

## 이동 애드혹 네트워크에서 MAC 계층 자원을 이용한 에너지 효율 라우팅 프로토콜

유대훈\*, 최웅철\*

# An Energy Efficient Routing Protocol using MAC-layer resources in Mobile Ad Hoc Networks

DaeHun Yoo\*, WoongChul Choi\*

### 요약

모바일 애드혹 네트워크에서는 노드가 이동성을 가지고 한정된 용량의 전지를 사용하기 때문에, 다중 홉으로 통신하는데 있어서 중단 간 경로를 설정하는 것이 매우 중요하다. 그 중에서도 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜은 많이 사용되고 있는 프로토콜 중 하나이다. 하지만 경로를 탐색하는 과정에서 최단 홉의 수만을 고려하기 때문에, 노드의 이동성이나 전지의 소진 등으로 인해 중간 노드의 경로가 단절이 되는 문제점이 발생하게 된다. 경로의 단절이 발생하게 되면, 중간 노드들은 데이터 패킷을 폐기 시키고 송신 노드는 경로를 재설정해야 하기 때문에 대역폭의 낭비와 에너지 소비량이 증가되는 문제가 발생한다. 또한 이것은 네트워크의 생존시간을 단축하는 원인이 된다. 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위하여 기존의 AODV 라우팅 프로토콜을 기반으로 전지의 남은 에너지양을 비롯하여 신호 세기, SNR(Signal to Noise Ratio) 등의 MAC 레이어의 자원들을 이용하여 경로를 설정하는 라우팅 프로토콜을 제안한다.

### Abstract

End-to-end path setup and maintenance are very important for mobile ad-hoc wireless communications, because of the mobility and the limited battery capacity of the nodes in the networks. the AODV routing protocol is the one of many proposed protocols. However, there are route failure problems with the proposed protocols between intermediate nodes due to such mobility and exhausted battery characteristics, and this is because only the shortest hop count is considered for the route setup. If route failure happens, problems such as the waste of bandwidth and the increment of the energy consumption occur because of the discarding data packets in the intermediate nodes and the path re-setup process required by the source node. In addition, it obviously causes the network lifetime to be shortened. This paper proposes a routing protocol based on the AODV routing protocol that it makes use of the remaining energy, signal strength and SNR of the MAC layer resources to setup a path.

▶ Keyword : 라우팅 프로토콜(routing protocol), AODV, 신호 세기(signal strength), SNR, 에너지 인지(power-aware)

• 제1저자 : 유대훈

• 접수일 : 2007.10.29, 심사일 : 2007.11.10, 심사완료일 : 2007.12.2.

\* 광운대학교 컴퓨터 과학과

※ 이 논문은 2007년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

※ 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R01-2005-000-10934-0)

## I. 서론

무선 이동 애드혹 네트워크에서 경로를 설정하는 라우팅 프로토콜은 데이터 패킷을 다중 홉으로 전송하는데 매우 중요한 기술이다[1]. 이동 애드혹 네트워크에서 라우팅 프로토콜은 경로표 업데이트 방식에 따라 크게 테이블 기반(Table-Driven) 방식과 요구 기반(On-demand) 방식으로 분류된다. 테이블 기반 방식은 주기적으로 주변 노드들과 경로표 정보를 교환하며, 데이터 패킷을 전송할 필요가 없더라도 해당 네트워크의 경로 정보를 유지하는 작업을 수행한다. 일반적으로 네트워크의 모든 노드들의 라우팅 정보를 가져야 하기 때문에 경로표가 완성되면, 데이터를 전송할 필요가 있을 때 바로 전송할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 노드의 수가 많은 경우라면 경로표를 유지하기 위한 메모리가 필요하고 노드의 이동성이 많은 경우라면 테이블 정보를 업데이트하기 위한 통신 트래픽의 증가로 네트워크의 성능이 저하되는 단점을 가지고 있다. 이 방식과는 다르게 요구 기반 방식은 데이터의 전송이 필요한 노드에서만 경로를 설정한다. 그리고 일정 기간 동안 경로를 사용하지 않으면 해당 경로를 경로표에서 삭제한다. 이 방식은 필요에 따라서 라우팅 정보를 얻기 때문에, 이미 경로표를 유지하고 있는 테이블 기반 방식과 비교해 볼 때 데이터의 전송 지연이 생기는 단점을 가지고 있다. 하지만 노드의 이동성에 따른 경로 유지에 대한 비용이 적고, 네트워크 확장성에 있어서도 경로표를 유지하는 메모리 낭비를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜 중에 많은 연구가 되고 있는 AODV(Ad Hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜은 이동 애드혹 네트워크 환경에서 대표되는 라우팅 프로토콜 중 하나이다[3]. 하지만 AODV 라우팅 프로토콜은 홉의 수만을 가지고 경로를 설정하기 때문에 노드의 이동이나 전지 소진으로 경로가 단절될 확률이 높아지게 된다. 이렇게 경로가 단절이 되면 중간 노드들은 모든 데이터 패킷을 드롭시키게 되고 경로를 재설정하는 과정을 수행하게 된다. 여기서 경로 탐색을 위해 수행되는 플러딩(flooding) 과정과 데이터 패킷의 재전송은 많은 양의 에너지 낭비와 트래픽을 발생시키게 된다. 이는 네트워크의 생존시간과 성능을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜을 기반으로 많은 연구가 이루어졌다[4,6,7,8,9]. 이 연구들에서는 노드의 남은 에너지 양, 신호 세기, SNR 등을 각각 매트릭(metric)으로 적

용하여 경로를 설정하였다. 하지만 각 정보들은 모두 경로 단절에 치명적으로 영향을 미치는 중요한 정보이다. 그리고 경로를 선정하기 위해 경로 탐색과정에서 처음의 RREQ 패킷을 수신한 이후에 다른 경로의 정보를 얻기 위해 일정시간을 대기한다. 이것은 송신 노드에서 늦은 RREP 패킷의 수신으로 인한 전송 지연이 발생한다. 그래서 본 논문에서는 이러한 정보를 효율적으로 계산하여 RV(Resource Value)를 구하고 이를 사용하여 경로를 선정한다. 그리고 전송 지연을 최소화하기 위해 RV의 값에 따라 적응성 있게 대기 시간을 설정하는 에너지 효율 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜이 AODV와 비교하여 네트워크의 생존 시간과 성능의 향상을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 살펴본다. 3장에서는 문제점을 제시하고 개선된 라우팅 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 ns-2 를 통한 실험 결과에 대한 성능을 분석한 후 5장에서 결론으로 마친다.

## II. 관련 연구

AODV 라우팅 프로토콜은 요구 기반 방식으로 경로 탐색과 경로 유지 단계로 구성된다. 송신 노드가 목적지 노드로 데이터 전송이 필요할 때, 경로표에 목적지 노드의 경로가 없다면, RREQ 패킷을 플러딩 함으로써 경로 탐색을 하게 된다. 목적지 노드가 아닌 노드에서 RREQ 패킷을 수신하면 순서 번호, 브로드캐스트 식별자, 송신 노드 주소로 중복된 패킷인지 검사한다. 여기서 중복된 패킷이면 수신한 패킷을 버리고, 중복된 패킷이 아니면 RREQ 패킷을 송신한 노드의 경로 정보를 경로표에 기록한다. 그리고 수신한 RREQ 패킷의 홉의 수를 증가시켜 다시 플러딩 한다. 이러한 과정을 거쳐 목적지 노드가 RREQ 패킷을 수신하면, RREQ 패킷을 송신한 노드에게 유니캐스트(unicast)로 RREP 패킷을 전송한다. 여기서 RREP 패킷을 수신한 중간 노드는 해당 경로를 경로표에 기록한다. 그리고 이전에 RREQ 패킷을 플러딩 하면서 기록한 경로표 정보를 사용하여 RREP 패킷을 송신 노드로 전달한다. 하지만 이러한 경우 중간 노드 혹은 경로의 상태를 검사할 수 있는 방법은 없다. 그래서 경로가 여러 개 있을 경우 다수의 RREQ 패킷을 수신하는 특성을 활용하여 보다 효율적인 경로를 선택하는 프로토콜이 연구되었다.

LPR 같은 경우 DSR 프로토콜을 기반으로 만들어진 알고리즘이다[4][5]. 이것은 경로를 선정하기 위해 노드의 남은 에너지의 양과 에너지 소비 비율을 사용하여 예측된 생존

시간 값을 계산하고 이것을 매트릭으로 적용하였다. PEER은 노드 간의 패킷 전송에 따른 에너지 소비량을 매트릭으로 사용하였다[6]. 또한 경로를 유지하기 위하여 RTS, CTS 프레임 혹은 브로드캐스트 패킷을 통하여 전송 파워와 링크 비용을 계산하여 경로를 삽입, 삭제, 대체 메커니즘을 제안하였다. Link-Quality Aware AODV는 경로를 선정하기 위한 매트릭으로 홉의 수와 SNR(Signal to Noise Ratio)를 사용하였다[7]. LEAR는 지역적으로 노드의 남은 에너지를 인지하여 경로를 설정하는 DSR 기반 라우팅 프로토콜이다 [8]. 이 프로토콜은 RREQ 패킷을 수신한 목적지 노드가 경로를 선택하는 방식이 전송 지연이 발생한다는 문제점을 해결하기 위해 제안되었다. AODV 라우팅 프로토콜을 기반으로 한 new-AODV는 노드의 남은 에너지의 양을 사용하여 LEAR와 유사한 방식으로 경로가 설정되도록 제안하였다[9]. 이것은 처음 경로 탐색 과정은 AODV와 동일하지만, 여기에 경로가 설정된 중간 노드의 평균 에너지 값을 목적지 노드가 계산하여 RREP 패킷을 통해 공유하게 된다. 그리고 일정 시간 안에 경로 탐색 과정이 발생하면 이 평균 값을 가지고 상대적으로 에너지가 적은 노드의 RREQ 패킷을 브로드캐스트를 지연시켜서 경로를 설정하도록 제안하였다.

### III. 문제 정의

AODV 라우팅 프로토콜은 경로의 상태를 인지 할 수 없기 때문에 노드의 이동성, 전지의 소진 등으로 인한 경로 단절 현상이 발생될 확률이 높다. 이를 해결하기 위해 LPR, PEER, Link-Quality Aware AODV와 같은 경로 선택 메커니즘이 연구 되었다. 하지만 이것은 목적지 노드가 RREQ 패킷을 수신한 후 다른 경로와 비교하기 위해 일정 시간 동안 대기한다. 이것은 보다 효율적인 경로를 선택할 수 있는 장점이 있지만 데이터 패킷 전송이 지연되는 문제점을 가지고 있다. 요구 기반 방식 라우팅 프로토콜은 데이터 패킷을 전송하기 전에 경로를 탐색하기 때문에 원래 패킷 전송 지연이 존재한다. 또한 경로가 하나 밖에 없다면 일정 시간 동안 기다리는 것은 무의미한 지연이 된다. 그림 1은 송신 노드 S가 목적지 노드 D에게 데이터 패킷을 전송하고자 할 때 경로표에 노드 D에 대한 경로 정보가 없어서 경로를 설정하는 과정이다. 여기서 링크의 매트릭을 숫자로 표시하였다. 먼저 송신 노드는 RREQ 패킷을 플러딩 한다. 이 때, S-A-B-D, S-C-E-D, S-F-G-D의 경로로 RREQ 패킷이 전달될 수 있다. 그리고 목적지 노드 D가 처음의 RREQ 패킷을

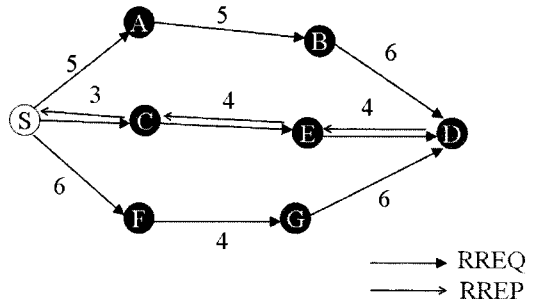


그림 1. 경로 선택 메커니즘  
Fig. 1 Route selection mechanism

수신 받으면, AODV 라우팅 프로토콜은 처음에 수신한 RREQ 패킷을 수신한 경로로 RREP 패킷을 즉시 응답한다. 하지만 여기에 경로 선택 메커니즘이 적용된 경우에는 목적지 노드가 다른 경로의 RREQ 패킷을 기다리게 된다. 여기서 적용하는 경로 선택 메커니즘이 매트릭의 총합이 가장 작은 경로를 선택한다고 가정하면, 다른 경로를 통해 수신한 RREQ 패킷의 매트릭의 총합과 이미 수신한 RREQ 패킷의 매트릭 총합을 비교하여 경로를 선택한다. 그러면 S-A-B-D는 16, S-C-E-D는 11, S-F-G-D는 16이 되기 때문에, 목적지 노드 D는 매트릭의 총합이 가장 작은 S-C-E-D를 선택하여 RREP 패킷을 전송한다. 이 때, 목적지 노드가 기다리는 시간은 송신 노드의 데이터 패킷 전송의 지연을 발생시키는 문제점을 가지게 된다. 나중에 수신한 RREQ 패킷의 경로가 먼저 수신 한 RREQ 패킷의 경로 보다 좋다는 보장도 없기 때문에 불필요한 지연이 생길 확률이 높아진다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 목적지 노드에서 경로를 선택하지 않고, 경로의 상태를 지역적인 범위 안에서 판단하여 경로를 설정하는 LEAR와 같은 라우팅 프로토콜도 연구되었다. 이런 방식의 프로토콜은 전송 지연에 대한 문제를 어느 정도는 최소화 하였으나, 지역적인 범위 안의 정보만 알 수 있기 때문에 모든 경로의 상태 정보 보다는 부정확하다는 단점을 가지고 있다. 그림 2는 송신 노드 S에서 목적지 노드 D의 경로 정보의 부재로 데이터 패킷을 노드 D로 전송하기 위해 RREQ 패킷을 전송하는 상황이다. 그리고 경로는 S-A-B-D로만 설정될 수 있다. 여기서 LEAR과 같이 매트릭을 남은 에너지의 양으로 적용하고, 이미 정의된 임계치 값보다 큰 경우 RREQ 패킷을 전송하는 메커니즘을 사용한다. 노드 A는 시간이 지날수록 에너지의 양이 감소하게 되고 이것은 결국 임계치 값 보다 작아지게 된다. 그러면 노드 A는 송신 노드 S에서 수신한 RREQ 패

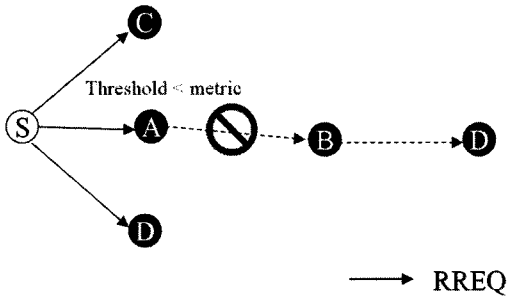


그림 2. 목적지 노드로 패킷을 전송하지 못하는 경우  
 Fig. 2 Case that can not send a packet to a destination node

킷을 플러딩 하지 않게 되고, 그림 2와 같이 목적지 노드 D에게 전달하지 못하게 되는 문제점이 발생된다. LEAR에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 RREQ 패킷에 플래그 값을 설정하여 다시 플러딩 하게 되고, 플래그 값이 설정된 RREQ 패킷을 수신하면 임계치 값을 매우 낮춰서 매트릭과 비교하게 된다. 그러면 RREQ 패킷이 목적지 노드 D까지 도달하게 된다. 하지만 이 경우에는 경로 선택 메커니즘 보다 전송 지연이 더 발생하게 된다. 또한 노드의 남은 에너지는 네트워크가 생성되고 어느 정도의 시간이 지나면, 대부분의 노드가 임계치 값 보다 낮아지게 된다. 그러면 대부분의 노드들이 RREQ 패킷을 재전송하는 횟수가 증가 된다. 그리고 결국에는 노드가 에너지 소진으로 인해 통신 불가능 상태가 되지 않았음에도 불구하고 RREQ 패킷을 전달하지 않게 되어 경로가 설정되지 않는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해선 new-AODV와 같이 네트워크의 상태를 파악하는 것이 중요하다. new-AODV는 목적지 노드에서 다수의 RREQ 패킷을 통해 남은 에너지의 평균을 계산하여 비교하기 때문에 미리 정해진 임계치 값과 비교하는 방식의 문제점을 해결 할 수 있다. 하지만 이렇게 평균값을 구하기 위해선 목적지 노드가 RREQ 패킷을 기다리기 때문에 전송 지연 문제가 다시 발생하게 된다.

이렇게 경로 설정 메커니즘에서는 매트릭의 내용이 매우 중요한데, 선행 연구에서는 전지의 용량, 신호 세기, SNR 등을 각각 고려하여 적용하고 있다. 하지만 각 요소들은 모두 중요한 역할을 하고 있다. SNR과 신호세기기의 상태가 좋아서 경로가 설정된다고 하더라도 전지의 용량이 곧 소진된다면 곧 경로가 단절된다. 반대로 아무리 노드의 남은 에너지의 양이 많다고 하더라도 노드의 이동성으로 인해 신호 세기가 약해 경로가 곧 단절 될 수도 있다. 또한 SNR 상태가 안 좋아서 설정된 경로가 잦은 충돌로 인해 네트워크

크의 성능이 떨어질 수도 있다. 그렇기 때문에 이 모든 요소를 고려하여 매트릭을 선정해야 한다.

이러한 문제들을 해결하기 위해, 본 논문에서는 노드의 남은 에너지의 양, 신호세기, SNR 등을 사용하여 계산된 RV(Resource Value)를 제안한다. 그리고 패킷 전송 지연을 최소화하기 위해 목적지 노드에서 처음 RREQ 패킷을 수신한 후, RV를 사용하여 계산된 RW(RREQ window time) 만큼 대기한다. 이를 통해 목적지 노드가 경로의 상태에 따라 적응성 있게 대기 하여 지연시간을 최소화 할 수 있도록 한다.

#### IV. 제안된 라우팅 프로토콜

제안된 라우팅 프로토콜은 AODV 라우팅 프로토콜을 기반으로 하여 경로 탐색 단계와 경로 유지 단계로 구성된다. 그리고 경로 탐색 단계에서 각 노드들은 Hello 메시지를 통해 RV를 계산하게 되고 이를 통해 목적지 노드가 경로를 선택할 수 있도록 한다. 또한 처음에 수신한 RREQ 패킷의 RV에 따라 적응성 있게 RW 만큼 기다려 다른 RREQ 패킷을 수신하도록 한다. 이렇게 함으로써 효율적인 경로가 설정되고, 이는 경로 단절의 확률을 줄이게 된다. 그래서 경로의 재탐색의 수를 줄이고, 제어 패킷의 감소를 가져와 네트워크의 성능 향상과 생존 시간이 연장되는 효과를 얻는다.

##### 4.1 패킷의 구조

AODV 라우팅 프로토콜에서 이미 사용되었던 RREP, RERR 패킷은 동일하게 사용된다. RREQ 패킷은 목적지 노드가 경로 선택 메커니즘을 수행할 수 있도록 그림 3과 같이 수정 하였다. 종류(Type) 필드는 패킷의 종류를 구분하기 위하여 사용되고, 홉의 수(Hop Count)는 RREQ 패킷이 전달되면서 증가된 홉의 수를 저장하는데 사용된다. 브로드캐스트 식별자(Broadcast ID)는 RREQ 패킷을 식별할 수 있도록 해주며, 목적지 주소(Dst Address)는 송신 노드가 데이터 패킷을 전송할 목적지 노드의 주소를 의미한다. 목적지 순서 번호(Dst Sequence Number)는 목적지 노드가 발행한 순서 번호를 의미한다. 송신 주소(Src Address)는 데이터 패킷을 전송할 송신 노드의 주소를 의미하고, 송신 순서 번호(Src Sequence Number)는 최신 패킷인지를 판별하고 루프 문제를 해결 한다. 여기서 브로드캐스트 식별자, 목적지 주소, 순서 번호를 묶음으로 유일한 패킷으로 식별될 수 있다. 타임스탬프(Time stamp)는 패킷의 생존 여부를 판별하

Type	Hop Count	Broadcast ID	Dst Address	Dst Sequence Number
------	-----------	--------------	-------------	---------------------

Src Address	Src Sequence Number	Time stamp	RV acc
-------------	---------------------	------------	--------

그림 3. 수정된 RREQ 패킷  
Fig. 3 Modified RREQ packet

Type	Hop Count	Dst Address	Dst Sequence Number	Lifetime	Remaining Energy
------	-----------	-------------	---------------------	----------	------------------

그림 4. 수정된 Hello 메시지  
Fig. 4 Modified Hello message

기 위해 사용된다. 여기까지는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜의 RREQ 패킷과 동일하다. 여기에 RV acc 필드를 추가한다. RV acc 필드는 누적된 RV 값을 의미한다. RREQ 패킷을 전달하는 중간노드는 RV acc 필드 값에 자신의 RV를 더하여 설정된다. RREQ 패킷의 크기를 고려하여, RV는 1바이트로 제한하고, RV acc는 2바이트로 제한한다.

그리고 RV를 계산하기 위해 Hello 메시지도 수정한다. 기존의 Hello 메시지는 RREP 패킷에서 값만 적용하여 사용하였는데, 그림 4와 같이 불필요한 정보를 삭제하고 남은 에너지(Remaining Energy) 필드를 추가하였다. 여기서 남은 에너지 필드 값은 Hello 메시지를 브로드캐스트 하는 노드의 남은 에너지를 의미한다.

#### 4.2 표 구조

제안된 라우팅 프로토콜에서는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜의 경로표를 사용한다. 그리고 RV 값을 계산하기 위해 기존의 이웃 노드 표를 수정한 NRVL(Neighbor Resource Value List)을 사용하며, 이것은 그림 5와 같이 구성된다. ID 필드는 Hello 메시지를 수신 할 때 송신한 노드의 ID를 입력하고, SSS(Smoothed Signal Strength) 필드와 SSNR(Smoothed Signal to Noise Ratio) 필드는 측정된 신호 세기와 SNR을 사용하여 계산된 값이 설정된다. 그리고 E 필드는 Hello 메시지의 남은 에너지 필드 값이 설정된다. 그리고 T 값으로 Hello 메시지를 수신한 시간 기준으로 적당한 시간을 입력하여, 현재 시간이 T보다 클 경우 링크가 단절되었다고 판단하게 된다. 이것은 기본적으로 Hello 메시지 전송 주기 시간×3으로 설정된다.

SSNR 값을 계산하는 수식은 Link-Quality Aware AODV에

ID	SSS	SSNR	E	T
Node ID	Smoothed SS	Smoothed SNR	Remaining Energy	Update Time

그림 5. NRVL  
Fig. 5 NRVL

서 제안한 수식을 사용하였고, 이를 응용하여 SSS 값을 계산하는 수식에 적용하였다. SSNR과 SSS 값은 수식 (1)과 (2)에 의해 계산된다.

$$SSNR_n = \alpha_{SSNR} SSNR_{n-1} + (1 - \alpha_{SSNR}) SNR_n \quad (1)$$

$$\alpha_{SSNR} SSNR_{n-1} + (1 - \alpha_{SSNR}) SNR_n$$

$$SSS_n = \alpha_{SS} SSS_{n-1} + (1 - \alpha_{SS}) SS_n \quad (2)$$

여기서 n은 패킷을 전송 받은 수이고, SNR<sub>n</sub>, SS<sub>n</sub>은 각각 n번째 패킷에 측정된 SNR 값과 신호 세기의 값이다. 그리고  $\alpha_{SSNR}$  와  $\alpha_{SS}$ 는 0과 1사이의 값으로써 0에 가까워지면 기존에 계산된 값이 결과 값에 더 많은 영향을 주고, 1에 가까워질수록 가장 최근에 측정된 값이 결과 값에 더 많은 영향을 주게 된다.

#### 4.3 RV (Resource Value)

노드의 남은 에너지의 양, 신호 세기, SNR 등을 사용하여 RV를 계산하고 이것을 매트릭으로 사용한다. 먼저 RV 값을 계산하기 위해 각각의 값들을 정규화(normalize) 해준다. RV는 RREQ 패킷을 수신했을 때 계산되기 때문에, RREQ 패킷을 수신하면 RREQ 패킷을 송신한 노드 주소를 가지고 NRVL를 검색한다. 검색된 정보의 E 필드 값과 미리 정의된 전지 용량의 최대값인 E<sub>max</sub> 값을 이용하여 다음의 수식 (3)을 계산한다.

$$X = \alpha \times \left( \frac{E}{E_{max}} \right) \quad (3)$$

그리고 NRVL의 SSS 필드 값을 가지고 다음의 수식을 계산한다.

$$Y = \beta \times \left( \frac{SSS - SS_{min}}{SS_{max} - SS_{min}} \right) \quad (4)$$

여기서  $SS_{\min}$  값과  $SS_{\max}$  값은 각각 복호화(decoding) 가능한 센싱 범위의 신호 세기 최소값과 최대값이다. 그리고 NRVL의 SSSNR 필드 값을 가지고 다음의 수식을 계산한다.

$$Z = \left( \frac{SSNR - SNR_{\min}}{SNR_{\max} - SNR_{\min}} \right) \quad (5)$$

여기서  $SNR_{\min}$  값과  $SNR_{\max}$  값은 각각 네트워크 상태가 가장 안 좋은 경우의 SNR 값과 가장 좋은 경우의 SNR 값이다. 이렇게 정규화가 되었으면 수식 (3), (4), (5)에서 계산한 값을 다음의 수식에 대입하여 RV 값을 구하게 된다.

$$RV = \{X + Y + (1 - \alpha - \beta) \times Z\} \times 255 \quad (6)$$

여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 0보다 크거나 같은 수이며,  $0 \leq \alpha + \beta \leq 1$  를 만족한다. 여기서 255를 곱하는 이유는 RV를 1바이트로 제한하기 위함이다. 이렇게 구해진 RV는 RREQ 패킷을 전달할 때 RV acc 필드 값과 더하여 누적된다. 그리고 목적지 노드가 RREQ 패킷을 수신하면 RREQ 패킷의 RV acc, 홉의 수 필드 값을 가지고 다음의 수식을 사용하여 [RV]를 계산한다.

$$[RV] = \frac{RV_{acc}}{HopCount} \quad (7)$$

각 경로의 RREQ 패킷을 수신하면, 수식 (7)를 통하여 [RV]를 계산하고, 이것을 가지고 경로를 비교하게 된다.

#### 4.4 RW (RREQ window time)

목적지 노드에서 다른 경로의 상태를 검사하기 위해 RREQ 패킷을 기다리는 시간이 필요하다. 선행 연구에서는 무조건 정해진 시간만큼 대기하였으나, 본 논문에서는 처음 수신한 값에 따라 대기시간을 다르게 하는 방식을 제안한다. 다음 수식은 처음 수신한 RREQ 패킷의 [RV] 통하여 RW를 계산한다.

$$RW = RW_{\max} - \left( RW_{\max} \times \frac{[RV]}{255} \right) \quad (8)$$

여기서  $RW_{\max}$ 는 최대 대기 시간을 의미한다. 이렇게 수식 (8)를 통하여 계산된 RW는 [RV]에 따라 달라진다. [RV]

가 커지면 경로의 상태가 좋다는 것을 의미하기 때문에 기다리는 시간은 그만큼 줄어들게 된다.

#### 4.5 경로 탐색

송신 노드가 목적지 노드로 데이터 전송이 필요할 때, 먼저 경로표에 목적지 노드의 정보가 있는지 검사한다. 만약 경로표에 목적지 노드의 정보가 없다면, RREQ 패킷을 플러딩하여 경로를 탐색한다. RREQ 패킷을 수신한 노드는 패킷을 송신한 노드의 정보와 함께 경로표에 입력한다. 만약 이전에 수신한 RREQ 패킷이면 순서 번호를 비교하여 같거나 낮으면 폐기한다. RREQ 패킷의 목적지 노드가 아니면, RV를 계산하고, 이것을 RREQ 패킷의 RV acc 필드에 더하여 다시 브로드캐스트 한다. 목적지 노드가 RREQ 패킷을 수신하면, 수식 (7)를 통해 [RV]를 계산한다. 그리고 이 값이  $Th_{Property_{rv}}$ 보다 크면 해당 경로로 RREP 패킷을 즉시 응답한다.  $Th_{Property_{rv}}$ 는 미리 정의한 임계치 값으로 다른 경로의 상태를 확인할 필요 없이 응답할 수 있는 [RV]를 의미한다. 여기서 만약  $Th_{Property_{rv}}$ 보다 작다면 이웃 노드 테이블의 노드 수와 RREQ 패킷을 수신한 개수를 비교한다. 이것이 같다면 현재까지의 [RV]가 가장 큰 경로로 RREP 패킷을 즉시 응답한다. 이것이 같지 않다면 수식 (8)를 통해 RW를 구하고, RW 시간만큼 RREQ 패킷을 기다리게 된다. 그리고 RW 시간이 종료되면, 경로들의 [RV]를 비교하여 가장 높은 [RV]의 경로를 선택하여 RREP 패킷을 응답한다.

#### 4.6 경로 유지

경로가 설정이 되면, 각각의 경로가 설정된 노드들은 Hello 메시지에 노드의 남은 에너지 량 값을 입력하여 주변 노드들에게 브로드캐스트 한다. 이것을 수신한 주변 노드들은 NRVL의 SSS, SSSNR, E, T 필드 값을 업데이트 한다. 그리고 주기적으로 NRVL를 검사하여 T 필드 값이 현재 시간보다 작다면 NRVL에서 삭제하고, 삭제된 노드의 주소가 경로표의 다음 홉(Nexthop) 주소와 같은 것이 있으면 경로를 사용하지 못하도록 flags의 값을 RTF\_DOWN으로 설정한다. 그리고 RERR 패킷을 프리커서(Precursor) 노드들에게 브로드캐스트 한다. RERR 패킷을 수신한 노드는 경로표에서 해당 노드의 정보를 삭제하고, 그 노드로 전송할 데이터가 있다면 경로 재탐색을 위해 RREQ 패킷을 다시 브로드캐스트 한다.

## V. 성능 평가

### 5.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜의 성능을 실험하기 위해 ns-2 시뮬레이터 버전 2.28를 사용하였다[2]. 물리 계층은 DSSS(Direct-Sequence Spread-Spectrum)를 사용하였고, 안테나는 전방향 안테나로 설정하였다. MAC 계층은 IEEE 802.11 로 설정하였고, UDP의 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 사용하였다. 전송 패킷의 크기는 512 bytes로 설정하였고, 전송 비율은 0.25 초로 설정하였다. 그리고 1200m x 300m 범위 안에서 노드를 위치시키고 최대 이동 속도는 6 m/s로 설정하고, 이동 대기 시간은 15초로 설정하였다. 그리고 라우팅 프로토콜의 성능을 검증하기 위한 시나리오와 네트워크의 생존 시간 비교하기 위한 시나리오에 따라 실험 매개 변수를 다르게 설정하였다. 두 시나리오의 공통된 실험 매개 변수는 표 1과 같다. 그리고  $RW_{max}$ 의 값을 0.004, 0.006, 0.008, 0.01초로 설정하여 대기 시간에 따라 AODV 라우팅 프로토콜과 비교하였다. 성능을 검증하기 위한 시나리오에서는 노드의 수를 20개에서 100개까지 10개 단위로 설정하였으며, 에너지 소진으로 노드가 통신 불능에 빠지지 않도록 초기 에너지를 10J로 설정하였다. 실험 시간동안 에너지의 변화는 작기 때문에 [RV]에 영향을 주는 정도가 작다. 그래서 수식 (3)의  $\alpha$ 의 값을 0.1로 설정하고 수식 (4)의  $\beta$ 를 0.4로 설정하여, 노드의 이동성과 네트워크의 상태에 대해 더 비중을 주었다. 그리고 총 600초 동안 실험하였다. 네트워크의 생존 시간을 비교하기 위한 시나리오에서는 노드의 수를 80개로 설정하고, 노드의 초기 에너지를 10J로 설정하였다. 그리고 [RV]가 계산될 때 에너지에

표 1. 실험 매개 변수  
Table 1. Simulation Parameter

Item	Value
Hello Interval	uniform(1, 1.1) seconds
RX Power	0.3 W
TX Power	0.6 W
Thproperly_rv	178
$\alpha_{SNR}$	0.85
$\alpha_{SS}$	0.85

더 비중을 주기 위해 수식 (3)의  $\alpha$ 의 값을 0.4로 설정하고 수식 (4)의  $\beta$ 의 값을 0.3으로 설정하여 총 800초 동안 실험하였다.

### 5.2 실험 결과

그림 6과 그림 7은 첫 번째 시나리오의 실험 중 각각 패킷 처리량과 평균 전송 지연시간을 측정한 결과이다. 경로 선택 메커니즘은 경로를 선택하기 위해 대기 하여야 하기 때문에 패킷 처리량의 감소와 전송 지연이 발생하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 경로 선택 지연시간을 줄이는 메커니즘을 제안하였다. 하지만 노드의 수가 적으면 그만큼 경로 선택의 폭이 좁아지기 때문에 실험 결과와 같이 패킷 처리량이 AODV 라우팅 프로토콜보다 비교적 낮다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 노드의 수가 증가함에 따라 AODV 라우팅 프로토콜의 패킷 처리량 보다 높거나 비슷한 처리량을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 7에서와 같이 패킷 전송 지연시간도 노드의 수가 증가함에 따라 AODV 라우팅 프로토콜과 비슷하거나 더 낮은 전송 지연 시간을 확인할 수 있다. 이것은 경로의 선택에 대한 전송 지연 시간이 생기자만 더 상태가 좋은 경로로 설정되었기 때문에 경로가 단절되는 현상이 줄어들어 경로 재설정 시간이 절약되었기 때문이라고 분석된다. 그리고 제안된 라우팅 프로토콜에서  $RW_{max}$ 가 크면 노드의 수가 적을 때, 상대적으로 패킷 처리량과 전송 지연시간이 낮은걸 확인할 수가 있다. 이것은  $RW_{max}$ 가 커지더라도 노드의 수가 적은 경로의 선택 범위가 작아지기 때문에 대기 시간에 비해 좋은 경로로 설정될 확률이 작아지기 때문이라고 분석된다.

그림 8은 첫 번째 시나리오 실험 중 노드 수에 따라 RREQ 패킷의 전송 횟수를 측정한 결과이다. 그리고 그림

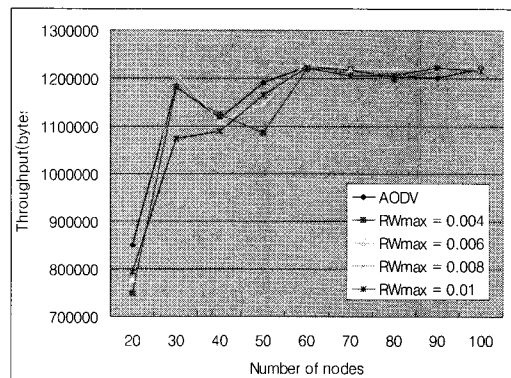


그림 6. 패킷 처리량 측정  
Fig. 6 Packet throughput evaluation

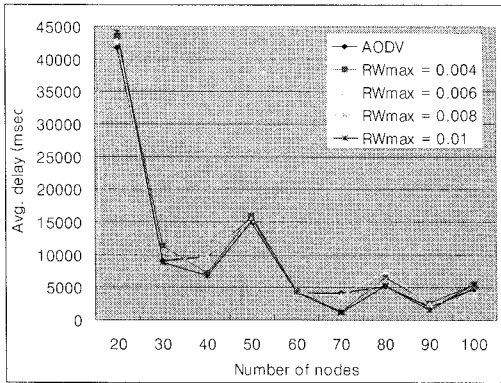


그림 7. 패킷 평균 지연 시간 측정  
Fig. 7 Average packet delay time evaluation

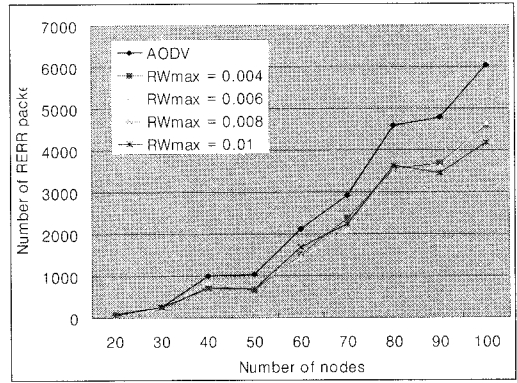


그림 9. RERR 패킷 수 측정  
Fig. 9 Number of RERR packet evaluation

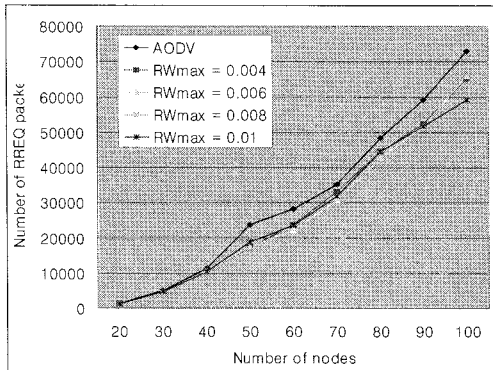


그림 8. RREQ 패킷 수 측정  
Fig. 8 Number of RREQ packet evaluation

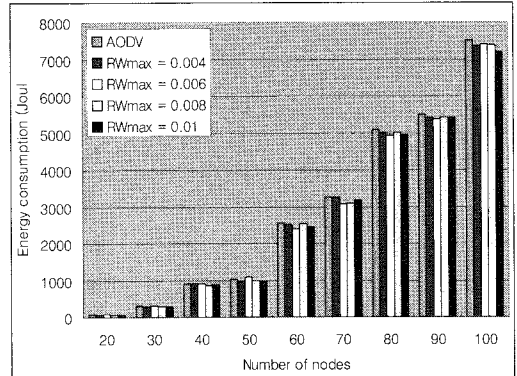


그림 10. 에너지 소비량 측정  
Fig. 10 Energy consumption evaluation

9 노드 수에 따라 RERR 패킷의 수를 측정하는 결과이다. RREQ 패킷 전송이 많다는 것은 경로를 설정을 시도하는 횟수가 많다는 것을 의미한다. 그리고 RERR 패킷의 전송 횟수가 많다는 것은 경로의 단절의 횟수가 많다는 것을 의미한다. RREQ 패킷은 플러딩 방식으로 전송되기 때문에 전송 횟수가 많을수록 대역폭의 낭비가 더 발생하게 된다. 그렇기 때문에 RREQ 패킷의 전송 횟수를 줄일 필요성이 있다. 실험 결과에서 확인 할 수 있듯이 제안된 라우팅 프로토콜에서 노드의 수가 증가함에 따라 RREQ 패킷과 RERR 패킷의 전송 횟수가 더 적다는 것을 알 수 있다. 이것은 AODV 라우팅 프로토콜보다 경로 단절의 횟수도 적다는 사실을 의미한다. 그리고 제안된 라우팅 프로토콜에서  $RW_{max}$ 가 증가함에 따라 RREQ 패킷과 RERR 패킷의 전송 횟수가 적은 이유는 대기 시간이 길만큼 더 상태가 좋은

경로를 선택하기 때문이라고 할 수 있다.

그림 10은 첫 번째 시나리오 실험 중 노드 수에 따라 에너지 소비량을 측정하는 실험 결과이다. 결과에서 확인 할 수 있다. 노드의 수가 증가함에 따라 AODV 라우팅 프로토콜보다 에너지 소비가 적음을 확인 할 수 있다.

그림 11은 두 번째 시나리오의 실험인 네트워크 생존시간을 측정하는 결과이다. 여기에서 확인 할 수 있듯이 시간에 따라 제안된 라우팅 프로토콜이 AODV 라우팅 프로토콜과 비교해 에너지가 소진된 노드의 수가 더 적다는 것을 알 수 있다. 이것은 경로의 선택함에 있어서 에너지를 인자하고 경로의 상태를 검사하여 경로를 선택하기 때문에 그만큼 경로의 단절의 횟수가 적어지게 되고, 이 때문에 에너지 소비가 감소한 것으로 분석된다.



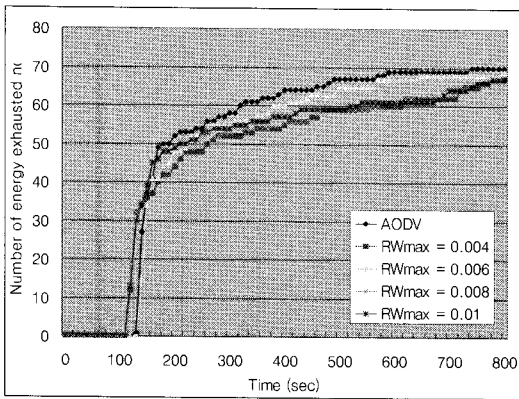


그림 11. 네트워크 생존 시간 측정  
Fig. 11 Network lifetime evaluation

#### IV. 결론

본 논문에서는 이동 애드혹 네트워크 환경에서 에너지 효율 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제안된 라우팅 프로토콜은 요구 기반 방식의 AODV 라우팅 프로토콜을 기반으로 개발되었다. AODV 라우팅 프로토콜은 홉의 수를 메트릭으로 하여 경로를 설정한다. 하지만 경로의 상태를 확인하지 않기 때문에 노드의 이동성, 노드의 에너지 소진 등의 이유로 경로의 단절 횟수가 많아지게 된다. 이것은 경로 재설정 횟수가 늘어나게 되고 대역폭의 낭비와 에너지 소비가 증가하는 결과를 가져온다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 제안된 라우팅 프로토콜에서는 경로 선택 메커니즘을 사용하고, 노드의 남은 에너지와 신호세기, SNR를 사용하여 경로의 상태를 판별할 수 있는 RV를 제안하였다. 또한 경로 선택 메커니즘의 문제점인 경로 선택을 하기 위해 필요한 대기 시간을 줄이기 위해 적응성 있는 대기 시간을 설정하는 RW를 제안하였다. 본 논문에서는 제안된 라우팅 프로토콜의 에너지 효율성을 증명하기 위해서 ns-2 시뮬레이터를 사용하여 성능을 검증하였다. 결과적으로 이동 애드혹 네트워크 환경에서 패킷 처리량과 패킷 전송 지연시간의 손실을 최소화 하고 경로의 단절 횟수와 에너지 소비량을 줄이고 네트워크 생존시간의 증가를 확인 하였다. 이것은 본 논문에서 제안하고 있는 라우팅 프로토콜이 AODV 라우팅 프로토콜보다 에너지 효율적인 방법이라는 것을 보여준다.

향후 보완해야할 연구과제로서는 SSS와 SSNR를 계산하는  $\alpha_{SNR}$  와  $\alpha_{SS}$ 의 값을 네트워크 환경에 따라 적응성

(adaptive)있게 설정하고 최적의  $RW_{max}$  를 찾는 연구를 통하여 이동 애드혹 네트워크의 에너지 효율 향상에 대한 방안을 제시할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] IETF MANET Working Group.  
<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
- [2] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [3] C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, "Ad hoc On-demand Distance Vector(AODV) Routing," RFC3561, July 2003.
- [4] M. Maleki, K. Dantu, M. Pedram, "Lifetime prediction routing in mobile ad hoc networks," WCNC 2003, pp. 1185-1190, March 2003.
- [5] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad-hoc wireless networks," Mobile Computing, pp. 153-181, 1996.
- [6] Jinhua Zhu, Xin Wang, "PEER: A Progressive Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," IEEE INFOCOM 2005, pp. 1887-1896, March 2005.
- [7] Hsin-Mu Tsai, N. Wisitpongphan, O.K. Tonguz, "Link-Quality Aware Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol," Wireless Pervasive Computing, 2006 1st International Symposium on, pp. 16-18, Jan. 2006.
- [8] Kyungtae Woo, Chansu Yu, Dongman Lee, Hee Yong Youn, Lee, B, "Non-blocking, localized routing algorithm for balanced energy consumption in mobile ad hoc networks," MASCOTS 2001, pp. 117-124, Feb. 2001.
- [9] Jin-Man Kim, Jong-Wook Jang, "AODV based Energy Efficient Routing Protocol for Maximum Lifetime in MANET," AICT/ICIW 2006, pp. 77-82, Feb. 2006.

저자 소개



유 대훈

광운대학교 수학과 학사

광운대학교 대학원 컴퓨터 과학과 석사

현재: 광운대학교 대학원 컴퓨터 과학과 박사  
과정



최 응철

서울대학교 컴퓨터공학과 학사

서울대학교 컴퓨터공학과 석사

Ph..D., Computer Science, University of  
Illinois, Urbana-Champaign, IL., USA.

Research Scientist, Telcordia  
Technologies(formerly Bellcore),  
Morristown, NJ., USA.

현재: 광운대학교 컴퓨터공학부 조교수