수를 체크하며, 무선 ad-hoc 네트워크의 생명시간을 평가하는 것을 목적으로 한다.

5.1 성능 평가 모델

본 논문에서 우리는 제안 알고리즘의 성능 평가를 하기 위해 비교 대상으로 AODV 라우팅 프로토콜을 사용하였다. 성능평가의 환경은 다음과 같다. 50개의 이동 호스트들이 직사각형(1500m × 900m) 내에서 이동하면서 서로 통신을 한다. 하나의 이동 호스트가 다른 이동 호스트와 직접 통신할 수 있는 거리는 250m 이내로 제한되었으며, 제안 알고리즘은 100,000개의 패킷이 목적지에 전송 완료될 때까지 성능 평가를 하였다. 그리고 우리는 각 이동 호스트에 남아있는 에너지의 평균, 각 이동 호스트에 남아있는 에너지의 분산 그리고 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수를 측정하여 성능평가를 하였다.

본 논문에서 사용된 이동 모델은 다음과 같다. 무선 ad-hoc 네트워크를 구성하는 각각의 이동 호스트는 임의의 중간 기점(random waypoint) 모델^[15]에 따라 이동한다. 이동 시나리오는 중단 시간(pause time)에 따라 특성이 다르게 나타난다. 각 이동 호스트는 중단 시간 동안 정지하다가, 임의의 목적지를 시뮬레이션 공간에서 선택한 후에 임의의 속도로 목적지까지 이동한다. 이동 호스트가 목적지에 도착한 후, 중단 시간만큼 정지해 있다가 새로운 목적지를 선택한 후에 다시 임의의 속도로 이동을 한다. 우리는 이동 속도가 최소값 0m/s, 최대값 2m/s 인 균등 분포(uniform distribution)를 이용하여 성능을 평가하였다.

본 논문에서 사용된 통신 모델은 다음과 같다. 우리는 무선 ad-hoc 네트워크를 구성하는 이동 호스트들 중에서 몇 개의 이동 호스트들을 선택하여 트래픽의 소스 이동 호스트로 정한다. 그리고 우리는 트래픽의 소스 이동 호스트는 하나의 세션(session)에서 전송하는 패킷의 수만큼의 패킷들을 목적지 이동 호스트까지 상수 비트율(CBR: Constant Bit Rate)로 전송하도록 모델링하였다. 세션이 끝난 CBR 소스 이동 호스트는 휴지시간(think time) 동안 기다린 후에, 다시 새로운 목적지를 선택하고 목적지와의 세션을 시작한다. CBR 소스 이동 호스트의 수는 전체 이동 호스트들 개수의 반으로 설정하고, 각각의 CBR 소스는 목적지를 임의로 선정한 후 1초에 4, 8, 16, 32, 64개의 패킷을 전송한다.

본 논문에서 사용된 에너지 모델은 다음과 같다. 우리는 모든 이동 호스트들이 가지는 초기 에너지는 10000mWatt로 하고, 패킷이 전송될 때 180mW

가 소비되고, 패킷이 수신될 때 130mW를 소비되도록 설계하였다. 또한 임계 값은 초기 에너지의 33%로 설정하였다.

5.2 성능 평가의 결과

우리는 제안 알고리즘에 대한 성능 평가를 하기 위해, 이산 사건 시뮬레이션(event-driven simulation) 도구¹⁶⁾ 중의 하나인 SIMLIB를 사용하였다. 그리고 앞에서 설명한 이동 모델, 통신 모델 그리고 에너지 모델을 모두 구성하였다.

시뮬레이션 매개 변수들은 표 1에 나타내었다. 우리는 무선 ad-hoc 네트워크의 크기는 1500m × 900m이며, 각 이동 호스트의 전송 범위는 250m로 하였으며, 전체 네트워크에서 운용되는 이동 호스트의 수는 50개로 초기화하였고, CBR 소스의 수는 25개로 가정했다. 우리는 이동 호스트의 속도가 최소 값을 0m/s, 최대 값을 2m/s로 하는 균등 분포를 모델링하였고, 그리고 우리는 하나의 이동 호스트가 세션이 끝난 후, 다음 세션을 시작하기 전까지의 휴지 시간은 최소 값을 0초로 하고 최대 값을 100초로 하는 균등 분포를 사용하였다.

표 1. 시뮬레이션 매개 변수

Parameters	Value
Rectangular REGION	1500m × 900m
TRANS_RANGE	250m
MOBILE_HOST_NO	50
CBR_SRC_NO	25
MOBILE_HOST_SPEED	Uniform(0, 2) m/s
PAUSE_TIME	Uniform(0, 250) sec.
THINK_TIME	Uniform(0, 100) sec.
INIT_ENERGY	10000 mWatt
PKT_SEND_ENERGY	180 mWatt
PKT_RECV_ENERGY	130 mWatt

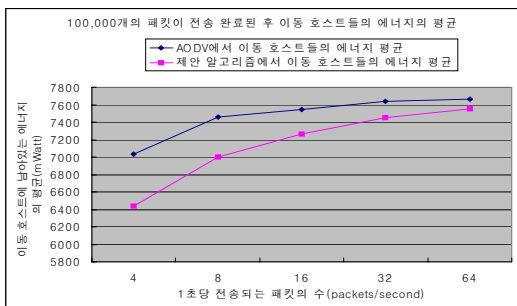


그림 4. 트래픽에 따른 이동 호스트에 남아있는 에너지의 평균

그림 4는 100,000개의 패킷이 목적지에 전송 완료된 후, 트래픽에 따른 이동 호스트에 남아있는 에너지의 평균에 대해 성능 평가한 결과이다. 제안 알고리즘의 에너지 평균이 AODV 프로토콜의 에너지 평균보다 전반적으로 적다. 그 이유는 제안 알고리즘에서 이동 호스트가 이웃 이동 호스트와 에너지 정보를 교환하기 위해 이웃 이동 호스트로 메시지 트리 패킷을 전송했기 때문이다. 1초당 전송되는 패킷의 수에 관계없이, 우리는 AODV 프로토콜에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 평균을 100%로 가정한다면 제안 알고리즘에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 평균은 96%이었다. 즉 제안 알고리즘이 AODV 프로토콜보다 4%의 에너지를 더 소비하였다. 1초당 전송되는 패킷의 수가 많으면 많을수록, AODV 프로토콜에서 이동 호스트들의 에너지 평균과 제안 알고리즘에서 이동 호스트들의 에너지의 평균 차이가 점차 줄어들고 있다. AODV 프로토콜과 제안 알고리즘 둘 다 1초당 전송되는 패킷의 수가 많으면 많을수록 이동 호스트들의 에너지의 평균이 점점 증가한다. 그 이유는 제안 알고리즘은 100,000개의 패킷이 목적지에 전송 완료될 때까지 성능 평가를 하므로 1초당 4개의 패킷을 보내는 것보다 1초당 64개의 패킷을 보내는 것이 목적지로 더 빨리 전송완료가 된다. 즉 패킷이 빨리 목적지에 전송되는 동안, 중간 이동 호스트의 패킷 전달경로가 변경될 가능성이 낮다. 그러므로 제안 알고리즘과 AODV 프로토콜은 control packet (RREQ, RREP 등)을 적게 사용하게 되므로 에너지가 적게 소비된다.

그림 5는 100,000개의 패킷이 목적지에 전송 완료된 후, 트래픽에 따른 이동 호스트에 남아있는 에너지의 분산에 대해 성능 평가한 결과이다. 1초당 전송되는 패킷의 수가 많으면 많을수록, 제안 알고리

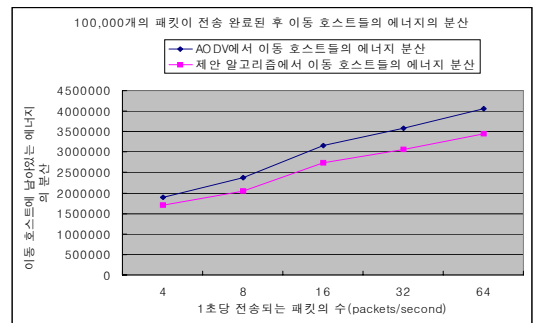


그림 5. 트래픽에 따른 이동 호스트에 남아있는 에너지의 분산

중에서의 에너지 분산이 AODV 프로토콜에서의 에너지 분산보다 더 작다. 그 이유는 제안 알고리즘에서 소스 이동 호스트가 라우팅 경로를 설정할 때, 소스 이동 호스트는 에너지가 가장 적은 이웃 이동 호스트를 피해 라우팅 경로를 설정했기 때문이다. 그러므로 제안 알고리즘의 네트워크 생명시간 (lifetime)이 AODV 프로토콜의 네트워크 생명시간보다 더 길게 가짐을 예측할 수 있다. 1초당 전송되는 패킷의 수에 관계없이, 우리는 AODV 프로토콜에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 분산을 100%로 가정한다면, 제안 알고리즘에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 분산은 86%이다. 즉 제안 알고리즘이 AODV 프로토콜보다 에너지 분산이 14% 더 작으므로 성능이 우수하다. AODV 프로토콜과 제안 알고리즘 둘 다 1초당 전송되는 패킷의 수가 많으면 많을수록 이동 호스트들의 에너지 분산이 점점 커진다. 이유는 에너지 소비가 점점 많아지기 때문이다. 즉, 패킷을 빨리 보내는 경로에 있는 이동 호스트의 에너지 소비가 패킷을 상대적으로 느리게 보내는 경로에 있는 이동 호스트의 에너지 소비보다 더 커지기 때문이다.

우리는 그림 4와 그림 5의 결과를 비교해 보면 다음과 같다. 1초당 전송되는 패킷의 수에 관계없이, 제안 알고리즘에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 평균은 AODV 프로토콜에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 평균보다 4% 더 작다. 그러나 제안 알고리즘에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 분산은 AODV 프로토콜에서 모든 이동 호스트에 남아있는 전체 에너지 분산보다 14% 더 작다. 그러므로 이동 호스트들의 에너지 값이 다소 균형화되었다고 볼 수 있다.

그림 6은 100,000개의 패킷이 목적지에 전송 완

료된 후, 트래픽에 따른 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수에 대해 성능 평가한 결과이다. 1초당 전송되는 패킷의 수가 많으면 많을수록, 제안 알고리즘에서 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수가 AODV 프로토콜에서 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수보다 더 적다. 그 이유는 제안 알고리즘에서 소스 이동 호스트가 라우팅 경로를 설정할 때, 소스 이동 호스트는 에너지가 가장 적은 이웃 이동 호스트를 피해 라우팅 경로를 설정했기 때문이다. 그러므로 제안 알고리즘의 네트워크 생명시간이 AODV 프로토콜의 네트워크 생명시간 보다 더 길게 가짐을 예측할 수 있다. AODV 프로토콜의 그래프와 제안 알고리즘의 그래프가 상향곡선을 나타내는 이유는 분산이 점점 커지기 때문이다.

그림 7은 100,000개의 패킷이 목적지에 전송 완료된 후, 이동 호스트의 이동속도에 따른 이동 호스트에 남아있는 에너지의 평균에 대해 성능 평가한 결과이다. 제안 알고리즘의 에너지 평균이 AODV 프로토콜의 에너지 평균보다 전반적으로 적다. 그 이유는 제안 알고리즘에서 이동 호스트가 이웃 이동 호스트와 에너지 정보를 교환하기 위해 이웃 이동 호스트로 메시지 트리 패킷을 전송했기 때문이다. 이동 호스트의 이동속도에 관계없이, 우리는 AODV 프로토콜에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 평균을 100%로 가정한다면 제안 알고리즘에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 평균은 95%이었다. 즉 제안 알고리즘이 AODV 프로토콜보다 5%의 에너지를 더 소비하였다. AODV 프로토콜과 제안 알고리즘에서 이동 호스트의 이동속도가 빠르면 빠를수록, 이동 호스트에 남아있는 에너지의 평균은 점차 줄어든다. 그 이유는 이동 호스트의 이동속도가 빠르면 빠를수록 에

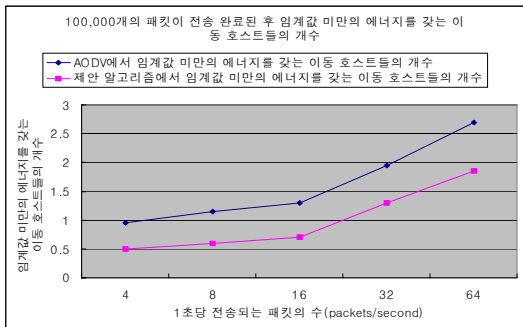


그림 6. 트래픽에 따른 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수

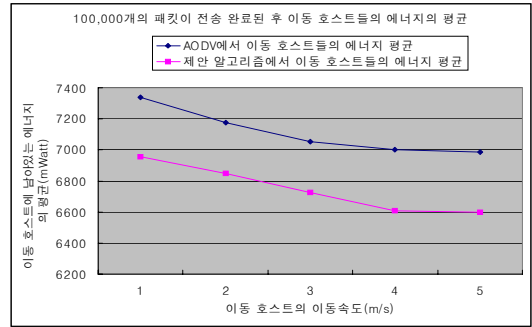


그림 7. 이동속도에 따른 이동 호스트에 남아있는 에너지의 평균

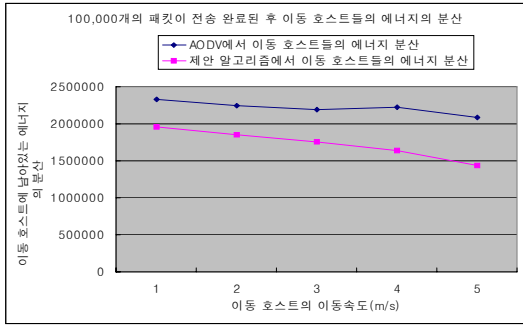


그림 8. 이동속도에 따른 이동 호스트에 남아있는 에너지의 분산

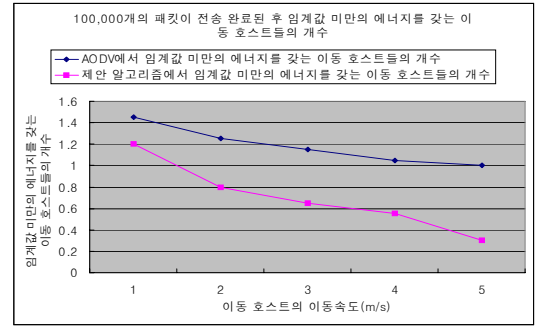


그림 9. 이동속도에 따른 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수

너지 소비가 점점 많아지고, 중간 이동 호스트의 패킷 전달경로가 변경될 가능성이 높으므로 AODV 프로토콜과 제안 알고리즘은 control packet (RREQ, RREP 등)을 더 사용하게 되어 에너지 소비가 많아진다.

그림 8은 100,000개의 패킷이 목적지에 전송 완료된 후, 이동 호스트의 이동속도에 따른 이동 호스트에 남아있는 에너지의 분산에 대해 성능 평가한 결과이다. 이동 호스트의 이동속도가 빠르면 빠를수록, 제안 알고리즘에서의 에너지의 분산이 AODV 프로토콜에서의 에너지 분산보다 더 작다. 그 이유는 제안 알고리즘에서 소스 이동 호스트가 라우팅 경로를 설정할 때, 소스 이동 호스트는 에너지가 가장 적은 이웃 이동 호스트를 피해 라우팅 경로를 설정했기 때문이다. 그러므로 제안 알고리즘의 네트워크 생명시간이 AODV 프로토콜의 네트워크 생명시간 보다 더 길게 가짐을 예측할 수 있다. 이동 호스트의 이동속도에 관계없이, 우리는 AODV 프로토콜에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 분산을 100%로 가정한다면, 제안 알고리즘에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 분산은 78%이다. 즉 제안 알고리즘이 AODV 프로토콜보다 에너지의 분산이 22% 더 작으므로 성능이 우수하다. AODV 프로토콜의 그래프와 제안 기법의 그래프에서 전반적으로 분산이 점점 작아지고 있다. 그 이유는 AODV 프로토콜인 경우 중간 이동 호스트의 이동속도가 증가할수록, 패킷 전달경로가 자주 변경되므로 분산이 다소 줄어든다. 그리고 제안 알고리즘에서 소스 이동 호스트가 라우팅 경로를 설정할 때 소스 이동 호스트는 에너지가 가장 적은 이웃 이동 호스트를 피해 라우팅 경로를 설정했기 때문에 제안 알고리즘의 분산이 더 작아진다.

우리는 그림 7과 그림 8의 결과를 비교해 보면

다음과 같다. 이동 호스트의 이동속도에 관계없이, 제안 알고리즘에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 평균은 AODV 프로토콜에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 평균보다 5% 더 작다. 그러나 제안 알고리즘에서 모든 이동 호스트들에 남아있는 전체 에너지 분산은 AODV 프로토콜에서 모든 이동 호스트에 남아있는 전체 에너지 분산보다 22% 더 작다. 그러므로 이동 호스트들의 에너지 값이 다소 균형화되었다고 볼 수 있다.

그림 9는 100,000개의 패킷이 목적지에 전송 완료된 후, 이동 호스트의 이동속도에 따른 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트의 개수를 토대로 성능 평가한 결과이다. 이동 호스트의 이동속도가 빠르면 빠를수록, 제안 알고리즘에서 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수가 AODV 프로토콜에서 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수 보다 더 적다. 그 이유는 제안 알고리즘에서 소스 이동 호스트가 라우팅 경로를 설정할 때, 소스 이동 호스트는 에너지가 가장 적은 이웃 이동 호스트를 피해 라우팅 경로를 설정했기 때문이다. 그러므로 제안 알고리즘의 네트워크 생명시간이 AODV 프로토콜의 네트워크 생명시간 보다 더 길게 가짐을 예측할 수 있다. 이동 호스트의 이동속도가 빠르면 빠를수록, AODV 프로토콜의 그래프와 제안 알고리즘의 그래프에서 하향곡선을 나타내는 이유는 분산이 점점 작아지기 때문이다.

VI. 결론

무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 이동 호스트의 배터리 수명을 최대화하는 것은 시스템의 수명과 성능을 향상시키므로 매우 중요한 요소이다. 이동 호스트들은 라우팅 역할을 수행하므로 네트워크의

구조와 이동 호스트들의 위치에 따라 이동 호스트들의 에너지 소비의 차이가 발생된다. 본 논문에서 우리는 여러 설계 원리들을 이용하여 에너지 트리 기반의 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘은 각 이동 호스트들의 에너지 소비를 균형화함으로써, 전체적으로 시스템의 수명을 연장시킨다.

우리는 시뮬레이션을 수행하여 제안 알고리즘을 AODV 프로토콜과 비교하였다. 성능평가의 결과는 제안 알고리즘에서 각 이동 호스트에 남아있는 에너지 평균은 AODV 프로토콜에서 각 이동 호스트에 남아있는 에너지 평균보다 작지만, 제안 알고리즘에서 각 이동 호스트에 남아있는 에너지 분산은 AODV 프로토콜에서 각 이동 호스트에 남아있는 에너지 분산보다 훨씬 더 작으므로 이동 호스트들의 에너지 값이 다소 균형화되었다고 볼 수 있다. 그리고 제안 알고리즘에서 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수가 AODV 프로토콜에서 임계 값 미만의 에너지를 갖는 이동 호스트들의 개수보다 더 적다. 그러므로 제안 알고리즘이 AODV 프로토콜보다 에너지를 더 균등하게 사용하므로 시스템의 수명이 향상되고 이동 호스트의 동작시간을 길게 할 수 있다.

본 논문에서 균형화된 에너지 소비를 위한 기준은 각 이동 호스트에 남아있는 에너지의 평균으로 하였다. 향후 연구계획은 제안기법에 다양한 정책을 적용하여 다양한 환경에서 성능평가를 실시하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. Johnson, and D. Maltz, Dynamic Source Routing in ad hoc wireless networks, in Mobile Computing, T. Imielinski and H. Korth, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp.153-181, 1996.
- [2] D. A. Maltz, "Resource Management in Multi-hop Ad Hoc Networks," Technical Report CMU-CS-00-150, November, 1999.
- [3] Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networks (MANET) WG, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [4] 강용혁, 엄영익, "무선 Ad-hoc 네트워크 환경에서의 균형화된 라우팅 에너지 소비 기법," 한국통신학회논문지, 한국통신학회, Vol. 26, No. 10, pp. 1671-1683, October, 2001.
- [5] D. J. Baker and A. Ephremides, "The architectural organization of a mobile radio network via a distributed algorithm," IEEE Transactions on Communications, vol. COM-29, no. 11, pp.56-73, January, 1981.
- [6] A. Ephremides, J. E. Wieselthier, and D. J. Baker, "A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling," Proceedings of IEEE, vol. 75. no. 1, pp. 56-73, January, 1987.
- [7] V. Rodoplu and T. H. Meng, "Minimum energy mobile wireless networks," Proceedings of the 1998 IEEE Int'l Conf. on Communications, ICC'98, vol. 3, pp. 1633-1639, June, 1998.
- [8] C. Perkins, and E. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, February, 1999.
- [9] J. H. Chang, and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," Proceedings of IEEE INFOCOM2000, March, 2000.
- [10] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Adaptive Energy-Conserving Routing for Multihop Ad Hoc Networks," USC/ Information Sciences Institute, Research Report 527, October, 2000.
- [11] M. Ilyas, The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks, CRC PRESS, 2003.
- [12] S. Singh, M. Woo, and C. Raghavendra, "Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom '98), Dallas, TX, October, 1998.
- [13] M. Pearlman, Z. Has, P. Sholander, and S. Tabrizi, "On the Impact of Alternate Path Routing for Load Balancing in Mobile Ad Hoc Networks," The First Annual Workshop on Mobile Ad Hoc Networking & Computing (MobiHoc2000), August, 2000.
- [14] K. Woo, C. Yu, H. Y. Youn, and B. Lee,

"Non_Blocking Localized Routing Algorithm for Balanced Energy Consumption in Mobile Ad Hoc Networks," Int'l Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2001), pp. 117-124, August, 2001.

- [15] J. Broch, D. B. Johnson, D. A. Maltz, Y. C. hu, and J. Jetcheva "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," Proceeding of the Forth Annual ACM/IEEE Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking, October, 1998.
- [16] A. Law, and W. Kelton, Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, 1991.
- [17] J. Gomez, A. T. Campbell, M. Naghshineh, and C. Bisdikian, "PARO: Supporting Dynamic Power Controlled Routing in Wireless Ad Hoc Networks," ACM/Kluwer Journal on Wireless Network(WINET), 2003.

김 현 호 (Hyun Ho Kim)

정회원



1987년 2월 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월 연세대학교 전자계산학 전공 (공학석사)
 2006년 2월 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 (공학박사)

1988년 11월~2000년 3월 LG전자 디지털 System & Solution 사업부

2003년 3월~현재 명지전문대학 컴퓨터정보과 조교수
 <관심분야> 분산 컴퓨팅, 이동 컴퓨팅, 이동 에이전트, 시스템 소프트웨어, 센서 네트워크 등

김 정 희 (Jung-hee Kim)

준회원



1998년 2월 영동대학교 정보통신공학과 졸업
 2001년 2월 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 석사
 2002년 3월~현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Wireless ad-hoc networks, Sensor networks, Quality of Services

강 용 혁 (Yong-hyeog Kang)

준회원



1996년 2월 성균관대학교 정보공학과 졸업
 1998년 2월 성균관대학교 정보공학과 석사
 2003년 8월 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 박사
 2003년 2월~현재 극동대학교 경영학부 교수

<관심분야> Wireless ad-hoc network, Ubiquitous computing, RFID systems, Sensor networks, Electronic commerce systems

엄 영 익 (Young Ik Eom)

정회원



1983년 서울대학교 계산통계학과 (학사)
 1985년 서울대학교 대학원 전산과학과 (이학석사)
 1991년 서울대학교 대학원 전산과학과 (이학박사)
 2000년~2001년 Dept. of Info. and Comp. Science at UCI 방

문교수

2006년~현재 정보통신부 지원 이동통신교육센터장
 현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> 분산 컴퓨팅, 이동 컴퓨팅, 이동 에이전트, 시스템 소프트웨어, 시스템 보안 등