

MANET에 의한 신뢰성 높은 다중 경로 프로토콜 (Highly-reliable Multi-path Protocol by MANET)

이 양 민 [†] 이 재 기 ^{**}
(Yang-Min Lee) (Jae-Kee Lee)

요 약 MANET(Mobile Ad-hoc Network) 내에서는 노드는 자유롭게 이동하나 에너지 제약을 가지며 이러한 특징이 네트워크 회선 단절을 유발한다. 따라서 MANET을 적용하여 유비쿼터스 서비스를 수행할 경우에는 노드의 이동성에 따른 토폴로지 변경에 유연하게 적응하면서 동시에 연속적인 패킷 전송이 가능하도록 패킷의 전송률을 향상시키는 기법이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 문제점의 해결을 위해 PAOMDV(Possibility based AOMDV)와 OLSR-ME(OLSR with Modify Energy Efficiency)를 동시에 적용한 혼합형 프로토콜을 제안한다. 특히 모바일 에드 혹 네트워크를 클러스터로 구분함으로써 PAOMDV는 클러스터 간 통신을 담당하고 OLSR-ME는 클러스터 내부 통신을 담당하도록 구현하였다. 또한 홵 수가 증가하는 경우에도 기존 프로토콜보다 더 효율적인 프로토콜을 설계하기 위해 패킷 전달을 책임질 포워딩 노드 선택 알고리즘도 제안한다. 제안한 프로토콜을 기존의 프로토콜인 AODV, AOMDV, ZRP와 비교 실험하고 그 성능을 검증하였다. 실험 결과, 제안 프로토콜이 패킷 전송률, 전송 지연, 라우팅 오버헤드에서 기존 프로토콜 보다 우수함을 확인하였다.

키워드 : 유비쿼터스 서비스, 에드혹, 라우팅 프로토콜, PAOMDV, OLSR-ME

Abstract In the mobile ad hoc network, network nodes are continuously capable of movement, but have battery limitations and these characteristics of MANET cause network link failure. Therefore, when performing ubiquitous services with the application of MANET, a technique is required to improve the packet transmission rates as to enable continuous packet transmission while flexibly adapting to topology changes caused by the mobility of nodes. In this paper, we are proposing PAOMDV(Possibility based AOMDV) and OLSR-ME(OLSR with Modified Energy Efficiency) which are mixed-type protocols to solve the problem for design a more efficient protocol. Especially by classifying mobile ad hoc networks as clusters, OLSR-ME protocol is implemented on communication within the clusters, while PAOMDV is used in protocols between clusters. In addition, a selection algorithm for forwarding nodes that responding packet relays in the case of increased hops was proposed for designing a more efficient protocol than existing protocols. We verified the performance of the proposed protocols through a comparative experiment with AODV, AOMDV, ZRP, and the existing protocols. We confirmed the results of the experiment revealed that the proposed protocol had the best packet transmission rate, the shortest delay between nodes, and showed better results in routing overhead.

Key words : Ubiquitous Service, Ad-hoc, Routing Protocol, PAOMDV, OLSR-ME

· 본 논문은 2008학년도 동아대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

[†] 정 회 원 : 동아대학교 컴퓨터공학과 박사
manson@donga.ac.kr

^{**} 종신회원 : 동아대학교 컴퓨터공학과 교수
jkleee@dau.ac.kr

논문접수 : 2007년 9월 6일

심사완료 : 2008년 3월 11일

Copyright©2008 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제4호(2008.6)

1. 서 론

MANET은 무선 인터페이스를 사용하는 각종 컴퓨팅 기기들이 고정된 네트워크를 사용할 수 없는 환경에서 임시적으로 구성되는 네트워크로 유비쿼터스 네트워크를 구성할 때 적용될 수 있다. MANET은 네트워크 구성 노드들이 무작위적으로 언제든지 이동할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 이러한 노드 이동성에 의해 MANET에서는 노드간의 잦은 링크 단절과 경로 재설정 정이 발생된다. 따라서 네트워크 내에 제어 메시지가 과

도하게 생성되어 네트워크 트래픽 증가를 유발하며, 이것이 이동 무선 환경에서의 미디어 전송과 같은 서비스에서는 큰 문제점이 될 수 있다. 그러므로 MANET에서는 링크 안정성을 보장하기 위한 다중경로의 구성과 불필요한 제어 메시지 발생의 최소화가 필수적이다.

본 논문에서는 언급한 두 가지 문제점을 해결하기 위해 신뢰성 높은 경로 설정 및 유지 기법을 MANET에 적용하고 추가적으로 제어 메시지를 최소화할 수 있는 프로토콜을 제안한다. 제안 기법은 MANET을 클러스터 단위로 구분하고 클러스터 내의 통신에는 OLSR-ME 프로토콜을 적용하여 제어 메시지의 플러딩을 최소화한다. 또한 클러스터 간의 프로토콜에는 PAOMDV를 적용하여 신뢰성 있는 경로가 생성되도록 한다. 이러한 경로 설정을 통해 연속적인 패킷 전송이 가능하고 MANET 환경에서 유비쿼터스 서비스를 구축할 수 있게 된다. 마지막으로 MANET에 적용한 기법의 성능을 확인하기 위해 기존 프로토콜과 제안 프로토콜을 네 가지 네트워크 성능 인자(Factor)에 대해 실험하고 결과를 비교하였다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서 MANET 프로토콜 관련 연구를 간략히 제시하고, 3장에서는 제안 프로토콜의 구조를 기술한다. 4장에서는 실험 및 분석을 하고, 5장의 결론으로 맺는다.

2. MANET 프로토콜 관련 연구

MANET에 관련된 프로토콜의 범주는 대략 세 가지 방식으로 구분할 수 있다[1~6](그림 1).

Proactive(Table-Driven) 라우팅 방식은 네트워크 내의 모든 이동 노드들이 자신을 제외한 나머지 노드의 최신 라우팅 정보를 항상 유지하는 기법이다. 동적으로 변하는 네트워크 토폴로지에 적응하기 위하여 라우팅 정보를 주기적으로 보내거나, 네트워크 토폴로지상의 변경이 있을 때마다 구성 노드 전체로 전파시켜 각 노드들이 자신의 라우팅 정보를 변경하도록 한다. 이러한 사전 설정 방식의 최대 장점은 패킷 전송이 필요한 시점에서 지연 없이 최적의 경로를 통해서 라우팅이 가능하다는 것이다. 그러나 네트워크 토폴로지의 변화가 심할 경우 라우팅 정보를 네트워크 전체로 전파하기 위해서 요구되는 라우팅 제어 메시지로 인해 큰 오버헤드가 발생한다는 것이다. 대표적인 프로토콜로는 DSDV, CGSR 등이 있다.

Reactive(On-Demand) 라우팅 방식은 데이터 전송에 대한 요구가 있을 때 경로를 탐색하는 방식이다. 장점으로는 Proactive 라우팅 방식이 가지는 제어 메시지의 오버헤드를 감소시킬 수 있다는 것이다. 단점으로는 패킷의 전송이 요구되는 시점에서 경로를 탐색하기 때문

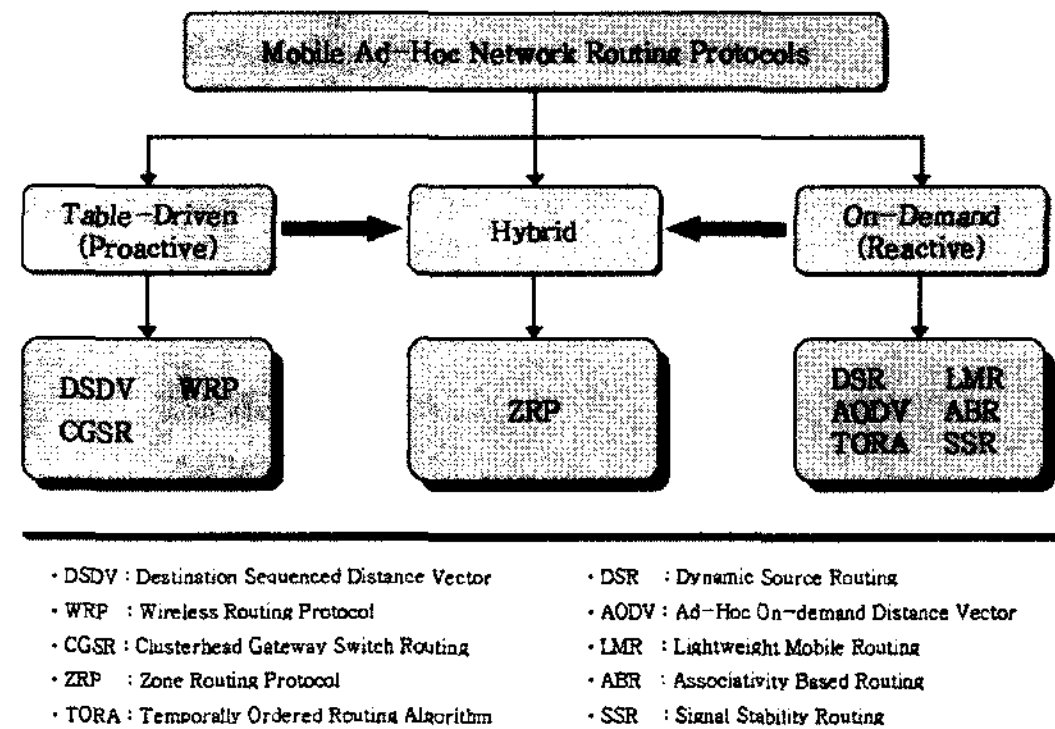


그림 1 MANET 라우팅 프로토콜 분류

에 경로 탐색을 위한 지연이 발생하여 전체적인 전송 지연을 유발할 수 있다는 것이다. 대표적인 프로토콜은 DSR, AODV, TORA 등이 있다.

Hybrid 라우팅 방식은 Proactive 방식과 Reactive 방식의 장점을 융합한 기법이다. 특정 영역 내부에서의 경로 탐색은 Proactive 라우팅 방식에 기반한 IARP에 의해서 수행되고, 외부 영역에 속한 노드로의 경로 탐색은 Reactive 라우팅 방식에 기초한 IERP에 의해서 수행된다.

경로 탐색 방식에 따른 분류법 이외에도 MAC 계층에서의 전송 효율성을 높이기 위한 프로토콜 연구, 구성된 경로들의 효율성을 최대화하는 프로토콜 연구, 노드의 에너지 효율성을 극대화하는 연구 등 여러 가지 프로토콜 연구 분류가 존재한다[7-10].

3. 제안 프로토콜의 구조

노드의 이동성이 높고 토폴로지 변화가 많은 네트워크 환경에 적합한 프로토콜은 다음의 기능을 가지고 있어야 한다. 이동 중인 노드들이 서로의 존재를 인식하고 안정적인 경로를 설정할 수 있는 기능과 한정되어 있는 무선 네트워크의 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있는 기능이 필요하다[11,12].

두 가지의 기능을 만족시키기 위해서는 MANET 내 노드들 간의 다중경로를 구성할 수 있는 기법과 다중경로 설정 상황에서 제어 메시지를 최소화할 수 있는 방법이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 네트워크를 작은 여러 개의 서브 네트워크로 분할하는 클러스터 개념을 적용시킨 혼합형(Hybrid) 프로토콜을 제안한다.

3.1 OLSR-ME 프로토콜[8]

OLSR-ME는 클러스터 내부에서의 통신 경로 탐색을 전담한다. OLSR-ME는 경로 설정 절차를 표준과 동일하게 수행한다. 단 OLSR-ME에서는 OLSR에 2 가지를 변경하여 효율성을 증대시킨다.

첫째, 보통의 OLSR은 각 노드들이 자신이 전송할 수

Procedure	
step 1	초기에 선정되어 있는 클러스터 헤드를 기준으로 다중점 중계 집합 구성을 위한 초기 메시지(MPRi)를 발동
step 2	1홉 거리에 있는 모든 이웃들이 초기 메시지를 수신
step 3	1홉 거리에 있는 이웃들도 자신의 1홉 거리에 있는 이웃 노드들로 다중점 중계 집합 구성을 위한 메시지 발송 (수신 노드가 MPR Set인 경우 플러딩)
step 4	1차적으로 구성된 라우팅 테이블을 이용하여 헤드에서 2홉 거리에 있는 노드들은 1홉 거리의 노드로 TC 발송 (연결 차수와 에너지 잔류량 포함)
step 5	헤드로부터 1홉에 있는 노드들은 TC들 중 {degree, energy}를 고려하여 n 개의 노드를 선택하여 자신의 다중점 중계 집합으로 구성 (단 $n \geq 1$)
step 6	클러스터 헤드는 1홉 거리의 이웃 노드들로부터 TC를 수신하여 n 개의 노드로 구성된 다중점 중계 집합을 구성
	step 6-1 선택된 1홉 거리의 이웃 노드들에 대해 선택 통보 (수신자들은 MS(MPR Select Set)를 조정)
	step 6-2 선택된 1홉 거리의 이웃 노드들 중 MAX{degree, energy}를 선정하여 이를 보조 헤드로 이용
step 7	클러스터 헤드의 다중점 중계 집합에 포함된 1홉 거리의 노드들은 step 6의 사실을 자신이 구성한 다중점 중계 집합으로 통보
step 8	1차적 경로가 완성되며, 이후에는 TC를 이용하여 토폴로지 변경 수행
step 9	2홉 이웃의 노드들을 커버할 수 있을 때까지 step1-7의 과정을 반복

그림 2 OLSR-ME 수행 알고리즘

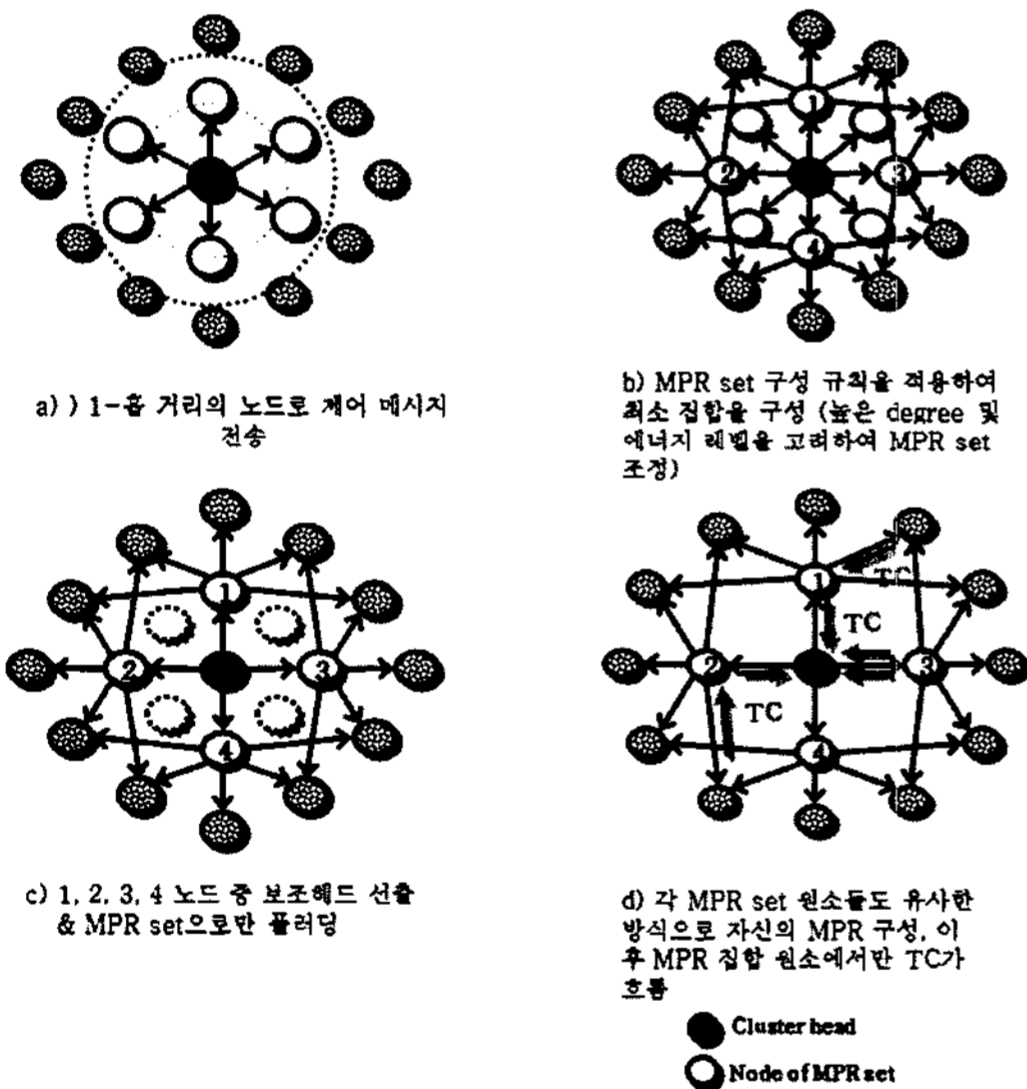


그림 3 OLSR-ME 경로 선정

있는 1홉 범위의 다중점 중계 노드의 집합을 설정하고 유지하는 것에 반해 OLSR-ME는 클러스터 헤드와 보조 헤드에 해당하는 노드에서 다중점 중계 집합 정보를 유지한다는 점이다. 클러스터 외부로의 통신은 클러스터 헤드와 다중점 중계 노드 집합 중에서 포워드 노드로 선정된 노드만이 수행할 수 있다. 따라서 경로 탐색은 각 노드에서 OLSR과 마찬가지로 주기적으로 이루어지지만 경로의 유지는 헤드 노드만이 수행한다.

둘째, 경로 탐색을 주기적으로 실행할 때 토폴로지 정보와 부가적인 노드 정보를 획득한다. 즉 네트워크에 참가하는 각 노드들의 에너지 잔류량과 연결성을 확인하

여 임계점 이하의 에너지를 보유하거나 연결 이웃이 없는 노드들은 경로에서 제외하는 기법을 사용한다. 노드 차수와 에너지 잔류량이라는 부가적인 조건을 포함하여 생성된 경로는 안정성과 생존기간을 보장할 수 있다. 그 처리 절차는 그림 2와 같다.

OLSR-ME의 경로 설정 절차는 그림 3과 같으며, 클러스터 헤드로부터 2홉 거리의 모든 노드들이 커버될 때까지 알고리즘을 반복 적용한다. 이렇게 하면 기존의 OLSR보다 에너지 및 연결성이 뛰어난 경로를 형성할 수 있다.

3.2 PAOMDV 프로토콜

클러스터 외부에서의 경로 탐색은 클러스터 헤드 간에 이루어지는 것을 기본으로 한다. 헤드 간의 다중 경로 설정을 위해서 사용되는 기법은 PAOMDV로서 기존의 다중경로 요구 기반 프로토콜[9] 논문에서의 아이디어를 확장하여 대체 경로의 생존 확률을 높일 수 있는 기법을 적용하였다[10,13]. 제안 기법을 통하여 경로 탐색을 수행하는 소스 노드로부터 홉이 커질 경우에도 안정적인 수의 대체 경로를 확보할 수 있고, 증가된 수의 대체 경로는 통신 경로 전체의 안정성을 향상시킬 수 있다[14,15].

3.2.1 경로 구축 단계

새로운 경로를 구축하는 절차는 기존 AOMDV의 기법을 따른다. 본 논문에서 제안하는 PAOMDV는 1차적인 주경로(Primary Path)설정을 AOMDV의 경로 탐색 절차대로 수행하며, 추가적으로 RREQ 메시지에 노드의 에너지 레벨을 표시하도록 하여 보다 안정적인 주경로를 획득한다. 이후에 주경로를 기반으로 하는 대체 경로를 생성할 때는 에너지 레벨과 노드의 이동 확률을 동

시에 고려하게 된다. 따라서 AOMDV에서 사용되는 제어 메시지를 확장하여 PAOMDV에 필요한 필드로 활용한다.

경로 구축 기법을 이원화하여 적용하는 이유는 주경로를 획득하는 경우 기존 연구들에서 성능이 검증된 프로토콜을 적용하는 것이 지연을 감소시킬 수 있고 프로토콜 전체의 성능 및 안정성을 보장하기 쉽기 때문이다. 또한 대체 경로 탐색에서는 기존 AOMDV의 제어 메시지를 확장하여 노드의 이동성에 민감한 기법을 적용함으로써 대체 경로를 충분히 확보하게 된다. 따라서 제안 프로토콜에서의 경로 구축 단계는 세부적으로 3단계의 과정으로 구분할 수 있다. 과정들은 각각 주경로 탐색 단계, 대체 경로 탐색 단계, 경로 유지 단계이다.

3.2.1.1 주경로 탐색 단계

그림 4는 클러스터 외부로의 경로를 탐색하는데 있어서 최초의 경로인 주경로를 탐색하는 단계이며, 동작절차는 기존의 프로토콜인 AOMDV를 활용하여 수행된다. 경로 설정 절차는 AOMDV와 동일하지만 대체 경로를 설정하기 위해서 RREQ 메시지에 포함되는 RNEM(Redundant Node Existence Message)을 설정하여 사용하는 것이 기존의 AOMDV와 다른 부분이다 [10,13].

3.2.1.2 대체 경로 탐색 단계

본래 AOMDV 프로토콜은 노드 독립적인(Disjoint Node)경로를 구성한다. 즉 AOMDV는 RREQ 메시지를 중복 수신하였을 경우 중복 수신된 RREQ를 단순히 폐기하는 것이 아니라 RREQ 내에 포함되어 있는 경로 정보를 잠재적인 대체 경로로 포함시키게 된다. 이때 기존의 경로 대체 기법에 추가적으로 노드의 에너지 레벨

을 포함하게 된다.

AOMDV가 주경로와 이에 대한 노드 독립적 대체 경로를 가지게 되지만 최선형 프로토콜이기 때문에 효율적인 경로를 선택하였음을 보장하기 어렵다. 또한 경로 탐색을 시작한 노드로부터 홉 수가 떨어진 노드 상에서는 먼저 도착하는 RREQ에 대해 선형적인 개수의 독립적인 대체 경로만을 가질 수 있고, 이에 따라 노드의 이동성이 커질 경우 안정적인 수의 경로가 존재함을 보장하지 못한다.

경로 설정을 위한 지연 감소나 안정적인 수의 경로 유지를 위해서 노드 이동 확률에 기반을 둔 접근법인 다중경로 동적 라우팅 프로토콜[9]을 확장하여 이를 AOMDV에 접목하였다. 대체 경로의 설정 알고리즘은 그림 5와 같다.

그림 6은 PAOMDV 프로토콜에서의 실제 예제를 간략하게 도식화한 것이다. 그림 6에서 기본 경로는 S → a → b → D로 구성된다. RREP가 전송되면 노드 e와 c는 주경로 상으로 패킷이 전송되는 것을 감청할 수 있다. 여기서 노드 e는 RREP의 정보를 이용하면 노드 a가 D로부터 2홉 떨어져 있다는 사실을 확인할 수 있다. a가 목적지 D로 메시지를 전달할 때 노드 e를 사용하고자 한다면 e를 경유하여 D로 RREP를 전송하면 된다.

3.2.1.3 경로 유지 단계

패킷의 전달 과정에서 주경로상의 노드가 이동하여 주경로의 사용이 불가능하면 대체 경로를 경유하는 기법이 시작된다. 최악의 경우에는 모든 대체 경로를 사용할 수 없는 경우가 있다. 그림 7과 같은 네트워크를 가정하면 노드 i에서 노드 d로의 모든 경로가 불가능한 상태를 확인할 수 있다.

Procedure	
step 1	소스 노드(경로 탐색을 시작하는 클러스터 헤드)에서 RREQ 메시지를 발송
step 2	중간 노드들(각각 다른 클러스터의 헤드)이 RREQ를 이용하여 이전의 홉 노드 정보와 자신의 정보를 연속적으로 발생시켜 지속적인 RREQ를 브로드캐스팅
	step 2-1 이 과정에서 중복 수신한 RREQ는 잠재적 대체 경로로 사용
	step 2-2 이 과정에서 수신한 RREQ를 이용하여 잔류 에너지를 확인
step 3	중간 노드가 목적지까지의 경로를 알고 있으면 RREP가 현재까지의 역경로를 따라 소스 노드로 반환됨

그림 4 PAOMDV의 주경로 탐색 단계 알고리즘

Procedure	
step 1	AOMDV의 프로토콜 동작 절차에 따라 초기에는 주경로를 포함하여 노드 독립적(disjoint node)인 대체 경로가 존재
step 2	RREP가 목적지에서 소스로 전달되는 동안 이를 수신할 수 있는 1홉 이내의 클러스터 헤드와 게이트웨이는 주경로에 2홉 간격으로 존재 하는 후속 노드로 RNEM(Redundant Node Existence Message)발송
	step 2-1 RNEM에 자신의 에너지 레벨도 포함하여 전송
	step 2-2 RNEM이 통보임을 알리기 위해 p.flag를 0으로 설정
step 3	RNEM을 받은 노드는 RNEM을 발송한 노드로 다시 메시지를 반송하여 대체 경로에 포함되는 노드로 선정되었음을 통보
	step 3-1 RNEM 반송을 알리기 위해 p.flag를 1로 설정
	step 3-2 새로 포함된 대체 노드를 실제 경로로 사용하기 위해 소스 방향으로의 선행노드는 대체 경로를 통해 RREP를 목적 노드로 보냄

그림 5 PAOMDV 대체 경로 설정 알고리즘

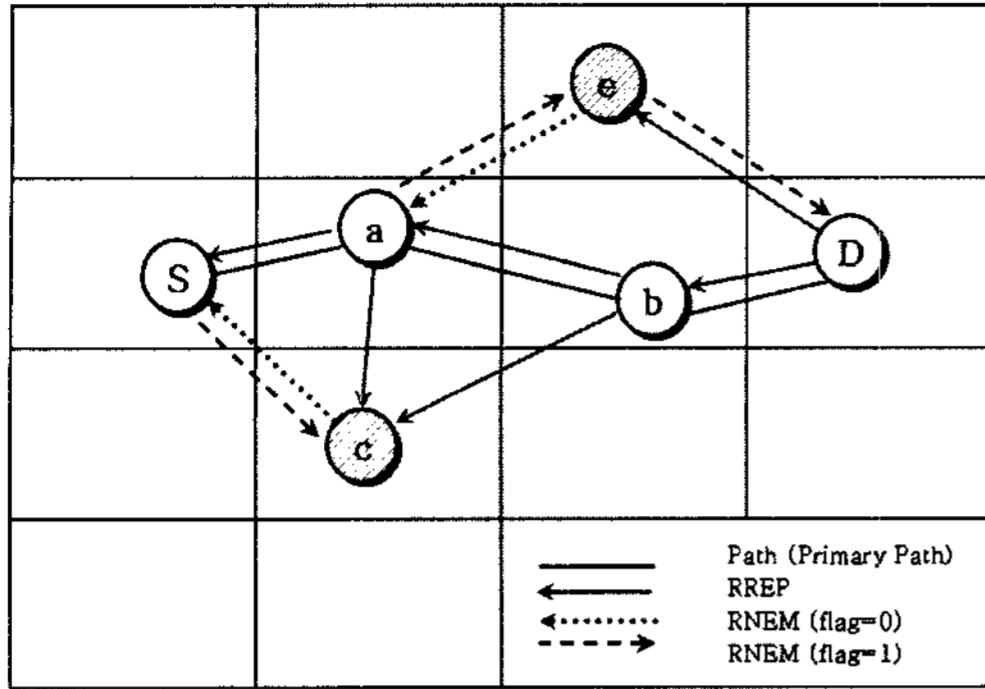


그림 6 대체 경로 구축의 예

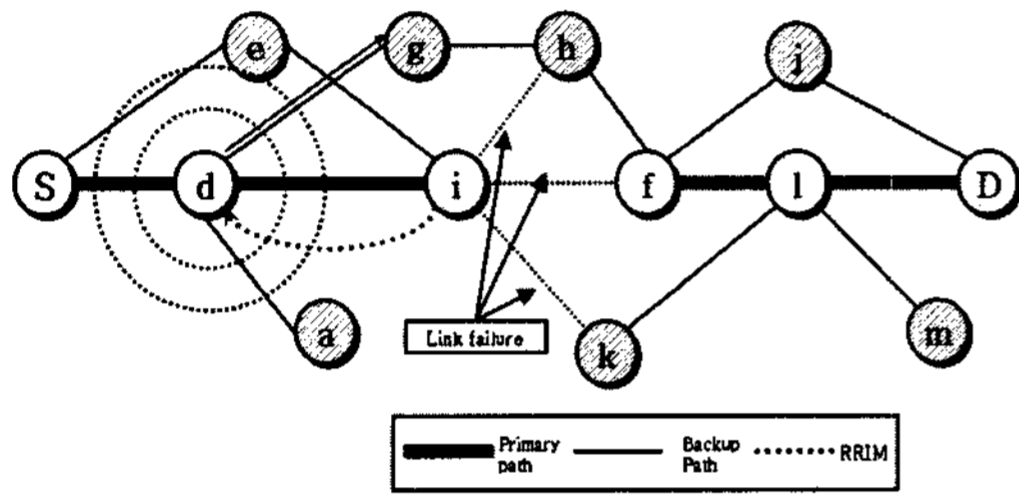


그림 7 RRIM을 이용한 경로 유지

제안 프로토콜에서는 이 경우 모든 대체 경로가 불가능하다는 RRIM(Route Recovery IMpossible) 메시지를 선행 노드에 통보하게 된다. d 노드가 이에 해당하며 RREQ를 활용하여 노드 d에서 새로운 경로 탐색을 시도하게 된다. 이때의 RRIM 메시지는 소스 노드나 목적지 노드로 통보하지 않고 경로상의 중간 노드에서 직접 수행하기 때문에 빠른 복구가 가능하다[14,15].

3.2.2 PAOMDV 프로토콜 분석 및 검증

PAOMDV를 적용하여 구성한 경로는 다음의 특징을 가진다. 첫째, 중복된 RREQ를 통해 기본적으로 구성되는 대체 경로가 추가된다. 둘째, RNEM을 이용하여 구성되는 다중경로는 주경로상의 2-홉 간격 노드들마다 대체 노드를 경유하게 되는 추가 경로의 형태로 존재하게 된다. 끝으로 추가 노드를 경유하는 대체 경로는 주경로를 거치는 경우와 동일한 홉 수를 가지게 된다는 것이다[8,13,14].

여기서는 RNEM을 통하여 추가되는 대체 경로의 수를 확인하고 노드 이동 가능성과 같은 확률 값을 추가하였을 경우의 대체 경로 생존율을 검토하였다[10]. 경로의 길이, 즉 홉 수를 h라고 두면 경로상의 노드 수 n은 n = h+1로 표현이 가능하다. k개의 대체 노드를 이용하는 대체 경로의 수를 An(k)라 하면 점화식 형태로 나타낼 수 있다.

식 (1)과 식 (2)를 이용한 k개의 대체 노드를 이용한

대체 경로의 수는 식 (3)과 같다.

식 (4)는 제안 프로토콜에서의 전체적인 대체 경로 수를 나타내었다. 식 (4)는 에너지 레벨을 고려하여 RREQ를 이용한 경로의 수와 RNEM을 적용하여 구하여진 대체 경로의 수를 모두 포함한다. 아래와 같은 수식들을 활용하여 h=10, 즉 10홉까지 존재하는 네트워크에서의 대체 경로의 개수를 점화식을 이용하여 구할 수 있다(표 1).

앞서 언급한 수식들에 근거하여 k개의 대체 노드를 사용하는 대체 경로가 유지될 확률을 계산하면 유지 확률을 P(n)으로 두었을 때는 식 (5)와 같다.

$$\begin{cases} A_n(0) = 1, & n > 1 \\ A_n(k) = 0, & k > \lfloor n/2 \rfloor \end{cases} \quad (1)$$

$$A_{n+1}(k) = A_n(k) + A_{n-1}(k-1), \quad k > 1, n > 2 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} S_{n+1} &= \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor} A_{n+1}(k) + AOMDV_{E-path} \\ &= \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} A_n(k) + \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor} A_{n-1}(k) + AOMDV_{E-path} \\ &\Rightarrow S_n + S_{n-1} + AOMDV_{E-path} \end{aligned} \quad (3)$$

$$P(n) = (1-x)^n \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} A_n(k) x^k * P(EL) \quad (4)$$

그리고 식 (5)를 사용하였을 때 표 1을 이용하여 홉 수가 2인 경우와 홉 수가 10인 경우를 가정하면 일반 프로토콜과 제안 프로토콜의 경로 생존율은 표 2와 같다.

표 1 k개의 대체 노드를 활용하는 대체 경로의 수 표 2 확률 계산 결과

h	k	0	1	2	3	4	5	6	7	Sn
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3
5	1	3	1	0	0	0	0	0	0	5
6	1	4	3	0	0	0	0	0	0	8
7	1	5	6	1	0	0	0	0	0	13
8	1	6	10	4	0	0	0	0	0	21
9	1	7	15	10	1	0	0	0	0	34
10	1	8	21	20	5	0	0	0	0	55

표 2 확률 계산 결과

프로토콜	h	식 (6)* - 일반프로토콜	식 (8) - 제안 프로토콜
	2	0.0375	0.05
	10	0.0005368	0.0021106

3.3 게이트웨이 선출 기법

제안 프로토콜이 클러스터링을 기반으로 하기 때문에 클러스터 간 통신을 위해서 포워딩 노드로서 동작할 게이트웨이를 선출하기 위한 기법[16]이 요구된다. 참고 문헌의 기법에 추가하여 제안 프로토콜이 활용할 정보들을 삽입하여 적용한다.

게이트웨이는 클러스터 헤드간의 직접 통신이 불가능할 경우 패킷을 포워딩하는 노드들을 의미한다. 게이트웨이 노드가 되는 경우는 서로 다른 클러스터 헤드로부터 전송 가능한 거리에 있는 노드로서 특정 클러스터에 포함되거나 포함되지 않는 노드이다. 안정적인 게이트웨이의 선정을 위해서는 클러스터 내 또는 클러스터 헤드로부터의 위치, 배터리 잔류량 및 효과적인 라우팅 가능성이 고려되어야 한다. 제안 기법의 주요 아이디어는 크게 두 가지이다.

첫째는 노드의 잔류 에너지에 대해 임계치를 두고 게이트웨이 상태가 지속되는 시간을 고려하는 것이다.

둘째는 클러스터 헤드로부터 수신되는 신호의 강도를

활용하여 가장 안정적인 위치에 있는 것으로 고려되는 노드를 게이트웨이로 선출하는 것이다. 제안된 게이트웨이의 선출 절차는 그림 8과 같다.

3.4 부하 분산 기법

노드의 부하 분산을 위해서 현재의 부하 레벨을 측정하여 저장하는 것과 클러스터 헤드로 선출된 후 경과 시간을 측정하는 기법이 적용된다[17]. 그림 9는 부하 분산 알고리즘에 의해 부하 상태의 노드를 경로에서 제외하고 있는 예제이다. 수행 절차는 그림 10에 나타나 있다.

4. 실험 및 분석

4.1 실험 환경

본 논문에서는 윈도우 2000의 팬티엄 IV 2.0에 Quinnet 3.8을 설치하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 영역은 1000(m)×1000(m)의 공간을 설정하였고, 모바일 노드의 전송 범위는 250m으로 하였다. MAC 계층의 인터페이스는 IEEE에서 규정한 802.11을 사용하였고

Procedure	
step 1	다수의 클러스터 헤드로부터 신호를 수신하는 게이트웨이 후보 노드는 헤드의 신호 세기 및 자신의 신호 세기와 전력 상태를 신호에 포함하여 발송
step 2	클러스터 헤드로부터 받는 신호 세기는 헤더와 노드 사이의 거리를 d라고 할 때 거리의 제곱의 반비례임. 즉, $S_{pow} = 1/d^2$ (S_{pow} 가 높을수록 안정적인 위치)
step 3	신호를 보내는 클러스터 헤드들의 개수에 따라(헤드의 수가 1인 경우는 제외) 각 헤드들로부터의 신호 세기가 모두 큰 경우가 가장 안정적인 게이트웨이 노드의 위치
step 4	헤드로부터 받는 신호의 세기를 HSP(Head Signal Power)라 두면 H1에서의 신호 강도는 HSP1, H2로부터 신호 강도는 HSP2로 정의
step 5	게이트웨이의 기본적인 선출은 HSP1, HSP2, HSP3의 총합이 가장 큰 것을 고려할 수 있으나, 이 경우 나머지 2개가 0이고 1개의 신호만 큰 경우가 발생할 수 있으므로 최소 임계점을 넘는 신호를 수신할 수 있는 노드만을 고려 대상에 포함
step 6	수식 (a)를 이용하여 신호들의 총합 계산 $CSP_{cv} = MinCSP + (EL + P(m)) + SPa(a)$
step 7	H1, H2, H3은 CSP_{cv} 를 이용하여 어떤 노드가 게이트웨이 역할을 수행 할지 결정
step 8	모든 HSPn이 CSP_{cv} 를 초과하는 노드만을 게이트웨이 후보로 하여 아래의 단계 반복 적용
	step 8-1 후보 노드의 에너지 레벨이 임계치 이하인 것은 제외
	step 8-2 이동확률을 고려하여 이동 가능성이 높은 노드는 제외
step 8-3	신호 강도를 제어할 수 있는 선행적 제어값 SPa를 증가시켜최종 후보가 n개 남을 때 까지 수행한다. (n은 응용에 따라여러 값 적용 가능)
step 9	기본 게이트웨이는 위의 각 단계를 반복하여 step8의 과정에서 획득할 수 있는 최대의 값을 가지는 노드가 선정되고 응용에 따라 게이트웨이 대체 후보를 n개 설정 가능

그림 8 게이트웨이 선출 절차

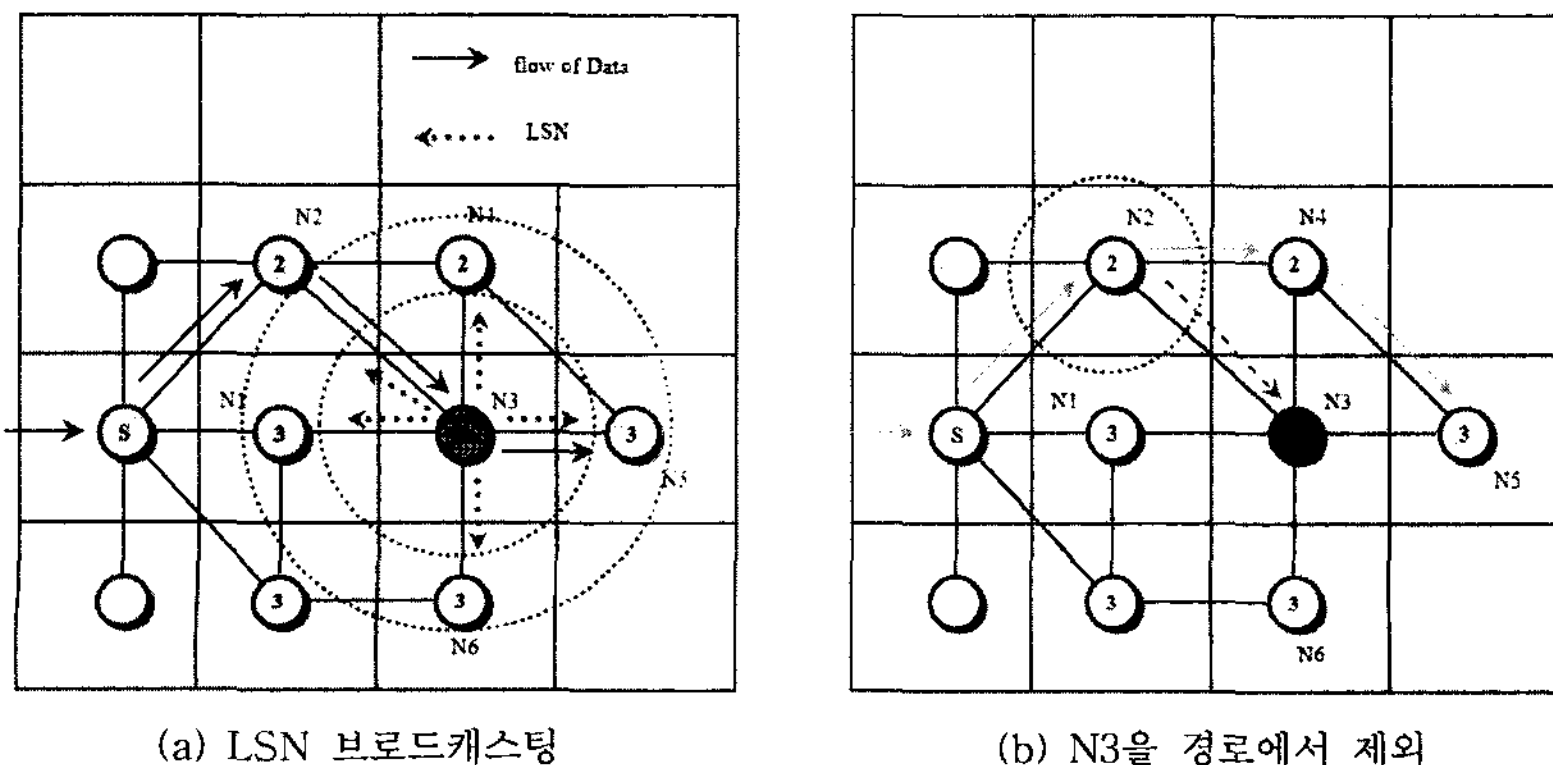


그림 9 경로 조정의 예

Procedure	
step 1	각 노드마다 데이터 전송 경로에 포함되거나 데이터를 전송하기 위해서 새로운 경로를 생성한 경우 자신의 LD(Load Degree)를 1증가
step 2	LD를 LSN(Load State Notification) 메시지에 포함하여 브로드캐스팅(flag = 0 : 상태 통보) step 2-1 에너지 레벨 체크(EL) step 2-2 클러스터 헤드 이후의 경과 시간 체크(H_time)
step 3	PAOMDV를 이용하여 구축한 대체 경로가 다수 존재하며 이들 중에서 LSN을 발송하는 인접 노드를 포함하여 각 경로들에 존재하는 클러스터 헤드가 LSN 수신
step 4	LSN을 수신한 이웃 노드는 이후 발생하는 패킷 전송에 대한 새로운 경로 선정에서 LSN 발송 노드를 제외하기 위한 기준으로 LSN 메시지의 LD 저장
step 5	현재 패킷을 전송중인 경로상의 헤드 노드들은 계속해서 패킷 전송 step 5-1 전송 경로상에 포함되지 않은 인접 헤드 노드들은 자신의 LD값 보다 낮은 LD를 가진 인접 헤드 노드만을 통해서 패킷을 전송 하도록 경로 조정 step 5-2 모두 자신보다 LD가 높을 경우 그 중 가장 작은 LD를 가진 헤드로 패킷 전송
step 6	일정 시간 이후 LD가 낮아지면 LSN을 다시 통보하여 경로에 재참가(flag = 1 : 재참가 통보)

그림 10 부하 분산 수행 알고리즘

2Mbps의 데이터 전송 대역을 가지도록 설정하였다. 전파의 전달 형식은 Two Ray Ground이며 이동 속도 및 방향은 랜덤으로 한다. 시뮬레이션 시간은 1회에 500sec으로 하여 10회 수행하였다.

실험은 노드의 수, 노드의 평균 속도, 네트워크 부하를 변화시키면서 이에 따른 네트워크 성능을 나타낼 수 있는 4개의 인자를 측정하였다. 각각의 변화 인자를 조정할 때 다른 인자들은 고정시킨 상태에서 실험한다. 노드의 수는 30으로 고정하고 노드의 평균 속도는 15m/sec으로 고정하며 네트워크 부하는 초당 1/4 패킷으로 고정하여 실험하였다. 세 가지의 인자가 변화하는 동안 측정 대상 인자로는 패킷 전송률, 종단간 평균 지연, 라우팅 오버헤드, 생존 노드의 수이다. 4개의 인자를 기존 프로토콜인 AODV, AOMDV, ZRP와 비교하여 측정하였다. 특히 노드 이동 속도의 증가에 따른 라우팅 오버헤드나 종단간 평균 지연은 MANET을 활용하여 실시간 미디어 전송과 같은 유비쿼터스 서비스를 사용할 수 있는지에 대한 주요 척도가 될 수 있다.

4.2 측정 및 분석

4.2.1 패킷 전송률

패킷 전송률은 네트워크 성능을 측정하는 인자들 중에 중요한 인자이다. 네트워크 노드의 수, 노드의 평균 속도, 네트워크 평균 부하에 대해서 AODV, AOMDV, ZRP와 제안 프로토콜을 비교하였다.

첫 번째 실험은 네트워크를 구성하는 노드의 수를 0에서 100까지 변화시키면서 시행하였다. 결과는 그림 11(a)에 나타나 있다. 노드수가 50개를 넘어서는 시점에서 AODV는 패킷 전송률이 80% 이하가 되지만 제안 프로토콜의 경우 여전히 85% 이상의 패킷 전송률을 보이고 있다. AOMDV, ZRP 및 제안 프로토콜의 경우 패킷 전송률의 차이가 크지 않은데 AOMDV와 제안 프로토콜의 경우 패킷의 전송을 위해서 다중경로를 구성하기 때문이다. ZRP의 경우에는 AOMDV에 비해 평균적

으로 약 2.5% 높은 전송률을 보인다. 이는 ZRP가 혼합형 프로토콜로서 노드 수가 적고 노드들의 이동 속도가 느린 경우 패킷 전송률이 우수함을 의미한다.

그림 11(b)는 노드의 속도를 0에서 50m/sec으로 변화하면서 실험한 결과이다. 네 가지 프로토콜 모두 노드의 속도가 50m/sec에 가까워져 갈수록 전송률이 하락한다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯 노드의 속도가 20m/sec까지는 제안 프로토콜과 AOMDV 프로토콜 전송률의 차이가 미비하나 그 이상부터는 제안 프로토콜이 AOMDV에 비해 전송률이 높으며 평균적으로는 약 3.5% 정도의 높은 전송률을 보인다.

그림 11(c)는 네트워크 부하를 증가시키는 상태에서의 네 가지 프로토콜에 대한 전송률 비교 결과이다. 네트워크의 부하가 초당 1 패킷 이상이 되는 시점에서는 혼잡 발생으로 인해 전송 경로 상의 노드를 상실할 수 있다. 따라서 초당 1 패킷 이상의 부하 상태에서는 전송률이 60%로 나타난다. 그러나 AOMDV와 제안 프로토콜의 경우에는 다중경로가 설정되어 특정 경로에 초당 1패킷 이상의 부하가 발생하더라도 대체 경로를 통하여 전송을 수행함으로써 70%를 넘는 패킷 전송률을 유지할 수 있다. 제안 프로토콜은 다른 세 가지 프로토콜에 비해 평균적으로 3.1%에서 7.2%의 높은 전송률을 나타낸다.

4.2.2 종단간 평균 지연

종단간 평균 지연 시간은 모바일 Ad-hoc 네트워크 환경에서 출발 노드가 또 타겟 노드까지의 데이터를 전송하는데 걸리는 시간을 측정하여 이들 값의 평균을 구한 것이다.

그림 12(a)는 네트워크를 구성할 노드의 수를 증가시키면서 실험한 결과이다. ZRP는 노드수가 적을 때는 가장 적은 지연 시간을 가진다. 다수의 영역으로 네트워크가 구분되지 않은 상태에서는 Proactive 방식으로만 프로토콜이 동작하기 때문이다. AODV의 경우에는 지연이 10노드일 때도 높는데, 이는 무조건적인 RREQ의 발

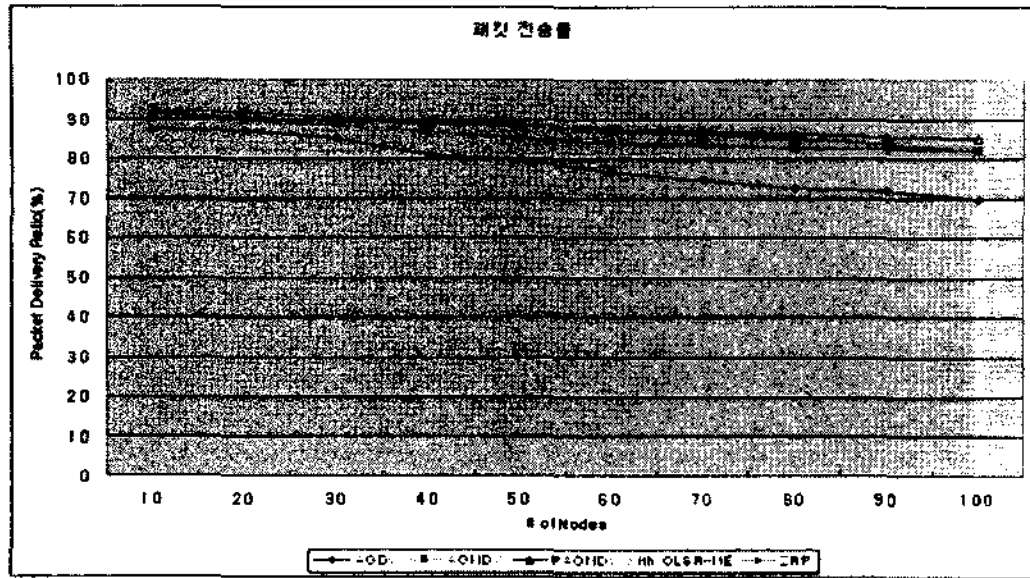


그림 11(a) 노드 수 변화에 따른 패킷 전송률

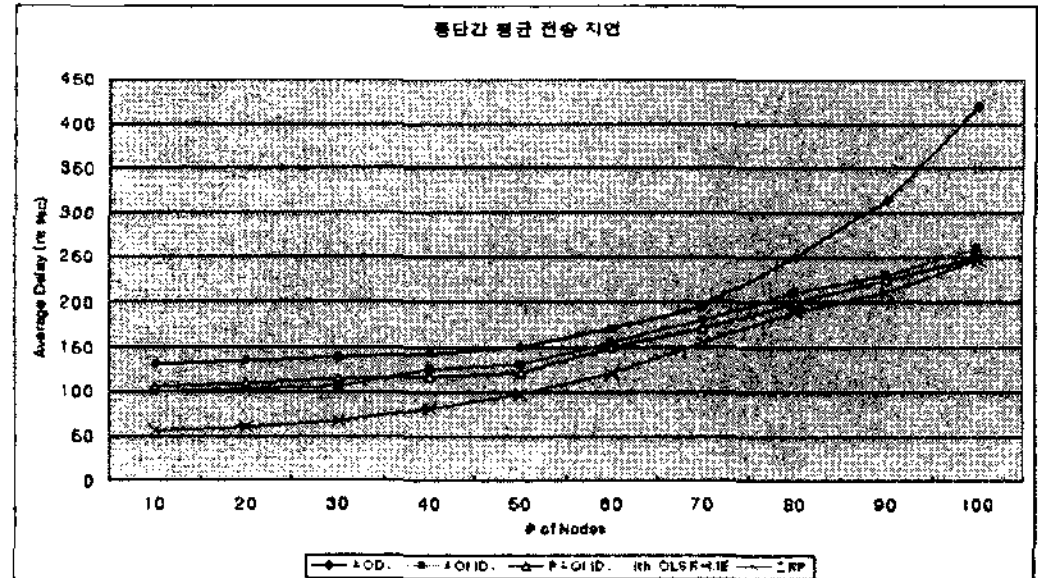


그림 12(a) 노드 수 변화에 따른 평균 지연

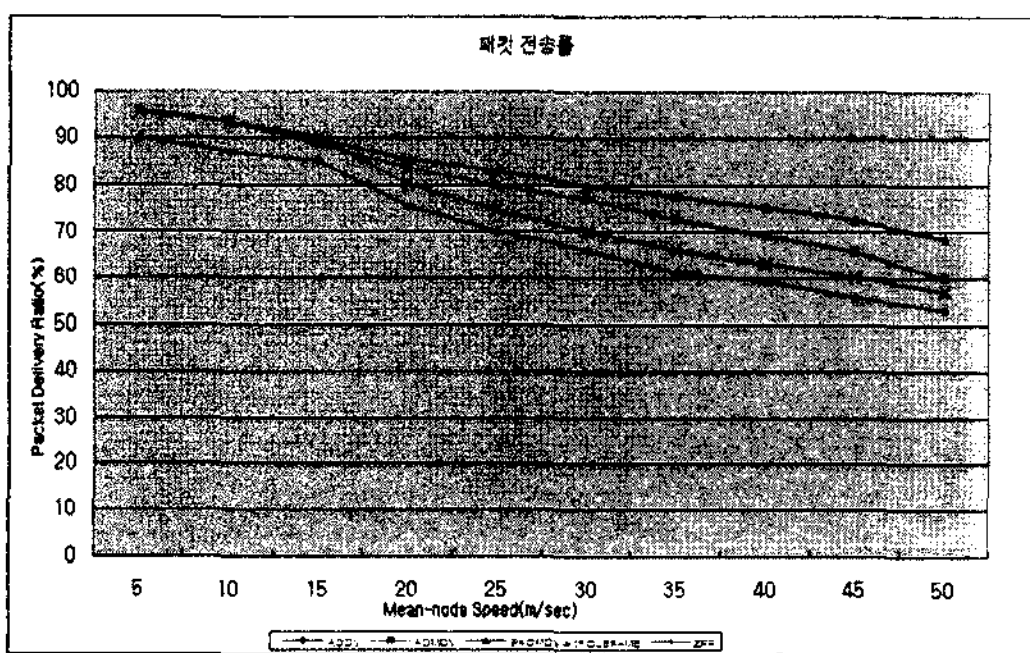


그림 11(b) 노드 속도 변화에 따른 패킷 전송률

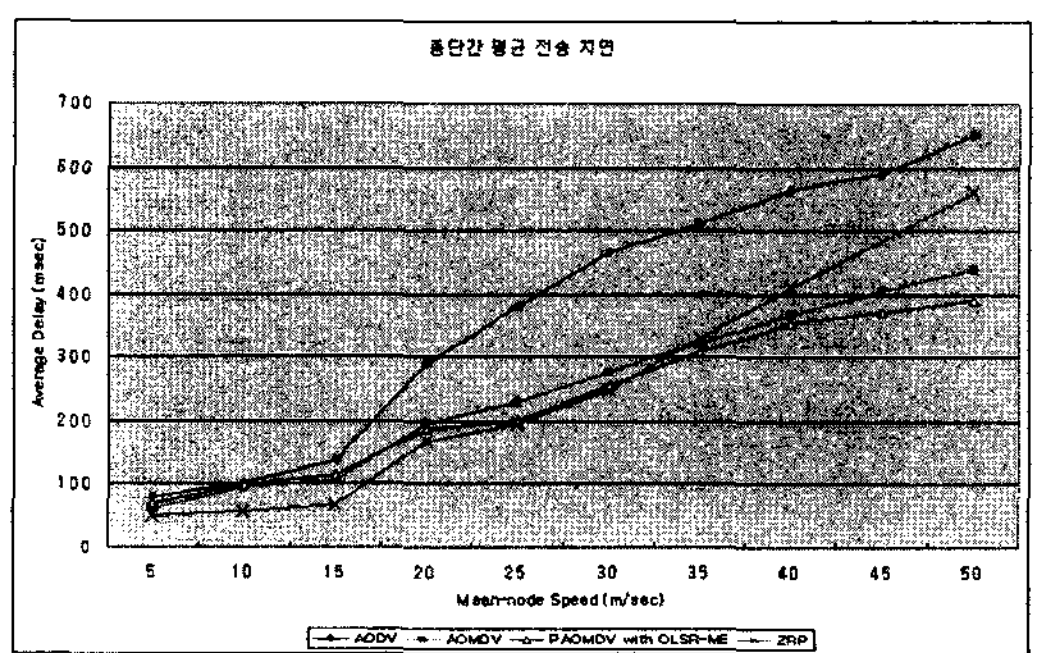


그림 12(b) 노드 속도 변화에 따른 평균 지연

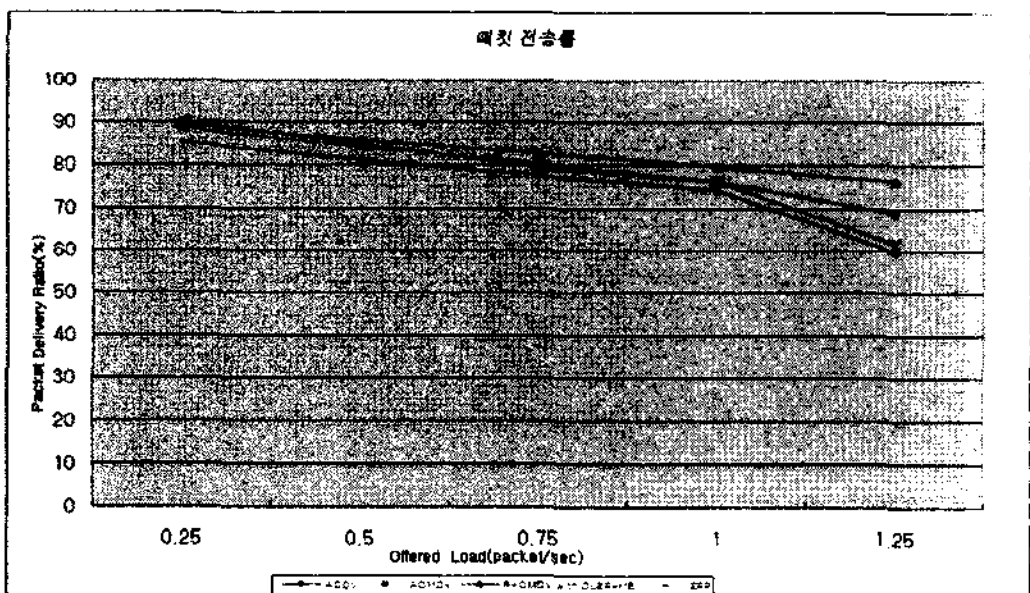


그림 11(c) 평균 부하 변화에 따른 패킷 전송률

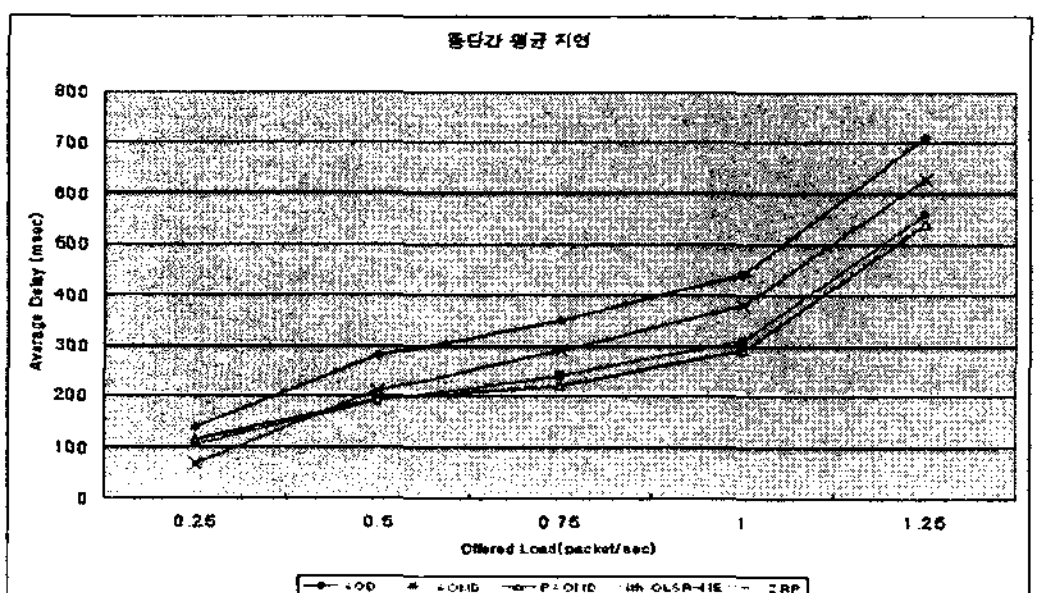


그림 12(c) 평균 부하 변화에 따른 평균 지연

송으로 인해 최초의 경로를 선정하는데 까지 높은 시간을 가지는 것으로 해석할 수 있다. AOMDV와 제안 프로토콜의 경우는 노드가 50개인 시점을 지나면서 평균 지연 시간이 증가한다. 그 이하의 노드 수에서는 다중경로를 가진 두 프로토콜이 전체적인 경로 재설정 작업을 하지 않기 때문에 사료된다. 다중경로가 존재하는 경우 하나의 경로 단절이 전체 네트워크 성능을 감소시키지 않는다는 것을 알 수 있다. 평균적으로 제안 프로토콜이 AOMDV에 비해 약 3.8 ms 적은 지연 시간을 가지나 그 차이가 미비하고 ZRP는 제안 프로토콜과 비교하여 평균적으로 27.8 ms 작은 지연을 가져 네 가지 프로토콜 중에서 가장 작은 지연을 나타내었다.

그림 12(b)에는 노드의 속도 변화에 따른 종단간 평

균 지연의 결과를 나타내었다. 노드의 속도가 증가하였다는 것은 노드의 이동성이 증가하였다는 것이고, 이동성의 증가는 경로의 단절 가능성의 증가로 이어진다. ZRP는 노드의 이동속도 20m/sec까지는 낮은 전송 지연을 가지지만 노드의 이동 속도 증가로 인해 경로 단절이 발생하면 단일경로 프로토콜의 문제점을 노출된다. 이 결과에서도 제안 프로토콜이 AOMDV에 비해 보다 적은 지연을 가진다. 그러나 두 프로토콜의 평균 전송 지연 차이는 15.4ms로 미미하다.

다음은 네트워크 평균 부하를 증가 시켰을 경우 프로토콜들의 종단간 평균 지연을 측정 한 것이다(그림 12(c)). 단일경로를 이용하는지 아니면 다중경로를 이용하는지에 따라 1패킷 이상을 네트워크에 부하로 주었을

경우 그 차이가 160ms 이상 나타난다. 일반적으로는 네트워크의 부하가 낮을 때도 다중경로를 이용하는 프로토콜들이 100ms로 짧은 종단간 지연을 가진다. 이는 다중경로의 특성상 하나의 경로에 과도한 부하로 인해 패킷 손실이 일어나면 그 경로를 단절된 것으로 생각하여 즉시 대체 경로로의 전송을 시도하기 때문이다.

4.2.3 라우팅 오버헤드

라우팅 오버헤드는 라우팅 경로를 형성하는 과정에서 소요되는 라우팅 레벨(routing level)에서의 오버헤드만을 의미한다. 본 논문에서는 라우팅 오버헤드의 측정 대상으로서 하나의 홉 전송을 하나의 전송으로 간주하고 여기서 발생하는 제어 패킷 즉, RREQ, RREP, RERR, RRIM, RNEM의 수를 라우팅 오버헤드로 측정하게 된다.

우선 노드의 수를 증가시키면서 라우팅 오버헤드를 측정하였다. 그림 13(a)에서와 같이 노드의 수가 증가하면 네 가지 프로토콜 모두에서 라우팅 오버헤드가 증가한다. AOMDV와 제안 프로토콜의 경우, 노드가 60일 때까지는 유사한 라우팅 오버헤드를 보이나 그 이상의 노드 수에서는 오히려 AOMDV가 제안 프로토콜 보다 더 적은 오버헤드를 가지게 된다. 이는 제안 프로토콜이 내부적으로 부하 분산을 위한 제어 메시지와 게이트웨이 선출을 위한 제어 메시지, 대체 노드 통보를 위한 메시지가 발생하기 때문이다. 노드 수 60개 이상의 환경만을 고려하였을 경우 라우팅 오버헤드의 차이는 AOMDV가 제안 프로토콜에 비해 평균적으로 약 22,000개 정도의 작은 제어 메시지를 생성하는 것으로 나타났다. 라우팅 오버헤드 측면에서는 ZRP가 네 가지 프로토콜 중에 가장 우수하였다.

다음 실험은 노드의 평균 속도를 변화 시키면서 이에 따른 라우팅 오버헤드를 측정한 결과이다(그림 13(b)). 제안 프로토콜은 노드의 평균 속도가 증가하였을 경우에는 홉 수가 일정하다는 가정 하에 AOMDV보다 다수의 대체 경로를 가지게 된다. 이러한 경우 노드 이동으로 인한 경로 단절이 발생하더라도 전체적인 네트워크에 대해 경로 재설정 작업을 해야 하는 확률이 낮아지게 된다. 노드의 이동 속도 증가에 따른 동적인 환경에서는 제안 프로토콜의 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있다.

네트워크 평균 부하의 변화에 따라서 라우팅 오버헤드는 그림 13(c)와 같이 측정되었다. ZRP와 AODV의 경우 네트워크 부하가 1/2 패킷이 되는 시점부터 급격한 라우팅 오버헤드의 증가를 보인다. AOMDV와 제안 프로토콜은 네트워크 과부하 상태에서도 적은 오버헤드를 가지며 제안 프로토콜이 AOMDV 보다도 약 15,000개 정도 작은 제어 패킷을 생성하여 오버헤드가 낮다.

4.2.4 생존 노드의 수

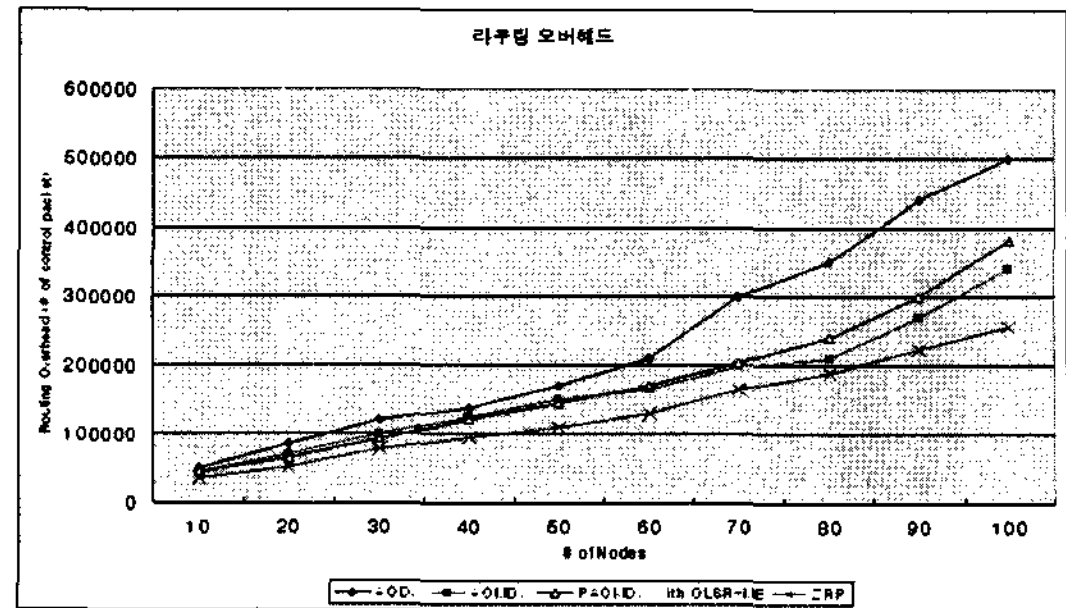


그림 13(a) 노드 수 변화에 따른 라우팅 오버헤드

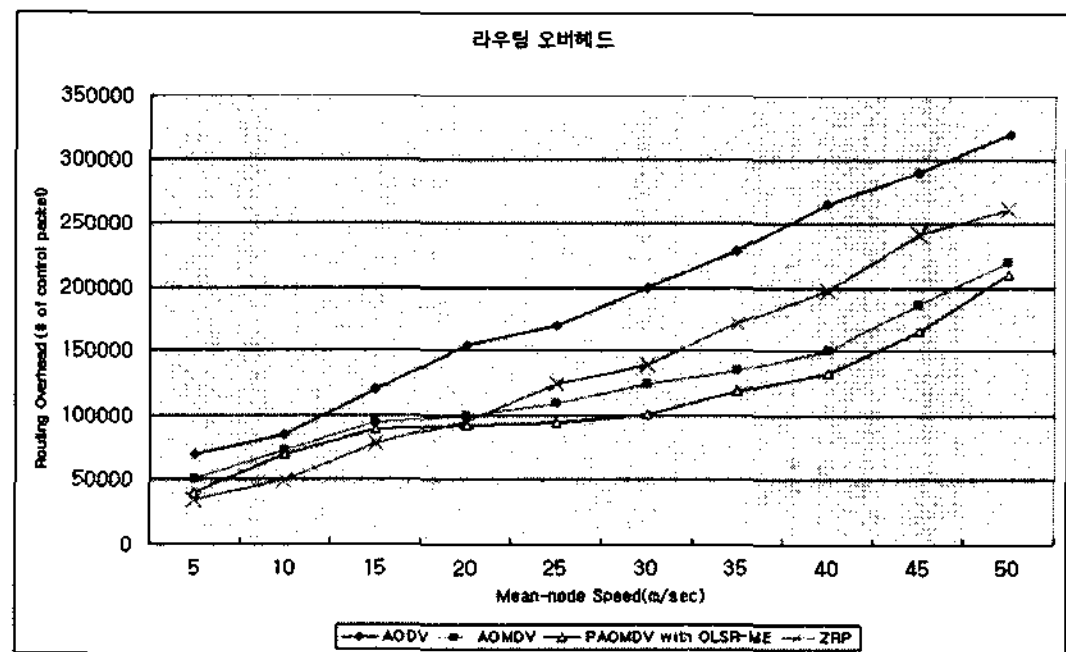


그림 13(b) 노드 속도 변화에 따른 라우팅 오버헤드

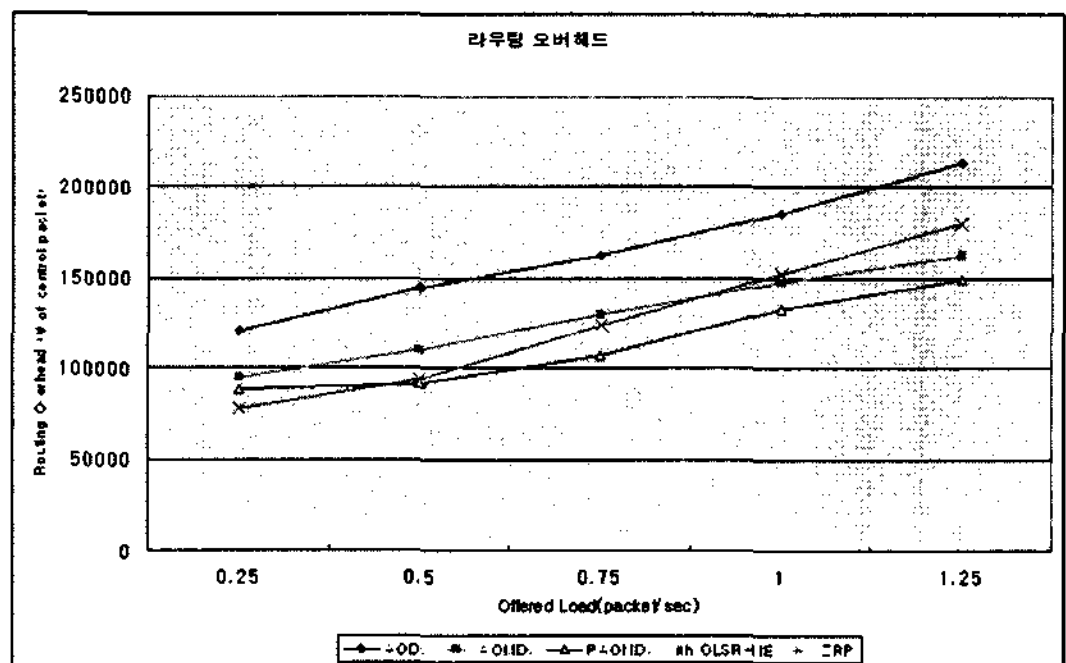


그림 13(c) 평균 부하 변화에 따른 라우팅 오버헤드

생존 노드의 수를 측정하는 것은 제안 프로토콜이 다른 세 프로토콜에 비해 노드의 에너지를 얼마나 효율적으로 사용하는지를 확인하기 위한 것이다. 실험 측정 시간이 500sec으로 길지 않고 특별한 제약 사항을 두지 않았기 때문에 노드의 생존율이 세 가지 실험에서 확실하게 구분되지 않았다. 노드의 수가 증가하는데 따른 네 가지 프로토콜의 노드 생존율을 살펴보면 제안 프로토콜이 모든 노드들이 평균적으로 에너지 소모를 할 수 있도록 구현되어 있기 때문에 다른 프로토콜에 비해 상대적으로 우수하다. 특히 15m/sec 이상의 시점부터는 특정 노드가 또 다른 노드의 전송 거리 밖으로의 사라

지거나 노드 간의 거리가 멀어짐에 따라 전송 에너지 소모가 심해진다. 이 경우에도 제안 프로토콜이 다른 프로토콜에 비해 노드의 생존율이 상대적으로 높다.

5. 결론

MANET은 기간망을 적용하기 힘든 응용이나 유비쿼터스 네트워크 구성에 사용되는 임시적인 네트워크이다. 그러나 네트워크의 특성상 노드의 이동성 및 노드 자체의 에너지 제약으로 인한 링크 단절이 빈번하게 일어나며 따라서 미디어 전송과 같은 서비스를 원활하게 수행하기 어렵다.

본 논문에서는 언급한 문제점을 극복하기 위해 혼합형 프로토콜을 제안하였다. 네트워크를 클러스터 단위로 구분하고 클러스터 내의 프로토콜에는 OLSR을 확장한 OLSR-ME를, 클러스터 간의 통신에서는 기존의 다중 경로 프로토콜인 AOMDV에 확률적인 기법을 추가한 PAOMDV를 적용하였다. 또한 이들의 최적 통신을 보장하기 위해서 게이트웨이 선출기법과 부하분산 기법을 추가하였다.

유비쿼터스 서비스의 한 부분이 될 이동 중의 실시간 미디어 전송에 제안 프로토콜의 적용성을 검토하기 위해 노드 속도, 노드 수, 네트워크 부하를 변환 인자로 선정하여 실험하였다. 측정 대상은 패킷 전송률, 종단간 지연, 라우팅 오버헤드, 노드 생존 수이며 기존의 AODV, AOMDV, ZRP와 제안 프로토콜을 비교하였다.

패킷 전송률에서 노드 수, 노드 이동 속도, 네트워크 부하의 증가에 따라 제안 프로토콜이 기존의 프로토콜에 비해 3.1%에서 7.2% 우수하였다.

종단간 평균 지연 시간을 측정하는 실험에서는 ZRP가 노드 수의 증가에 따른 실험에서는 가장 작은 지연을 나타내며 평균적인 성능에서는 주목할 만한 정도의 차이는 없으나 제안 프로토콜이 기존의 프로토콜들에 비해 평균적으로 15.4ms 정도의 적은 지연 시간을 가짐을 확인할 수 있었다.

라우팅 오버헤드를 측정하는 실험에서는 노드의 수를 증가시키면서 라우팅 오버헤드를 측정한 결과는 ZRP가 가장 적은 오버헤드를 가지며, AOMDV가 제안 프로토콜 보다 22,000개 작은 오버헤드를 가져 제안 프로토콜 보다 우수하였다. 즉 노드 수가 증가하는 환경에서는 제안 프로토콜의 오버헤드가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 노드의 이동 속도 증가에 대해서는 제안 프로토콜이 기존의 프로토콜 보다 평균적은 15,000개 작은 오버헤드를 나타내었는데 제안 프로토콜은 노드들이 빠른 속도로 이동하는 동적 무선 네트워크 환경에 적합함을 확인할 수 있다. 따라서 제안 프로토콜이 유비쿼터스 네트워킹을 위한 기반 기술로서 적용될 수 있음을 확인

할 수 있었다.

향후 과제는 또 다른 네트워크 인자나 실제 통신 상황을 시나리오로 하여 실험을 수행하고 그 결과를 분석하는 것이다.

참고 문헌

- [1] M. Ilyas, *The Handbook of Ad hoc Wireless Network*, CRC Press, March 2003.
- [2] G. Aggelou, *Mobile Ad hoc Networking*, McGraw-Hill, Nov. 2004.
- [3] S. Basagni, *Mobile Ad hoc Networking*, WILEY, July 2004.
- [4] B. S. Manoj, *Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocol*, Prentice Hall, June 2004.
- [5] C.K.K. Toh, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems*, Prentice Hall, 2001.
- [6] Perkins, *Ad hoc Networking Professional*, Addison-Wesley, June 2001.
- [7] 한승진, "DSR 기반의 대규모 무선 애드 혹 네트워크에서 효율적인 경로 유지", 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집, 제12권, 제1호, pp. 1377-1380, 2005. 5.
- [8] J. Shin and H. Kwuan, "Flooding Technique on Mobile ad hoc Network," *lectron-Communication Trand Analysis*, Vol.18, No.6, pp. 8-18. 2003. 12.
- [9] 임화정, 차영환, "이동 애드 혹 네트워크를 위한 다중 경로 동적 소스 라우팅 프로토콜", 한국정보처리학회, 정보처리학회논문지 C, 제12-C권, 제1호, pp. 111-120, 2005. 2.
- [10] 이양민, 이재기, "플러딩 및 에너지 효율을 고려한 혼합형 Ad-hoc 네트워크 프로토콜에 관한 연구", 한국멀티미디어학회 추계학술발표대회, 한국멀티미디어학회 논문집, Vol.8, No.2, pp. 147, Dec. 2005.
- [11] 김중태, 모상만, 정일용, "모바일 Ad-hoc 네트워크에서의 AODV 기반 최대 비중첩 다중경로 라우팅 프로토콜", 한국정보처리학회, 정보처리학회논문지C, 12권, 3호, pp. 429-436, 2005. 8.
- [12] 김기일, 김상하, "MANET에서의 다중 경로 라우팅 프로토콜 연구 동향", 충남대학교, 정보기술논문지, 2004. 6.
- [13] 이양민, 이재기, "모바일 Ad Hoc 네트워크에서 신뢰성 있는 경로설정을 위한 프로토콜 설계", 한국정보과학회 추계 학술발표대회, 한국정보과학회 논문지, Vol. D, pp. 338-343, Oct. 2006.
- [14] Yang-Min Lee, Jae-Kee Lee, "A Study on Efficient MANET Protocol to support Real-Time Ubiquitous Service," *ICUCT 2007*, Korea Electronics Technology Institute, Vol.A, pp. 454-463, Feb. 2007.
- [15] Yang-Min Lee, Jae-Kee Lee, "Load Balancing Protocol considering effective Path Search in Mobile Ad hoc network," *ICACT 2007*, Ministry of Information and Communication, Vol.2, pp. 1129-1134, Feb. 2007.

- [16] 김종근, 김영락, 우매리, 김동학, “클러스터 기반 Ad Hoc 네트워크의 게이트웨이 선출기법”, 영남대학교 정보통신연구소, 정보통신 연구소 논문집, 10권, 2호, pp. 53-58, 2003. 3.
- [17] 송찬호, 유혁, “Mobile Ad Hoc 네트워크에서 로드분산 기법”, 한국정보처리학회 춘계학술발표대회, 한국정보처리학회 논문집, 제12권, 제1호, pp. 1441-1444, 2005. 5.



이 양 민

2000년 동아대학교 컴퓨터공학과(공학사)
2002년 동아대학교 대학원 컴퓨터공학과
(공학석사). 2006년 동아대학교 대학원
컴퓨터공학과(공학박사). 2007년 BK21
고성능 멀티미디어 사업팀 연구원. 2007
~현재 동아대학교 컴퓨터공학과(시간강

사). 관심분야는 유비쿼터스 컴퓨팅, Ad-hoc 네트워크 등



이 재 기

1978년 영남대학교 전자공학과(공학사)
1983년 영남대학교 대학원 전자공학과
(공학석사). 1990년 일본 동경대학 전자
정보공학전공(공학박사). 1984년~1990년
한국전자통신연구소 연구원. 1990년~현
재 동아대학교 컴퓨터공학과 교수 2000

년~2001년 일본 마쿠하리기가비트연구센터 초빙 연구원
관심분야는 차세대 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 분산시스
템 등