

# 모바일 애드혹 네트워크에서의 AODV 기반 최대 비중첩 다중경로 라우팅 프로토콜

김 중 태<sup>†</sup> · 모 상 만<sup>\*\*</sup> · 정 일 용<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

모바일 애드혹 네트워크(MANET)는 어떤 고정 기반구조나 중앙 집중형 관리 구조를 갖지 않는 모바일 노드의 집합으로 구성된다. AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector routing)는 MANET용 온디맨드(on-demand) 라우팅 프로토콜로서, IETF (Internet Engineering Task Force)의 MANET 워킹 그룹에 제출된 기고문(Internet Draft)이다. 본 논문에서는 최대의 노드 비중첩 및 링크 비중첩을 제공하고, AODV 프로토콜은 물론 기존의 AODV 기반 다중경로 프로토콜보다 성능이 우수한 새로운 최대 비중첩 다중경로 AODV (MDAODV) 프로토콜을 제안한다. 본 연구의 핵심 아이디어는 경로 요청(RREQ: Route REQuest) 메시지에 소스 라우팅(source routing) 주소 정보를 추가시켜 확장하는 것과 수신 노드가 일정 시간 동안 도착한 다수의 RREQ를 조사하여 2개의 경로를 선택하는 것이다. 제안한 MDAODV 프로토콜은 기존 다중경로 라우팅 프로토콜에 비해 높은 신뢰성과 우수한 견고성을 갖는 경로를 제공할 뿐만 아니라, 수신 노드에서 경로를 결정하므로 중간 노드에서의 오버헤드를 감소시킨다. 성능평가 결과에 의하면, 제안한 MDAODV 프로토콜은 기존의 AODV 기반 다중경로 프로토콜보다 패킷 전달율과 평균 지연시간의 측면에서 성능이 우수한 반면 라우팅 오버헤드는 오히려 감소하는 경향을 나타낸다.

**키워드 :** 모바일 애드혹 네트워크, 라우팅 프로토콜, 다중경로 라우팅, 비중첩 다중경로, AODV

## A Maximally Disjoint Multipath Routing Protocol Based on AODV in Mobile Ad Hoc Networks

Jungtae Kim<sup>†</sup> · Sangman Moh<sup>\*\*</sup> · Ilyong Chung<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

A mobile ad hoc network (MANET) is a collection of mobile nodes without any fixed infrastructure or any form of centralized administration such as access points and base stations. The ad hoc on-demand distance vector routing (AODV) protocol is an on-demand routing protocol for MANETs, which is one of the Internet-Drafts submitted to the Internet engineering task force (IETF) MANET working group. This paper proposes a new multipath routing protocol called maximally disjoint multipath AODV (MDAODV), which exploits maximally node- and link-disjoint paths and outperforms the conventional multipath protocol based on AODV as well as the basic AODV protocol. The key idea is to extend only route request (RREQ) message by adding source routing information and to make the destination node select two paths from multiple RREQs received for a predetermined time period. Compared to the conventional multipath routing protocol, the proposed MDAODV provides more reliable and robust routing paths and higher performance. It also makes the destination node determine the maximally node- and link-disjoint paths, reducing the overhead incurred at intermediate nodes. Our extensive simulation study shows that the proposed MDAODV outperforms the conventional multipath routing protocol based on AODV in terms of packet delivery ratio and average end-to-end delay, and reduces routing overhead.

**Key Words :** Mobile Ad Hoc Network, Routing Protocol, Multipath Routing, Disjoint Multipath, AODV

### 1. 서 론

모바일 애드혹 네트워크(MANET)[1, 2]는 어떤 고정 기반구조나 중앙 집중형 관리 구조를 갖지 않는 모바일 노드

의 집합으로 구성된다. 다시 말하면, 액세스 포인트(AP)나 기지국과 같은 기존 통신 기반 구조가 없는 모바일 노드들의 임시적인 네트워크라고 할 수 있다. 이와 같은 네트워크에서 각 노드는 멀티홉[3] 라우팅을 위한 라우터 역할도 수행한다. 모바일 애드혹 네트워크는 군사 작전, 긴급 재난 구조 및 그룹 역동성을 지원하는 상업적 응용에 효과적으로 적용될 수 있다.

모바일 애드혹 네트워크의 토폴로지는 노드 이동성 때문

\* 이 논문은 2004년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

† 준 회원 : 조선대학교 전자계산학과 석사과정

\*\* 종신회원 : 조선대학교 인터넷공학부 교수

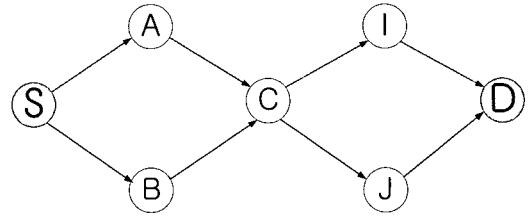
\*\*\* 종신회원 : 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

논문접수 : 2004년 11월 26일, 심사완료 : 2005년 4월 25일

에 동적인 변화를 꾸준히 유지시켜야 한다. 그래서 송신 노드에서 수신 노드까지 연결되는 경로를 찾기 위한 라우팅 프로토콜은 유선 및 무선 셀룰러 네트워크에서보다 훨씬 복잡하다. 라우팅 프로토콜은 크게 프로액티브(proactive) 방식의 테이블 기반(table-driven) 프로토콜과 리액티브(reactive) 방식의 온디맨드(on-demand) 프로토콜의 두 범주로 나뉜다. 테이블 기반 프로토콜은 네트워크 내의 송수신 노드 사이에 최신 경로를 계속적으로 유지한다[3, 4]. 즉, 사용하지 않을 경로에 대해서까지도 경로를 유지 관리하는 경우가 발생한다. DSDV(Destination Sequenced Distance Vector routing) [5]와 CGSR(Cluster-head Gateway Switch Routing)[6]과 같은 프로토콜이 테이블 기반 프로토콜의 대표적인 예이다. 반면에 온디맨드 프로토콜은 단지 송수신 노드 사이에서 현재 사용하는 경로만을 유지한다[3, 4]. 송신 노드가 수신 노드까지 데이터 패킷을 보내려 한다면 경로를 새로이 만든다. 경로의 갱신 시 제어 오버헤드는 테이블 기반 프로토콜보다 훨씬 적게 발생한다. DSR(Dynamic Source Routing)[7, 8]과 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector routing)[9-12]는 온디맨드 프로토콜의 대표적인 예이다. 하이브리드(hybrid) 라우팅 프로토콜은 테이블 기반 프로토콜과 온디맨드 프로토콜을 결합한 것으로 볼 수 있다[4]. ZRP(Zone Routing Protocol)[13] 프로토콜이 하이브리드 라우팅 프로토콜의 대표적인 예이다. 특히, AODV는 IETF(Internet Engineering Task Force)의 모바일 애드혹 네트워크 워킹 그룹[2]에 기고문(Internet Draft)으로 제안된 프로토콜로서, 전 세계적으로 가장 활발하게 연구 및 구현되고 있다.

MANET 라우팅 프로토콜들은 노드의 이동으로 인하여 동적으로 변화하고 빈번하게 손상되는 불안정한 라우팅 경로를 갖는다. 이를 보완하기 위하여 기존의 다양한 라우팅 프로토콜에 다중경로를 제공하려는 많은 연구가 이루어져 왔다[14-29]. 다른 MANET 라우팅 프로토콜처럼, AODV 역시 동적으로 변화하고 빈번하게 손상되는 불안정한 라우팅 경로를 갖는다. 이 문제를 해결하기 위하여, 백업 라우팅을 위한 다중경로를 제공하려는 시도가 연구되어 왔으며, 루프 없는(loop-free) 링크 비중첩(link-disjoint)을 보장하는 다중경로를 제공하는 AOMDV(Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector routing) 프로토콜[27-29]이 제안되었다. 그러나, AOMDV는 노드 비중첩을 고려하지는 않는다. (그림 1)은 AOMDV에서 링크 비중첩이지만 노드 중첩인 경로의 예를 보여준다. 즉, 2개의 S→A→C→I→D 경로와 S→B→C→J→D 경로는 완전하게 링크 비중첩이지만 노드 C가 중첩되어 있다. AOMDV에서 중간 노드는 다중경로 설정 과정에 적극적으로 참여하며, 결과적으로 중간 노드에서 유발되는 오버헤드를 증가시킨다.

본 논문에서는 최대의 노드 비중첩과 링크 비중첩을 제공하고, AODV 프로토콜 및 기존의 AODV 기반 다중경로(multipath) 프로토콜보다 성능이 우수한 새로운 최대 비중첩 다중경로 AODV (MDAODV) 프로토콜을 제안한다. 본 연구에서 최대의 노드 비중첩과 링크 비중첩을 제공하는 핵



(그림 1) 링크 비중첩이지만 노드 중첩인 경로의 예

심 아이디어는 경로 요청(RREQ : Route REQuest) 메시지에 소스 라우팅 주소 정보를 추가시켜 확장한다는 것과 수신 노드가 미리 정해진 일정 시간 동안 도착한 다수의 RREQ들 사이에서 2개의 패스를 선택하는 것이다. 효율성과 저비용 구현을 위하여, 경로 선택 알고리즘은 수신 노드에 처음 도착한 RREQ의 경로를 주경로(main path)로 설정하고, 이후 도착한 RREQ의 경로 중에서 주경로와 비교해 최대의 노드 및 링크 비중첩을 갖는 경로를 대체경로(alternate path)로 설정한다.

기존 다중경로 라우팅 프로토콜과 비교하면, 제안한 MDAODV 프로토콜은 높은 신뢰성과 우수한 견고성을 갖는 경로를 제공하며 아울러 우수한 성능을 제공한다. 이는 현재 라우팅 경로가 손상 되었을 때 대체경로를 사용할 수 있을 뿐만 아니라 대체경로가 주경로에 대하여 최대의 노드 및 링크 비중첩 경로이기 때문이다. 또한, 제안한 MDAODV 프로토콜은 수신 노드에서 경로를 결정하므로 중간 노드에서의 오버헤드가 감소시킨다. 본 연구의 시뮬레이션 결과에 의하면, 제안한 MDAODV 프로토콜은 기존의 AODV 기반 다중경로 프로토콜보다 패킷 전달율과 평균 지연시간의 측면에서 성능이 우수한 반면 라우팅 오버헤드는 오히려 감소하는 경향을 나타낸다. 또한, 제안하는 MDAODV 프로토콜은 높은 노드 이동성, 많은 세션(연결) 수, 과중한 인가 부하 및 높은 노드 밀도 등과 같은 열악한 운용 환경에서 기존 방법들보다 더 견고한 경로를 제공하는 장점을 지닌다.

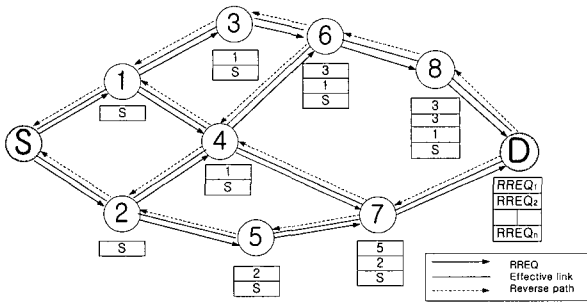
본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2절에서는 제안한 최대의 노드 비중첩 및 링크 비중첩 다중경로 라우팅 프로토콜의 경로 발견, 데이터 전송, 경로 유지 등의 동작 및 특징을 기술한다. 제 3절에서는 시뮬레이션 환경과 성능 평가 결과에 대하여 논한다. 마지막 4절에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

## 2. AODV 기반 최대 비중첩 라우팅 프로토콜

본 절에서는 제안한 최대 비중첩 다중경로 AODV (MDAODV) 프로토콜의 동작과 특징에 대하여 기술한다. MDAODV의 경로 발견 알고리즘을 먼저 기술한 후, 발견된 경로를 따라 데이터 패킷을 전송하는 방법을 기술하며, 노드 고장 및 링크 파손에 따른 경로 유지관리 방법을 기술한다.

### 2.1 경로 발견

기존의 AOMDV 프로토콜이 노드 비중첩은 제공하지 않



(그림 2) 소스 라우팅 주소 정보가 포함된 RREQ 전송

고 링크 비중첩만을 제공하는데 비하여, 제안한 MDAODV 프로토콜은 최대의 노드 비중첩과 링크 비중첩을 제공함으로써 AODV 및 AOMDV 프로토콜보다 우수한 성능을 갖는다. 최대의 노드 비중첩과 링크 비중첩을 제공하는 핵심 아이디어는 RREQ에 소스 라우팅 주소 정보를 추가시켜 확장하는 것과 수신 노드가 미리 정해진 일정 시간(즉, 프로토콜 파라미터 중 1초의 RREQ\_WAITING\_TIME) 동안 도착한 다수의 RREQ들 중에서 2개의 경로를 선택하는 것이다. 여기서, RREQ에 소스 라우팅 주소 정보를 추가시켜 확장하는 설계 개념이 AOMDV 프로토콜과 가장 큰 차이점이라 할 수 있다.

송신 노드는 수신 노드로의 경로를 필요로 할 때 RREQ를 생성하여 브로드캐스트 전송함으로써 경로 발견 과정을 시작한다. RREQ가 네트워크 전역에 플러딩 되기 때문에, 한 노드는 여러 개의 같은 RREQ를 받을 수도 있다. 여기서 주목할 할 점은 RREQ가 수신 노드에 도착한 후 수신 노드가 최대의 노드 비중첩 및 링크 비중첩성 경로를 찾아내기 위해서는 송신 노드나 중간 노드에서 RREQ를 전송할 때 소스 라우팅 주소 정보로서 자신의 IP 주소를 RREQ에 추가한다는 것이다. AODV에서 처음으로 도착한 RREQ는 역 경로(reverse path) 형성하는데 이용하고, 중복으로 도착한 RREQ는 버리게 된다. 그러나, MDAODV에서는 AOMDV에서처럼 중복 RREQ가 다중경로를 형성하는데 효과적으로 활용될 수 있다. 즉, 모든 중복 RREQ는 잠재적인 대체경로를 찾기 위해 검사된다. 다시 말해, 중간 노드는 다수의 RREQ를 수신하여 다수의 역경로를 설정하며, 해당 RREQ에 대하여 이전에 전송한 적이 없으면 패킷에 소스 라우팅 주소 정보를 추가하여 다시 브로드캐스트 전송한다. 즉, 처음으로 도착한 RREQ만이 다시 브로드캐스트 된다.

첫 번째 RREQ를 수신한 후, 수신 노드는 미리 정해진 일정 시간(즉, 1초의 RREQ\_WAITING\_TIME) 동안 이어서 도착하는 RREQ를 수신한다. 수신 노드는 자신의 수신 순서 번호가 RREQ에 포함되어 있는 수신 순서 번호보다 크거나 같으면 중간 노드에서와 같은 방법으로 역경로를 형성한다. 그리고 나서, 2개의 경로를 결정하게 된다. 효율성과 저비용 구현을 위하여, 경로 설정 알고리즘은 처음 수신한 경로(최단 경로)를 주경로로 선택한 후에 주경로와 비교해 최대의 노드 비중첩성 및 링크 비중첩성을 갖는 대체경로를 찾는다. 알고리즘 1은 수신 노드에서의 경로 선택 알고리즘을 기술

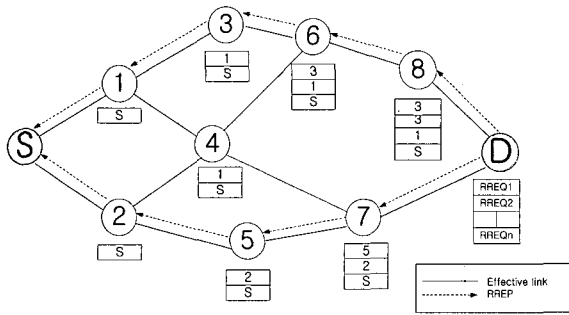
한다. 단계 2에서는 수신노드에 의해 수집된 모든 경로에 대하여 노드 비중첩 및 링크 비중첩을 평가하기 위하여 노드 집합과 링크 집합을 정의한다. 이때, 수신 노드는 RREQ에 포함되어 전송된 노드 주소 정보를 참조하여 해당 경로를 거처온 노드와 링크를 알 수 있으며, 각 경로에 대한 이들 정보를 상호 비교함으로써 노드 비중첩 및 링크 비중첩을 판단하게 된다. 단계 3에서는 최단 경로를 주경로로 선택한다. 단계 4에서는 두 번째 경로부터 마지막 경로까지의  $n-1$ 개의 경로에 대하여 각 경로를 주경로와 비교함으로써 중첩 노드의 수와 중첩 링크의 수를 계산한다. 단계 5와 6에서는, 주경로와 최대의 노드 비중첩성과 링크 비중첩성을 갖는 대체경로 선택한다.

**알고리즘 1: Select\_Path ( $R, m_s, m_d, n$ )**

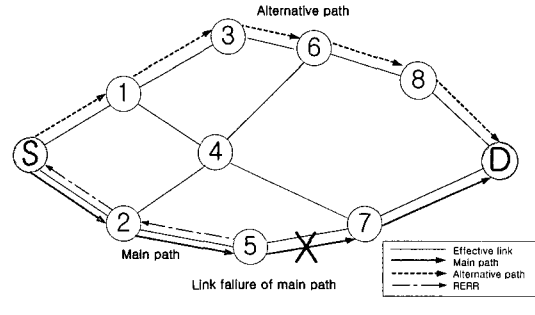
1.  $R=(r_1, r_2, \dots, r_n)$ 은 미리 정해진 일정 시간 동안  $m_d$ 가 수신한 RREQ의 집합,  $m_s$ 는 송신 노드,  $m_d$ 는 수신 노드,  $n$ 은 수신한 RREQ의 수라고 한다. 여기서,  $i$ 번째 수신한 RREQ  $r_i$ 는  $k(i)$ 의 경로 길이를 갖는 모바일 노드의 순서 리스트  $(m_s, m_{i,1}, m_{i,2}, \dots, m_{i,k(i)-1}, m_d)$ 로 구성된 경로를 포함하고 있다.
2.  $n$ 개의 경로에 대하여  $i$ 번째 경로의 노드 집합  $Q_i$ 와 링크 집합  $L_i$ 를 정의한다. 즉,  $Q_i=(q_{i,1}, q_{i,2}, \dots, q_{i,k(i)+1})$ 를  $r_i$  안에 포함된  $k(i)+1$ 개 노드들의 순서 리스트  $(m_s, m_{i,1}, m_{i,2}, \dots, m_{i,k(i)-1}, m_d)$ 의 집합,  $L_i = \{l_{i,1}, l_{i,2}, \dots, l_{i,k(i)}\}$ 를  $k(i)$ 개 링크  $((q_{i,1}, q_{i,2}), (q_{i,2}, q_{i,3}), \dots, (q_{i,k(i)}, q_{i,k(i)+1}))$ 의 집합이라 한다. 여기서,  $i = 1, 2, \dots, n$ 이고  $k(i)$ 는  $i$ 번째 경로에서의 링크의 수이다(즉,  $k(i) = |L_i|$ ).
3. 첫 번째 경로  $P_1=(m_s, m_{1,1}, m_{1,2}, \dots, m_{1,k(1)-1}, m_d)$ 를 주경로로 선택한다.
4.  $j$ 번째 경로  $P_j (m_s, m_{j,1}, m_{j,2}, \dots, m_{j,k(j)-1}, m_d)$ 에 대하여,  $Q_1$ 와  $Q_j$ 의 중첩 노드의 수( $v_j = |Q_1 \cap Q_j|$ ) 및  $L_1$ 와  $L_j$ 의 중첩 링크의 수( $e_j = |L_1 \cap L_j|$ )를 계산한다. 여기서,  $j = 2, 3, \dots, n$ 이다.
5. 모든  $j$ 에 대하여  $u_{min} \leq v_j$ 가 되도록  $v_j$ 의 최소값  $u_{min}$ 을 결정한다. 여기서,  $j = 2, 3, \dots, n$ 이다. 그리고 나서,  $P_2$ 에서  $P_n$ 까지의  $n-1$ 개 경로로부터  $u_{min}$ 을 갖는 경로를 선택한다. 만약  $u_{min}=0$ 이고  $u_{min}$ 을 갖는 경로가 2개 이상이면, 그 중에서 중첩 링크의 수가 가장 적은 경로를 선택한다.
6. 선택된 경로가 여전히 2개 이상인 경우, 그 중에서 가장 먼저 수신한 RREQ에 해당하는 경로를 선택한다.

주경로 및 대체경로에 대하여, 수신 노드는 송신 노드를 향하여 각각의 RREP를 전송한다. 여기서 주목할 할 점은, AOMDV와 비교하여 적은 라우팅 오버헤드 및 적은 수의 라우팅 테이블 엔트리를 갖는 다중경로 라우팅을 위하여, 단지 2개의 경로만을 선택한다는 것이다. 왜냐하면 두 경로가 노드 이동성에 의하여 손상된다면 세 번째 이후의 경로 역시 손상될 가능성이 매우 높기 때문이다.

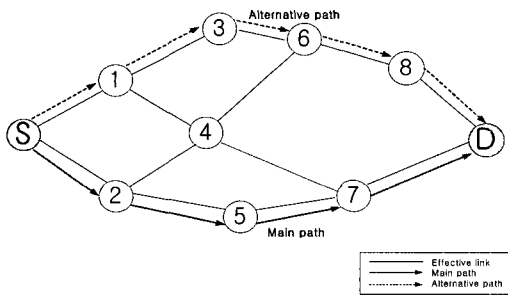
(그림 2)~(그림 4)에서는 제안한 MDAODV 프로토콜에서의 경로 발견에 대한 단계적인 예시를 보여준다. (그림 2)는 소스 라우팅 주소 정보가 포함된 RREQ 전송을 나타낸다. 이때, 소스 라우팅 주소 정보는 RREQ가 수신 노드를 향하여 노드들을 거쳐가면서 모아진다. (그림 3)에서는 주경로와 대체경로에 대한 RREP 응답을 점선 화살표로 나타내고 있다. (그림 4)는 송신 노드와 수신 노드 사이에서 데이터 패킷을 전송하기 위해 설정된 2개의 경로인 주경로와 대체경로를 나타낸다.



(그림 3) 주경로와 대체경로에 대한 RREP 응답



(그림 5) 링크 손상에 의한 경로 유지관리의 예



(그림 4) 데이터 전송을 위해 설정된 2개의 경로

2.2 데이터 패킷 전송

MDAODV 프로토콜에서의 데이터 전송은 기본적으로 AODV 프로토콜 및 AOMDV 프로토콜에서와 같은 방법으로 수행된다. RREP가 해당 노드들의 역경로를 따라서 수신 노드로부터 송신 노드로 전송되면, 송신 노드는 주경로와 대체경로 설정을 위하여 자신의 라우팅 정보를 갱신하고, 전송할 데이터 패킷이 있으면 전송한다. 통상적으로 노드 고장이나 링크 손상과 같은 예상치 못한 장애 때문에 이용할 수 없게 될 때까지 주경로를 통해서 데이터 패킷을 전송한다. 주경로를 이용할 수 없게 되면, 대체경로를 통해 즉시 데이터 패킷 전송이 이루어진다. 만약 주경로와 대체경로 둘 다 이용할 수 없게 된다면, 새로운 경로를 다시 찾기 위하여 경로 발견 절차를 수행한다.

2.3 경로 유지관리

노드 고장 및 링크 손상은 사용 중인 라우팅 경로의 손상을 초래할 수 있다. 특히 모바일 애드혹 네트워크에서는 노드 이동성으로 인해 네트워크 링크가 손상되는 경향이 많다. (그림 5)는 링크 (5, 7)의 고장에 의한 경로 유지관리의 예를 나타낸다. 링크의 손상이 일어나면, 손상된 링크(그림 5)에서의 링크 (5, 7)의 전방 노드(그림 5)에서의 노드 5)는 라우팅 테이블에서 링크 손상으로 도달할 수 없는 모든 수신 노드 정보를 무효화 시킨다. 그리고 나서, 손실된 수신 노드 정보를 포함한 RERR을 생성하여 송신 노드로 향하는 노드(그림 5)에서의 노드 2)에게 전송한다. 즉, 노드 5가 링크 (5, 7)의 고장을 검출하면, 송신 노드를 향해 RERR을 보낸다. 만약 손상 링크를 이용했던 이전 노드들이 다수라면 (이들 노드들은 (그림 5)의 경우 노드 5에서 관리하는 precursor를 참조함으로써 알 수 있음), RERR을 브로드캐스트한다. 여기서, precursor는 AODV 프로토콜[9-12]에서 정의된 것으로서, 각 노드에서 기록 관리하는 '자신을 향한 이전 노드들'의 목록이다. RERR을 받은 송신 노드(그림 5)에서의 노드 S)는 대체경로를 통해 데이터 패킷을 전송하며, RERR을 수신한 송신 노드는 해당 수신 노드(그림 5)에서의 노드 D)로의 경로가 여전히 필요할 경우에 한해 경로 발견을 다시 시작한다. 여기서 주목할 점은 RERR을 사용하는 경로 유지관리 측면에서 AODV와 제안한 MDAODV 사이의 커다란 차이는 거의 없다는 점이다.

<표 1> MDAODV 프로토콜 동작

	송신 노드	중간 노드	수신 노드
경로 발견 (RREQ)	1. 만약 수신 노드들의 유효 경로가 존재하면, 그것을 사용한다. 그렇지 않으면, 자신의 IP 주소를 RREQ에 첨부하여 브로드캐스트한다.	2. 만약 수신 노드들의 유효 경로가 존재하면, 송신 노드를 향해 RREP를 전송한다. 그렇지 않으면, 자신의 IP 주소를 RREQ에 첨부하여 다시 브로드캐스트한다.	3. 처음 수신한 RREQ에 포함된 경로를 주경로로 설정한다. 미리 정해진 일정 시간 동안 기다린 후, 주경로와 비교해 최대의 노드 비중침성 및 링크 비중침성을 갖는 경로를 대체경로로 설정한다.
경로 발견 (RREP)	6. 주경로와 대체경로를 통하여 2개의 RREP를 받은 후, 라우팅 테이블을 갱신한다.	5. RREP를 받은 후, 라우팅 테이블을 갱신하고 다시 송신 노드를 향하여 RREP를 전송한다.	4. 주경로와 대체경로를 통하여 송신 노드에게 각각 RREP를 전송한다.
경로 유지관리 (RERR)	2. RREP을 받은 후, 주경로의 링크 손상이면 대체경로로 데이터 패킷을 전송한다. 대체경로의 링크 손상이면, 새로운 경로 발견을 위해 RREQ를 생성하여 브로드캐스트한다.	1. 주경로나 대체경로의 링크 오류를 발견하면, RERR을 송신 노드에게 전송한다.	
데이터 전송	1. 라우팅 테이블의 경로 (주경로 또는 대체경로)를 따라 수신 노드로 데이터 패킷을 전송한다.	2. 데이터 패킷을 받은 후, 라우팅 테이블에 따라서 수신 노드로 데이터 패킷을 전송한다.	3. 데이터 패킷을 수신하고 필요한 경우 응답을 보낸다.

<표 1>은 송신 노드, 중간 노드, 수신 노드에서의 단계적인 MDAODV 프로토콜 동작을 기술하고 있다.

### 3. 성능 평가

본 절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 MDAODV 프로토콜의 성능을 평가하고 AODV 및 AOMDV와 비교 분석한다.

#### 3.1 시뮬레이션 환경

본 시뮬레이션 연구는 이산 사건 시뮬레이터인 ns-2 (network simulator 2)[30, 31]을 기반으로 성능을 측정한다. 시뮬레이션에 사용한 ns-2의 버전은 ns-2.1b4이며, 제안한 프로토콜의 구현은 ns-2 CMU 확장판[32]에 포함된 AODV에 기반을 두고 있다. 시뮬레이션 플랫폼 상에서 MDAODV 라우팅 프로토콜을 구현하였다.

본 시뮬레이션은 670 × 670 m<sup>2</sup>의 정방형 영역 상에서 움직이는 모바일 노드들을 대상으로 수행된다. 250 m의 무선 전송 범위와 자유공간 전파 채널을 가정한다. 2 Mbps의 데이터 전송률을 가지며, 각 시뮬레이션은 1000초 동안 수행된다. CBR 소스는 초당 4 개의 패킷을 전송하며, 데이터 페이로드는 512 바이트이다. 모바일 노드들은 random waypoint model[33]에 따라 불규칙하게 임의로 움직인다고 가정하며 파라미터 중 최대 속도는 10~100 m/sec로, 일시정지 시간은 30 sec로 설정한다.

본 시뮬레이션 연구에서는 모바일 애드혹 네트워크에서 라우팅 프로토콜을 측정하는데 광범위하게 사용되고 있는 성능 척도인 패킷 전달율, 중단간 평균 지연시간, 라우팅 오버헤드 등을 집중적으로 평가한다. 이때, 라우팅 오버헤드는 초당 전송되는 전체 라우팅 패킷의 수(즉, hello, RREQ, RREP 및 RERR의 수)로서 각각의 홉 전송을 하나의 전송으로 계산한 값으로 정의된다.

3가지의 성능 척도를 측정하기 위하여 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하 그리고 노드의 수와 같은 4가지 시뮬레이션 인자를 의미 있는 범위에서 변화시킨다. 한 가지 시뮬레이션 인자를 변화시키는 동안에 나머지 인자들은 고정되는데, 평균 노드 속도는 20 m/sec, 연결의 수는 10, 인가

부하는 1 packet/sec, 노드의 수는 50의 고정 값을 갖는다.

#### 3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

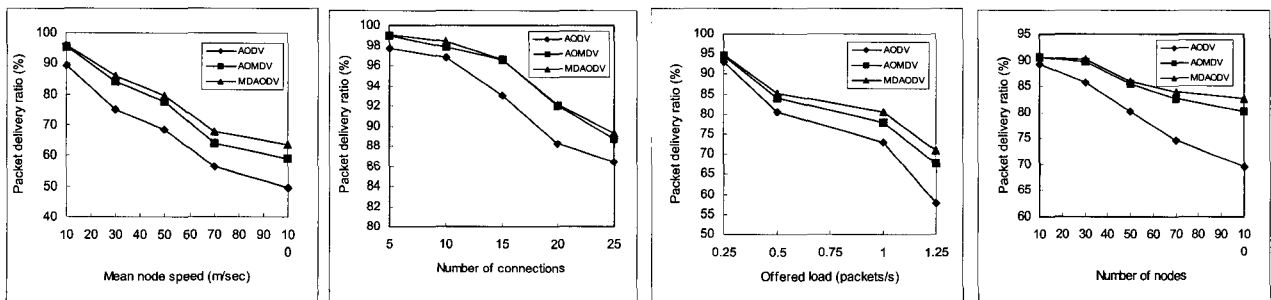
본 절에서는 시뮬레이션 결과를 제시하고, 제안한 MDAODV의 성능을 AODV 및 AOMDV와 비교 분석한다. 패킷 전달율, 중단간 평균 지연시간, 라우팅 오버헤드 등 3가지 성능 척도를 평균 노드 속도, 연결(세션)의 수, 인가 부하, 노드의 수와 같은 4가지 시뮬레이션 인자 측면에서 광범위하게 평가 및 비교한다.

##### 3.2.1 패킷 전달율

(그림 6)은 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하, 노드의 수 등의 변화에 따른 AODV, AOMDV 그리고 MDAODV의 패킷 전달율을 나타낸다. 4가지 시뮬레이션 인자 모두에 대하여, AOMDV와 MDAODV는 AODV보다 성능이 우수하다. MDAODV는 AOMDV보다 약간 높은 패킷 전달율을 갖는다. 특히, 노드의 수의 증가함에 따라 그 차이가 더욱 커진다. 이는 노드 밀도가 높으면 송신 노드와 수신 노드 사이에 더 많은 노드 비중첩 및 링크 비중첩 경로가 존재하기 때문이다. 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하, 노드의 수 중 어느 하나라도 증가하면 3개의 프로토콜 모두에 대하여 패킷 전달율이 감소하는 경향이 보인다. 이는 높은 노드 이동성이 더욱 빈번한 링크 손상을 초래함으로써 많은 패킷이 버려질 수 있기 때문이다. 게다가 연결의 수가 많고, 인가 부하가 과중하고, 노드의 수가 많으면 트래픽 간섭이 더 많이 발생하여 링크 손상 가능성이 증가한다.

##### 3.2.2 중단간 평균 지연시간

(그림 7)은 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하, 노드의 수 등이 변화에 따른 AODV, AOMDV 그리고 MDAODV의 중단간 평균 지연시간을 나타낸다. 4가지 시뮬레이션 인자 모두에 대하여, AOMDV와 MDAODV는 AODV보다 짧은 지연시간을 갖는다. 제안한 MDAODV는 AOMDV 및 AODV보다 각각 14% 및 64%까지 더 짧은 중단간 평균 지연시간을 갖는다. 게다가, MDAODV는 4가지 시뮬레이션 인자 모두에 대해서 AOMDV보다 짧은 지연시간을 갖으며, 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하, 노드의 수 등이 증가



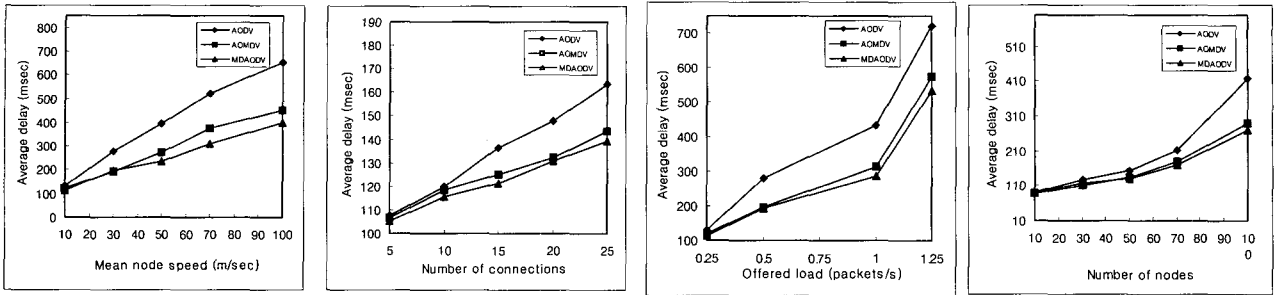
(a) 평균 노드 속도의 변화

(b) 연결 개수의 변화

(c) 인가 부하의 변화

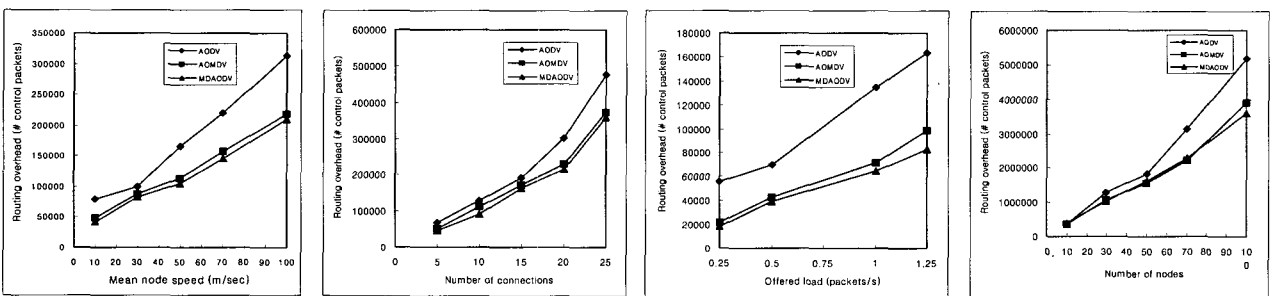
(d) 노드 수의 변화

(그림 6) 패킷 전달율



(a) 평균 노드 속도의 변화 (b) 연결 개수의 변화 (c) 인가 부하의 변화 (d) 노드 수의 변화

(그림 7) 종단간 평균 지연시간



(a) 평균 노드 속도의 변화 (b) 연결 개수의 변화 (c) 인가 부하의 변화 (d) 노드 수의 변화

(그림 8) 라우팅 오버헤드

함에 따라서 그 차이가 더욱 커진다. 즉, MDAODV는 높은 노드 이동성, 많은 세션(연결) 수, 과중한 인가 부하, 높은 노드 밀도 등과 같은 열악한 운용 환경에서도 AOMDV보다 더 견고하다고 할 수 있다. 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하, 노드의 수 중 어느 하나라도 증가하면 3개의 프로토콜 모두에 대하여 종단간 평균 지연시간이 증가하는 경향이 보인다. 이는 앞에서 언급했듯이 높은 노드 이동성이 더욱 빈번한 링크 손상을 초래하기 때문이다.

### 3.2.3 라우팅 오버헤드

(그림 8)은 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하, 노드의 수 등의 변화에 따른 AODV, AOMDV 그리고 MDAODV의 라우팅 오버헤드를 나타낸다. 라우팅 오버헤드는 라우팅 경로를 형성하는 과정에서 소요되는 라우팅 수준에서의 오버헤드를 지칭한다. 본 논문에서는 초당 전송되는 전체 라우팅 패킷의 수(즉, hello, RREQ, RREP 및 RERR의 수)로서 각각의 홉 전송을 하나의 전송으로 계산한 값으로 정의한다. 4가지 시뮬레이션 인자 모두에 대하여, AOMDV와 MDAODV는 AODV보다 작은 라우팅 오버헤드를 갖는다. 제안한 MDAODV는 AOMDV 및 AODV보다 각각 11% 및 44%까지 작은 라우팅 오버헤드를 갖는다. 더욱이, MDAODV는 4가지 시뮬레이션 인자 모두에 대해서 AOMDV보다 작은 라우팅 오버헤드를 갖으며, 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하, 노드의 수 등이 증가함에 따라서 그 차이가 더욱 커진다. MDAODV는 높은 노드 이동성, 많은 세션(연결) 수, 과중한 인가 부하 및 높은 노드 밀도 등과 같은 열악한 운

용 환경에서도 AOMDV보다 더 작은 라우팅 오버헤드를 갖는다. 평균 노드 속도, 연결의 수, 인가 부하, 노드의 수 중 어느 하나라도 증가하면 3개의 프로토콜 모두에 대하여 라우팅 오버헤드가 증가하는 경향이 보인다. 높은 노드 이동성은 더욱 빈번한 링크 손상을 초래함으로써 라우팅을 위한 보다 많은 제어 패킷이 필요하게 된다. 유사한 상황으로서, 연결의 수가 많고, 인가 부하가 과중하고, 노드의 수가 많으면 링크 손상 확률이 증가하여 결과적으로 라우팅 경로의 복구를 위한 제어 패킷의 증가를 초래한다.

이상과 같은 시뮬레이션 결과에서 패킷 전달율, 종단간 평균 지연시간, 라우팅 오버헤드 등 세 가지 성능 척도 모두에 대하여, MDAODV가 AOMDV보다 성능이 우수한 것은 노드의 이동 등으로 발생하는 경로 장애에 대하여 MDAODV가 AOMDV에 비해 보다 견고하고, 링크 비중첩 뿐만 아니라 노드 비중첩까지 고려하므로 주경로와 대체경로가 겹치는 확률이 훨씬 작기 때문이다.

## 4. 결론

본 논문에서는 최대의 노드 비중첩 및 링크 비중첩을 제공하고 기존의 프로토콜보다 성능이 우수한 새로운 최대 비중첩 다중경로 AODV (MDAODV) 프로토콜을 제안하였다. 핵심 아이디어는 RREQ에 소스 라우팅 주소 정보를 추가시켜 확장한다는 것과 수신 노드가 일정 시간 동안 도착한 다수의 RREQ들 중에서 2개의 경로를 선택하는 것이다. 제안한 MDAODV 프로토콜은 기존의 다중경로 라우팅 프로토

콜에 비해 높은 신뢰성과 우수한 견고성을 갖는 경로를 제공하며 아울러 우수한 성능을 제공하는데, 이는 현재 라우팅 경로가 손상 되었을 때 대체경로를 사용할 수 있을 뿐만 아니라 대체경로가 주경로에 대하여 최대의 노드 비중첩 및 링크 비중첩 경로이기 때문이다. 또한, 제안한 MDAODV 프로토콜은 기존의 AOMDV와 달리 수신 노드에서 경로를 결정하므로 중간 노드에서의 오버헤드를 감소시킨다.

성능평가 결과에 의하면, 제안한 MDAODV 프로토콜은 기존의 AODV 기반 다중경로 프로토콜보다 패킷 전달율과 종단간 평균 지연시간의 측면에서 성능이 우수한 반면 라우팅 오버헤드는 오히려 감소하는 경향을 나타낸다. 또한, 제안한 MDAODV 프로토콜은 높은 노드 이동성, 많은 세션 수, 과중한 인가 부하, 높은 노드 밀도 등과 같은 열악한 운용 환경에서 기존 방법들보다 더 견고한 경로를 제공하는 장점을 지닌다.

향후의 일차적인 연구 과제는 본 논문에서 제안한 MDAODV 프로토콜을 포함하여 다중경로 프로토콜들의 해석적 모델을 구축하고 분석하는 것이다. 또한, 최대의 노드 비중첩 및 링크 비중첩 경로를 제공하는 다중경로 라우팅 기법을 AODV 이외의 타 프로토콜에 적용하여 보다 견고하고 확장성이 뛰어난 라우팅 경로를 제공하는 연구를 추진하고자 한다. MDAODV 설계 개념을 AODV 기반의 계층적 라우팅 프로토콜로 확장하는 것 또한 향후 연구 과제 중 하나이다. 아울러, 비대칭 링크를 갖는 모바일 애드혹 네트워크 환경에서 다중경로 라우팅을 제공하는 새로운 프로토콜을 연구하고자 한다.

**참 고 문 헌**

[1] C. E.Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison Wesley, 2000.  
 [2] Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networks(MANET) Working Group Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, 2004.  
 [3] C. R. Lin and M. Gerla, "Real-time Support in Multihop Wireless Networks," *Proc. of the ACM Wireless Networks*, pp.125-135, Mar., 1999.  
 [3] E. M. Royer and C. Toh, "A Reivew of Currnet Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," *IEEE Personal Communications*, pp.46-55. April, 1999.  
 [4] 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.  
 [5] C. E. Perkins and T. J. Watson, "Highly Dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," *Proc. of Int. Conf. on Communications Architectures(ACM SIGCOMM'94 )*, pp.234-244, Oct., 1994.  
 [6] C.-C. Chiang, "Routing in Clustered Multihop Mobile Wireless Networks with Fading Channel," *Proc. of IEEE SICON*, pp.197 - 211, April, 1997.

[7] J. Broch, D. Johnson, and D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network", *Mobile Computing*, pp.153-181, 1996.  
 [8] D. Johnson, D. Maltz, J. Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet-Draft, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, Feb., 2002.  
 [9] C. E. Perkins, E. M. Royer, and S. R. Das, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," Internet-Draft, draft-ietf-manet-aodv-13.txt, Feb. 2003.  
 [10] S. J. Lee and M. Gerla, "AODV- BR: Backup Routing in Ad hoc Networks," *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2000)*, Vol1, pp. 1311-1316, Sep., 2000.  
 [11] S.-J. Lee, E. M. Belding-Royer, and C. E. Perkins, "Scalability Study of the Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol," *Int. Journal of Network Management*, Vol.13, pp.97-114, 2003.  
 [12] T. Larsson and N. Hedman, "Routing Protocols in Wireless Ad-Hoc Networks: A Simulation Study," Master's thesis at Lulea University of Technology, Stockholm, pp.1402-1617, 1998.  
 [13] Z. J. Hass and M. R Pearlman, "Zone Routing Protocol for Ad-Hoc Network," Internet Draft, draft-itef-manet-zrp-02.txt, Jul., 2002.  
 [14] J. Chen, P. Druschel, and D. Subramanian, "An Efficient Multipath Forwarding Method," *Proc. of the IEEE INFOCOM'98*, pp.1418-1425, Mar., 1998.  
 [15] I. Cidon, R. Rom, and Y. Shavitt, "Analysis of Multi-Path Routing," *Proc. of the IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.7, No.6, pp.885-896, Dec., 1999.  
 [16] P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek, and M. Degermark, "Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks," *Proc. of the ACM/IEEE MOBICOM'99*, pp.195-206, Aug., 1999.  
 [17] R. Krishnan and J.A. Silvester, "Choice of Allocation Granularity in Multipath Source Routing Schemes," *Proc. of the IEEE INFOCOM'93*, pp.32-329, Mar., 1993.  
 [18] S. Murthy and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Congestion-Oriented Shortest Multipath Routing," *Proc. of the IEEE INFOCOM'96*, pp.1028-1036, Mar., 1996.  
 [19] V.D. Park and M.S. Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks," *Proc. of the IEEE INFOCOM' 97*, pp.1405-1413, Apr., 1997.  
 [20] S. Vutukury and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "An Algorithm for Multipath Computation Using Distance-Vectors with Predecessor Information," *Proc. of the IEEE ICCCN'99*, pp. 534-539, Oct., 1999.  
 [21] J. Raju and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "A New Approach to On-demand Loop-Free Multipath Routing," *Proc. of the*

ICCCN'99, pp.522-527, Oct., 1999.

[22] W.T. Zaumen and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Loop-Free Multipath Routing Using Generalized Diffusing Computations," *Proc. of the IEEE INFOCOM' 98*, pp.1408-1417, Mar., 1998.

[23] S.-J. Lee and M. Gerla, "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks," *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications 2001 (ICC'01)*, pp.3201-3205, Jun., 2001.

[24] R. Ogier, V. Rutenburg, and N. Shacham, "Distributed Algorithms for Computing Shortest Pairs of Disjoint Paths," *Proc. of the IEEE Transactions on Information Theory*, Vol.39, No.2, pp.443-455, Mar., 1993.

[25] D. Sidhu, R. Nair, and S. Abdallah, "Finding Disjoint Paths in Networks," *Proc. of the ACM SIGCOMM'91*, pp.43-51, Sep., 1991.

[26] N. Taft-Plotkin, B. Bellur, and R. Ogier, "Quality-of-Service Routing Using Maximally Disjoint Paths," *Proc. of the IEEE IWQoS'99*, pp.119-128, Jun., 1999.

[27] M. K. Marina and S. R. Das, "On-Demand Multipath Distance Vector Routing for Ad Hoc Networks," *Proc. of the Int. Conf. on Network Protocols (ICNP)*, pp.14-23, Nov. 2001.

[28] M. K. Marina and S. R. Das, "Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector Routing," <http://www.ececs.uc.edu/~sdas>, Technical Report, Computer Science Department, Stony Brook University, Apr., 2003.

[29] Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector (AOMDV) Routing, <http://www.cs.sunysb.edu/~mahesh/aomdv/>, 2004.

[30] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2004.

[31] K. Fall and K. Varadhan, *The ns Manual, The VINT Project*, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, Apr., 2002.

[32] CMU Monarch Project, <http://www.monarch.cs.cmu.edu/cmu-ns.html>, 2004.

[33] J. Broch, D. Maltz, D. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proc. of the 4th Annual Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'98)*, pp.56-67, Oct., 1998.



### 김 중 태

e-mail : kjtsy@hanmail.net  
 2003년 조선대학교 전자계산학과(학사)  
 2003년~현재 조선대학교 일반대학원  
 전자계산학과 석사과정  
 관심분야 : 모바일컴퓨팅, 애드혹네트워크,  
 멀티캐스트, 네트워크보안



### 모 상 만

e-mail : smmoh@chosun.ac.kr  
 2002년 한국정보통신대학교(ICU) 공학부  
 (박사)  
 1991년~2002년 한국전자통신연구원  
 (ETRI) 컴퓨터소프트웨어연구소  
 (팀장)  
 2002~현재 조선대학교 인터넷공학과 재직  
 관심분야 : 모바일컴퓨팅, 애드혹네트워크, 병렬컴퓨팅, 컴퓨터시  
 스템



### 정 일 용

e-mail : iyc@chosun.ac.kr  
 1983년 한양대학교(공학사)  
 1987년 뉴욕시립대학원(석사)  
 1991년 뉴욕시립대학원(박사)  
 1991년~1994년 한국전자통신연구소 선임  
 연구원  
 1994년~현재 조선대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 관심분야 : 네트워크보안, 병렬 및 분산시스템, 코딩이론