

# 모바일 애드-혹 네트워크에서 QoS를 위한 노드의 이동성 예측 라우팅 기법

준회원 차 현 중\*, 정회원 한 인 성\*\*, 양 호 경\*, 조 용 건\*,  
중신회원 유 황 빈\*\*

## Routing Mechanism using Mobility Prediction of Node for QoS in Mobile Ad-hoc Network

Hyun-jong Cha\* Associate Member, In-sung Han\*\*, Ho-kyung Yang\*, Yong-gun Cho\* Regular Members,  
Hwang-bin Ryou\*\* Longlife Member

### 요 약

무선 애드-혹(Ad-hoc) 네트워크는 고정된 기지국이 존재하지 않고 무선 노드들만으로 구성된다. 무선 애드-혹 네트워크 내에서는 노드 자체의 에너지 제약과 잦은 이동으로 인해 네트워크 단절이 빈번하게 발생하게 된다. 그러므로 노드의 이동성에 따른 토폴로지 변경에 유연하게 반응하면서 전송 경로의 신뢰성을 향상시키는 기법이 반드시 요구된다. 본 논문에서는 AOMDV 라우팅 프로토콜을 이용하여 경로 탐색 시에 응답하는 노드의 이동성을 고려하여 경로를 선택하는 기법을 제안한다. 제안한 기법을 적용함으로써 전송 경로의 신뢰성을 향상시켜 경로가 단절되어 재탐색하는 횟수를 줄일 수 있다.

**Key Words** : MANET, Network Management, Mobility, Prediction, QoS

### ABSTRACT

Mobile Ad-hoc Network consists of mobile nodes without immobile base station. In mobile ad-hoc network, network cutting has occurred frequently in node because of energy restriction and frequent transfer of node. Therefore, it requires research for certain techniques that react softly in topology alteration in order to improve reliability of transmission path. This paper proposes path selection techniques to consider mobility of node that respond when search path using AOMDV routing protocol. As applying proposed techniques, We can improve reliability and reduce re-searching number of times caused by path cutting.

### I. 서 론

애드-혹(Ad-hoc) 네트워크는 기지국 혹은 AP (Access Point)에 의한 중앙 집중화 된 관리나 표준화된 지원 서비스 없이 임시 망을 구성한다. 이러한 특성상 재해, 재난 지역, 전장터와 같이 기존의 기반 시설을 이용할 수 없는 환경에 적용하는 것으로

인식되어 왔다<sup>[1]</sup>. 때문에 애드-혹 네트워크에 관한 연구는 주로 군사용이나 대체(Backup) 네트워크용으로 활용될 수 있는 방향으로 연구되어 왔다. 그 대표적인 사례가 미국의 DARPA(Defence Advanced Research Project Agency)에서 추진해온 GloMo(Global Mobile) 프로그램이다.

통신기술의 급속한 성장에 따라 IP(Internet protocol)

\* 광운대학교 방위사업학과(chj826@kw.ac.kr), \*\* 광운대학교 컴퓨터학과

논문번호 : KICS2009-04-138, 접수일자 : 2009년 4월 3일, 최종논문접수일자 : 2009년 5월 29일

에 이동성을 부여하기 위한 Mobile IP와 같은 이동성에 관한 연구가 진행되고 있다. 또한 이동성 기술을 지원하기 위한 지역 근거리 망으로서 애드-혹 네트워크가 새로이 각광 받기 시작했다<sup>[2][3]</sup>. 최근에는 IP에 애드-혹 네트워크를 지원하기 위한 연구가 인터넷 표준 제정을 위한 국제기구인 IETF(Internet Engineering Task Force)를 중심으로 진행되고 있다. 이러한 연구를 위해서 IETF에는 새로운 MANET WG(Mobile ad-hoc network Working Group)가 결성되어 IP기반 위에서 애드-혹 네트워크를 지원하기 위한 라우팅 프로토콜로서 다수의 RFC(Request for Comments)와 인터넷 초안(Internet draft)이 제출되어 표준화가 진행되고 있다<sup>[4]</sup>.

1970년대에 애드-혹 네트워크 연구가 시작된 이후로, 다양한 라우팅 프로토콜들이 제안되었다<sup>[5][6]</sup>. 초기의 라우팅 프로토콜들은 테이블 기반(Table-driven) 방식이 대두되었으나, 무선통신의 특성에 맞지 않아 이동단말의 이동성을 지원 하는 요구 기반(On-demand) 방식에 대한 연구가 진행되었으며 최근에는 테이블 기반과 요구 기반의 장점을 반영한 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector<sup>[7]</sup>)가 널리 이용되고 있다<sup>[8]</sup>. 그러나 AODV의 장점에도 불구하고 노드들의 잦은 이동으로 네트워크에 많은 라우팅 패킷을 발생시켜 전체적인 네트워크의 성능 면에서 많은 약점을 보이고 있다.

본 논문에서는 애드-혹 네트워크를 구성하는 노드들 사이의 링크에 대한 신뢰성 향상을 위해 노드의 이동 경로 예측을 기반으로 한 새로운 경로설정 및 유지 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 AODV에서 확장된 프로토콜인 AOMDV<sup>[9][10]</sup>를 기반으로 목적지까지의 경로들을 수집하고 GPS(Global Positioning System)가 내장된 노드의 위치와 이동 정보로 진행할 방향과 위치를 예측하여 보다 안정적인 경로를 선택할 수 있는 기회를 제공하는 라우팅 기법이다. 또한 AOMDV의 목적지 노드와 통신이 가능한 다중경로기술을 이용하여 데이터의 종류와 특성에 적합한 최적의 경로선택을 위한 메커니즘 제공으로 불필요한 경로설정 메시지의 오버헤드를 줄인다. 본 논문에서 제안된 라우팅 기법의 성능평가를 위해 NS(Network Simulator)-2<sup>[11][12]</sup>를 이용하여 기존의 이동성을 고려한 애드-혹 라우팅 기법을 비교·분석하고 논문의 우수성을 입증한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 1장 서론에 이어 2장의 관련된 기술들을 기반으로 3장에서는 제안 기법을 위한 라우팅 테이블의 구조와 동작과정에 대해 설

명한다. 4장에서는 제안하는 기법과 기존의 라우팅 기법의 실험 성능을 비교 분석하여, 5장에서 실험결과에 대한 전체적인 평가와 고찰로 결론을 맺는다.

## II. 관련연구

### 2.1 MANET

MANET(Mobile Ad-hoc NETwork)을 구성하는 노드는 네트워크의 토폴로지가 시간에 따라 동적으로 변화한다. 토폴로지 변화가 심한 MANET에서는 기존의 유선 네트워크에서 사용하는 라우팅 프로토콜을 그대로 사용할 수 없고 MANET의 특성을 고려한 라우팅 알고리즘이 필요하게 되었으며, 현재 여러 종류의 라우팅 프로토콜들이 연구되었다<sup>[3]</sup>. 라우팅 프로토콜은 경로 생성 방법에 따라 그림 1과 같이 크게 테이블 기반방식(Table-driven 또는 Proactive), 요구 기반 방식(On-demand 또는 Reactive), 혼합 방식(Hybrid)으로 분류할 수 있다.

테이블 기반 방식은 각각의 노드가 네트워크의 전체 노드에 대한 라우팅 정보를 유지하고 이를 이용해 라우팅을 수행하는 방식이다. 요구 기반 방식은 테이블 기반 방식과 달리 네트워크의 모든 이동 노드에 대한 정보를 항상 유지하는 것이 아니라, 전송할 필요가 있을 경우에만 경로를 획득하고 실제 경로에 대한 정보만을 유지하는 방식이고, 혼합 방식은 앞의 두 가지 방식의 방법을 혼합한 것이다.

### 2.2 ABR 프로토콜

ABR(Associativity-Based Routing) 프로토콜<sup>[11][12]</sup>의 핵심은 애드-혹 네트워크에서 오래 지속되는 경로를 사용하는 것이다. 오래 지속되는 경로는 이동성이 적은 이동 노드들로 이루어진 경로이기 때문에 계속적으로 유지할 가능성이 크고 경로 재설정 가능성이 적으므로 높은 효율을 기대할 수 있다. 또한 오래 지속되는 경로 하나만을 관리하기 때문에 패킷 중복을 피할 수 있다. 그러나 ABR 프로토콜의 각 노드는 정기적으로 자신의 존재를 알리는 신

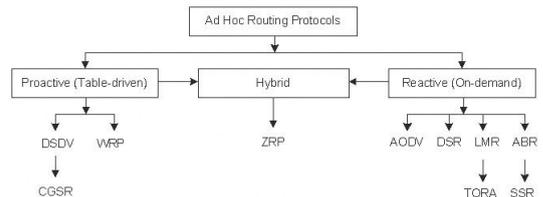


그림 1. 애드-혹 라우팅 프로토콜의 분류

호(beacon)를 만들어 브로드캐스트해야한다. 이를 수신한 이웃 노드는 관련 테이블을 갱신한다. 그러므로 이동 노드의 정확한 시·공간 및 연결 상태를 반영하기 위해 신호의 간격은 작아야하며 추가적으로 전력 소모를 필요로 하는 원인이 된다.

### 2.3 AOMDV 프로토콜

AOMDV(Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector) 프로토콜은 경로상의 루프가 없고 링크가 겹침이 없는 경로들을 계산하기 위한 AODV 프로토콜의 확장이다. 특히 다중 경로를 유지함으로써 로드 분산(load balance), 내고장성(fault-tolerance)을 제공한다. 로드 분산은 다중 경로를 통해 데이터를 분산함으로써 혼잡이나 병목현상을 줄일 수 있다. 내고장성 측면에서 다중 경로 라우팅은 경로의 탄력성을 제공할 수 있다. 다중 경로의 유지를 위해 각 목적지에 해당하는 라우팅 경로들은 해당 홉 카운트를 가진 다음 홉들의 리스트를 포함하게 된다. 다음 홉들은 같은 일련번호를 가지게 된다. 각 목적지에 대해 노드들은 모든 경로의 최대 홉 카운트로 정의된 홉 카운트를 유지한다. 이것은 목적지를 찾기 위한 경로 탐색 메시지에 사용된다. 경로내의 루프를 방지하기 위해 노드는 목적지에 대한 전송된 홉 카운트보다 적은 홉을 가지고 있는 경우에만 목적지에 대한 경로로 인정한다. 전송된 홉 카운트가 현재보다 큰 일련번호를 가진다면 다음 홉 리스트와 전송된 홉 카운트는 재 초기화된다.

## III. 제안기법

본 논문에서 제안하는 노드 이동성 예측 라우팅 기법은 AOMDV를 기반으로 동작하며, GPS정보를 통해 이동성이 적은 노드를 연결노드로 선택함으로써 안정적인 경로를 결정하는 라우팅 기법이다. 또한 다중경로를 보유하기 때문에 전송할 데이터의 특성에 따라 경로선택을 할 수 있어 애드-혹 네트워크의 데이터 전송률을 높일 수 있는 장점을 갖는다. 본 절에서는 노드 이동성 예측 라우팅 기법의 동작, 라우팅 프로토콜의 구조, 그리고 이동이 적은 노드를 연결노드로 선택하는 알고리즘을 기술한다. 또한 데이터 특징에 따른 패킷 전송방법과 링크 손실이 발생하였을 경우 경로의 유지방법에 대해서도 기술한다.

### 3.1 경로 설정

본 논문에서 제안한 라우팅 기법은 노드의 이동

예측을 통해 라우팅 경로의 최대 유효시간을 유지할 수 있어 AOMDV의 라우팅 기법보다 안정적인 경로를 최대한 유지할 수 있는 장점을 갖는다. AOMDV는 홉 수로 가장 빠른 응답을 보내온 경로를 라우팅 경로로 결정하지만, 경로에 이동성이 많은 노드를 포함할 경우 비효율적으로 라우팅 경로 재설정을 해야 하므로 애드-혹 네트워크의 오버헤드가 발생하게 된다. 노드 이동성 예측 라우팅 기법은 안정적인 라우팅 경로를 선택하는 것을 주요 목표로 하기 때문에 최단경로 선택을 목적으로 하는 AOMDV 라우팅 기법과는 동작구조가 다르다. 본 장에서는 노드의 이동성 확률계산과 동작 메커니즘 기술을 위해 다음과 같은 가정을 한다.

첫째, 라우팅 경로 탐색기법은 보조경로를 위해 AOMDV 프로토콜을 기반으로 동작하며, 각 노드는 UID(Unique Identifier) 정보를 갖는다. 둘째, 네트워크의 구성 노드들 사이에 연결링크가 존재하면 링크들은 양방향 통신이 가능하다. 마지막으로 각 노드들은 GPS 정보의 수신으로 자신의 위치정보를 확인할 수 있으며 속도와 방향은 일정하다.

이와 같은 가정을 기반으로 본 논문에서 제안하는 라우팅 기법은 애드-혹 네트워크를 보다 안정적이고 효율적인 네트워크로 발전시킬 수 있다.

#### 3.1.1 경로 설정 방법

제안 라우팅 기법의 경로설정은 역 경로와 순 경로 설정으로 나눌 수 있으며, RREQ 패킷에 의한 역 경로 설정은 AOMDV와 동일하다. 우선 각 노드는 GPS를 통해 얻은 위치정보로 자신의 앞으로의 좌표를 계산한 후 다음 위치정보를 유지한다. 다음 위치정보를 보유하고 있는 상태에서 통신을 원하는 출발지 노드가 RREQ 패킷을 브로드캐스트하면, 중간노드는 역 경로를 설정하고 전달해 목적지 노드까지 도착한다. 기본동작 방식은 AOMDV와 기법이 동일하지만 RREQ 패킷에 노드의 위치정보와 전송범위를 확장필드에 추가하여 보낸다.

목적지 노드가 RREQ 패킷을 수신하면, 자신의 라우팅 테이블에 RREQ 패킷에서 얻은 정보를 이용하여 경로를 저장하고 순 경로 설정 단계를 진행한다. 먼저 목적지 노드는 Min\_Eff\_time값에 목적지 노드가 계산한 경로유효시간 중에서 RREQ 패킷을 송신한 노드에게 두 노드간의 값으로 저장한 RREP 패킷을 전달한다. 즉, 경로 내의 노드들의 노드 간 경로유효시간 중에서 가장 작은 값을 Min\_Eff\_time 값으로 설정하는 것이다. RREP 패킷

Type	Location Information			Reserved	Hopcount
	Cur_loc	Next_loc	Range		
RREQ ID					
Destination IP Address					
Destination Sequence Number					
Originator IP Address					
Originator Sequence Number					
Time Stamp					
Firsthop					
Type	Min_Eff_time	Reserved	Hopcount		
Destination IP Address					
Destination Sequence Number					
Originator IP Address					
Life Time					
Time Stamp					
RREQ ID					
Firsthop					

그림 2. 제안기법의 RREQ 패킷과 RREP 패킷

을 받은 중간 노드는 AOMDV와 동일하게 자신의 순 경로 라우팅 테이블에 경로를 저장하고, 포워딩을 한다. 하지만 그 전에, 중간 노드는 RREP 패킷의 Min\_Eff\_time값을 자신의 라우팅 테이블에 존재하는 역 경로의 노드와의 최대 경로 유효시간과 비교하여 작은 값으로 수정한다. 그림 2는 제안 기법의 RREQ 패킷과 RREP 패킷의 형식을 나타낸 것이다.

### 3.1.2 각 노드의 좌표 계산

이동성 계산에서 이웃 노드와의 각도와 속도로 링크가 끊어지는 지점을 알아야 하는 것이 가장 큰 고려사항이다. 각 노드는 자신의 위치 정보(좌표, 속도, 방향)를 GPS를 통해 지속적으로 수신하여 알 수 있다. 현재 보유중인 노드의 위치 정보를 기반으로 다음에 이동할 좌표는 수식(1)과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} x1 &= x0 + (H \times \cos(Angle)) \\ y1 &= y0 + (H \times \sin(Angle)) \end{aligned} \quad (1)$$

GPS에서 얻은 속도의 단위는 초당 이동하는 거리이기 때문에 각 노드는 자신이 다음에 이동할 좌표를 구할 수 있다. 현재 좌표  $p0(x0, y0)$ 와 속도  $H$ , 방향 값인  $Angle$ 로 삼각함수를 사용하여 다음 좌표인  $p1(x1, y1)$ 을 유도할 수 있다. 이렇게 자신의 진행 좌표를 구해서 RREQ 패킷에 현재 좌표, 다음 진행 좌표, 그리고 노드의 전송범위를 추가하여 이웃 노드에게 보내게 된다.

### 3.1.3 각 노드의 경로유효시간(RET)

그림 3은 경로 설정과정 중에서 각 노드의 좌표 계산과 두 노드간의 경로유효시간을 구해 테이블에

```

Send to Neighbornode, location

If node->type != SOURCE then
     $DO = \sqrt{((X0a - X0b)^2) + ((Y0a - Y0b)^2)}$ 
     $DI = \sqrt{((X1a - X1b)^2) + ((Y1a - Y1b)^2)}$ 
     $ID = DI - DO$ 
     $RETA = (Ra - DO) / ID$ 
     $RETB = (Rb - DO) / ID$ 
     $RETab = \text{Min}(RETA, RETB)$ 

    Insert to table (node_ID, RETab)
End If
    
```

그림 3. RREQ 패킷 처리과정

저장하는 RREQ 패킷의 처리 과정이다. 경로유효시간(RET: Route Effective Time)은 두 노드사이의 패킷전송이 끊길 때까지의 유지시간을 뜻한다. 각 노드는 전송범위라는 전송이 가능한 범위가 있다. 통신을 위해서는 수신측 노드가 송신측 노드의 전송 범위 내에 있어야 한다. 각 노드들은 이동을 하기 때문에 데이터 패킷을 전송할 수 있는 전송범위를 벗어날 수 있다. 본 논문에서 사용하는 경로유효시간은 두 노드가 서로의 전송범위에서 벗어나기까지의 시간을 구한다. 경로유효시간이 큰 경로를 선택함으로써 경로의 안정성을 보장할 수 있다. 만약 경로유효시간 값이 크다면, 두 노드는 이동이 거의 없거나, 비슷한 방향으로 이동한다는 것을 뜻한다. 경로유효시간 값이 작다는 것은 어느 한 노드가 이동이 많거나 두 노드가 진행하는 방향이 거의 반대 방향이라고 볼 수 있다. 중간 노드 또는 목적지 노드는 수신된 RREQ 패킷에서 얻은 이전 노드의 위치정보와 전송범위로 두 노드간의 거리를 계산할 수 있다. 노드 a와 노드 b 사이의 거리는 수식(2)와 같이 구한다.

$$DO_{ab} = \sqrt{((X0_a - X0_b)^2) + ((Y0_a - Y0_b)^2)} \quad (2)$$

$X0_a$ 는 노드 a의 X축 값이고  $Y0_a$ 는 노드 a의 Y축 값이다. 노드 a와 노드 b의 현재 거리를 계산한 후에 다음 진행 좌표에 대한 거리를 수식(2)를 기반으로 구한다. 두 노드의 현재 거리  $DO_{ab}$ 와 다음 진행 후 노드간의 거리  $DI_{ab}$ 의 차는 초당 두 노드의 거리의 증가값( $ID_{ab}$ )가 된다. 노드 a가 노드 b에게

전송할 수 있는 시간은 수식(3)과 같이 구한다.

$$RET_a = (R_a - D 0_{ab}) / ID_{ab} \quad (3)$$

노드 a의 전송범위인  $R_a$ 에서 노드 a와 노드 b의 거리를 빼면 현재 노드 a의 전송범위에서 노드 b가 벗어날 때까지의 거리를 구할 수 있다. 전송범위에서 남은거리를 두 노드의 초당 증가값으로 나누면 노드 b가 노드 a의 전송범위에서 벗어날 때까지의 시간을 구할 수 있다. 노드 a와 노드 b의 경로유효시간은 두 노드가 서로의 전송범위에서 벗어나는 시간을 뜻한다. 데이터 패킷을 전송할 때 전송의 신뢰성을 판단하기 위해서 ACK 패킷을 돌려받기 때문에 송신측 기준의 유효시간 뿐만 아니라 역방향의 유효시간을 구해야 한다. 이러한 작업을 반대로 노드 b의 전송범위에서 노드 a가 벗어날 수 있는 시간( $RET_b$ )을 구하기 위해서는 수식(3)에서 전송범위인  $R_a$ 를 노드 b의 전송범위인  $R_b$ 로 변경해서 구할 수 있다.

노드 a와 노드 b의 경로유효시간은 앞에서 구한 두 노드간의 유효시간 중에서 작은 값을 두 노드의 경로유효시간으로 정해야 한다. 두 노드간의 경로유효시간( $RET_{ab}$ )은 수식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$RET_{ab} = Min (RET_a, RET_b) \quad (4)$$

이렇게 구한 두 노드의 경로유효시간은 노드 b의 라우팅테이블에 저장한다. 저장하는 형식은 [송신

```

If node->type == SOURCE then
  Insert to routing_table
  If time_count > k then
    If data-type == streaming then
      route = Max(routing_table->RET)
    else
      route = Min(routing_table->Hopcount)
    End If
  End If
else
  If msg->Min_eff_time >
    RET(node_ID) then
    msg->Min_eff_time = RET(node_ID)
  End If
    
```

그림 4. RREP 패킷 처리 과정

노드, 경로유효시간과 같다. 노드 b는 노드 a 뿐만 아니라 다른 노드의 이웃 노드가 될 수도 있기 때문이다.

그림 4는 경로 설정과정에서 다중경로를 선택하고 데이터 타입에 따라 적절한 경로를 선택하는 RREP 패킷 처리 과정이다.

### 3.2 경로선택

본 연구에서는 노드가 이동하는 환경에서 데이터의 전송률을 높이기 위해 경로의 최소유효시간을 갖는 라우팅테이블을 갖는다. 다중경로의 개수는 2.3에서 설명한 AOMDV 저자의 실험을 바탕으로 총 3개의 경로를 갖는다<sup>[13]</sup>. 목적지 노드에서 결정된 경로정보와 경로의 유효시간을 포함한 RREP 메시지를 출발지 노드로 보내고 RREP를 수신하는 중간 노드는 목적지 노드까지의 경로유효시간을 확인한다. 다중경로 발견과정 절차가 끝나 경로가 확정된 후 전송하고자하는 데이터의 특성에 따라 적합한 경로를 선택한다.

제안 라우팅기법을 위한 라우팅 테이블은 AOMDV 라우팅 테이블 엔트리에 RET(경로유효시간)를 추가 수정보완을 함으로써 적절한 경로를 선택 가능하도록 개선하였다. 그림 5는 제안 라우팅기법의 라우팅 테이블 엔트리의 구조를 보이고 있다.

라우팅 테이블은 목적지 노드의 Destination 필드와 Sequence number 필드 그리고 AOMDV에서 제안된 Advertised hop count 및 Route list 필드로 구성된다. AOMDV와 제안기법의 구조적인 차이는 Route list 필드이다. Route Effective Time 필드의 정보는 각 경로에서 노드간의 경로유효시간 중 최솟값으로써 해당경로의 유지시간이라고 볼 수 있다. 데이터를 전송하는 노드는 데이터의 특성에 따라 이러한 정보를 이용해 대체 경로들 중 안정적인 경로와 최단경로를 구분하여 전송경로를 이용한다.

스트리밍 데이터와 같이 지속적인 전송을 요구하는 데이터의 경우 라우팅테이블에서 Route Effective

Destination	Nexthop <sub>1</sub> , hopcount <sub>1</sub> , firsthop <sub>1</sub> , Route Effective Time <sub>1</sub> Nexthop <sub>2</sub> , hopcount <sub>2</sub> , firsthop <sub>2</sub> , Route Effective Time <sub>2</sub> . . .
Sequence Number	
Advertosed hop count	
Route list	
Expiration time_out	

그림 5. 제안 기법을 위한 라우팅 테이블 구조

Time 필드의 값이 가장 큰 경로로 선택하여 안정적인 경로를 선택할 수 있다. 이와 반대로 전송량이 작고 빠른 전송을 요구하는 데이터의 경우 라우팅 테이블에서 hopcount 필드 값이 가장 적은 경로를 선택하면 빠르게 전송이 가능하다. 만약 hopcount 필드의 값이 같다면 Route Effective Time 필드의 값이 큰 경로를 선택하여 최단경로 중에서도 안정적인 경로를 선택한다.

### 3.3 경로 유지

제안 기법의 경로 유지 방법은 AOMDV의 기법을 그대로 사용하지만 추가로 경로의 안정성을 고려하기 위해 노드 이동성에 기반을 둔 에러 패킷 전송 기법을 추가하였다.

기존의 AOMDV에서는 노드가 경로를 사용할 수 없을 경우에만 에러 패킷인 RERR(Route Error)을 이웃 노드들에게 전달하지만, 경로의 안정성 관점에서 볼 경우 경로의 중간 노드가 자신의 경로유효시간을 계속해서 체크하다가 자신의 경로유효시간이 임박하였다고 판단되었을 때 라우팅 테이블에 저장된 역 경로, 순 경로를 따라 네트워크에 RERR을 전송한다.

각 노드의 경로유효시간에 따라 RERR을 발생시켜 링크의 사용불가를 관련 노드에게 전달하여 경로를 관리함으로써 데이터를 전송할 노드는 마찬가지로 불필요한 경로 탐색을 반복하지 않아도 된다. 각 노드의 경로유효시간에 따른 RERR 패킷을 발생하는 조건은 자신의 경로유효시간에서 일정한 임계 시간이다. 임계시간은 선택된 경로가 데이터를 전송하는 중 경로가 단절되는 시간을 예측하여 대체 경로로 전환하기 위한 시간이다. 본 논문에서는 임계 시간인  $T_{rep}$ 를 수식(5)와 같이 구할 수 있다.

$$T_{rep} = T_{tot} + T_{source} + 2 \quad (5)$$

$T_{tot}$ 는 전체 경로를 재설정하는 시간을 의미한다.  $T_{source}$ 는 현재 노드에서부터 출발지 노드까지의 데이터 전송시간을 의미하며,  $T_{rep}$ 는 임계시간으로 선택된 경로에서 링크가 끊어지기 전에 경로를 재설정하는 시간이다.  $T_{source}$ 를 더하는 것은 RERR 패킷이 출발지 노드까지 전송되는 시간을 더해야하기 때문이다. 수식(5)에서의 2는 AOMDV의 파라미터인 LOCAL\_ADD\_TTL 값을 더하여 경로의 재설정을 고려하기 위한 시간이다.

## IV. 실험 환경 및 수행

본 장에서는 제안 라우팅기법의 성능평가를 위해 NS-2를 이용한다. AOMDV의 시뮬레이션은 AOMDV 논문의 저자가 웹상에 공개한 소스를 사용하였고, 제안 기법은 그 소스를 수정하여 실험하였다.

### 4.1 실험 모델

제안 기법의 성능을 평가하기 위해서 모바일 노드는 CMU(Carnegie Mellon University)의 Monarch 연구그룹에서 개발한 모델을 이용하여 표 1과 같이 설정하였다. 이 환경 모두 CMU의 Monarch 그룹에서 배포하는 setdest 프로그램을 이용하여 생성하였다. 통신은 분포된 노드 중 임의로 두 개의 노드를 선정해 통신을 하는 방식을 사용하였다. 실험 시간은 실험의 편의성과 가독 편의성을 위해 100초로 설정하였다. 최대 경로 개수인 k, 즉 목적지 노드가 응답할 수 있는 최대 RREP 개수는 3으로 설정하였다. 기존 논문이 실험을 바탕으로 k값을 3으로 설정하여 실험하였기 때문에 동등한 환경을 위해 본 논문의 실험에도 설정하였다.

각각의 실험의 결과는 매 변화하는 환경마다 각각 10번씩 시뮬레이션을 수행하여 가장 큰 값과 가장 작은 값을 제외한 평균값을 사용하였다.

### 4.2 실험평가 결과

본 논문에서의 성능 평가는 링크 오류(link failure)가 발생하는 횟수와 노드의 평균속도가 변함에 따른 실험을 기준으로 하며, 각 실험의 평가항목으로는 처리량과 데이터 패킷 당 전송 지연시간, 그리고 제어패킷 오버헤드가 기존의 방법들과 어떻게 다른지를 비교 평가한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터 값

파라미터	값
시뮬레이션 공간	1000m X 1000m
이동 노드의 수	60개
이동 노드의 속도	각 20개씩 2m/sec, 4m/sec, 8m/sec
데이터 패킷 사이즈	256 bytes
RREQ 패킷 사이즈	64 bytes
RREP 패킷 사이즈	
RERR 패킷 사이즈	32 bytes
데이터 패킷 전송율	1 Mbps
시뮬레이션 시간	100초

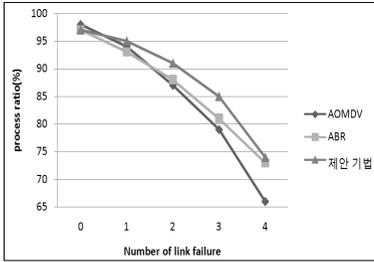


그림 6. 링크오류횟수에 따른 처리율

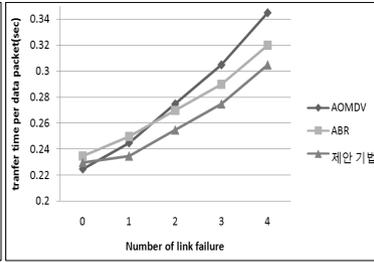


그림 7. 링크오류횟수에 따른 전송 지연시간

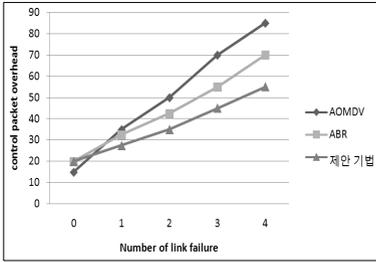


그림 8. 링크오류횟수에 따른 제어패킷 오버헤드

#### 4.2.1 링크 오류 발생횟수에 대한 평가

그림 6은 링크 오류 발생횟수가 변함에 따라 각 프로토콜들의 처리량의 변화정도를 보여준다. 링크 오류가 한 번도 일어나지 않는 상태에서는 모든 방법에서 처리량이 우수하게 나타나지만 링크 오류의 발생횟수가 증가함에 따라 처리량의 변화가 심한 것을 알 수가 있다. AOMDV와 ABR은 경로가 끊어졌을 경우 경로를 재설정하는데 걸리는 시간이 많기 때문에 링크 오류가 발생하면 처리량이 낮아진다. 하지만 본 논문에서 제안하는 기법은 경로 유지시간을 통한 임계시간을 통해 경로가 끊어지더라도 데이터 전송이 중단되지 않도록 유지하기 때문에 지속적으로 데이터 패킷을 전송할 수 있게 되어 높은 처리량을 나타낸다.

그림 7은 링크 오류의 발생횟수가 변함에 따라 데이터 패킷 당 전송 지연시간이 어떻게 변하는지를 보여준다. 링크 오류가 한 번도 발생하지 않은 상태에서는 세 개의 프로토콜에서 별 차이가 나타나지 않지만 링크 오류의 발생횟수가 증가함에 따라 데이터 패킷 당 전송 지연시간이 크게 차이는 나는 것을 알 수 있다. AOMDV와 ABR은 경로가 끊어졌을 경우 다시 경로를 재설정하는데 걸리는 시간이 제안 프로토콜보다 매우 크기 때문에 패킷 당 전송 지연시간이 그만큼 늦어진다. 처음에 링크 오류가 한 번도 발생하지 않았을 경우, AOMDV가 가장 낮은 전송 지연시간을 나타내는데, 그 이유는 처음 경로를 설정할 때 가장 짧은 경로를 이용하여 설정하므로 재설정이 한 번도 일어나지 않은 상태에서는 전송 속도가 가장 빠르기 때문이다.

그림 8은 링크 오류의 발생횟수가 변함에 따라 제어패킷 오버헤드가 어떻게 변하는지를 보여준다. 제어패킷 오버헤드는 경로 요청 패킷, 경로 응답 패킷, 경로 에러 패킷, 핸드오프 패킷, 그리고 정기적으로 주고받는 신호와 같은 제어 패킷들의 합을 나타낸다. AOMDV와 ABR의 경우는 링크 오류가 발

생했을 때 경로 요청 패킷을 브로드캐스트하고 다시 경로 응답 패킷을 수신해야 하기 때문에 제어패킷 오버헤드가 높게 나타나지만, 제안 기법의 경우는 경로 응답 패킷이 필요 없고 또한 경로 요청 패킷도 전체 경로 중 부분적으로 브로드캐스트 되기 때문에 제어패킷 오버헤드가 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다.

#### 4.2.2 노드의 최대 속도 변화에 대한 평가

그림 9는 최대 노드 속도에 따른 패킷 처리율을 보여주고 있다. 노드의 이동성이 증가하면 통신에 참여하는 노드의 교체가 빈번하게 일어나므로 링크 에러가 자주 일어나게 된다. 때문에 최단경로를 선택하는 AOMDV보다 안정적인 경로를 선택하는 제안기법의 처리율이 높음을 알 수 있다. AOMDV는 최대 속도가 증가함에 따라 늘어나는 링크 에러로 인해 처리율이 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 그에 반해 제안 기법은 링크의 안정성에 의한 패킷의 처리율이 작은 폭으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이동성이 가장 큰 최대 속도가 30m/sec인 환경에서는 약 8%의 효과를 보여주고 있다.

그림 10은 최대 노드 속도에 따른 전송 지연시간을 보여주고 있다. 노드 속도가 증가함에 따라 제안 기법의 지연시간이 기존기법의 지연시간보다 작은 폭으로 증가함을 알 수 있다. 속도가 느린 환경에서는 전송 지연시간에 큰 영향을 주지 않는다. 노드의 이동성이 거의 없기 때문에 모든 경로가 에러가 발생하여 다시 경로 탐색을 해도 같은 노드들로 이루어진 경로를 검색할 확률이 높기 때문이다. 이런 경우에는 이동성을 고려해 경로를 선택해도 큰 효과를 보기 힘들다. 게다가 제안 기법은 AOMDV보다 출발지 노드와 목적지 노드 사이에 노드 수가 더 많을 가능성이 높기 때문에 더 많은 노드가 통신에 참여할 수 있다. 하지만 속도가 증가하면 제안기법의 지연시간이 작음을 보여주고 있다. 특히 노드의

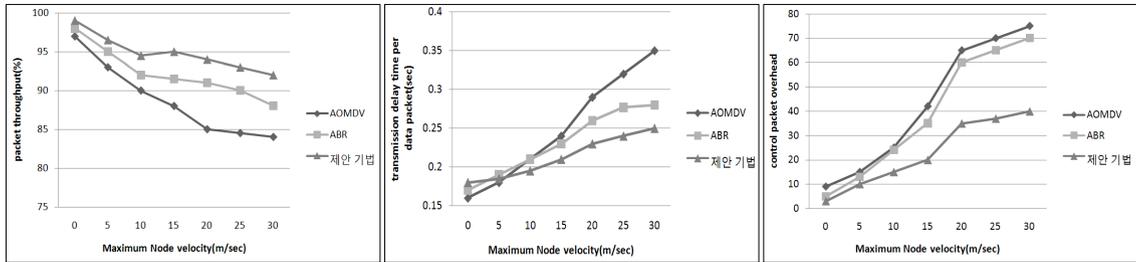


그림 9. 노드의 최대 속도에 따른 처리율    그림 10. 노드의 최대 속도에 따른 전송 지연시간    그림 11. 노드의 최대 속도에 따른 제어패킷 오버헤드

교체가 빈번한 최대 속도 30m/sec인 환경에서는 제안 기법이 AOMDV보다 약 0.1sec의 지연시간이 단축되는 것을 볼 수 있다.

그림 11은 최대 노드 속도에 따른 제어 패킷 오버헤드를 보여주고 있다. 제안 기법에는 이동성을 예측하는 부분이 추가되어서 제어 패킷으로 인한 오버헤드가 클 것으로 여겨진다. 하지만, 실험결과에서는 오히려 제안 기법이 경로 탐색 횟수가 적기 때문에 더 오버헤드가 작다는 것을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 AOMDV에서 이웃노드와의 경로 유효시간을 구하였다. 경로유효시간은 노드의 이동성을 고려하여 이웃노드가 전송범위에서 벗어날 때까지의 시간이다. 본 논문에서는 사용가능한 다중경로를 확보한 후 이를 동적으로 선택하는 기법을 제안하였다. 또한 각 노드의 경로유효시간이 임계시간에 다다랐을 경우 에러 패킷을 발생하여 안정성을 보장하는 기법을 도입하였다. 연구 결과 이러한 이동성을 고려한 기법개선이 애드-혹 네트워크에서의 성능에 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

NS-2를 이용한 실험을 통해 제안한 기법을 적용했을 때, 경로 설정하는 과정에서는 처리량이 많았었지만 노드의 개수가 늘어날수록 점점 적어졌다. 또한 링크에러가 발생 시 처리량과 전송지연시간, 오버헤드가 줄었음을 알 수 있었다.

향후 연구과제로 본 논문에서 각 노드의 이동 속도와 이동방향이 임의적으로 변경되는 환경을 고려하는 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다. 또한 각 노드의 경로유효시간이 임계시간에 다다랐을 때 RERR 패킷이 발생하는 환경에 대한 좀 더 깊이 있는 연구가 필요하다.

본 논문에서 제안하는 이동성 예측 라우팅 기법과 같이 이동성을 예측하는 연구는 많이 이뤄지고

있다. 이동 애드-혹 네트워크에서는 초기 군사적인 목적에서부터 연구가 시작되어 앞으로 다양한 응용 분야로의 적용이 예상되고 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] S. Corson, J. Macker. "Mobile ad hoc Networking (MANET)," *Internet Draft RFC*, Jan., 1999.
- [2] Charles E. Perkins, "Mobile Ad Hoc Networking Terminology," *Internet Draft*, Nov., 1998.
- [3] D.Johnson, C. Perkins, J. Arkko, Mobility Support in IPv6, *RFC 3775*, Jun., 2004.
- [4] Andrew S. Tanenbaum, "Computer Networks," *Prentice-Hall International Inc., Fourth Edition*, pp.345-374, 2003.
- [5] S. Corson, J. Macker, S. Batsell, "Architectural Considerations for Mobile Mesh Networking," *Internet Draft*, May, 1996.
- [6] Ozan, K. Tonguz, Gianluigi Ferrari. "Ad Hoc Wireless Networks: A Communication-Theoretic Perspective," *John Wiley & Sons*, pp.5-14, 2006.
- [7] C. Perkins and E. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," *In Pro. Of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing System and Applications*, pp. 90-100, Feb., 1999.
- [8] C.E Perkins and P.Bhagwat, "Routing over Multi-hop Wireless Network of Mobile Computers," *SIGCOMM'94 : Computer Communications Review*, pp. 234-244, Oct., 1994.
- [9] Mahesh K. Marina Samir R. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks," *In IEEE ICNP 2001*, pp.14-23, Nov.,

- 2001.
- [10] 김기일, 김상하, “MANET에서의 다중 경로 라우팅 프로토콜 연구 동향”, 정보통신연구진흥원 주간기술동향 1203호, Jun 2004
  - [11] C. K. Toh, “Associativity-Based Routing(ABR) for Ad Hoc Mobile Networks,” *Wireless Personal Communications*, Vol.4, No.2, pp.1-36, Mar., 1999.
  - [12] C. K. Toh: “Long-lived Ad-Hoc Routing based on the concept of Associativity,” *IETF MANET Working Group. Internet Draft*, Mar 1999.
  - [13] The networks simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/>.
  - [14] A. Nasipuri, R. Castaneda, and S. R. Das, “Performance of Multipath Routing for On-demand Protocols in Mobile Ad Hoc Networks,” *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications(MONET)*, Vol.6, Issue4, pp.339-349, Aug., 2001.

**차 현 중 (Hyun-jong Cha)** 준회원



방아키텍처

2005년 2월 광운대학교 컴퓨터 소프트웨어학과 학사  
 2008년 8월 광운대학교 컴퓨터 과학과 석사  
 2009년 3월~현재 광운대학교 방위사업학과 석사과정  
 <관심분야> 정보보안, NCW, 국

**한 인 성 (In-sung Han)** 정회원



보안, 센서 네트워크 보안, 무선 서비스 발견 및 전달

2001년 2월 배재대학교 컴퓨터 공학과 학사  
 2004년 8월 광운대학교 컴퓨터 과학과 석사  
 2004년 9월~현재 광운대학교 컴퓨터과학과 박사과정  
 <관심분야> 애드 혹 네트워크

**양 호 경 (Ho-kyung Yang)** 정회원



보안, NCW

2005년 8월 광운대학교 컴퓨터 소프트웨어학과 학사  
 2007년 8월 광운대학교 컴퓨터 과학과 석사  
 2008년 3월~현재 광운대학교 방위사업학과 박사과정  
 <관심분야> IT 거버넌스, 정보

**조 용 건 (Yong-gun Jo)** 정회원



<관심분야> NCW, 국방아키텍처, 정보보안

1982년 2월 육군사관학교 전자공학과 이학사  
 1988년 12월 국방대학원 전산학과 공학석사  
 1998년 2월 KAIST 전산학과 공학박사  
 2007년 9월~현재 광운대학교 방위사업학과 교수

**유 황 빈 (Hwang-bin Ryou)** 종신회원



<관심분야> 멀티미디어통신, 네트워크 보안, 무선네트워크 보안, 센서 네트워크 보안

1975년 2월 인하대학교 전자공학과 공학사 졸업  
 1977년 2월 연세대학교 대학원 공학석사 졸업  
 1989년 2월 경희대학교 대학원 공학박사 졸업  
 1981년 3월~현재 광운대학교 컴퓨터소프트웨어학과 교수