

MANET의 에너지 분산 소모를 위한 패킷 분산 라우팅

김 동 학[†] · 최 용 준^{††} · 박 희 주^{†††} · 김 종 근^{††††}

요 약

MANET(Mobile Ad hoc Network)은 두 대 이상의 이동 무선 단말로 구성되는 네트워크로 단말의 한정된 에너지 때문에 많은 제한성을 가지게 된다. MANET에서 특정 노드들의 조기 에너지 소진은 네트워크 성능에 큰 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 이에 대한 해결책으로 송, 수신지 사이에 가능한 많은 노드 비중첩 다중 경로를 구축하고, 각 경로상 노드가 가진 평균 에너지, 최소 에너지, 혹은 에너지 분산 값에 따라 다중 경로를 통해 패킷을 분산 전송한다. 에너지 정보 수집 방법을 크게 Static 방식과 Dynamic 방식으로 나누며, 수집하는 에너지 정보에 따라 Static-Average, Static-Minimum, Static-Variance, 그리고, Dynamic-Average, Dynamic-Minimum, Dynamic-Variance 등 6가지 방식으로 나누고, NS2 시뮬레이션을 통해 그 성능을 비교하고 평가한다.

키워드 : 애드 hoc 네트워크, 노드 비중첩, 다중 경로, 에너지 분산 소모, 패킷 분산 전송

A Packet Distribution Routing for Balancing Energy-Consumption in MANET

Dongxue Jin[†] · Yongjun Choi^{††} · Hee Joo Park^{†††} · Chonggun Kim^{††††}

ABSTRACT

MANET(Mobile Ad hoc Network) is a collection of two or more nodes equipped with wireless communications and constrained by the factor of energy limitation. The running out of energy on some nodes may bring down the performance of network seriously. For solving the problems above, this paper uses completely separated Node-Disjoint multipaths from a source to a destination as many as possible. And, based on average, minimum or variance of energy values on the each multipath, the packets are distributed on paths. Generally, collecting methods for energy information can be classified into two main categories, Static and Dynamic. As the different energy values collected, the packet distribution methods are classified into six criteria, Static-Average, Static-Minimum, Static-Variance, Dynamic-Average, Dynamic-Minimum and Dynamic-Variance respectively. The performance of the packet distribution methods and that of AODV are compared by NS2 simulation.

Key Words : Ad hoc Network, Node Disjoint, Multipath, Balancing Energy-Consumption, Packet Distributing Transfer

1. 서 론

MANET(Mobile Ad hoc Network)은 기지국이나 액세스 포인트 등의 고정된 인프라의 도움 없이 이동 단말 노드들로 자율적으로 구성되는 망이다[1]. MANET은 구성 노드들의 휴대성과 유연성이 좋다는 장점이 있지만, 노드들의 빈번한 이동으로 인해 경로가 자주 단절되고 에너지를 효율적으로 관리하지 못할 경우 일부 노드의 에너지 소진으로 인해 네트워크 수명이 다하는 경우가 발생한다.

따라서, Ad hoc 네트워크에서 통신 노드 간에 효율적이고 안정적인 라우팅 경로를 구성하고 유지하는 것이 매우 중요한 과제이다.

현재 IETF의 MANET 워킹그룹을 중심으로 많은 라우팅 프로토콜들이 연구되고 표준화 작업이 진행되고 있다 [2]. 그러나, AODV와 DSR을 포함한 표준화 중인 대부분의 라우팅 프로토콜은 단순히 노드들의 이동성만 고려한 단일 최단 경로를 구축하는데 그치고 있다. MANET의 성능은 노드들의 이동뿐만 아니라 여유 에너지, 신호세기, 보안 등과 같은 많은 요소들의 영향을 받는다.

본 논문에서는 MANET의 일부 노드들의 에너지가 일찍 소진되는 것을 막기 위해 송,수신지 사이에 가능한 많은 노드 비중첩 다중 경로를 구축하고, 각 경로상의 평균 에너지, 최소 에너지, 혹은 에너지 분산 값에 따라 각 노드 비중첩 다중 경로로 패킷을 분산시키는 방안을 제안한다.

※ 본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구 결과임

† 준 회원 : 영남대학교 컴퓨터공학과 대학원생

†† 정 회원 : 영남대학교 전자정보공학부 객원교수

††† 정 회원 : 경일대학교 컴퓨터공학부 교수

†††† 종신회원 : 영남대학교 컴퓨터공학전공 교수 (교신저자)

논문접수 : 2007년 7월 19일, 심사완료 : 2008년 2월 20일

2. 단일 및 다중 경로

MANET의 라우팅 프로토콜을 단일 경로 라우팅 프로토콜과 다중 경로 라우팅 프로토콜로 나누어 유형별로 설명하며 각 라우팅 프로토콜의 장단점을 비교한다.

2.1 단일 경로 라우팅 프로토콜

MANET에서 대표적인 단일 경로 라우팅 프로토콜로 AODV와 DSR을 들 수 있다. AODV와 DSR은 모두 라우팅 정보를 필요한 시기에 수집하는 On-demand 방식을 채택하고 있다[3,4].

AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)[5]는 IETF에 RFC3750 표준화 문서로 등록되어 있는 프로토콜로서, 전세계적으로 가장 활발하게 연구 및 구현되고 있다. AODV의 경로 요청은 송신지에서 수신지로 RREQ(Route Request) 메시지를 플래딩하면서 시작된다. RREQ를 수신한 중간 노드들은 송신지로의 역경로를 만들고, 다시 RREQ를 수신지나 수신지까지의 경로를 아는 노드에 도달할 때까지 브로드캐스트한다. RREQ메시지가 최종 수신지에 도착하게 되면, 수신지에서는 맨 먼저 도착한 RREQ메시지에 대해 RREP(Route Reply) 메시지를 송신지로 전송하며, 중복으로 들어오는 RREQ메시지에 대해서는 모두 폐기하게 된다. RREP메시지의 전달은 RREQ메시지가 전달되면서 만들어진 단일 역경로를 통해 송신지로 전달된다. 그리고, RREP가 전달되면서 경과하는 중간 노드들에서는 수신지로 향하는 라우팅 테이블을 작성한다. 결국 RREP가 송신지에 도착하게 되면 경로 설정이 완료되고 데이터 패킷의 전송이 시작된다.

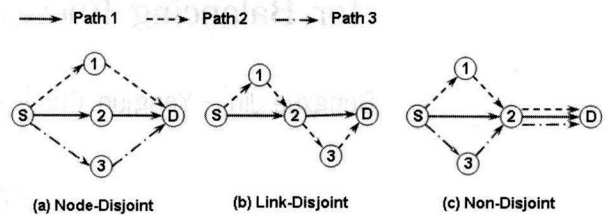
DSR(Dynamic Source Routing)[6]은 AODV와 같이 모바일 Ad hoc 네트워크에서 또 다른 대표적인 라우팅 프로토콜이다. AODV가 경로상 노드들의 라우팅 테이블을 통해 데이터를 전달하는 반면, DSR은 수신지까지의 전체 경로 정보를 데이터 패킷 헤더 속에 넣고 데이터를 전송한다. 경로 검색은 AODV와 마찬가지로 RREQ메시지를 네트워크 전체에 플래딩하는 것으로 시작한다. 이때 RREQ메시지는 노드들을 통과할 때마다 통과하는 노드 정보를 패킷 헤더에 기록한다. 결국 수신지 노드까지 전달된 RREQ메시지 속에는 경과된 노드 정보들이 들어 있기에 경로 정보를 쉽게 알 수 있다. 수신지는 처음 도착한 RREQ메시지에 실려온 경로 정보들을 RREP메시지에 실어서 송신지로 전송한다. 송신지에서 RREP메시지를 받게 되면 수신지까지의 전체 경로 정보를 알게 되고, 전체 경로 정보를 데이터 패킷 헤더 속에 넣고 데이터를 전송한다. DSR은 경로 정보가 패킷 헤더 속에 있기 때문에 각 중간 노드들에서는 복잡한 라우팅 테이블을 관리할 필요가 없게 된다. 반면, 데이터 패킷마다 경로 정보를 실어 보내기 때문에 패킷 사이즈가 커지는 단점이 있다.

2.2 다중 경로 라우팅 유형

다중 경로 라우팅이란 송,수신지 사이 통신 경로를 다

중으로 구축해 보다 강건하고 안정적인 통신을 제공하고자 하는 라우팅 기법이다. 기존의 단일 경로 라우팅 프로토콜들은 하나의 경로만 사용하기 때문에 경로가 단절되었을 경우에 경로 재설정 과정을 수행해야 하기 때문에 데이터 전달 효율성이 떨어진다. 이를 보완하기 위하여 기존의 단일 경로를 구축하는 대신 다중 경로를 구축해서 보다 안정적인 라우팅을 제공하려는 연구가 많이 이루어지고 있다[7-10].

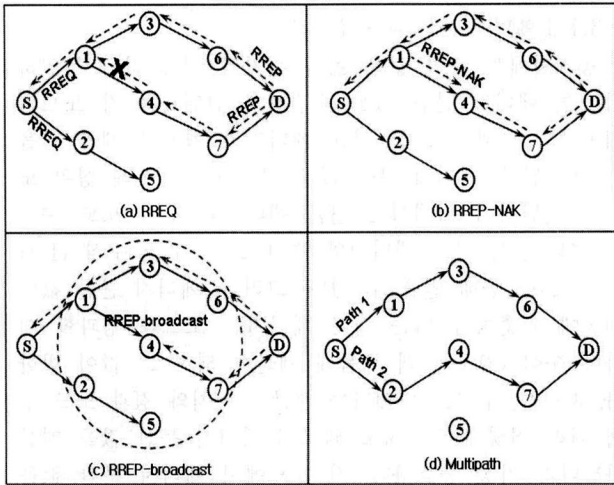
(그림 1)은 다중 경로 라우팅의 유형을 보여주고 있다. (그림 1) a)와 같은 노드 비중첩형(Node Disjoint)은 다중 경로들 사이에 공유되는 노드나 링크가 없이 완전 분리된 다중 경로들을 말하고, (그림 1 b))와 같은 링크 비중첩형(Link Disjoint)은 다중 경로들 사이에서 노드 공유는 허용하나 링크들은 서로 분리되는 다중 경로들을 말한다. 그리고, (그림 1 c))와 같은 중첩형(Non-disjoint)은 노드 공유와 링크 공유를 모두 허용하며 다중 경로들 사이 일부만이 분리되는 다중 경로를 말한다.



(그림 1) 다중 경로 유형

2.3 지역경로탐색에 의한 노드 비중첩 다중 경로 검색 기법
본 연구에서 기본으로 사용하는 지역경로탐색에 의한 노드 비중첩 다중 경로 검색 기법[11]은 AODV기반으로 작동하며 보다 쉽고 가능한 많은 노드 비중첩 다중 경로들을 찾아준다. 경로 요청 단계는 AODV와 동일하다. 경로 구축 단계는 RREQ를 받은 수신지로부터 시작된다. 수신지에서 RREQ를 중복 수신할 경우 폐기하지 않고 서로 다른 이웃 노드로부터 수신되는 중복 RREQ메시지에 한해서 한번씩 중복 허용을 하고 그 역경로를 통해 RREP메시지를 전송한다.

(그림 2 (a))는 경로 요청 메시지 RREQ와 응답 메시지인 RREP의 전송 과정을 보여준다. 수신지 D에서 서로 다른 이웃 노드로부터 전송 되어진 두 개의 RREQ메시지를 허용하고 그에 대한 응답으로 두 개의 RREP메시지가 역경로 D-6-3-1-S와 D-7-4-1-S의 유니패스를 통해 송신지 S로 전송된다. 이때, 1번 노드에서 중복 RREP를 받게 되는데, 두번째 RREP는 폐기된다. 그러나, 전반적으로 볼 때 S-2-4-7-D의 또 다른 다중 경로가 생성될 수 있음에도 불구하고, 중복 RREP가 폐기되면서 결국 S-1-3-6-D의 하나의 경로만 구축된다. 이때, 구축 가능한 경로를 최대한 많이 찾아내기 위해 중복 RREP 메시지를 받은 1번 노드는 중복 RREP를 폐기한 후 폐기되었다는 정보를 RREP-NAK 메시지를 통해 하위 노드 4번으로 알려준다.



(그림 2) 지역경로탐색 노드 비중첩 다중 경로

RREP-NAK를 받게 된 4번 노드에서는 자신이 보낸 RREP가 폐기되었다는 내용을 알게 되고 (그림 2 (c))와 같이 연결 가능한 다른 역경로를 찾기 위해 RREP메시지를 원홉(TTL=1)거리로 브로드캐스트한다. 이 브로드캐스트한 RREP메시지를 받은 원홉거리 노드들은 송신지로 연결 가능한 역경로가 있는지 검색하고 있다면 연결한다. 이렇게 RREP가 중복됨으로 인해 손실되는 다중 경로를 지역경로탐색을 통해 다른 역경로와 연결시켜줌으로써 가능한 많은 노드 비중첩 다중 경로들을 찾아준다.

3. 에너지 분산 소모를 위한 패킷 분산 라우팅

MANET은 구성 노드들의 한정된 에너지 때문에 각 노드들의 에너지 소모를 효율적으로 관리하지 못할 경우 일부 노드에서 빠른 에너지 소진으로 인해 네트워크가 수명을 다하는 경우가 발생한다. 노드의 한정된 에너지를 절약하기 위한 기존의 연구들은 크게 두 종류로 구분할 수 있다. 첫 번째는 물리계층이나 데이터링크계층에서 각 노드는 자신의 여유 에너지 정보와 이웃과의 거리 정보를 기반으로 전송 전력량을 조절하거나 전원을 On/Off 시키는 기법이다[12]. 두 번째는 네트워크계층에서 라우팅 경로상 노드들의 여유 에너지 정보를 기반으로 최적의 경로를 구축함으로써 경로 유지시간을 증가시키고 에너지 소모를 효율적으로 관리하는 기법이다[13,14]. 그러나, 이러한 기존의 연구들은 대부분 노드 간 단일 링크나 송,수신지 간의 단일 경로를 기반으로 노드들의 에너지에 대한 관리 기법을 제시하고 있다. 다중 경로를 기반으로 에너지 소모에 대한 관리 기법은 참고되는 예가 없으며, 본 논문은 송,수신지 사이에 노드 비중첩 다중 경로를 구축하고 경로상 노드들의 잔여 에너지 정보를 기반으로 패킷을 분산시킴으로써 에너지 소모를 분산시키고 네트워크의 에너지 소모를 균형시키는 라우팅 기법을 제안한다.

3.1 에너지 정보 수집 방법

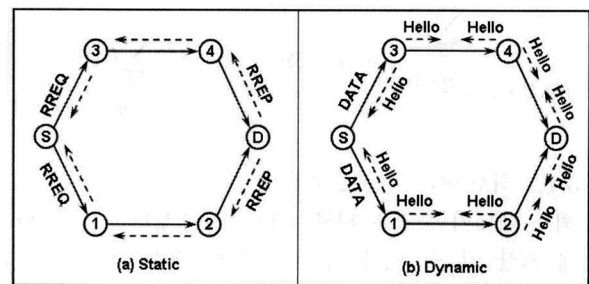
여유 에너지 정보를 기반으로 패킷 분산 라우팅을 하기 위해 에너지 수집 방법을 크게 2가지로 나누어 비교하고 평가하였다. (그림 3(a))와 같이 경로 설정 단계에서 응답 메시지만인 RREP메시지를 이용한 Static 방식과, (그림 3(b))와 같이 경로 설정 완료 후 통신 경로 상에 있는 Active 노드들이 주기적으로 발생시키는 HELLO메시지를 이용한 Dynamic 방식이 있다.

Static 방식의 에너지 정보 수집은 수신지에서 송신지로 유니패스 전송되어지는 RREP 메시지를 이용하기 때문에 RREP메시지에 경과하는 노드들의 에너지 정보를 실어서 송신지로 보내면 된다. Dynamic 방식의 에너지 정보 수집은 경로 설정이 끝난 후 이웃 노드들을 대상으로 주기적으로 발생시키는 Hello 메시지를 이용하는데 그 절차가 다소 복잡하다. 에너지 정보의 수집은 수신지로부터 시작해서 최종 송신지에 전달이 이루어져야 하기 때문에 경로상 노드들은 하위 노드로부터 받은 에너지 정보만을 참조해야 한다. 그러나, Hello 메시지는 항상 모든 주위 노드로 방송을 하게 된다. 따라서, 이웃 노드로부터 Hello 메시지를 받은 노드는 우선 Hello 메시지를 보낸 노드가 자신의 하위 노드인지 아닌지를 확인해야 한다. 만약 하위 노드가 보낸 Hello 메시지라면 수신하고 자신의 에너지 정보를 포함시켜 새로운 에너지 정보를 계산하고 자신의 Hello 메시지에 실어서 주위 노드로 방송한다. 그리고, 자신에게 Hello 메시지를 보낸 노드가 하위 노드가 아니라면 단순히 무시하면 된다. 결국, 일정한 시간이 경과되면 송신지에서는 하위 노드로부터 항상 최신의 경로상 에너지 정보를 수신하게 된다.

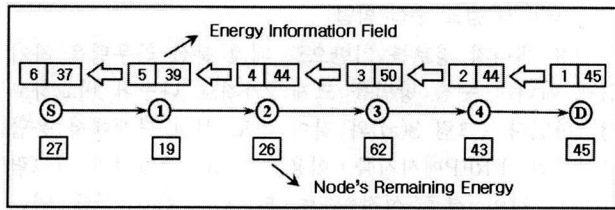
하나 아니면 에너지 분산 값을 수집하나에 따라서 Static-Average, Static-Minimum, Static-Variance, Dynamic-Average, Dynamic-Minimum, Dynamic-Variance 등 총 6가지 에너지 정보 수집 방법으로 나누었다.

3.1.1 평균 에너지 정보 수집 방법

경로상 노드들의 평균 에너지 정보 수집은 Static 방식이든 Dynamic 방식이든 수신지로부터 시작해서 송신지로 에너지 정보를 수집하면서 전달되는데, 각 노드들을 경과할 때마다 지금까지 경과한 노드 수와 경과한 노드들의



(그림 3) 에너지 정보 수집 방법



(그림 4) 평균 에너지 수집 방법

평균 에너지 양을 정확하게 계산해 에너지 정보에 실어서 전달되어야 한다.

(그림 4)는 수신지 D로부터 송신지 S로 경로상 노드들의 평균 에너지 정보를 수집하면서 전송되는 과정을 보여주고 있다. 그림과 같이 하위 노드에서 상위 노드로 전달되는 에너지 정보에는 경과 노드 수와 평균 에너지 정보로 구성된다. 경과 노드 수와 평균 에너지 정보는 수식 (1)과 수식 (2)를 통해 계산할 수 있다.

$$N_i = N_j + 1. \tag{1}$$

$$E_{i-ave} = \frac{(N_j \times E_{j-ave}) + E_i}{N_j + 1}. \tag{2}$$

여기서 N_i 는 상위 노드로 전달 되는 경과 노드 수이고, N_j 는 하위 노드로부터 전달 받은 경과 노드 수다. 그리고, E_{i-ave} 는 상위 노드로 전달 되는 평균 에너지 정보이고, E_{j-ave} 는 하위 노드로부터 전달 받은 평균 에너지 정보이다. E_i 는 현재 자신이 보유하고 있는 여유 에너지 양이다. 노드 i 의 평균 에너지 정보와 하위 노드로부터의 수집 절차는 아래와 같다.

Node i : (E_{i-ave} , N_i).

Node 1: (E_1 , 1).

Node 2: ($\frac{E_1 \times 1 + E_2}{2}$, 2) \Rightarrow ($\frac{E_1 + E_2}{2}$, 2).

Node 3: ($\frac{\frac{E_1 + E_2}{2} \times 2 + E_3}{3}$, 3) \Rightarrow ($\frac{E_1 + E_2 + E_3}{3}$, 3).

...

Node n : ($\frac{\sum_{i=1}^{n-1} E_i}{n-1} \times (n-1) + E_n}{n}$, n) \Rightarrow ($\frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$, n).

3.1.2 최소 에너지 정보 수집 방법

최소 에너지 수집은 평균 에너지 수집보다는 쉽고 간단하게 계산 될 수 있다. 수신지로부터 송신지로 전달되는 최소 에너지 정보는 하위 노드로부터 전달된 최소 에너지 정보와 자신의 여유 에너지 정보를 비교해 작은 값을 에너지 정보에 실어서 상위 노드로 전달하면 된다.

3.1.3 에너지 분산 값 수집 방법

통계학에서 분산 값은 표준 편차의 제곱 값과 동일하다. 즉, 에너지 분산 값을 수집하기 위해서는 각 노드의 여유 에너지와 경로상 평균 에너지의 편차의 제곱 값을 구하면 된다. 에너지 분산 값을 정확하게 계산해 상위 노드로 전달하기 위해서는 평균 에너지와 경과 노드 수를 알아야 한다. 평균 에너지와 경과 노드 수는 수식 (1)과 수식 (2)을 통해 얻을 수 있다. 그러나, 에너지 분산 값의 계산에 기준치가 되는 평균 에너지는 노드를 경과할 때마다 수식 (2)에 의해 새롭게 계산이 되며 그 값이 변한다. 따라서, 수식으로 변해가는 평균 에너지와 경과 노드 수에 따라 어떻게 정확하고 빠르게 에너지 분산 값을 계산하느냐가 가장 중요하다. 각 노드에서 에너지 분산 값을 계산하기 위해 다음과 같은 변수들을 정의한다.

N_i : 상위 노드로 전달되는 경과 노드 수

N_j : 하위 노드로부터 전달 받은 경과 노드 수

E_{i-ave} : 상위 노드로 전달되는 평균 에너지

E_{j-ave} : 하위 노드로부터 전달 받은 평균 에너지

E_i : 현재 자신이 보유하고 있는 여유 에너지

E_{i-var} : 상위 노드로 전달되는 에너지 분산값

E_{j-var} : 하위 노드로부터 전달 받은 에너지 분산값

위와 같이 정의한 변수를 통해 노드 i 의 에너지 분산 값 E_{i-var} 를 유도하는 과정은 다음과 같다.

$$E_{i-var} = (E_1 - E_{i-ave})^2 + (E_2 - E_{i-ave})^2 + \dots + (E_i - E_{i-ave})^2,$$

$$E_{j-var} = (E_1 - E_{j-ave})^2 + (E_2 - E_{j-ave})^2 + \dots + (E_j - E_{j-ave})^2,$$

$$E_{i-var} - E_{j-var} = (E_i - E_{i-ave})^2 + (E_{i-ave}^2 - E_{j-ave}^2) \times N_j$$

$$- 2 \times (E_{i-ave} - E_{j-ave}) \times \sum_{n=1}^j E_n.$$

따라서, 수식 (3)과 같은 일반 식을 얻을 수 있다.

$$E_{i-var} = (E_i - E_{i-ave})^2 + (E_{i-ave}^2 - E_{j-ave}^2) \times N_j$$

$$- 2 \times (E_{i-ave} - E_{j-ave}) \times N_j \times E_{j-ave} + E_{j-var}. \tag{3}$$

수식 (3)과 같이 현재 노드의 여유 에너지 E_i , 하위 노드로부터 받은 평균 에너지 E_{j-ave} , 수식 (2)에 의해 새롭게 계산된 평균 에너지 E_{i-ave} , 하위 노드로부터 받은 경과 노드 수 N_j , 하위 노드로부터 받은 에너지 분산 값 E_{j-var} , 등 이미 알고 있거나 계산 가능한 값을 통해 상위 노드로 보내질 새로운 에너지 분산 값인 E_{i-var} 를 계산할 수 있다.

3.2 패킷 분산 라우팅

MANET의 에너지 소모를 분산시키기 위해 위에서 설명한 6가지 에너지 정보 수집 방법을 지역경로탐색을 이용한 노드 비중첩 다중 경로 검색 기법에 적용시켜 패킷 분산 라우팅 기법을 제안한다.

3.2.1 Static 방식에서 패킷 분산 방법

Static 방식은 경로 설정 초기에 한번만 수집되고 그 수집된 정보를 통신 종료 될 때까지 사용되기 때문에 각 경로별 에너지 값이 차지하는 비율에 따라 패킷들을 분산시켜 통신한다. 예를 들어 송수신지사이 3개의 노드 비중첩 다중 경로가 구축되었고, 그 중 첫번째 경로의 평균 에너지가 40이고, 두번째 경로의 평균 에너지가 60이고, 세번째 평균 에너지가 20이라면, 첫번째 경로가 차지하는 비율은 $\frac{40}{40+60+20} = 33.3\%$, 두번째 경로가 차지하는 비율은 $\frac{60}{40+60+20} = 50\%$, 세번째 경로가 차지하는 비율은 $\frac{20}{40+60+20} = 16.7\%$ 가 된다. 전체 패킷의 수가 10개인 경우, 각 경로들이 차지하는 에너지 비율을 반올림 처리를 하고 패킷을 배분시키면 첫번째 경로는 3개, 두번째 경로는 5개, 세번째 경로는 2개의 패킷이 할당된다.

3.2.2 Dynamic 방식에서 패킷 분산 방법

Dynamic 방식은 Static 방식과는 달리 경로 설정 완료 후 경로상 Active 노드들이 주기적으로 발생시키는 HELLO 메시지를 이용한다. 이 방식은 실시간으로 에너지 정보를 수집이 가능하다. 따라서 본 연구의 Dynamic 방식에서 패킷 분산 방법은 매번 패킷을 보내기 전에 서로 다른 경로들 통해 주기적으로 보내지는 에너지 정보들을 비교해서 최대 평균 에너지 혹은 가장 큰 최소 에너지 값 혹은 가장 작은 에너지 분산 값을 가진 경로로 패킷을 전송하도록 한다.

4. 성능 평가

본 절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안하는 다중 경로 패킷 분산 라우팅 기법을 4가지 에너지 수집 방법에 따라 그 성능을 비교하고 평가한다. 시뮬레이션 도구로서 NS2 [15]를 사용했으며, 버전은 ns-allinone-2.30이다.

본 시뮬레이션은 1000 × 1000m²의 정방형 영역 상에서 45개의 무선 노드들을 자유로 배치했으며, 250m의 신호 전송 범위와 자유공간 전파 채널을 가정한다. 그리고, 2Mbps의 데이터 전송율과 UDP CBR(Constraint Bit Rate) 고정 비트율의 패킷 생성 모델을 사용한다. 에너지 모델은 각 노드의 초기 에너지 양을 200과 100으로 나누어 평가했으며, 각 노드에서 패킷 송신 시 0.6의 에너지가

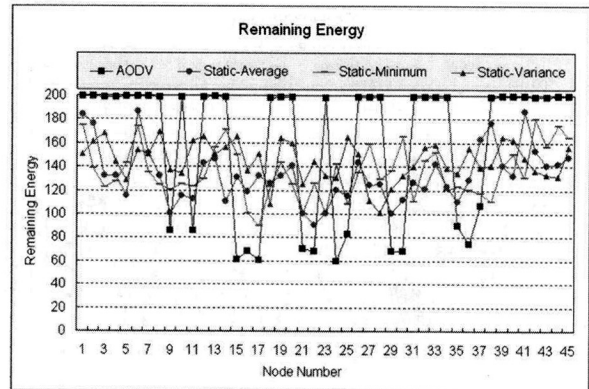
소모되고 패킷 수신 시 0.3의 에너지가 소모되도록 설계했다. 시뮬레이션 시간은 총 500초로 설정하고 수행시켰다.

시뮬레이션 결과로서 통신 종료 후 각 노드들의 여유 에너지 양을 비교하고 평가했으며, 모바일 Ad hoc 네트워크에서 라우팅 프로토콜을 측정하는데 광범위하게 사용되고 있는 패킷 전송율과 라우팅 오버헤드를 성능 척도로 비교 평가했다. 통신 연결 수는 기본으로 3개로 설정하고 시뮬레이션 결과를 얻었으며, 통신 연결 수를 6개까지 늘려 실험하였으나, 초기 에너지 양이 100과 200인 경우의 비교는 통신 연결수가 3인 경우와 유사한 경향을 보였다.

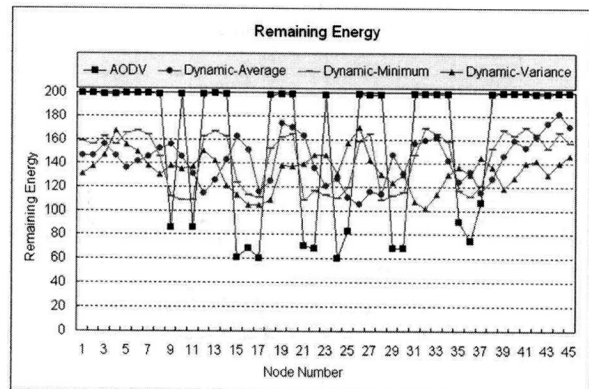
4.1 여유 에너지 양

각 노드는 통신 과정에서 에너지를 소모하게 되는데 통신에 많이 참여하는 노드 일수록 에너지 소모가 크고, 통신 시간이 길어짐에 따라 에너지 소모 양도 많아진다.

(그림 5)와 (그림 6)은 Static 방식과 Dynamic 방식의 에너지 정보 수집 방법을 적용한 다중 경로 라우팅 기법에서 각 노드의 에너지 초기 양을 200으로 설정했을 때, 통신 종료 후 각 노드의 여유 에너지 양을 비교 분석한 결과이다. AODV는 연결이 설정된 후 단일 경로만 사용하기 때문에 9, 11, 15, 16, 17, ... 등 통신에 참여한 노드들의 에너지 소모가 통신 참여하지 않은 1, 2, 3, 4, ... 등 노드들의 에너지 소



(그림 5) Static 방식에서의 여유 에너지(초기 에너지 200)



(그림 6) Dynamic 방식에서의 여유 에너지(초기 에너지 200)

모보다 훨씬 많음을 알 수가 있다. 반면, Static-Average, Static-Minimum, Static-Variance, Dynamic-Average, Dynamic-Minimum, Dynamic-Variance 등은 각 경로 상의 에너지 정보를 기반으로 노드 비중첩 다중 경로를 구축하고, 패킷을 분산시켜 통신하기 때문에, 에너지 소모가 전반적으로 분산되었다는 것을 확인할 수 있다.

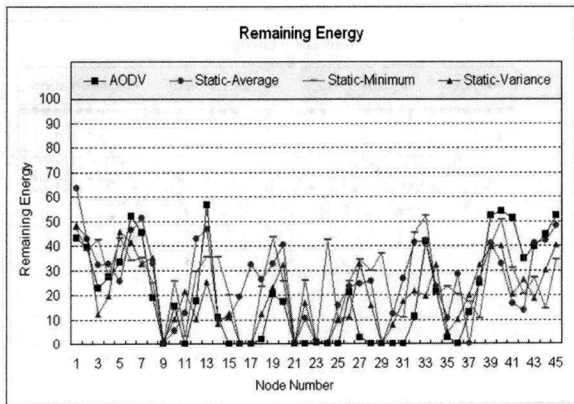
(그림 7)과 (그림 8)은 Static 방식과 Dynamic 방식에서 각 노드의 초기 에너지 양을 100으로 설정하고 시뮬레이션한 결과이다. 각 노드의 초기 에너지 양을 100으로 설정했을 경우, 통신이 끝나기도 전에 많은 노드들이 에너지를 전부 소진해 네트워크 수명이 다하는 현상이 발생한다. AODV는 경로가 단절 되었을 때 경로 설정을 처음부터 다시 시작하게 되는데, 노드들이 하나 둘씩 다운되기 시작하고 경로가 자주 단절되면서 송신지는 경로 요청 메시지인 RREQ 메시지를 연속 플러딩시킨다. 이는 네트워크 전반적인 에너지를 대량 소모하기 마련이다. 반면, Static-Average, Static-Minimum, Static-Variance, Dynamic-Average, Dynamic-Minimum, Dynamic-Variance 등 6가지 에너지 수집 방법에 기반한 노드-비중첩 다중 경로 패킷 분산 라우팅을 사용할 경우, 에너지 소모를 최대한 분산시키면서 네트워크 내 전반적인 여유 에너지 양을 AODV보다 많이 유지할뿐만 아니라 에너지 소진으로 인해 다운되는 노드 수도 많

이 줄어든다. 특히, (그림 8)과 같이 Dynamic-Minimum은 각 노드의 최소 에너지 양을 어느 정도 선에서 유지할 하기 때문에 경로 단절 없이 오랜 시간 동안 통신을 유지하며, 다운되는 노드 수도 다른 방식보다 훨씬 적다. 이는 Dynamic-Minimum 방식이 상대적으로 에너지 소모가 가장 적다는 것을 알 수 있다.

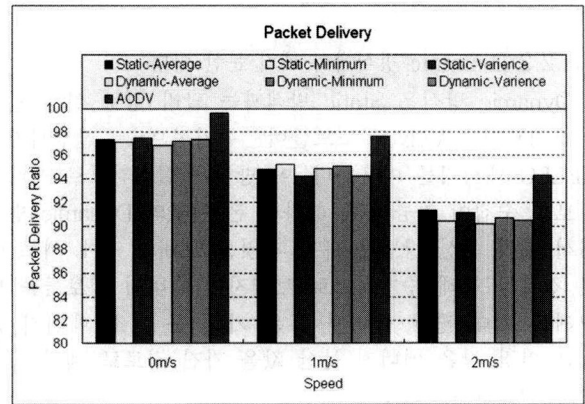
4.2 패킷 전송율

패킷 전송율은 경로 유지 시간과 직접적인 연관 관계를 가진다. 경로 유지 시간이 길어질수록 데이터 전송이 원활하게 이루어지며 손실되는 패킷이 적기 때문에 패킷 전송율도 높아진다.

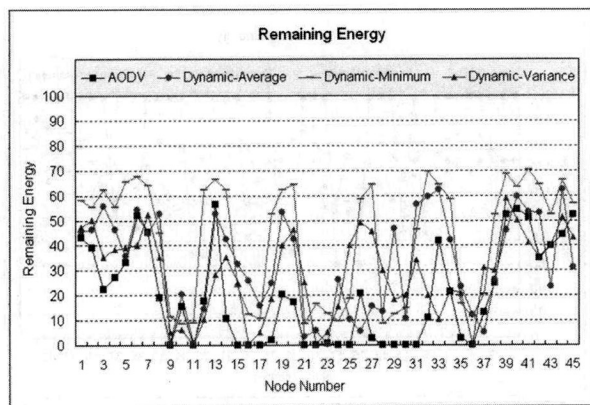
(그림 9)는 각 노드의 초기 에너지 양을 200으로 설정하고 시뮬레이션한 결과이다. 각 노드의 초기 에너지 양을 200으로 설정할 경우, 각 노드는 통신 종료될 때까지 충분한 에너지를 보유하고 있다. 따라서, 이동 속도가 0m/s인 정지 상황에서 AODV는 경로 단절 없이 지속적이고 안정적인 통신을 유지하며 100%에 가까운 데이터 전송율을 가진다. 그러나, 속도가 1m/s, 2m/s로 점점 증가하면서 경로 단절로 인한 패킷 전송율이 저하되는 현상을 볼 수 있다. 제안하는 에너지 정보를 기반한 다중 경로 패킷 분산 라우팅 기법은 여러 경로를 동시에 관리하고 사용하기 때



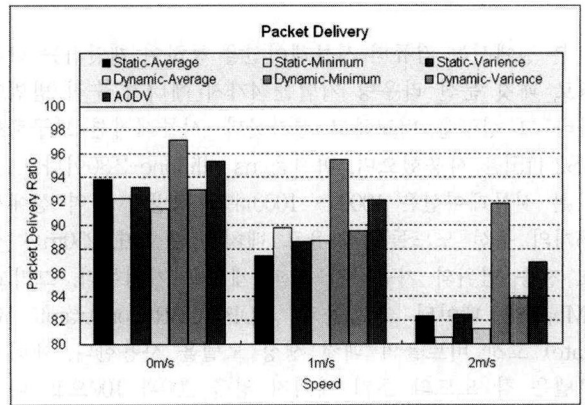
(그림 7) Static 방식에서의 여유 에너지(초기 에너지 100)



(그림 9) 패킷 전송율(초기 에너지 양 200)



(그림 8) Dynamic 방식에서의 여유 에너지(초기 에너지 100)



(그림 10) 패킷 전송율(초기 에너지 양 100)

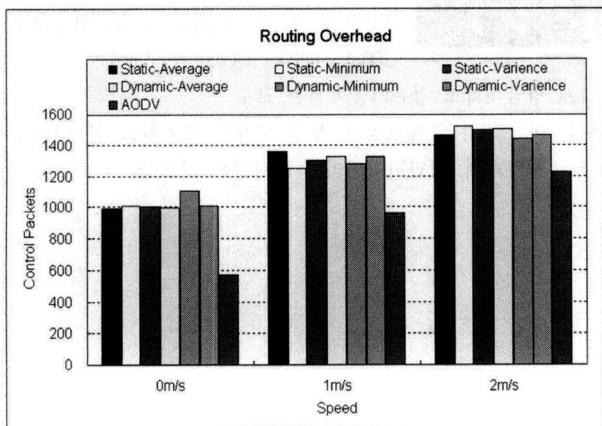
문에 패킷의 손실이 많다. 따라서, 전반적인 패킷 전송율이 AODV보다 낮다는 것을 알 수 있다.

(그림 10)은 각 노드의 초기 에너지 양을 100으로 설정하고 시뮬레이션한 결과이다. 각 노드의 초기 에너지 양을 100으로 설정할 경우, 일부 노드는 통신 종료되기 전에 에너지 소진으로 인해 일찍 다운 되는 현상이 발생한다. 통신 중인 노드가 다운이 되면, 전송 중인 패킷이 손실이 되기 때문에 패킷 전송율을 저하시킨다. 따라서, AODV를 포함해 Static-Average, Static-Minimum, Static-Variance, Dynamic-Average, Dynamic-Variance 등의 패킷 전송율이 초기 에너지가 200인 경우와 대비해 현저하게 저하된 것을 알 수 있다. 반면, Dynamic-Minimum은 경로 상 노드들의 최소 에너지 기반으로 패킷을 분산시키기 때문에 에너지 소진으로 인한 노드의 다운 현상을 최대로 줄여준다. 따라서, 노드들이 2m/s의 빠른 움직임 속에서도 90%이상의 높은 전송율을 유지한다는 것을 알 수 있다.

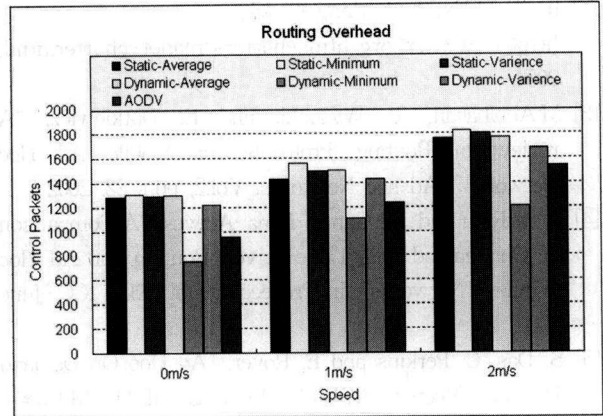
4.3 라우팅 오버헤드

라우팅 오버헤드는 전체 라우팅 패킷의 수(즉, RREQ, RREP, RERR 및 RREP-NAK의 수)를 말한다. 다중 경로 라우팅 기법들은 여러 경로들을 관리하기 위한 RREP, RERR의 수가 증가함에 따라 라우팅 오버헤드가 단일 경로 라우팅보다 상대적으로 많아지기 마련이다. 하지만, 다중 경로 라우팅의 성능 평가에서 라우팅 오버헤드 비교는 라우팅 오버헤드의 증가나 감소나보다는 얼마나 많은 라우팅 오버헤드가 증가했느냐가 더 중요하다.

(그림 11)은 초기 에너지 양을 200으로 했을 때, 라우팅 오버헤드의 분석 결과이다. 제안하는 노드 비중첩 다중 경로 검색 기법들은 다중 경로를 구축하기 위한 RREP메시지가 증가하고, 지역 경로 탐색을 기반으로 작동하기 때문에 RREP가 중복되는 경우 RREP-NAK메시지를 추가로 발생시키기에 AODV보다 상대적으로 많은 라우팅 오버헤드를 발생한다. 그러나, 증가하는 양이 수배이상으로 급속하게 늘어나지는 않았다.



(그림 11) 라우팅 오버헤드(초기 에너지 양 200)



(그림 12) 라우팅 오버헤드(초기 에너지 양 100)

(그림 12)는 초기 에너지 양이 100인 경우 라우팅 오버헤드의 비교 분석한 결과를 보여준다. 비교 결과, Dynamic-Minimum 방식이 에너지 소진으로 인해 다운되는 노드의 수가 가장 적기 때문에, 라우팅 오버헤드 발생이 가장 적다는 것을 확인 할 수 있다. Dynamic-Minimum 방식을 제외한 나머지 다중 경로 패킷 분산 라우팅과 AODV는 에너지 소진으로 인해 다운되는 노드의 수가 상대적으로 많다. 따라서, Dynamic-Minimum보다 훨씬 많은 오버헤드를 발생시킨다.

5. 결론

본 논문에서는 MANET의 에너지 소모를 분산시키기 위해 Static-Average, Static-Minimum, Static-Variance, Dynamic-Average, Dynamic-Minimum, Dynamic-Variance 등 6가지 에너지 수집 방법을 기반으로 다중 경로 패킷 분산 라우팅 기법을 제안한다. 다중 경로 상의 노드들의 평균 에너지 혹은 최소 에너지 혹은 에너지 분산 값에 따라 각 노드 비중첩 다중 경로를 이용해 패킷을 분산시켜 통신을 하므로 에너지 소모를 네트워크 전역으로 분산 시킨다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안하는 다중 경로 패킷 분산 라우팅 기법은 효과적으로 에너지 소모를 분산시키며, 에너지 소진으로 인해 네트워크의 수명이 다하는 경우를 방지한다는 것을 확인했다. 특히, Dynamic-Minimum 방식이 에너지 분산이나 오버헤드, 패킷 전송율 면에서 월등한 성능을 보이고 있다.

향후의 연구 과제는 노드들의 이동성과 다양한 토폴로지 환경을 고려한 시뮬레이션을 통해 그들의 성능을 비교하고 평가할 예정이다.

참고 문헌

[1] S. Corson, J. Macker. "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance", IETF RFC 2501, Jan 1999.

- [2] IETF MANET Working Group,
http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html,
2004.
- [3] M.Abolhasan, T. Wysocki, and E. Dutkiewicz, "A review of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks", Ad hoc Networks, Vol.2, pp.1-22, 2002
- [4] Jyoti Raju and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "A Comparison of On-demand and Table-driven Routing for Ad Hoc Wireless Networks", in Proceedings of IEEE ICC, June 2000.
- [5] S. Das, C. Perkins and E. Royer, "Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF RFC3561, July 2003.
- [6] D. Johnson, Y. Hu, D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4", IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-09.txt, April 2003.
- [7] S. Lee and M. Gerla, "Split multipath routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks", Proceedings of the IEEE ICC, pp.3201-3205, June 2001.
- [8] M. Marina and S. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks", in Proceedings of the International Conference for Network Protocols (ICNP), Riverside, Nov. 2001.
- [9] Chonggun Kim, Elmurod Talipov, and Byoungchul Ahn, "A Reverse AODV Routing Protocol in Ad Hoc Mobile Networks", EUC Workshops 2006, LNCS 4097, pp.522-531
- [10] Elmurod Talipov, Donxue Jin, Jaeyoun Jung, Ilkhyu Ha, YoungJun Choi, and Chonggun Kim, "Path Hopping Based on Reverse AODV for Security", APNOMS 2006, LNCS 4238, pp.574-577
- [11] Donxue Jin, Yongrag Kim, Chonggun Kim, "A Node-disjoint Multipath Discovery Method by Local Route Discovery based on AODV", Korea Information Processing Society, Vol.14-C, No.1, 2007. Written in Korean.
- [12] S. Jayashree, B. S. Manoj, and C. Siva Ram Murthy, "Energy Management in Ad hoc Wireless Network: A Survey of Issues and Solutions", Technical Report, Indian Institute of Technology, Madras, India, March, 2003
- [13] C. F. Chiasserini, I. Chlamtac, P. Monti, and A. Nucci, "Energy-Efficient Design of Wireless Ad hoc Networks," Proceedings of Networking 2002, pp.376-386, May 2002.
- [14] J. H. Chang and L. Tassiulas, "Energy-Conserving Routing in Wireless Ad hoc Networks," Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, pp.22-31, March 2000.
- [15] The Network Simulator ns-2,
http://www.isi.edu/nsnam/ns/, 2006.



김 동 학

e-mail : donghak@yumail.ac.kr

2001년 (중국) 북화대학교

물리학과(이학사)

2003년 영남대학교 컴퓨터공학과

(공학석사)

2007년 영남대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

관심분야 : Network Management, Mobile Ad hoc Network,
Ubiquitous Sensor Network



최 용 준

e-mail : yjchoi@ynu.ac.kr

1996년 영남대학교 물리학과 졸업(이학사)

1998년 영남대학교 대학원 전산공학과

졸업(공학석사)

2003년 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과

졸업(공학박사)

2005년~현재 : 영남대학교 전자정보공학부 객원교수

관심분야 : USN, 모바일 네트워크, elearning 시스템 등



박 희 주

e-mail : hjpark@kiu.ac.kr

1978년 영남대학교 전자공학과(공학사)

1981년 영남대학교 대학원

전자공학과(공학석사)

1995년 대구가톨릭대학교 대학원

전산통계학과(이학박사)

1982년~현재 : 경일대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 신경회로망, 패턴인식



김 종 근

e-mail : cgkim@yu.ac.kr

1981년 영남대학교 전자공학과 학사

1987년 영남대학교 전자공학과 석사

1991년 (일본) 전기통신대학 박사

1997년 (미국) Virginiaia Tech. 연구교수

2003년 (미국) UCSC 연구교수

현재 : 영남대학교 컴퓨터공학전공 교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 무선 모바일 네트워크, 분산처리,
운영체제, 멀티미디어기반 가상강의 시스템