[UCI]I804:24011-200000231818

2006년 8월
박사학위논문

이동 Ad Hoc 네트워크에서 사전 활성화 라우팅 선택과 관리유지 알고리즘

조선대학교 대학원

전자계산학과

조 영 주

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY
100354938 2006-09-07

이동 Ad Hoc 네트워크에서 사전 활성화 라우팅 선택과 관리유지 알고리즘

Pro-active Routing Selection and Maintenance Algorithms for Mobile Ad Hoc Networks

2006년 8월 25일

조선대학교 대학원

전자계산학과

조 영 주

이동 Ad Hoc 네트워크에서 사전 활성화 라우팅 선택과 관리유지 알고리즘

지도교수 정 일 용

이 논문을 이학박사학위신청 논문으로 제출함.

2006년 4월 일

조선대학교 대학원

전자계산학과

조 영 주

조영주의 박사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 _____

위 원 전남대학교 교수 _____

위 원 조선대학교 교수 _____

위 원 조선대학교 교수 _____

위 원 조선대학교 교수 _____

2006년 6월 일

조선대학교 대학원

목 차

목차 ····· i
표 목차 ····· iii
도 목차 ····· iv
ABSTRACT ····· vi

1. 서론 ····· 1

2. Ad Hoc 네트워크 ····· 6

2.2 이동 Ad Hoc 네트워크 프로토콜 ····· 12

2.2.1 이동 Ad Hoc 네트워크의 링크계층 ····· 12
2.2.1.1 송신자-주도매체접근제어프로토콜 ····· 15
2.2.1.2 수신자-주도매체접근제어프로토콜 ····· 19
2.2.1.3 PAMAS와 DBTMA 프로토콜 ····· 22

2.2.2 이동 Ad Hoc 네트워크의 네트워크계층 ····· 23

2.3 이동 Ad Hoc 네트워크의 전송계층 ····· 35

3. 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 ····· 46

3.1 On-demand 라우팅 알고리즘 ····· 46

3.2 사전 활성화 알고리즘 ····· 49
3.2.1 신호파워 세기 측정과 임계치 설정 ····· 49
3.2.2 사전경고 패킷 발생 ····· 52
3.2.3 경로 발견 및 유지 관리 ····· 57

4. 성능 평가 ····· 62

4.1 ns-2 시뮬레이션 ····· 62

4.2 ns-2 시뮬레이션 결과 및 분석 ····· 65

5. 결론 ····· 75

참고문헌 ····· 77

표 목차

<표 1> On-demand 프로토콜 비교 ····· 34

<표 2> TCP 프로토콜 비교 ····· 43

<표 3> 개방형 문제점 ····· 45

도 목차

(그림 1) 이동 Ad Hoc 네트워크 ····· 2

(그림 2) 라우팅 프로토콜의 패킷 손실 및 경로 재탐색 과정 ····· 4

(그림 3) Ad Hoc MAC 프로토콜의 분류 ····· 14

(그림 4) MACA-MACA BI 프로토콜 ····· 17

(그림 5) DFWMAC 프로토콜 ····· 18

(그림 6) MARCH 프로토콜 ····· 21

(그림 7) 이동 Ad Hoc 네트워크 라우팅 프로토콜의 분류 ····· 24

(그림 8) DSR 프로토콜의 절차 ····· 29

(그림 9) AODV 프로토콜의 절차 ····· 31

(그림 10) TCP-F 상태 장치 ····· 37

(그림 11) TCP-BuS 경로 재설정 후 동작 ····· 39

(그림 12) 송신 노드에서 ATCP 대한 상태 전이 ····· 41

(그림 13) On-demand 방식의 라우팅 프로토콜의 동작 과정 및 문제점 ····· 48

(그림 14) 거리에 따라 수신되는 패킷의 신호파워 ····· 51

(그림 15) 사전 활성화 경로 선택과 관리 유지 알고리즘의 동작 · 55

(그림 16) 사전활성화 경로선택과 관리유지 알고리즘 사전경로 패킷 포맷 ····· 56

(그림 17) 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 순서도 ·· 59

(그림 18) 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 동작 ····· 61

(그림 19) ns-2 시뮬레이션 플랫폼의 절차적 개요 ····· 63

(그림 20) 패킷 전송율 ····· 67

(그림 21) 평균 패킷 지연시간 ····· 69

(그림 22) 라우팅 오버헤드 ····· 73

Pro-active Routing Selection and Maintenance Algorithms for Mobile Ad Hoc Networks

Young-Joo Cho
Advisor : Prof. Il-Yong Chung, Ph.D.
Department of Computer Science,
Graduate School of Chosun University

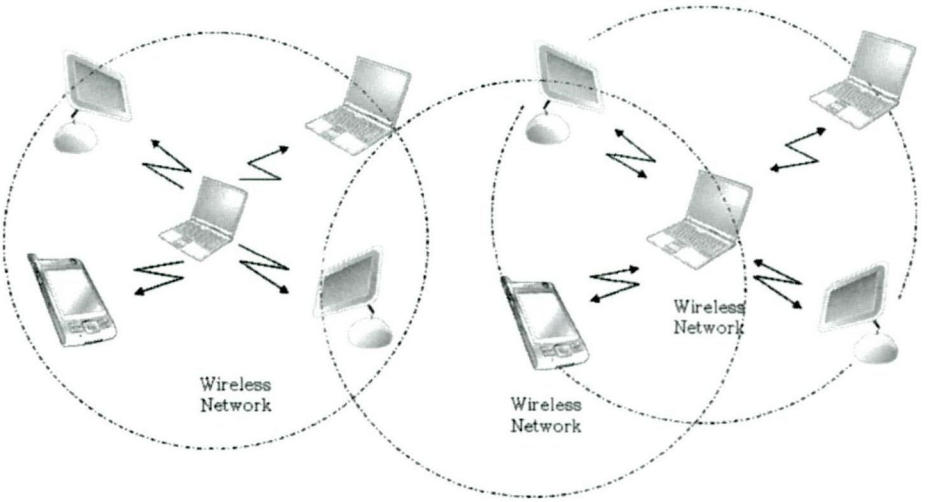
In conventional on-demand mobile ad hoc routing algorithms, an alternate path is sought only after an active path is broken. It incurs a significant cost in terms of money and time in detecting the disconnection and establishing a new route. In this thesis, we propose proactive route selection and maintenance to conventional mobile ad hoc on-demand routing algorithms. The key idea for this research is to only consider a path break to be likely when the signal power of a received packet drops below an optimal threshold value and to generate a forewarning packet. In other words, if a path is lost with high probability, the neighboring node that may easily be cut off notifies the source node by sending a forewarning packet. Then the source node can initiate route discovery early and switched to a reliable path potentially avoiding the disconnection altogether. For the experimental study, network simulator(NS2) is used. The result of simulation shows that the proposed proactive route selection and maintenance algorithm significantly improves the performance of networks comparing to conventional on-demand routing protocols based on DSR and AODV in terms of packet delivery ratio, packet latency and overhead.

Keyword : Mobile ad hoc network, Routing Protocol, DSR, AODV

1. 서론

이동 Ad Hoc 네트워크(Mobile ad hoc network)[1,2,3]은 기존의 기지국이 유선 네트워크에 연결된 형태의 통신 인프라 기반과는 달리 모든 단말기가 이동하는 환경에서 서로 직접적인 무선 전송 범위에 위치하지 않은 노드간의 원활한 데이터 전송을 위해 다중 홉 무선 링크로 구성되어 여러 개의 중간 단말기들의 데이터 포워딩/경로설정(Forwarding/Routing)에 의존하게 되는 새로운 형태의 네트워크이다. 그림 1은 이동 Ad Hoc 네트워크를 구성하는 그림이다. 이동 Ad Hoc 네트워크에 관한 연구는 인터넷 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 MANET 작업반 (Mobile Ad hoc Networks Working Group)[4]를 통해 표준화 활동을 활발히 진행 중에 있으며 주로 라우팅 프로토콜에 관한 표준을 정하고 있다.

기존에 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 알고리즘(Ad Hoc On-demand Routing Algorithms)[5,6,7,8,9]는 경로의 손실이 발생할 경우에만 경로 탐색을 시작하므로, 단절된 경로를 발견하고 새로운 경로를 확립하기까지 경비와 시간에 대한 부담이 크다는 문제점이 지적된다.



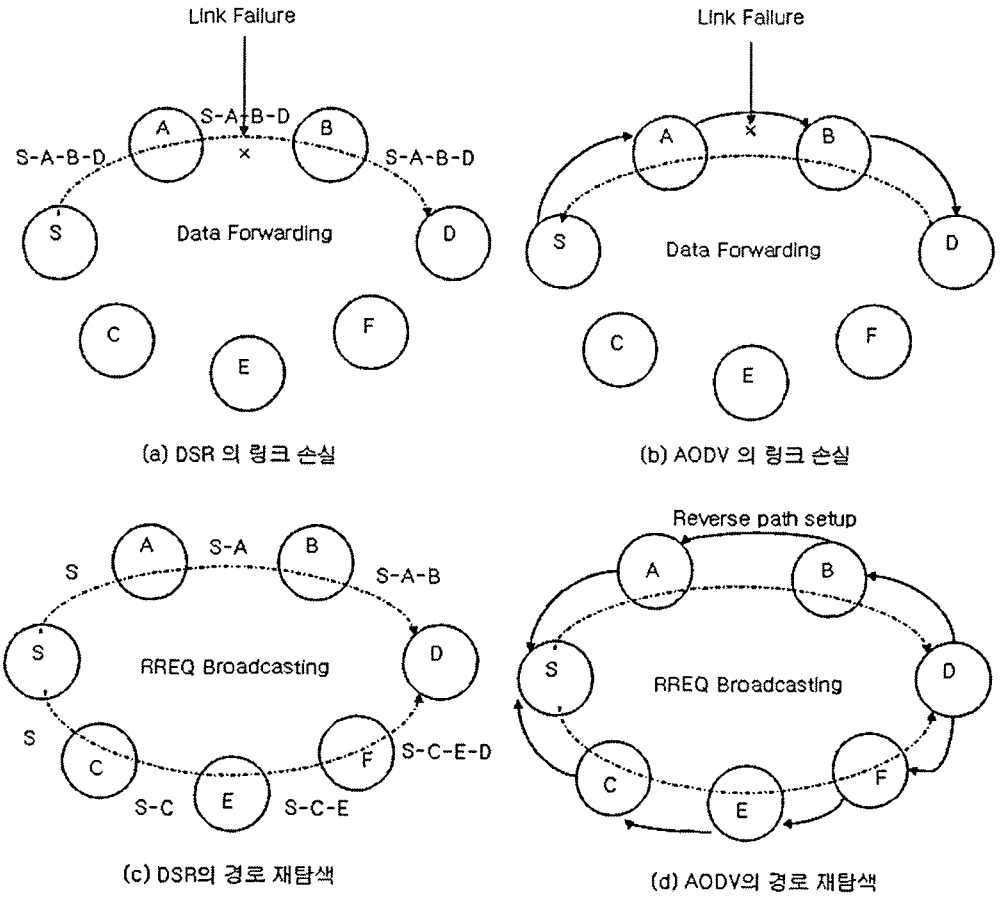
(그림 1) 이동 Ad Hoc 네트워크

Fig. 1. Mobile ad hoc network

그림 2는 기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 알고리즘에서 대표적인 프로토콜인 DSR(Dynamic Source Routing)[10]과 AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing)[11] 프로토콜에서 링크손상((a),(b))으로 인한 경로손실이 발생할 경우 데이터 전송을 일시 중지하고 송신노드(S)에서 수신노드(D)까지의 경로탐색((c),(d))이다.

본 논문에서는 기존의 On-demand 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘을 추가시킨 연구이다. 본 연구의 핵심 아이디어는 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 손실되기 전의 임계치 신호파워 세기까지 근접하게 되면 경로는 손실될 경향이 높다고 간주하고 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 임계치 이하로 떨어졌을 경우, 사전경고 패킷(forewarning packet)을 발생한다. 경로가 손실되는 가능성이 높은 경우에, 단절되기 전 노드가 이웃 노드 및 송신 노드에게 알리기 위해서 사전경고 패킷을 전송한다.

그런 후에, 송신 노드는 기존의 경로로 계속적으로 데이터를 전송하는 동안 사전에 다른 경로 발견을 시작하기 때문에, 모든 경로의 단절에 대한 잠재적인 가능성을 피한다.



(그림 2) 라우팅 프로토콜의 패킷 손실 및 경로 재탐색 과정

Fig. 2. The processing of packet loss and route discovery

기존의 On-demand 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리 유지 알고리즘을 추가시킨 실험 결과, 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘이 DSR과 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 높은 신뢰성과 우수한 견고성을 갖는 경로를 제공할 뿐만 아니라 손실이 발생하는 경로들의 수가 현저하게 감소한다. 대부분 패킷지연(Packet latency)도 계속 감소한다.

ns-2 (network simulator 2)[12,13] 시뮬레이션으로 성능을 평가한 결과, 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘은 기존의 DSR과 AODV 프로토콜보다 패킷 전송율과 평균 지연시간, 패킷의 오버헤드 측면에서 성능이 우수한 경향을 나타낸다.

2. Ad Hoc 네트워크

무선네트워크에서 유선 인프라 존재 여부에 따른 분류와 이동 Ad Hoc 네트워크가 가지는 일반적인 특성에 대해서 언급하고, 군사용 통신을 위한 개발 동향과 IETF에서 연구하는 MANET에 대해서 설명한다. 그리고 이동 Ad Hoc 네트워크의 제한사항에 대해서 알아본다. 또한 이동 Ad Hoc 네트워크의 적용을 위해 개발된 프로토콜들을 계층별로 링크계층, 네트워크계층, 전송계층으로 분리하여 살펴본다. 이 중에서 네트워크계층의 이동 Ad Hoc 네트워크 적용을 위해 개발된 라우팅 프로토콜, Table-driven 라우팅 프로토콜, On-demand 라우팅 프로토콜 및 Hybrid 라우팅 프로토콜의 개괄을 자세히 나타낸다. 그리고 On-demand 라우팅 알고리즘을 구현한 프로토콜로는 DSR(Dynamic Source Routing)과 AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing) 프로토콜에 대한 동작방식은 다음과 같다.

2.1 무선네트워크

무선 네트워크는 기존 인프라(기지국, AP : Access Point)의 지원여부에 따라서 두 가지로 분류한다. 이동 단말들이 유선환경에 기반한 기지국이나 AP를 중심으로 구성되는 인프라가 있는(Infrastructure) 네트워크와 기지국이나 AP의 도움없이 순수하게 이동 단말들로 구성된 인프라가 없는(Infrastructureless) 네트워크로 분류한다.

인프라가 있는 네트워크는 마지막 부분이 무선으로 유선 네트워크와 연결되어 Last hop network라 한다. 기존의 설치된 인프라를 통해서만 데

이터의 송수신과 같은 통신이 이루어지는 구조로 현재 많이 접하고 있는 이동전화망이나 Wireless LAN 등이 있다. 인프라가 있는 네트워크는 기존 인프라를 통해서만 통신이 가능함으로 지진과 같은 재해, 테러, 전쟁과 같은 상황에서 기지국이나 AP의 고장, 유선단절과 같은 상황 발생 시 통신을 할 수 없는 단점이 존재한다.

인프라가 없는 네트워크는 기존 인프라가 존재하지 않는 곳에서 이동 단말기간의 라우팅으로 데이터의 송·수신 등 통신을 수행하며 Ad Hoc network라 한다. 이동 단말들은 기지국이나 AP의 도움 없이 자신들이 라우터, 서버의 역할 등 다중적인 역할을 담당해야 한다. 이동 Ad Hoc 네트워크는 기존 인프라가 필요치 않는 특성으로 인하여 임시 구성용 네트워크이나 지진, 태풍, 테러에 의한 재해/재난 지역과, 특히 전쟁터와 같은 기반 시설이 없는 환경에서 적용 가능토록 주로 군사용 망에 중점을 두어 연구 개발되어 왔다. 최근의 인터넷의 급속한 성장을 배경으로 이동 Ad Hoc 네트워크는 초기의 원거리망에서 근거리 지역망, 일반 대중의 가정내 개인용 컴퓨터간 통신망 요구의 증대 및 IP에 이동성을 부여하기 위한 연구와 함께 이를 지원하기 위한 근거리 지원망에서 상업적으로 주목받기 시작했다. 최근 부각되고 있는 무선사설망(PAN:Personal Area Network) 기술인 Bluetooth, HomeRF 등은 이동 Ad Hoc 네트워크의 좋은 예이다.

이동 Ad Hoc 네트워크의 가장 큰 특징은 기존 인프라를 요구하지 않는다. 이러한 통신 인프라의 최소의 필요성으로 인하여 주로 군사용 통신으로 연구가 진행되었다. 군사용 시스템은 일반 상용 시스템과는 다른 요구사항을 갖는다. 상용 통신망이 고정되고 미리위치가 정해져 어디서나 접근할 수 있는 기반구조이며 단일 홉(single-hop)의 정적인 망위상을 갖고 협대역의 정적 할당, 지역과 주파수에 따른 최대의 사용자수 지원을 목표로 하며 개인성과 기본적인 상황 및 위치를 알고 제공되는 서비스를 제공한다.

반면, 군사용 통신망은 신속히 전개되는 기반구조이며 제한되고 선택적으로 접근이 허용된다. 또한 다중 홉과 산발적 연결의 고도로 동적인 위상을 갖으며 동적대역할당, 악조건에서의 최대 정보 전송률을 목표로 한다. 우선적으로 고려할 사항은 보안성이며 생존을 위한 고도로 동적이고 진보된 서비스를 요구한다. 이러한 특성은 군사적 목적의 통신망 환경에서 뿐만 아니라 이동 통신 서비스의 수준과 통신기능의 발달로 인해 사용자가 점진적으로 요구하고 있는 이동 컴퓨팅 및 이동 데이터 서비스와 접목된다.

이동 Ad Hoc 네트워크 모델로서 미국의 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)에서 추진해 온 GloMo(Global Mobile Information System) 프로그램은 이러한 역할로서의 이동 Ad Hoc 네트워크 개념을 잘 수용하고 있으며 최근에는 IETF의 MANET 작업반에서 이동 Ad Hoc 네트워크에 적합한 프로토콜 연구 및 표준화 활동을 활발히 진행하고 있다.

이동 Ad Hoc 네트워크 기술은 DARPA의 PRNET과 SURAN(Survivable Adaptive Networks) 프로그램이 이끌었다. 신속배치가 가능하고 정보시스템에 대한 전장 환경 요구를 지원하기 위한 기술을 개발하고 시연하기 위하여 GloMo(Global Mobile Information System) Project를 착수했다.

이 프로젝트의 목적은 사용자 친화적 연결성과 무선 이동 사용자를 위한 서비스로의 접속 기능을 제공하여 방위 정보 기반 구조에서 이동 환경을 최우선적으로 고려한다. 방위 무선 환경은 사전 설치된 기반 구조의 부족, 기상과 지형전파장애 등에 기인한 연결성과 링크의 품질에 있어서의 결정적 변화, 이동 운영 환경 등의 특징을 갖는다.

망구성에 있어서 GloMo는 다중 홉의 독자 구성이 가능하고 수직적 핸드오프를 수행하며 지리기반의 라우팅과 보안 및 생존력이 강한 통신망 구성을 추구한다. WINGs(Wireless Internet Gateways) 프로토콜은 완전

한 IP 라우터의 기능을 제공하고 신속 전개의 독자적 관리가 가능한 통신망을 지원한다. 이는 빠르고 과부하가 낮은 라우팅 프로토콜과 루프가 없는 멀티캐스트 프로토콜, 숨겨진 노드 문제의 극복 등 이동 Ad Hoc 네트워크 프로토콜의 성능 향상에 지대한 영향을 미쳤다. 이 프로그램의 경우 이동 Ad Hoc 네트워크 구축을 위한 어플리케이션, 라우팅, MAC, SDR(Software Defined Radio) 모뎀 및 안테나 등에 관한 연구를 진행함으로써 이동 Ad Hoc 네트워크의 구성 요소들을 개발 중에 있다.

최근 인터넷의 급속한 성장 및 일반 대중의 가정내 개인용 컴퓨터간 통신망 요구의 증대를 배경으로 이동 Ad Hoc 네트워크는 상업적 관심이 계속적으로 증가하여 재해/재난 및 군용 통신망 지원 이외에 무선 사설망에서 이동 Ad Hoc 네트워크 기술을 적용하기 위한 기술 개발과 연구가 활발히 진행중에 있다. 이 연구에는 인터넷 표준 확립을 위한 국제 기구인IETF MANET 작업반이 앞장서고 있다.

MANET 작업반의 목표는 인터넷 기반위에 이동 Ad Hoc 네트워크에서의 인터넷 프로토콜 지원 및 효과적인 라우팅과 인터페이스에 대한 표준화이며 현재 몇 개의 RFC와 인터넷 초안이 제출되어 이동 Ad Hoc 네트워크에 대한 개방되고 유연하며 확장 가능한 구조를 도출하기 위하여 활발하게 진행 중에 있으나 라우팅과 관련된 것이 대부분이다. 이동 단말 사이에는 몇 개의 경로를 가지고 있는데 이동 단말이 이동함으로써 유지하고 있던 경로 전부를 사용할 수 없게 될 수 있으므로 통신 연결은 상당히 취약하다. 이동 단말의 이동성을 지원하기 위하여 이동에 따른 경로의 계산과 수정에 많은 시간과 자원을 낭비해서는 안된다. 이러한 시간과 자원의 불필요한 소비는 데이터 처리율이 낮아져 비효율적이고 비현실적인 시스템이 되기 쉽다. 따라서 이동 Ad Hoc 네트워크에서는 이동 단말 사이의 효율적인 통신 제공을 위하여 라우팅 기법이 요구되기 때문에 IETF

MANET 작업반의 연구는 라우팅 프로토콜 분야로 집중된다.

이동 Ad Hoc 네트워크는 동적이며 빠르고 임의로 변화하는 제한된 대역의 무선링크로 구성되는 다중 홉 위상의 환경에서 이동 단말들 간의 협력적인 라우팅 기능으로 안정되고 효율적인 동작을 지원해야 하는 이동 단말들의 독립적인 시스템이다. 또한 외부와 라우팅 기능을 통해 보다 넓은 인터넷으로 연결되어 정보를 공유한다.

따라서 기존 무선네트워크가 가지는 여러 가지 제한 사항을 가지는데 이동 단말들만의 집합체이기에 다음 특성에 더욱 더 민감하게 영향을 받는다.

첫 번째로 동적인 위상문제로 이동 단말들의 이동은 예측할 수 없는 시간에 임의의 방향과 속도로 움직이기 때문에 전형적인 다중 홉의 특성을 가지므로 이동 Ad Hoc 네트워크는 빠르고 예측 불가능한 위상의 문제를 야기한다. 이러한 환경에서도 이동 단말들의 이동성을 충분하고도 효율적으로 지원한다.

두 번째는 무선사용으로 인한 사용할 수 있는 무선대역의 제한, 가변용량, 비대칭링크 문제이다. 무선 특성상 제한된 대역을 사용할 수밖에 없으며 유선환경의 고정 네트워크에 비해 훨씬 적은 용량을 사용한다. 실제 무선통신 효율 역시 다중접근, 페이딩, 잡음, 간섭 등을 고려해야 하기에 무선의 최대 전송률에 비해 훨씬 낮다. 또한 비대칭 링크는 데이터 전송 지연과 같은 심각한 문제를 발생한다. 현재 이동 Ad Hoc 네트워크에서 연구되는 많은 라우팅 프로토콜은 비대칭 링크보다는 대칭 링크를 가정한다.

세 번째 특성은 배터리 운용 제약이다. 이 문제는 무선 네트워크 문제점 이상으로 이동 컴퓨터 산업 전체적인 문제이나 이동 Ad Hoc 네트워

크의 모든 이동 단말들이 배터리에 의존하고 데이터를 전송하거나 전달에 참여함으로 더욱 더 많은 제약을 받는다.

취약한 보안문제로, 무선링크를 사용하는 무선네트워크는 고정 네트워크에 비해서 취약한 보안문제에 직면해 있다. 이동 Ad Hoc 네트워크는 이동 단말의 이동성 문제로 인하여 보안에서 심각한 문제를 가지고 있는데 아직까지 제안된 이동 Ad Hoc 네트워크 프로토콜에는 충분한 보안에 관한 해결방안을 제시되지 못하고 있는 실정이다.

2.2 이동 Ad Hoc 네트워크 프로토콜

앞에서 살펴본 바와 같이 이동 Ad Hoc 네트워크는 이동하는 무선 단말들로 구성되며 기존 인프라에 의존하지 않으며 경로는 수신 단말까지 다중 홉으로 이루어지는 특징이다. 또한 이동성은 경로 불연속을 야기하며 이는 TCP 성능 저하로 귀결된다. 따라서 본장에서는 이동 Ad Hoc 네트워크 적용을 위해 개발된 프로토콜들을 계층별로 링크계층, 네트워크계층, 전송계층으로 분리한다.

2.2.1 이동 Ad Hoc 네트워크의 링크계층

매체 접근 제어 프로토콜은 전송매체인 무선(전파)의 특징을 직접 반영해야하기에 프로토콜 설계 시 유선환경보다 많은 문제를 해결해야 하므로 더욱 복잡하다.

첫 번째, 송신기의 자기-간섭으로 인한 충돌 감지가 어렵기 때문에 야기되는 반-이중통신이다.

두 번째, 무선 신호는 반사, 굴절, 산란에 의해 다중경로로 전달되고 링크 품질이 시간에 따라 변화하므로 완전한 연결을 보장할 수 없다. 이 문제 해결은 두 노드 간에 짧은 메시지를 교환하고 성공적인 메시지 교환은 통신 가능 링크이다.

세 번째, 감쇄 채널에서 발생하는 연속적인(Burst) 채널에러 문제이다. 송신기는 연속적인 에러를 최소화하기 위해 성공적인 전송을 확인하는 ACK를 수신함으로써 패킷에러를 감지할 수 있는 링크계층 재전송 방법을 사용한다.

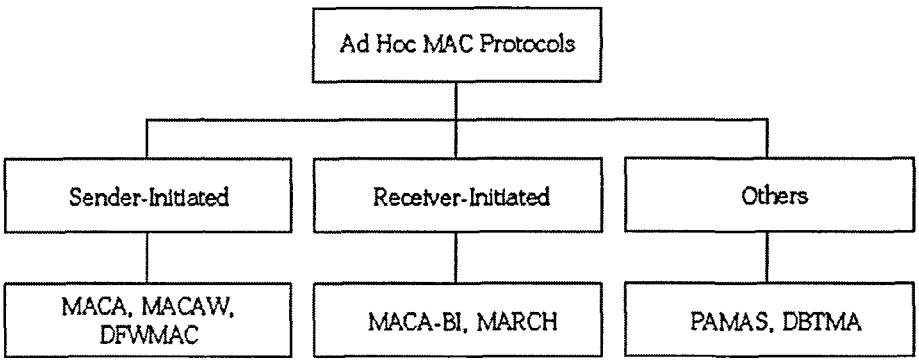
네 번째, 송신기의 특정한 범위내의 노드만이 채널의 전송을 감지할 수

있는 위치-기반전송감지로 발생하는 숨겨진 노드, 노출된 노드 문제를 해결해야 한다. 무선매체는 전방향 전송이므로 동시에 다중장치가 매체에 접근(Access)할 수 있으나, 동시적 다중 전송은 충돌을 야기함으로 통신이 불가능하다.

충돌을 최소화하기 위하여 충돌회피기술을 사용하며 충돌회피기술로는 무선매체 사용 중을 인식한 노드가 전송 범위내의 모든 노드들에게 Busy tone을 전송하여 무선매체 사용을 금지하는 BTMA(Busy Tone Multiple Access)기술과 3-신호교환방식[RTS(Request To Send)-CTS(Clear To Send)-DATA]으로 숨겨진 노드문제를 최소화하는 MACA (Multiple Access with Collision Avoidance) 기술을 사용한다. 교환하는 패킷의 부하와 제거되는 숨겨진 노드의 수는 Tradeoff 관계가 있다. 노출된 노드 문제는 데이터 채널과 제어 채널을 분리하거나 지향성 안테나를 사용하여 해결하지만, 지향성 안테나는 망을 구성하는 장치들의 이종(Heterogeneous) 문제와 크기 제한 때문에 작은 장치에는 적합하지 않다.

제한된 대역과 열악한 채널환경에서 무선매체를 공평하고 효율적으로 관리하여 종단간이 아닌 링크간 통신을 보장하는 역할이 매체접근제어(MAC) 프로토콜이다. 그림 3과 같이 이동 Ad Hoc 네트워크는 모든 노드가 이동 가능하고 중앙통제 역할을 하는 고정 노드없이 이동 단말들간의 협력에 의한 독립적인 시스템이다.

이동 Ad Hoc 매체접근제어프로토콜은 통신설정을 주도하느냐에 따라 송신자-주도와 수신자-주도매체접근제어프로토콜로 분류한다.



(그림 3) Ad Hoc Mac 프로토콜의 분류

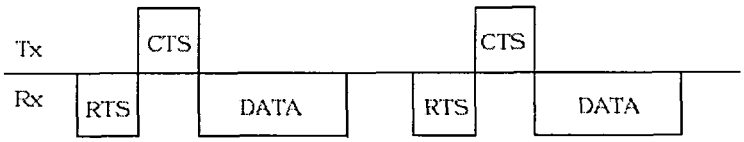
Fig. 3. The classification of Ad Hoc MAC Protocols

2.2.1.1 송신자-주도매체접근제어프로토콜

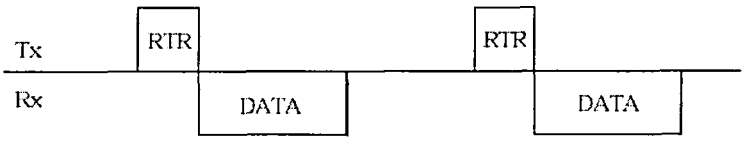
송신자-주도프로토콜은 전송할 데이터를 가진 송신자가 수신자에게 통지함으로써 통신을 시작하는 프로토콜로써 MACA(Multiple Access with Collision Avoidance), MACAW(MACA with Acknowledgement), FAMA(Floor Acquisition Multiple Access) 등이 있다.

- MACA 프로토콜은 3-신호교환방식[RTS-CTS- DATA]으로 숨겨진 노드 문제를 최소화한다. 기본동작은 그림 4와 같이 송신자는 먼저, 채널예약을 위하여 수신자에게 RTS를 송신하고 수신자로부터 CTS를 수신함으로써 데이터를 전송한다. RTS와 CTS를 듣는 주변노드의 전송을 차단하여 충돌을 회피한다. RTS-CTS 단계에서 충돌이 발생할 수 있는데 MACA는 전송감지가 없다. 만일 두 개 이상의 노드가 동시에 RTS를 전송하면 충돌이 야기되며 임의의 선택된 시간동안 기다린 후 재시도하고 그 시간은 매시도마다 두배가 된다. 즉, RTS CTS 기간은 경쟁 기간이며 데이터 전송은 비경쟁기간이다. CSMA와 비교하면 제어 메시지(RTS, CTS)가 데이터 패킷에 비해 매우 작으므로 데이터 패킷 충돌 가능성 역시 줄어든다. MACAW 프로토콜은 MACA의 제어 패킷충돌에 관련한 문제를 다루기 위하여 좀더 많은 RTS-CTS-DS(Data-Sending packet)-DATA-ACK 교환방법으로 개선한 방법이며 FAMA 프로토콜은 충돌가능성을 줄이기 위하여 전송감지 기능을 추가하여 MACA를 개선했다. MACA에 기반한 프로토콜은 숨겨진 노드가 존재하는 환경에서 CSMA 보다 우수한 성능을 보이지만 트래픽 부하가 높은 상황에서 제어 패킷 충돌 가능성 또한 커지므로 잦은 재전송으로 인한 채널 효율 저하를 야기한다.

- DFWMAC(Distributed Foundation Wireless MAC) 프로토콜은 IEEE 802.11 무선랜 표준매체 접근제어프로토콜로서 그림 5와 같이 4-신호교환방식(RTS-CTS-DATA-ACK)으로 여러 단말들에서 동시에 동작하도록 되어 있는 분산제어방식으로 CSMA/CA 프로토콜이다. 전송할 데이터가 있는 송신노드는 랜덤지연시간을 가지며 채널이 사용 중이지 않을 때 감소된다. 랜덤지연시간을 소비한 후 노드는 RTS패킷을 전송하여 채널획득을 시도하고 수신노드는 CTS 패킷으로 응답한다. 송신노드는 데이터를 전송하고 수신노드는 에러없이 수신했다면 ACK으로 응답한다. 만일 노드는 RTS 패킷이 실패하면 지연시간을 2배로 늘리는 BEB(Binary Exponential Backoff) 경쟁해결방법을 사용하여 충돌해결을 시도한다. 또한 노드가 RTS 전송전에 기다려야 하는 DIFS (Distributed Inter-Frame Space) 간격과 ACK 전송 전에 기다려야 하는 SIFS(Short Inter-Frame Space) 간격을 다르게 규정함으로써 ACK과 같은 제어신호에 우선권을 부여한다. 물리적 채널감지에 추가적으로 현재 전송 기간동안 다른 노드들의 채널 사용을 금지하는 가상 전송 감지를 위하여 패킷의 NAV(Network Allocation Vector)라 부르는 타임필드를 사용한다.



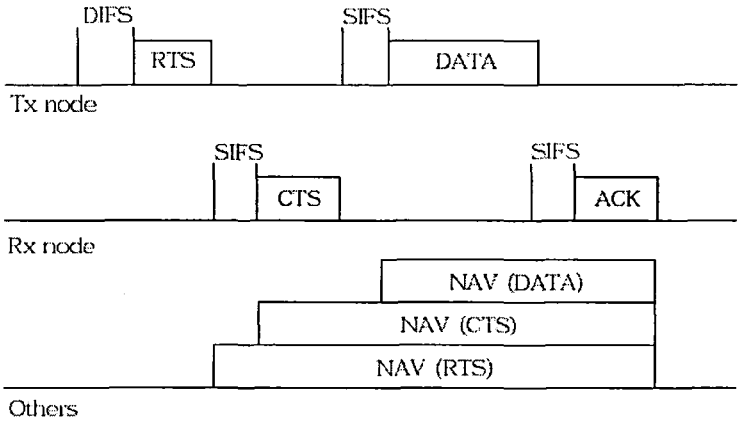
(a) MACA MAC Protocol



(b) MACA-BI MAC Protocol

(그림 4) MACA-MACA BI 프로토콜

Fig. 4. MACA-MACA BI Protocols



(그림 5) DFWMAC 프로토콜

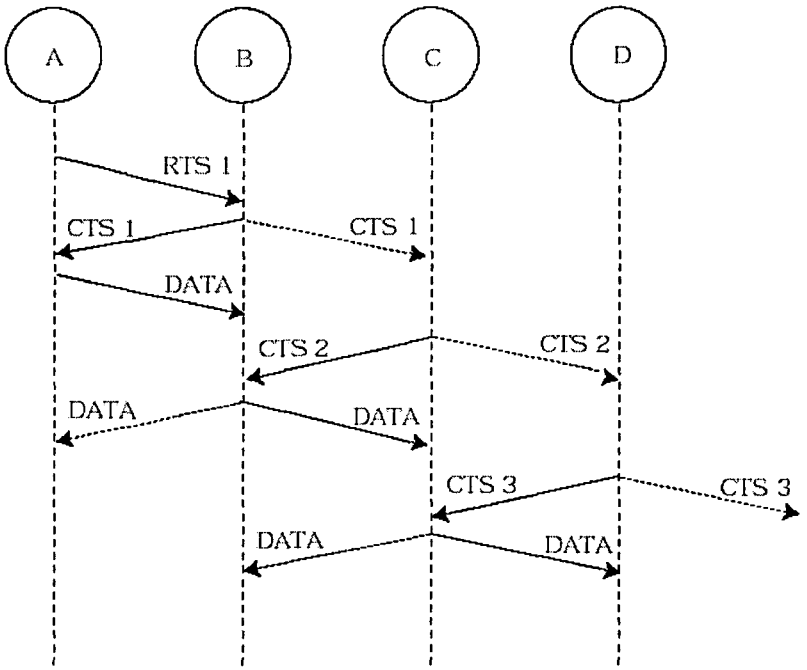
Fig. 5. DFWMAC Protocols

2.2.1.2 수신자-주도매체접근제어프로토콜

수신자-주도매체접근제어프로토콜은 데이터를 수신할 준비가 되어 있는 수신자가 송신자에게 통지함으로써 통신을 시작하는 프로토콜로서 MACA-BI(MACA By Invitation), MARCH(Multiple Access with ReduCed Handshake) 등이 있다. 이론적으로 적은 제어신호 교환으로 충돌 가능성 또한 줄어들어 송신자-주도매체접근제어프로토콜보다 우수하다.

- MACA-BI 프로토콜은 그림 3과 같이 MACA의 RTS가 없는 2-신호교환방식으로 CTS 메시지가 RTR(Ready To Receive) 메시지로 대체되며 먼저, 데이터를 수신할 준비가 된 수신노드로부터 초대를 받지 않는다면 송신노드는 데이터를 전송할 수 없으므로 수신노드는 전송할 데이터를 가진 노드를 정확히 예측해야 한다. 가능한 방법으로는 송신노드가 데이터 송신 시 패킷 큐 길이나 도착율 등의 잔여정보를 피드백하여 수신노드에게 알려주어 초대전송을 통제한다. CBR(Constant Bit Rate) 트래픽에서는 효율적이지만 버스트한 트래픽에서는 MACA 보다성능이 떨어진다. 버스트한 트래픽 상황의 성능개선을 위하여 RTR 메시지 전송 전에 송신노드의 큐 길이나 패킷지연이 특정범위를 초과한다면 MACA 프로토콜과 같이 RTS를 송신한다. 그림3은 MACA와 MACA-BI 간의 차이점을 명확히 보여준다. 즉, MACA-BI는 단일제어메시지사용으로 MACA 보다 절반의 제어메시지를 사용하므로 충돌가능성 또한 줄어들어 우수한 성능을 보이지만 수신노드가 송신노드의 데이터 패킷 도착을 정확히 예측해야 하는 전제가 존재한다.

- 이동 Ad Hoc 네트워크를 구성하는 대부분의 무선장치는 전방향 안테나를 사용한다. MARCH 프로토콜은 전방향 안테나의 방송 특징을 이용하여 교환 메시지 수를 줄인다. 그림 6와 같이 CTS 패킷을 수신한 노드는 이웃노드에 데이터 패킷 도착을 알 수 있으므로 데이터를 중계하기 위한 초대메시지를 전송한다. 즉, MACA-BI와 다르게 별도의 트래픽 예측이 필요 없고 첫 홉 이후에는 CTS 메시지만을 사용하므로 교환메시지 수를 줄인다. 만일, L 홉으로 이루어진 Ad Hoc 경로를 가정한다면 송신노드에서 수신노드까지 데이터를 전송하는데 필요한 교환메시지 수는 MACA 프로토콜에서 2L개, MACA-BI 프로토콜에서 L개, MARCH 프로토콜에서 L+1개가 필요하므로 효율적이다.



(그림 6) MARCH 프로토콜

Fig. 6. MARCH Protocols

2.2.1.3 PAMAS와 DBTMA 프로토콜

이동 노드들이 배터리로 동작하고 데이터를 전송하거나 전달에 참여함으로 전력보호는 매우 중요하다. 전송이나 수신할 패킷이 없는 노드는 선택적으로 Power-Off 함으로써 전력을 보호하는 PAMAS (Power-Aware Multi-Access Protocol with Signaling) 프로토콜과 기존의 유선에서 사용하는 BTMA를 이동 Ad Hoc 네트워크에 적용 가능토록 진행 중인 전송을 이웃노드들에게 통지하기 위하여 송·수신노드에서 Dual Busy Tone을 사용함으로써 개선한 DBTMA (Dual Busy Tone Multiple Access) 프로토콜 등이 있다.

2.2.2 이동 Ad Hoc 네트워크의 네트워크계층

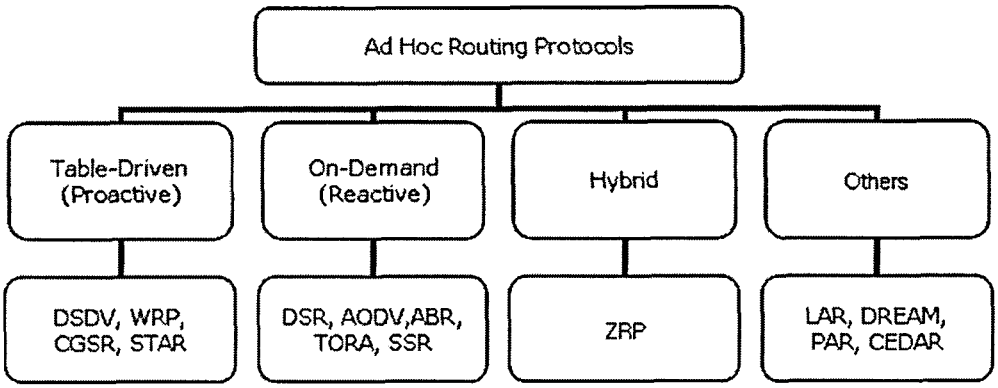
Packet-radio 네트워크는 Link-state와 Distance-vector 라우팅 알고리즘을 사용해 왔다. 양 알고리즘은 플러딩 방식과 목적지까지 주로 홉 수로 결정되는 최단경로를 사용하므로 노드들의 이동이 없는 경우 매우 효율적이다. 이동 Ad Hoc 네트워크에서 잦은 위상변화는 사용하지도 않는 경로발견을 위하여 활용 가능한 자원의 많은 부분을 소비할 뿐 아니라 변화를 반영하는데 상당한 시간을 요구하므로 모든 노드들이 라우터 역할과 이동 노드로서의 역할을 동시에 수행하는 이동 Ad Hoc 네트워크에는 적합하지 않다. 따라서Ad Hoc 네트워크 라우팅 프로토콜은 다음과 같은 문제를 고려해야 한다.

첫 번째로 Ad Hoc 노드들은 제한된 대역의 무선링크로 연결된다. 제한된 대역을 최대 활용하기 위하여 라우팅 오버헤드는 작다.

두 번째로 Ad Hoc 노드들은 저장, 배터리 용량과 같은 자원이 제한되는 랩탑이나 손으로 들 수 있는 장치이다. 과도한 플러딩 사용과 주기적인 메시지는 최소화한다.

세 번째는 Ad Hoc 노드들은 이동하므로 동적인 네트워크 위상을 가진다. 빠른 위상변화를 반영하고 대체경로를 사용한다.

DARPA PRNET 출현이후 이동 Ad Hoc 네트워크를 위한 많은 라우팅 프로토콜이 연구되었다. 지금까지 연구된 프로토콜들을 분류하고 각각의 특징과 장·단점을 비교한다. 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜은 그림 7과 같이 크게 기존의 유선환경에서 사용되는 Bellman-Ford 알고리즘을 사용하는 Table-driven 방식, 모든 단말이 이동하는 Ad Hoc 환경을 고려한 On-demand 방식, 이 두 가지 방식의 장점을 혼합한 Hybrid 방식과 기타 방식으로 분류한다.



(그림 7) 이동 Ad Hoc 네트워크 라우팅 프로토콜의 분류

Fig. 7. The classification of Mobile Ad Hoc Network routing protocols

Table-driven 라우팅 프로토콜은 기본적으로 이동 Ad Hoc 네트워크내의 각 노드는 자신을 중심으로 하여 도착 가능한 모든 노드들의 라우팅 정보를 라우팅 테이블에 상시 유지함으로 프로액티브(Proactive) 라고도 한다.

모든 노드는 주기적으로 라우팅 정보를 다른 노드들에게 전달하고, 라우팅 경로 변경 시는 자신의 라우팅 정보를 방송하여 다른 노드들의 라우팅 테이블 갱신을 유도한다. Table-driven 라우팅 프로토콜은 다른 노드들에 대한 주기적인 라우팅 정보를 유지함으로써 전송 필요시 별도의 경로 획득 절차 없이 라우팅 테이블의 정보를 이용 전송함으로 경로획득 지연시간이 짧은 장점이다.

열악한 환경의 무선 대역에서 주기적인 라우팅 정보 방송은 사용할 수 있는 무선대역 낭비를 더욱 가중시킨다. 또한 노드들이 빈번하게 위치 이동하는 이동 Ad Hoc 네트워크에서 다른 노드들의 라우팅 테이블 갱신을 위한 라우팅 정보 역시 방송해야 하므로 라우팅 패킷으로 인한 오버헤드가 발생하여 성능저하에 많은 영향을 미치는 단점이 있다. 이동 Ad Hoc 네트워크에서 라우팅 패킷오버헤드는 노드의 숫자 제곱에 비례하여 증가한다. 따라서 Table-driven 방식은 노드의 숫자가 적은 소규모 이동 Ad Hoc 네트워크에 적합하나, 중·대형 네트워크에서는 많은 단점을 가지고 있다. 이를 구현한 라우팅 프로토콜로는 전형적인 Bellman-Ford 알고리즘을 구현한 DSDV(Destination- Sequence Distance Vector) 라우팅 프로토콜, 라우팅 정보를 이웃한 이웃노드에게만 전파하여 오버헤드를 감소시킨 WRP(Wireless Routing Protocol) 프로토콜과 DSDV 라우팅 프로토콜에서 라우팅 정보를 감소시키기 위하여 이동 노드들을 계층적으로 분류한 CGSR(Clusterhead Gateway Switch Routing) 프로토콜이 있다. Table-driven 방식은 앞서 설명한 이동 Ad Hoc 네트워크 환경에 적용하기

에는 많은 문제점이 존재하여 자체로는 각광 받지 못하였고 이를 개선한 알고리즘으로 발전하게 되었다.

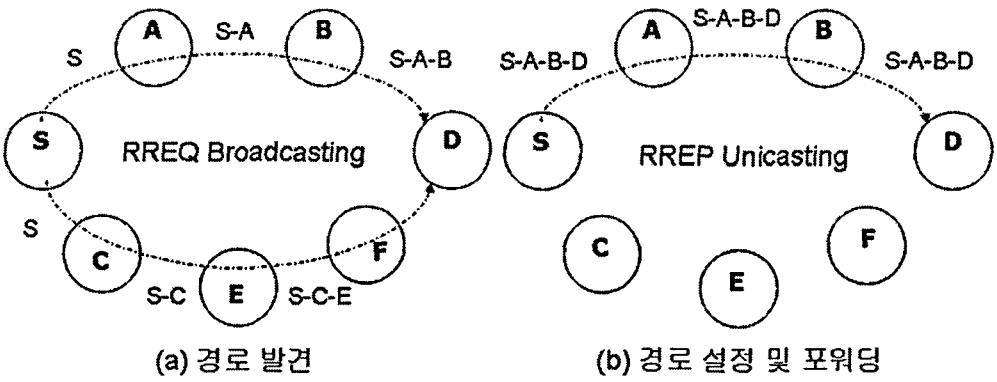
On-demand 라우팅 프로토콜은 Table-driven의 단점을 해결하기 위하여 모든 노드가 빈번하게 위치 이동하는 이동 Ad Hoc 네트워크 환경에 적합하도록 제안된 프로토콜로서 네트워크 내의 모든 이동노드에 대한 전체 경로를 상시 유지하는 것이 아니라 데이터 전송이 필요시에만 경로 획득 절차를 수행함으로써 리액티브(Reactive) 방식이라고도 한다. On-demand 방식은 필요시에만 경로 획득 절차를 수행하고, 주기적인 라우팅 정보 방송과 이동시 변경된 라우팅 정보를 방송할 필요가 없으므로 라우팅 패킷 오버헤드를 줄이는 장점이 있다. 데이터 전송 시 경로 획득 절차 수행 후 획득된 경로로 데이터를 전송하기 때문에 경로 획득시간이 길어져 실시간 통신에 부적합한 문제점을 가지고 있으나 현재로서는 이동노드가 빈번하게 위치 이동하는 이동 Ad Hoc 네트워크에는 가장 적합하다.

On-demand 라우팅 알고리즘을 구현한 프로토콜로는 DSR (Dynamic Source Routing), AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing), TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm), ABR(Associativity-Based Routing) 프로토콜 등이 있다. DSR 라우팅 프로토콜은 카네기 멜론 대학의 Monarch (Mobile Networking Architecture) 프로젝트에 의해 제안된 방법으로 소스 라우팅 기법에 기반을 한다. 이동 Ad Hoc 네트워크 이동노드의 빠른 이동성을 고려하여 주기적인 라우팅 패킷이 없으므로 대역폭의 오버헤드를 줄일 수 있는 On-demand 라우팅 프로토콜이다.

DSR 라우팅 프로토콜의 모든 이동노드는 라우팅 테이블과 같은 역할을 하는 라우트 캐쉬를 유지한다. DSR 라우팅 프로토콜은 경로를 획득하

고 관리하는 경로 탐색과 경로 관리로 분류한다. 경로 획득 절차인 경로 탐색절차를 살펴보면 그림 8과 같이 수신노드 D에 전송할 데이터를 가진 송신노드 S는 우선 자신의 라우트 캐쉬에서 수신노드 D에 대한 경로를 검색하고 존재한다면 이 경로를 이용하여 데이터를 전송한다. 만약, 경로가 존재하지 않는 다면 송신노드 S는 RREQ(Route Request) 패킷에 송신노드, 자신의 주소를 추가하여 플러딩 방법으로 주변노드에게 전송한다. 이 RREQ를 수신한 주변노드는 자신의 라우트 캐쉬를 검색하여 수신노드 D까지의 경로가 존재하면 라우트 캐쉬에 존재하는 D까지의 경로를 추가하여 송신노드 S에게 RREP(Route Reply) 패킷을 전송하고 경로가 존재하지 않는다면 RREQ 패킷에 자신의 주소를 추가하여 다음노드로 전달한다. 이러한 절차를 반복하여 최종적으로 수신노드 D가 RREQ 패킷을 수신하면 더 이상 RREQ 패킷을 전송하지 않고 지금까지 축적된 경로를 추가 하여 송신노드 S에게 획득된 경로를 이용하여 RREP 패킷을 전송한다. RREP 패킷을 수신한 송신노드 S는 이 경로를 이용하여 데이터를 전송한다. 대부분의 라우팅 프로토콜이 대칭링크를 가정하지만 실제의 모바일 Ad Hoc 네트워크 환경은 항상 대칭링크를 지원하지 않는다. 만약, 대칭링크를 사용할 수 없을 때 DSR 프로토콜은 RREP를 새로운 RREQ 패킷에 피드백함으로써 비대칭에서도 사용가능하다. 경로관리는 RERR(Route Error) 패킷과 Ack을 통해 획득된 경로를 유지한다. RERR 패킷은 이동노드가 여러가지 이유로 경로를 더 이상 사용하지 못할 때 송신노드로 전송하고 RERR 패킷을 수신한 노드는 자신의 라우트 캐쉬에서 에러 홉을 삭제한다. Ack은 경로 링크의 사용가능을 의미하는데, 송신 노드가 자신의 라우트 캐쉬에 다른 우회 경로가 존재하면 그 경로를 이용하여 데이터를 전송하고 그렇지 않는다면 다시 경로 탐색절차를 수행한다. DSR 프로토콜은 송신노드에서 데이터 패킷의 헤더 중 특정필드를 사용

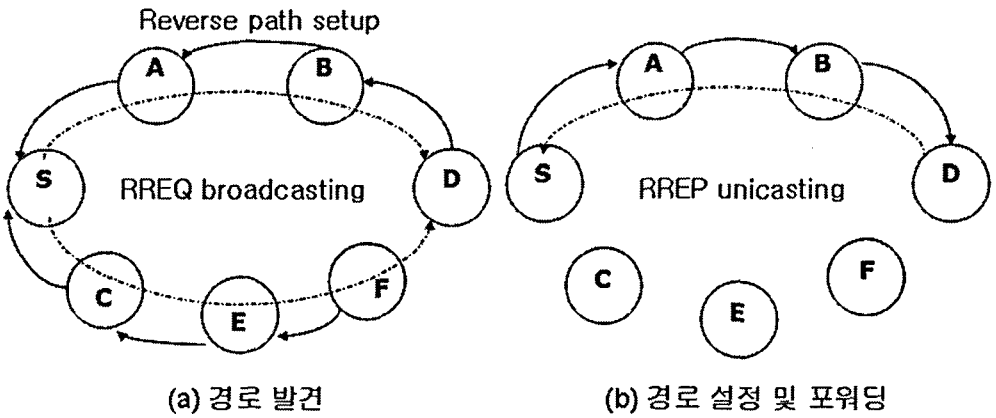
하여 수신노드까지의 전체경로정보를 기록하여 전송하는 소스 라우팅으로 한정된 무선자원에서 패킷에 데이터를 전송하게 하며, 데이터의 양을 제한하여 더 많은 패킷사용을 유도한다. 라우트 캐쉬 사용은 경로 탐색절차를 빠르게 수행하고 RREQ 패킷수를 줄이는 장점이 있으나 노드 이동과 시간의 경과에 따라 잘못된 라우트 캐쉬 정보로 인하여 다른 노드의 라우트 캐쉬까지 영향을 미침으로써 자원의 낭비, 경로획득 시간지연, TCP 성능이 저하되기 때문에 잘못된 라우트 캐쉬 정보를 판단한다.



(그림 8) DSR 프로토콜의 절차

Fig. 8. The operation of DSR protocols

AODV 라우팅 프로토콜은 C. Perkins에 의해 DSDV를 온디맨드 방식에 적용하기 위하여 제안된 방법이다. AODV 라우팅 프로토콜은 경로획득 절차에 의해 얻어진 경로만을 일정시간 동안만 유지한다는 점에서 DSDV를 개선한다. AODV 라우팅 프로토콜 동작은 그림 9 같이 DSR과 비슷하게 동작하며 라우팅을 위해 사용하는 패킷도 RREQ, RREP, RERR 패킷이 사용된다. AODV 라우팅 프로토콜은 패킷 헤더에 전체경로를 포함하지 않으므로 소스 라우팅의 자원낭비 문제점를 개선하였으며 단지 통신할 필요가 있는 노드간의 경로만 라우팅 테이블에 관리함으로써 DSR 라우팅 프로토콜을 개선하였다. 또한 잘못된 경로 사용과 루프형성 문제를 해결하기 위하여 Sequence Number를 사용한다. AODV 라우팅 프로토콜은 RREP 패킷이 RREQ 패킷으로부터 설정된 경로를 사용하기 때문에 대칭링크 만을 지원한다. 또한, 경로가 변화하지 않더라도 일정시간 경과 후에는 경로를 삭제하고 목적지까지 하나의 경로만 유지하므로 발생하는 라우팅 패킷수는 DSR 보다 훨씬 많으나 대역폭 측면에서는 AODV가 성능이 우수하다.



(그림 9) AODV 프로토콜의 절차

Fig. 9. The operation of AODV protocols

TORA 라우팅 프로토콜은 동적인 이동 통신 환경에 적합한 Loop-free 분산 라우팅 프로토콜로 IETF에 의해 최초로 제안 되었으며 송신노드와 수신노드간의 경로는 다중경로를 설정한다. TORA 프로토콜의 핵심은 경로설정을 위한 라우팅 패킷의 오버헤드를 최소화하기 위하여 제어메시지를 토폴리지 변화가 일어나는 어떤 일정 크기의 작은 노드의 집합 안에서만 교환한다. 이를 위하여 노드들은 바로 인접한 노드들에 대한 라우팅 정보를 유지한다. 경로의 생성, 유지, 삭제의 기능을 수행하기 위해 QRY(query), UPD(update), CLR(clear) 패킷을 사용한다. TORA 라우팅 프로토콜은 모든 노드의 동기화된 시간을 가정하므로 실제 응용에 제한된다. 만일 노드가 GPS 기능이나 외부시간을 이용할 수 없다면 사용불가하다.

ABR 라우팅 프로토콜의 핵심은 Loop, Deadlock, Packet 중복을 제거하고 이동 Ad Hoc 네트워크에서 오래 지속되는 경로를 사용한다. 오래 지속되는 경로는 이동성이 적은 이동 단말들로 이루워진 경로이기 때문에 계속적으로 유지할 가능성이 크고 경로 재설정 가능성이 적으므로 높은 효율을 기대한다. 또한 오래 지속되는 경로 하나만을 관리하기 때문에 Packet 중복을 피한다. ABR 프로토콜의 각 노드는 정기적으로 자신의 존재를 알리는 신호(Beacon)를 보내야 한다. 이를 이웃노드에서 수신하면 테이블이 갱신된다. 정확한 이동 노드의 시·공간 및 연결 상태를 반영하기 위하여 신호간격(Beacon interval)은 작아야 하며 이는 추가적인 전력 소모가 되므로 경로탐색, 경로재설정, 경로삭제의 과정이 존재한다.

SSR(Signal Stability based Adaptive Routing) 프로토콜은 ABR 프로토콜과 비슷하게 경로의 노드들간의 신호세기와 노드들의 위치 안정성에 기반하여 강한 연결성을 가진 경로를 선택한다. ABR 프로토콜과 마찬가지로 선택되는 경로는 반드시 최단경로는 아니지만 최단경로가 더 안정되고 오래 유지하는 경향이 있으므로 경로 재설정 가능성은 작아진다. ABR

프로토콜과 다른 점은 경로를 여러 가지 이유로 사용 불가 시 중간노드들이 경로를 재설정하는 부분적 경로 재설정 절차를 수행하지 않고 송신노드에서만 경로탐색 절차를 수행해야하므로 경로 재설정까지 오랫동안 지연된다.

Hybrid 방식은 Table-driven, On-demand 등의 장점을 혼합한 방식으로 ZRP(Zone Routing Protocol)이 있다. 각 노드는 미리 정의된 홉 수 범위의 Routing Zone을 유지한다. Routing Zone 내부 영역 에서는 Table-driven 방식을 사용하고 Routing Zone 외부 영역에 위치한 노드로의 데이터 전송을 위한 경로 설정은 On-demand 방식을 이용한다. ZRP은 IARP (Intrazone Routing protocol), IERP(Interzone Routing Protocol), BRP(Bordercast Routing Protocol) 3개의 부-프로토콜을 가진다. IARP는 Zone 내의 노드들에 대한 라우팅 테이블을 관리유지하고 IERP는 Zone 외부영역의 노드에 대한 라우팅 정보를 모든 주변노드(Border node)에 BRP을 사용한다.

라우팅 프로토콜 성능 향상을 위하여 GPS (Global Position System) 같은 장비를 사용하여 단말기의 위치정보를 이용해 경로 설정 시 목적지노드가 위치한 방향으로만 데이터를 플러딩 함으로써 패킷의 양을 줄인 LAR(Location-Aided Routing)와 DREAM(Distance Routing Effect Algorithm for Mobility) 프로토콜, Ad Hoc 장치는 배터리 전원에 더욱 제한되기 때문에 잔여 배터리 양을 라우팅 기준으로 이용하여 가장 많은 배터리 양을 보유한 경로를 선택하는 PAR (Power-Aware Routing) 프로토콜, 최근의 관심사항인 QoS를 보장하기 위한 CEDAR(Core Extraction Distributed Ad Hoc Routing) 프로토콜 등 수많은 라우팅 프로토콜이 있다. 표 1에서 네트워크 계층의 라우팅 프로토콜에서 제안된 프로토콜들은 각자의 어느 특정한 상황에서 장·단점을 가지고 있으며 모든 상황에서 가장 적합한 프로토콜은 명확하지 않다. 따라서 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜 선택은 네트워크내 노드들의 이동특성과 트래픽 특성에 의해 좌우되므로 On-demand 방식 프로토콜들의 장·단점을 비교하면 다음과 같다.

<표 1> On-demand 프로토콜 비교

TABLE 1 On-demand protocols comparison

Classification	Merit	demerit
DSR	• Multi-path holding • Asymmetric link support	• Source routing overhead • Stale cache problem
AODV	• Multicast support • Data packet route don't contain	• Symmetric link assumption • Period Hello message
TORA	• Multi-path holding • Multicast support	• Synchronization problem
ABR	• Over th long route selection • Intermediate nodes route reestablishment in patches	• Period Beacon
SSR	• Robust connection route selection	• Period Beacon • Intermediate nodes route reestablishment in patches

2.2.3 이동 Ad Hoc 네트워크의 전송계층

인터넷에서 사용하는 기존 TCP는 전송에러가 거의 없는 유선환경에 적합하도록 설계되어 종단 간 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장한다. 이러한 TCP를 모든 노드들이 이동하기 때문에 빠르게 위상변화를 가지는 Ad Hoc network 환경에 적용한다면 TCP 성능은 상당히 저하된다. 그 이유는 다음과 같다.

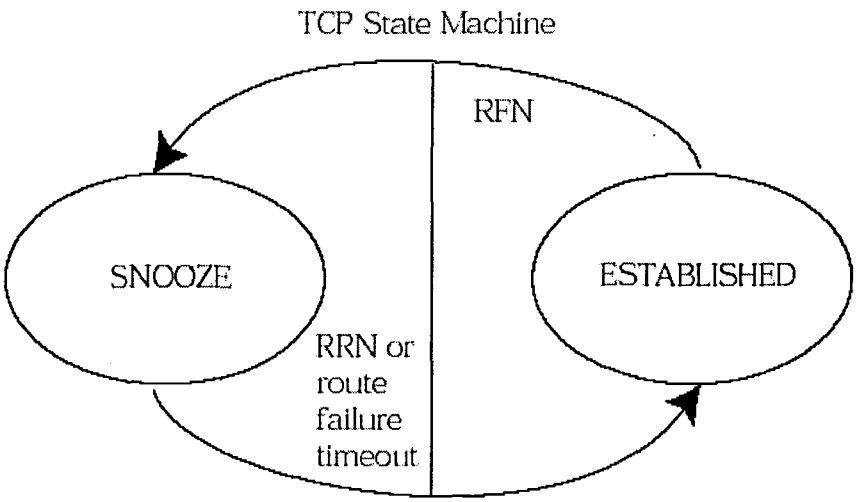
첫 번째, 무선링크는 유선링크에 비해 높은 BER (Bit Error Rate) 와 Random error로 인해 다중 패킷 손실을 유발한다. 두 번째, 노드들의 이동으로 인한 경로 불연속으로 인하여 패킷 손실이 발생한다. 세 번째, 다중 홉 경로의 각 홉에서 역방향인 TCP 데이터패킷과 ACK 패킷의 무선접근을 위한 경쟁 때문에 홉 수의 증가와 함께 전송효율은 저하된다. 네 번째, DSR 라우팅 프로토콜과 같이 캐쉬를 사용하는 경우, 유지하는 경로가 잘못된 경로인지 결정하는 메커니즘이 없기 때문에 잘못된 경로 사용 시 다중 Timeout 발생으로 전송효율은 감소됨으로써 라우팅 오버헤드를 줄이는 단점이 있다.

기존 TCP는 전송에러 및 경로불연속으로 인한 패킷손실과 네트워크 혼잡을 구별하는 방법이 없다. 이러한 패킷손실의 원인을 네트워크혼잡으로 간주하여 혼잡 제어메커니즘을 수행함으로써 재전송을 유발하고 윈도우 크기를 현저히 감소시킴으로써 전송효율이 저하되므로 TCP 성능이 낮아진다. 이는 경로를 사용할 수 없을 때 수신노드에 도착할 수 없는 불필요한 재전송을 야기하므로 귀중한 이동노드의 배터리문제와 열정 된 후에는 네트워크 혼잡이 아님에도 불구하고 혼잡 제어메커니즘의 결과로 불필요한 전송 효율 저하를 야기한다.

이동 Ad Hoc 네트워크 환경에 적합한 TCP 성능개선을 위하여 에러가

발생하기 쉬운 무선 링크의 패킷손실문제는 신뢰성 있는 링크계층 프로토콜을 사용함으로써 줄인다. 또한 경로불연속으로 인한 패킷 손실문제는 네트워크혼잡과 구분하여 혼잡 제어메커니즘을 사용하지 않도록 함으로써 TCP 성능을 개선하는 등 기존 TCP를 이동 Ad Hoc 네트워크 환경에 맞게 변형하는 연구들이 진행 중이며, 결과물로는 TCP-F(TCP-Feedback), TCP-BuS(TCP with Buffering capability and Sequence information), ATCP(Ad hoc TCP) 프로토콜이 있다.

- TCP-F 프로토콜은 경로상 다음노드의 이동으로 경로 불연속을 인지한 중간노드가 송신노드에게 명시적인 RFN(Route Failure Notification) 패킷을 전송함으로써 송신노드가 RRN(Route Reestablishment Notification) 패킷 수신 시까지 더 이상의 패킷 전송과 불필요한 혼잡 제어메커니즘 사용을 제한한다. RFN 패킷을 수신한 송신노드 방향의 중간노드는 이전경로를 무효화하고 수신노드까지 대체경로가 존재하면 송신노드로 RRN 패킷을 전송한 후 RFN 패킷을 버리며 존재하지 않으면 RFN 패킷을 송신노드 쪽으로 전달한다. RFN 패킷을 수신한 송신노드는 그림 10와 같이 SNOOZE 상태로 들어가 더 이상의 패킷전송과 자신의 모든 타이머 값을 포함한 혼잡제어 윈도우 등의 값을 변화시키지 않는다. 경로 재설정시, 송신노드는 대체경로를 가진 중간노드로부터 RRN 패킷을 수신하면 SNOOZE 상태에서 ACTIVE 상태로 전환하여 정상적인 동작을 다시 진행하며, 현재 윈도우크기에서 수신이 확인되지 않은 패킷은 모두 재전송한다. TCP 혼잡 제어메커니즘은 송신노드가 SNOOZE 상태에서 무한정 RRN 패킷을 기다리지 않도록 경로 불연속 타이머 값을 설정함으로써 시스템의 부하에 따라 조정되고, 동작한다. 따라서, TCP-F 프로토콜은

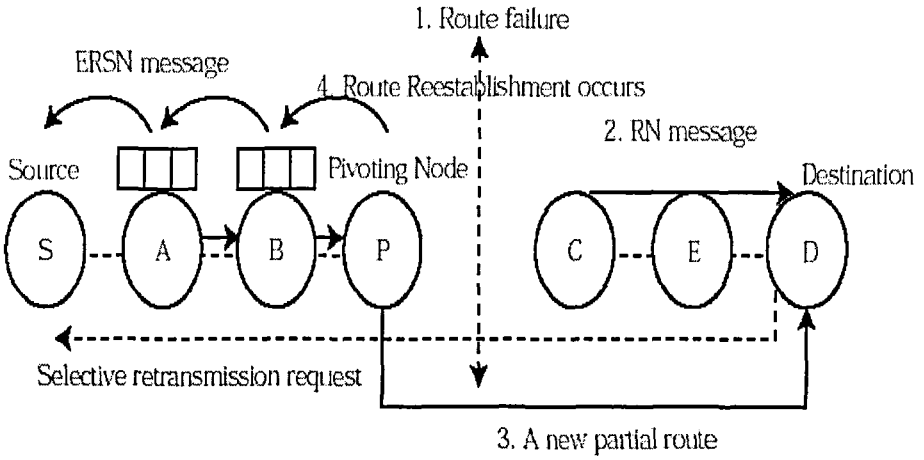


(그림 10) TCP-F 상태 장치

Fig. 10. TCP-F State Machine

경로 재설정후 경로불연속이 발생하기전과 같은 전송효율로 통신을 재시작 함으로써 불필요한 TCP 성능 저하가 개선된다.

- TCP-BuS 프로토콜은 Cellular망 사용을 위해 제안된 I-TCP(Indirect TCP)의 중간노드인 기지국에서 전송계층 기능 수행을 허용함으로써 TCP 연결을 두 개의 세그먼트로 나누는 개념을 다중 무선링크로 구성된 Ad Hoc Network 환경에 도입 한다. TCP-BuS 프로토콜은 다음과 같이 기존 TCP를 수정한다. 첫 번째, 노드들의 이동의 결과로서 경로불연속과 네트워크 혼잡의 구별을 위해 명시적 통보 메시지를 사용한다. 그림 11과 같이 경로 불연속을 인식한 중심노드(Pivoting node)는 송신노드에게 ERDN(Explicit Route Disconnection Notification) 메시지를 전송하여 전송을 중지시키며, 경로 재설정시 ERSN(Explicit Route Successful Notification) 메시지를 송신노드에게 전송하여 데이터 전송을 다시 시작한다. 두 번째, 경로 재설정시 시간이 필요하기 때문에 송신노드에서 중심노드까지 경로상의 노드들의 버퍼된 패킷의 Timeout 값은 두 배로 설정한다. 세 번째, 송신노드에서 중심노드까지 경로상의 혼잡 때문에 패킷손실이 발생한다면 송신노드는 수신자로부터 제기된 선택적 재전송 요구를 받아 손실된 패킷을 즉시 재전송하고 혼잡 제어메커니즘을 수행한다. 네 번째, 중심노드에서 수신노드까지 RN(Route Notification) 메시지를 받는 중간노드의 버퍼된 패킷은 경로 불연속이 발생할 때 버려지므로 수신노드는 재전송된 패킷이 도착할 때까지 기대되는 순서번호를 보류하다가 ACK 패킷을 전송함으로써 송신노드에서의 불필요한 빠른 재전송을 피한다. 다섯 번째, 중요한 제어메시지의 신뢰성 있는 전송을 위하여 송신노드는 주기적으로 중심노드가



P, B, A, S Node:On receilving ERSN message, the nodes resume transmission.

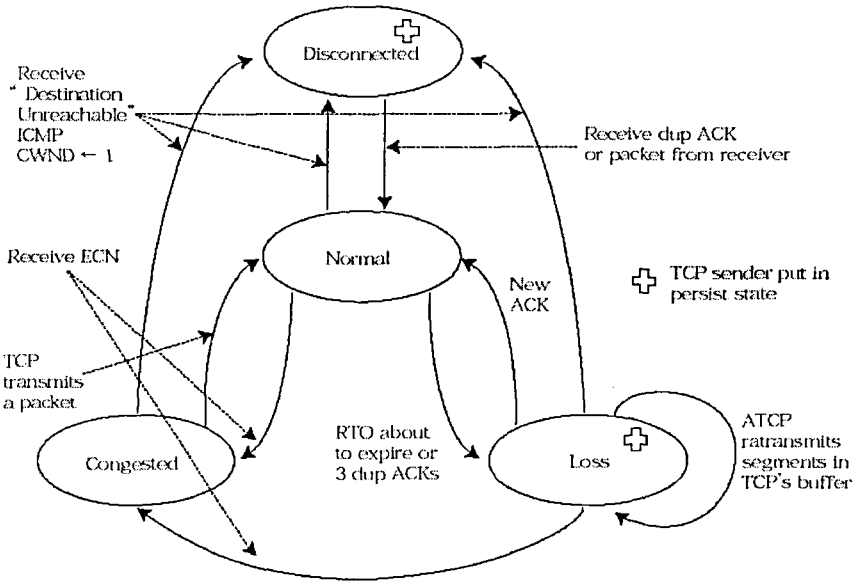
D Node:Keeps track of the sequence number of the last acknowledged segment.

(그림 11) TCP-BuS 경로 재설정 후 동작

Fig. 11. TCP-BuS route reestablishment operation

수신노드에 대한 새로운 부분경로를 성공적으로 획득했는지 확인하기위해 PROBE 메시지를 사용하거나 각 중간노드가 상위노드에게 수신할 때까지 신뢰성 있게 ERSN 메시지를 전송하는 두 가지 방법을 사용한다.

- ATCP 프로토콜은 실제 이동 Ad Hoc Network 환경의 다양한 특징인 높은 BER(Bit Error Rate), 노드들의 이동으로 인한 경로 재설정, 일시적인 망 분리, 다중경로로 인한 비순서(Out of sequence)패킷, 혼잡에 의한 패킷 손실문제를 고려한다. 또한, 표준 TCP/IP와의 양립성을 위하여 TCP를 수정하지 않고 TCP와 IP 사이에 ATCP 계층을 삽입한다. 송신노드의 ATCP는 TCP 상태와 ECN(Explicit Congestion Notification), ICMP 메시지에 기반한 망 상태를 모니터하여 그림 12과 같이 4가지(Normal, Congested, Loss, Disconnected) 상태로 적절한 동작을 함으로써 TCP 성능을 개선했다. 첫 번째, 높은 BER로 인한 Loss 상태에서 ATCP는 ACK 되지 않는 세그먼트를 재전송하고 TCP를 Persist 상태로 설정함으로써 혼잡제어를 수행하지 않는다. 두 번째, 경로를 재설정하거나 일시적인 망 분리로 인한 Disconnected 상태에서 TCP는 다시 Persist 상태로 설정되고 ATCP로부터 전송되는 세그먼트는 없다. 경로 재설정시 송신노드의 Probe 패킷에 대한 수신노드의 응답으로 TCP는 자동적으로 Persist 상태를 벗어난다.. 이 경우 새로운 경로의 혼잡 윈도우 값은 혼잡한 경로를 경유할 수 있으므로 세그먼트로 설정된다. 세 번째, 네트워크가 혼잡할 경우 ECN 메시지에 의해 정상적인 혼잡 제어메커니즘을 수행한다.



(그림 12) 송신 노드에서 ATCP 대한 상태 전이

Fig. 12. State transition for ATCP at source node

표 2는 TCP 프로토콜인 ATCP 프로토콜, TCP-F 프로토콜, TCP-BuS 프로토콜의 비교표이다. 패킷손실(high BER)이나 경로재설정, 네트워크 분리, 패킷 재정리, 혼잡 등의 관점에서 각각의 프로토콜을 분석한다. ATCP 프로토콜은 패킷손실 측면에서 ATCP 재전송하고, 경로재설정 측면에서는 ICMP 메시지를 이용한다. 또한 네트워크 분리 측면에서는 ATCP 패킷을 재정리하교 TCP에서 중복 ACK을 미발생 시킨다. TCP-F 프로토콜은 네트워크 분리 측면에서 재설정까지 Snooze 상태에 있고, 경로재설정 측면에서는 RFN 메시지를 이용한다. TCP-BuS 프로토콜은 경로재설정 측면에서는 ERDN 메시지를 이용하며 네트워크 분리측면에서 경로 재설정까지 송신노드는 Freeze 상태에 있고, 패킷재정리 측면에서는 TCP-SACK의 선택적 재전송을 실행한다.

<표 2> TCP 프로토콜 비교

TABLE 2 TCP protocols comparison

Classification	ATCP	TCP-F	TCP-BuS
Packet loss (high BER)	ATCP retransmission TCP confusion control	Inconsideration	Inconsideration
Route reestablishment and network serparation	ICMP message route reestablishment Persist	RFN message route reestablishment Snooze	ERDN message route reestablishment Freeze
Packet relogic	ATCP packet relogic TCP duplication ACK	Inconsideration	TCP-SACK selective retransmission
Confusion	Source node ECN receive TCP confusion control	Inconsideration	Source node ERSN receive TCP confusion control
CWND	Reestablishment per new route	Before switching the route CWND	Before switching the route CWND

표 3은 TCP 프로토콜의 각 계층의 개방형 문제점이다. 링크계층, 네트워크계층, 전송계층 측면에서 분석한다. 링크계층에서는 MAC Backoff와 상위계층 Backoff 방법간의 상호동작의 문제가 있으며, 전송 Scheduling 과 적당한 매개변수 선택에 프레임크기와 재전송 제한의 문제가 있다. 또한 단일 주소 할당의 문제가 있다. 네트워크 계층에서는 노드의 이동과 트래픽 특성에 의한 프로토콜 선택의 문제가 있다. 전송계층 에서는 다중 TCP Connection과 경로재설정후 혼잡 윈도우 및 Timeout 크기 선택의 문제가 있다.

본 절에서는 기존 인프라가 존재하지 않는 곳에서 이동 단말기간의 라우팅으로 데이터의 송·수신 등 통신을 수행하는 이동 Ad Hoc 네트워크에 대하여 정의 및 프로토콜을 연구한다. 특히, 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜에서는 모든 무선 단말이 이동하는 Ad Hoc 환경을 고려하여 Table-driven 방식, On-demand 방식, 이 두 가지 방식의 장점을 혼합한 Hybrid 방식과 기타 방식으로 분류되며, 이 중에서 On-demand 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 대해 연구한 결과 기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜 라우팅 알고리즘에서 노드고장 및 링크손상은 사용 중인 라우팅 경로의 손상을 초래하는 경향이 많이 발생한다. 3절에서는 이 문제점을 해결하기 위해서 방안을 제안하고 연구한다.

<표 3> 개방형 문제점

TABLE 3 Open problem

Classification	Open Problem
Link layer	• MAC Backoff and Backoff method mutual operation problem • Transmission Scheduling problem • appropriate parameters selection problem (frame size, retransmission limit) • Single address allocation problem
Network layer	• Node mobility and traffic characteristic protocols selection problem
Transport layer	• Multi TCP Connection problem • After route retransmission, confusion window and Timeout size selection problem

3. 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘

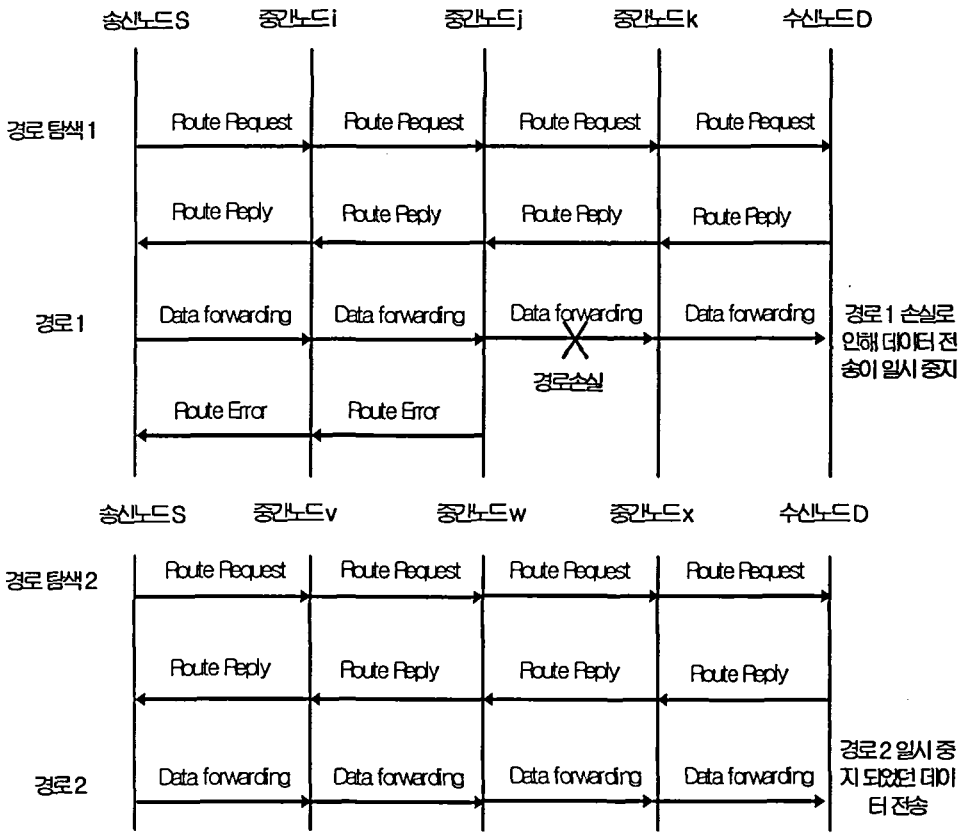
이 장에서는 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘의 동작과 특징에 대하여 분석한다. 우선, 기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 알고리즘의 문제점을 분석해 본다. 노드고장 및 링크손상 인한 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘의 사전경고 패킷을 발생하는 절차를 기술하며, 사전 경로 발견 절차 및 발견된 경로를 따라 데이터 패킷을 전송하는 방법을 이용해서 관리유지 알고리즘을 연구한다.

3.1 On-demand 라우팅 알고리즘

기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식에는 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜 라우팅 알고리즘이 있다. DSR 프로토콜의 모든 이동 노드는 라우팅 테이블과 같은 역할을 하는 라우트 캐쉬를 유지한다. 또한 DSR 프로토콜은 경로를 탐색하고 경로를 관리하며 경로를 획득하는데 RREQ(Route Request), RREP(Route Reply), RERR(Route Error) 패킷을 사용된다. AODV 프로토콜은 DSR과 비슷하게 동작하며 경로를 탐색하고 관리하는데 역시 RREQ, RREP, RERR 패킷을 사용하는 것도 매우 유사하다.

기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜 라우팅 알고리즘에서 노드고장 및 링크손상은 사용 중인 라우팅 경로의 손상을 초래한다. 특히 이동 Ad Hoc 네트워크에서는 노드 이동성으로 인해 네트워크 링크가 손상되는 경향이 많이 발생한다. 링크 손상이 일어나면, 손상된 링크의 전방 노드(송신 노드 방향의 다음 노드)는 라우팅 테이

블에서 링크 손상으로 도달할 수 없는 모든 수신 노드 정보를 무효화 시킨다. 그런 후, 손실된 수신 노드 정보를 포함한 RERR 패킷을 생성하여 송신 노드로 향하는 노드에게 전송한다. 만약 손상 링크를 이용했던 이전 노드들이 다수라면, RERR 패킷을 브로드 캐스트 한다. RERR 패킷을 수신한 송신 노드는 해당 수신 노드로의 경로가 여전히 필요할 경우에 한해 경로 발견을 재 시작한다[18]. 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 알고리즘은 노드 고장 및 링크 파손 인해 경로의 손실이 발생한 경우, 데이터 전송을 일시 정지하고 RERR 패킷을 송신 노드에게 보내고, 다시 경로 발견을 재시작하여 경로를 설정한다. 여기서 기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 알고리즘은 데이터 전송의 일시 정지, 새로운 경로 발견과 확립하기까지의 막대한 회복시간과 경비가 소요됨으로써, 효율성과 저비용 구현을 위하여 경로 선택 알고리즘의 취약성이 있다. 특히 노드의 수가 많을수록 그 현상은 두드러지게 나타난다. 그림 13은 기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 알고리즘에서 경로 손실이 발생할 경우에 경로 발견을 재시작하는 예를 보여준다. 중간 노드 j와 중간 노드 k에서 경로손실이 발생하면 데이터 전송을 일시 정지하고, 송신 노드(S)를 향해 RERR(Route Error) 패킷을 발생시킨다. 송신 노드(S)는 RERR 패킷을 수신하면 RREQ(Route Request) 패킷을 발생하여 수신 노드(D)에 대한 새로운 경로 발견을 시작하며, 새로운 경로를 발견하면 송신 노드(S)를 향해 RREP(Route Reply) 패킷을 보낸 후, 경로를 확립하고 데이터를 다시 전송한다.



(그림 13) On-demand 방식의 라우팅 프로토콜의 동작 과정 및 문제점

Fig. 13. The operation and problem for on-demand routing protocols

3.2 사전 활성화 알고리즘

본 논문에서는 기존의 On-demand 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘을 추가시킨 연구이다. 본 연구의 핵심 아이디어는 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 손실되기 전의 임계치 신호파워 세기까지 근접하게 되면 경로는 손실될 경향이 높다고 간주하고 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 임계치 이하로 떨어졌을 경우, 사전경고 패킷을 발생한다. 경로가 손실되는 가능성이 있는 경우, 단절되기 쉬운 이웃 노드가 송신 노드에게 알리기 위해서 사전경고 패킷을 전송한다. 그런 후에, 송신 노드는 계속적으로 패킷이 전송하는 동안 사전에 경로 탐색을 시작하기 때문에, 모든 경로의 단절에 대한 잠재적인 가능성을 피한다. 또한, 제안하는 On-demand 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘은 현재의 경로가 실제로 손실되기 전 경로 탐색이 시작되기 때문에 대체한 경로를 탐색하는데 소요되는 비용은 감소된다. 이는 지연시간이 감소한다.

3.2.1 신호파워 세기 측정과 임계치 설정

제안하는 On-demand 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 설계의 중요한 구성요소는 경로의 품질이 더 이상 사용할 수 없는 경우를 결정하는 것이다. 경로의 품질은 신호파워 세기, 경로의 나이, 홉(Hop)의 수, 충돌 발생률 등에 의해 결정된다. 본 논문에서는 노드에 수신되는 패킷의 신호파워 세기로 경로의 품질을 결정하는 것으로 가정한다. 또한, 이동 Ad Hoc 네트워크의 전형적인 시나리오에서는 노드 고장 및 링크 손실로 인해 대부분의 경로가 손실되기 때문에 신호파워 세기는 각각의 노드에 도달하는 능력을 가장 직접적인 측정 방법임으로 본 논문의 핵심이다.

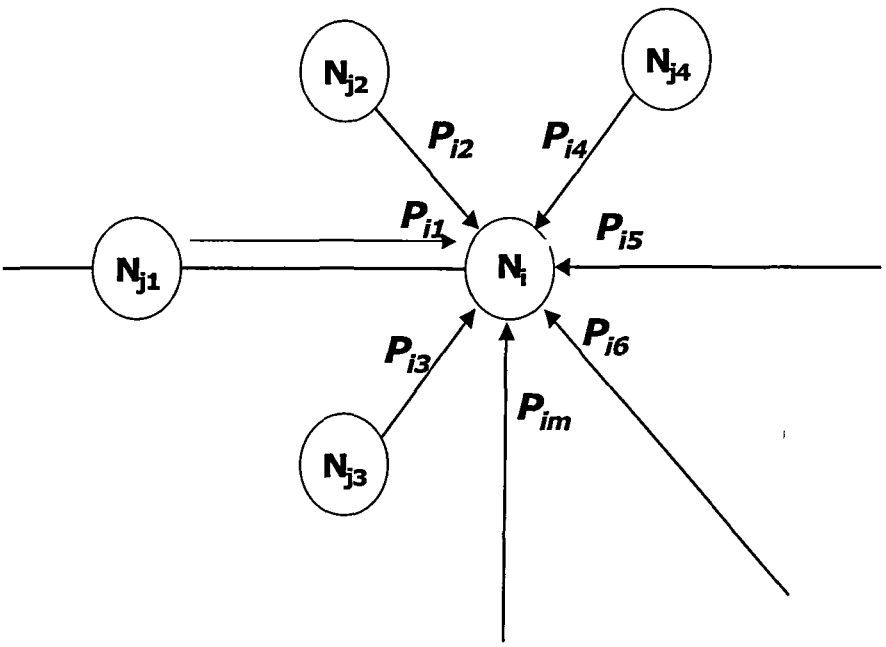
제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘에서 노드 속도와 위치에 따라 패킷 송신 파워 세기가 달라지기 때문에 손실되기 전, 노드에 수신되는 패킷의 신호파워 세기 임계치 설정하는 것이 본 알고리즘의 효율성 측면에서 가장 중요하다. 신호파워 세기의 임계치를 너무 낮게 설정하면 경로 손실이 발생하기 전 다른 경로를 발견하기까지 충분한 회복시간이 될 수 없다. 또한, 신호파워 세기의 임계치를 너무 높게 설정하면 경로가 단절이 되지 않았음에도 불과하고 새로운 경로 발견으로 인한 자칫 불필요한 오버헤드를 발생시켜 지연시간을 증가시킨다. 본 논문에서 적절한 신호파워 세기 임계치를 설정하기 위해서 다수의 시뮬레이션을 했다.

우리는 Lucent사의 IEEE 802.11 호환 WaveLAN-II의 ISM 밴드에서, 모의실험을 실시한다. 이동 Ad Hoc 네트워크 On-demand 방식의 프로토콜에서는 인접 노드 정보를 획득하기 위해서 네트워크 내에 있는 모든 노드들이 어떤 일정한 주기 T로 주변 노드들에게 자신의 존재를 알리는 hello 패킷, 수신 노드까지 경로를 탐색하는 RREQ 패킷, 경로 획득을 알리는 RREP 패킷, 경로 손실로 인해 관리유지 역할을 하는 RERR 패킷, 데이터 전송을 알리는 Ack 패킷에 각각의 신호파워 세기를 측정하는 모듈을 추가시켜 시뮬레이션을 했다.

전형적으로 이동 Ad Hoc 네트워크 시나리오에서는 노드의 최대 속력을 20 *m/sec,* 회복시간을 0.1 *sec* 로 가정한다. 이 환경에서 본 연구는 임의의 한 노드를 선택하고 그 노드에 수신되는 패킷의 신호파워 세기를 측정한다. 그런 후, 각각의 패킷에 따른 신호세기의 수치를 모아, 패킷이 노드 고장 및 링크 파손이 일어나기 전후의 패킷의 신호파워 세기의 수치를 분석한다. 또한 거리와 이전 노드의 신호파워 세기를 적용하여 계산하는 수신 노드 i에서의 신호파워 세기 P_{ij}는 식(1)과 같다.

$$P_{ij} = P_j / r^n \quad (1)$$

P_j는 노드 i의 수신 반경 내에 위치한 노드 j의 신호파워 세기, P_{ij}는 거리와 이전 노드 j의 신호파워 세기를 적용하여 계산된 신호파워 세기, r은 노드간의 거리, n은 현재 측정하고 있는 노드의 degree(최대치:4)로 가정하고, 노드 i의 수신반경을 초과한 거리에서의 신호파워 세기는 무시한다.[15,16,17]. 그림 14는 노드 j와 노드 i 사이의 거리에서 패킷에 따른 신호파워 세기를 모으는 그림이다.



(그림 14) 거리에 따라 수신되는 패킷의 신호파워

Fig. 14. The signal power of a received packet

본 연구에서는 노드의 사전 경로 탐색을 위한 충분한 시간을 고려하여 패킷의 노드 고장 및 링크 파손이 일어나기 전 수신되는 신호파워 평균치를 신호파워 세기 임계치로 두어 시뮬레이션을 실시하는 경우 데이터 값이 나오게 되며, 각 노드의 경로 발견을 하는데 시간이 되는데, 수신 i에서의 신호파워 세기 임계치(δ_i)는 식(2)와 같다.

$$\delta_i = \frac{P_{i1} + P_{i2} + P_{i3} + \ldots\ldots + P_{im}}{m} = \frac{\sum_{j=1}^{m} P_{ij}}{m} \quad (2)$$

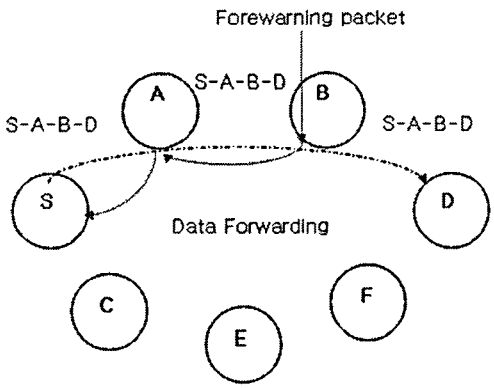
여기서 m은 임계치를 측정하는 노드에게 연결된 노드의 수를 의미한다.

3.2.2 사전경고 패킷 발생

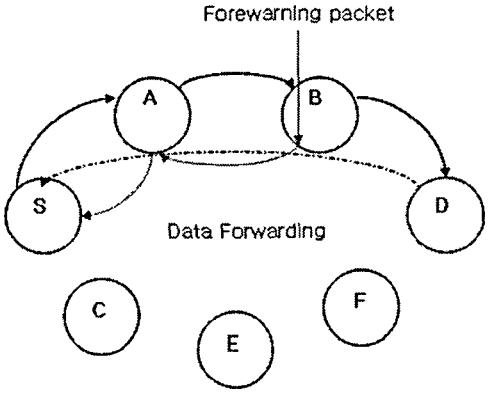
사전경고 패킷은 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 한계치 이하로 떨어졌을 경우에만 발생한다. 기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜 라우팅 알고리즘에서 노드 고장 및 링크 손상이 발생하면, 손상된 링크의 송신 노드 방향의 다음 노드의 라우팅 테이블에서 링크 손상으로 도달할 수 없는 모든 수신 노드 정보를 무효화 시키고 데이터 전송을 일시 정지한다. 그런 후에, 손실된 수신 노드 정보를 포함한 RERR 패킷을 생성하여 송신 노드로 향하는 노드에게 RERR 패킷을 브로드 캐스트 한다. RERR 패킷을 수신한 송신 노드는 해당 수신 노드로의 경로가 여전히 필요할 경우에 한해 경로 발견을 재 시작한다.

제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 설계의 또 다른 중요한 구성 요소는 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 임계치 신호파워 세기에 근접하게 되면 경로는 손실될 경향이 높다고 간주하고 패킷을 수신한 노드는 신호파워 세기가 임계치 이하로 떨어지기 전에, 단절되기 쉬움을 이웃 노드와 송신 노드에게 알리기 위한 사전경고 패킷이다.

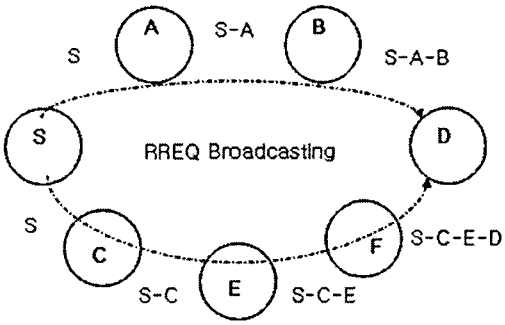
그림 15는 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리 유지 알고리즘에서 중간 노드 B가 송신 노드 S로 사전경고 패킷을 보내고 새로운 경로 발견 후, 경로 확립하는 과정을 보여준다. 중간 노드 B가 임계치 신호파워 세기에 근접함을 알게 되면, 송신 노드 방향의 이웃하는 노드에게 사전경고 패킷을 B→A→S로 보낸다. 송신 노드 S가 사전경고 패킷을 받게 되면, 데이터 전송은 기존의 경로(S→A→B→D)로 그대로 전송을 하면서 다른 경로를 발견하는 과정을 걸쳐 새로운 경로(S→C→E→F→D)를 확립 후, 기존의 수신 노드 D로 가는 데이터 전송을 새로운 경로(S→C→E→F→D) 교환하여 데이터를 전송하게 된다. 또한 수신 노드 D로 가는 기존의 경로(S→A→B→D)는 무효화시킨다.



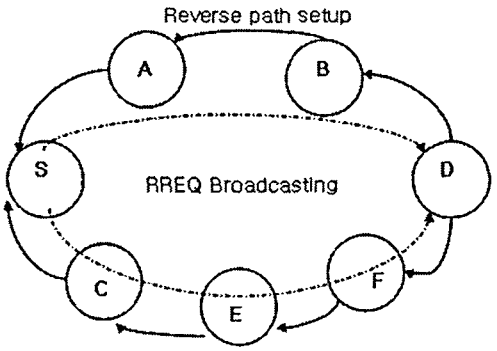
(a) DSR의 사전경고 패킷 생성



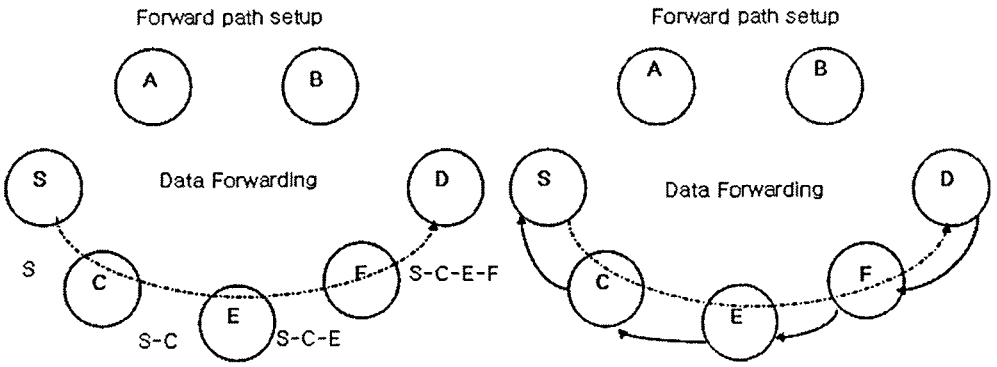
(b) AODV의 사전경고 패킷 생성



(c) DSR의 경로 재탐색



(d) AODV의 경로 재탐색



(e) DSR의 경로 확립 후 계속 데이터 전송 (f) AODV의 경로 확립 후 계속 데이터 전송

(그림 15) 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘의 동작

Fig. 15. The operation of pro-active routing selection and maintenance algorithms

그림 16은 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 알고리즘에서 경로 손실이 발생할 경우에 송신 노드로 보내는 사전경고 패킷의 포맷이다.

Type	Length	Reserved
Error Source Address		
Error Destination Address		
Unreachable Node Address		

(a) DSR 프로토콜의 사전경고 패킷 포맷

Type	|N|	Reserved	Dest Count
Unreachable Destination IP Address			
Unreachable Destination Sequence Number			

(b) AODV 프로토콜의 사전경고 패킷 포맷

(그림 16) 사전활성화 경로선택과 관리유지 알고리즘의 사전경고 패킷 포맷

Fig. 16. The forewarning packet format of pro-active routing selection and maintenance algorithms

3.2.3 경로 발견 및 유지관리

송신 노드가 사전경고 패킷을 받게 되면, 경로 발견과 경로 관리유지 측면에서 보면 기존의 On-demand 방식의 라우팅 알고리즘과 유사하다. 만약, 경로가 존재하지 않는다면 송신 노드는 RREQ 패킷을 플러딩 방법으로 주변노드에게 전송한다. 이 RREQ 패킷을 수신한 주변 노드는 자신의 라우트 캐쉬나 테이블을 검색하여 수신 노드까지의 경로가 존재하면 라우트 캐쉬나 테이블에 존재하는 수신 노드까지의 경로를 추가하여 송신 노드에게 RREP 패킷을 전송하고 경로가 존재하지 않는다면 RREQ 패킷에 자신의 주소를 추가나 저장 후에 다음노드로 전달한다. 이러한 절차를 반복하여 최종적으로 수신노드가 RREQ 패킷을 수신하면 더 이상 RREQ 패킷을 전송하지 않고 지금까지 축적된 경로를 추가하여 송신 노드에게 획득된 경로를 이용하여 RREP 패킷을 전송한다. RREP 패킷을 수신한 송신노드는 노드 고장 및 링크 손상이 발생하기 전에 새로운 경로로 교환하여 데이터를 전송한다. 송신 노드는 계속적으로 패킷이 전송하는 동안 사전에 경로 발견을 시작하기 때문에, 모든 경로의 단절에 대한 잠재적인 가능성을 피한다. 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘은 현재의 경로가 실제로 손실되기 전 경로 발견이 시작되기 때문에 대체한 경로를 탐색하는데 소요되는 비용과 지연시간 모두 감소시킨다.

알고리즘:

1. P_{ij} : 거리와 이전 노드 j의 신호파워 세기를 적용하여 계산된 신호파워 세기,

   m : 임계치를 측정하는 노드에게 연결된 노드의 수,

   F_p : 사전경고 패킷,

   δ_i : 수신 i에서의 신호파워 세기 임계치,

   R_n : 새로운 경로, R_o : 기존의 경로

2. 패킷의 노드 고장 및 링크 파손이 일어나기 전의 수신되는 파워 평균 최고치를 신호세기 임계치로 가정할 때, 수신 i에서의 신호파워 세기 임계치(δ_i)는

$$\delta_i = \frac{P_{i1} + P_{i2} + P_{i3} + \ldots\ldots + P_{im}}{m} = \frac{\sum_{j=1}^{m} P_{ij}}{m}$$

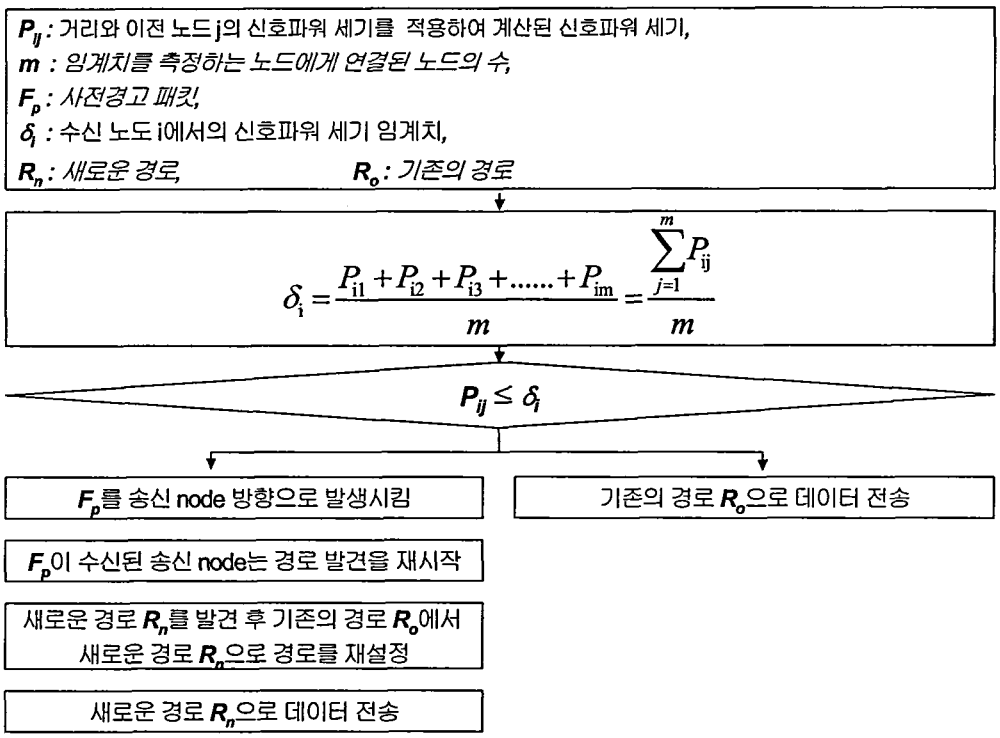
   로 선택한다.

3. δ_i 는 $P_{ij} \leq \delta_i$ 일 때, 사전경고 패킷 F_p를 송신 노드 방향으로 발생시킨다.

4. 사전경고 패킷 F_p이 수신된 송신노드는 경로 발견을 재시작하며 새로운 경로 R_n를 발견 후, 기존의 경로 R_o에서 새로운 경로 R_n으로 경로를 재설정한다.

5. 새로운 경로 R_n으로 경로에 따라 데이터 전송을 계속한다.

그림 17에 제안하는 On-demand 방식의 라우팅 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘을 바탕으로 그린 순서도를 보였다.

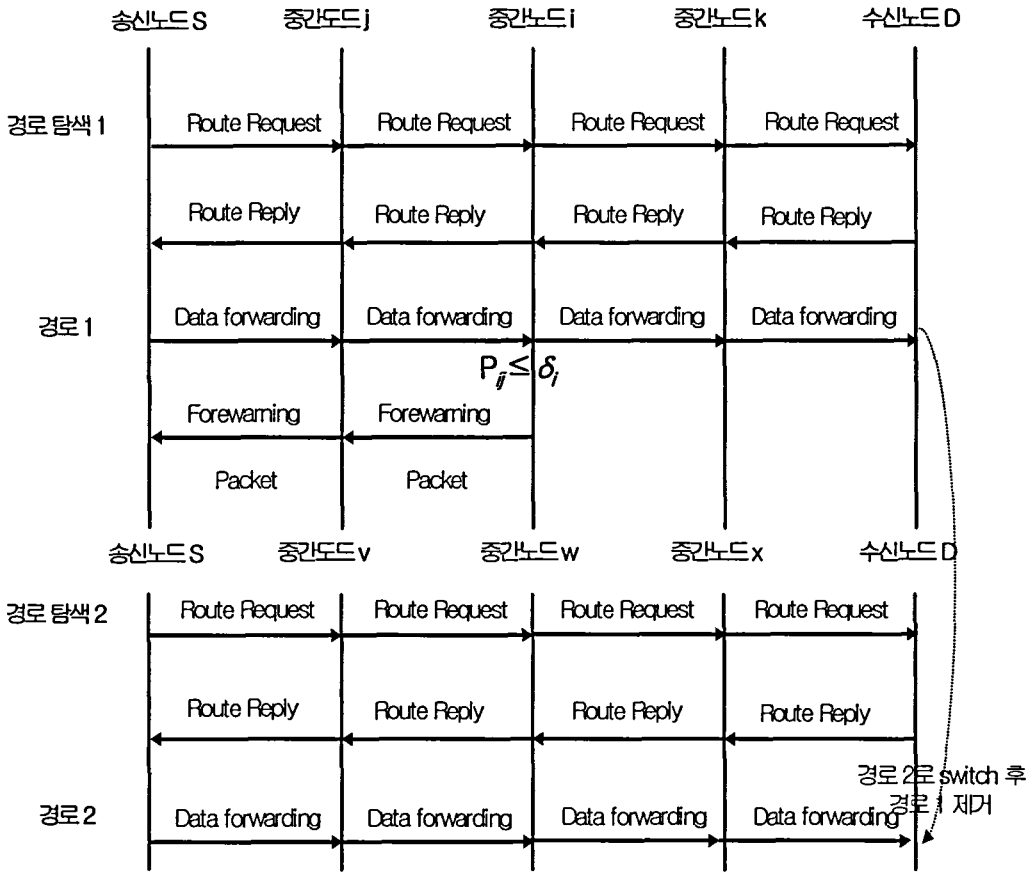


(그림 17) 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 순서도

Fig. 17. The flow chart of pro-active routing selection and maintenance algorithms

그림 18은 제안하는 On-demand 방식의 라우팅 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 동작이다. 중간 노드 i에서 $P_{ij} \leq \delta_i$이 발생하면 데이터 전송을 기존의 경로(R_o)로 계속하면서, 송신 노드(S)를 향해 사전경고 패킷(F_p)을 발생시킨다. 송신 노드(S)는 사전경고 패킷(F_p)을 수신하면 RREQ(Route Request) 패킷을 발생하여 수신 노드(D)에 대한 새로운 경로 발견을 시작하며, 새로운 경로(R_n)를 발견하면 송신 노드(S)를 향해 RREP(Route Reply) 패킷을 보낸 후, 새로운 경로(R_n)를 확립하고 기존의 경로(R_o)와 교환 후 기존의 경로(R_o)를 제거함과 동시에 새로운 경로(R_n)을 통해서 데이터를 이어서 전송한다.

본 절에서는 기존의 On-demand 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘을 추가시킨 연구이다. 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 손실되기 전의 임계치 신호파워 세기까지 근접하게 되면 경로는 손실될 경향이 높다고 간주한다. 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 임계치 이하로 떨어졌을 경우, 사전경고 패킷을 발생하고 송신 노드는 기존의 경로로 계속적으로 데이터를 전송하는 동안 사전에 다른 경로 발견을 시작하기 때문에, 모든 경로의 단절에 대한 잠재적인 가능성을 피한다. 본 아이디어를 바탕으로 이동 Ad Hoc 네트워크 시뮬레이션 환경을 통하여 On-demand 방식의 대표적인 프로토콜인 DSR과 AODV 프로토콜에 본 논문에서 제안한 알고리즘을 접목시켜 성능을 평가 비교한다.



(그림 18) 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 동작

Fig. 18. The operation of pro-active routing selection and maintenance algorithms

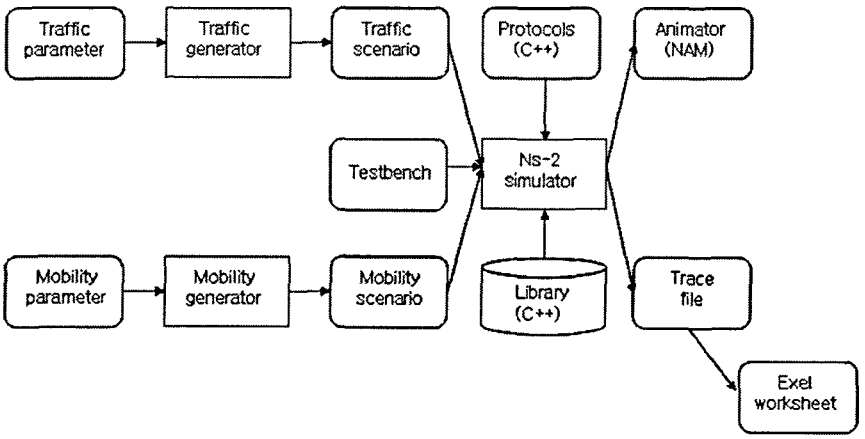
4. 성능평가

이동 Ad Hoc 네트워크 시뮬레이션 환경을 통하여 On-demand 방식의 대표적인 프로토콜인 DSR과 AODV 프로토콜에 본 논문에서 제안한 알고리즘을 접목시켜 사전 활성화 라우팅 경로선택과 관리유지 알고리즘의 성능을 평가 비교하였다.

4.1 ns-2 시뮬레이션

이동 Ad Hoc 네트워크에서 시뮬레이션 연구는 이산 사건 시뮬레이터인 ns-2를 기반으로 성능을 측정한다. 그림 19는 ns-2 시뮬레이션에서 임의의 파라미터 값을 이용하여 시나리오를 발생시키고 ns-2에서 지원하는 라이브러리를 이용하여 프로토콜의 성능을 측정하는 절차를 보여준다. 시뮬레이션에 사용한 ns-2의 버전은 ns-2.26이며, 제안하는 프로토콜의 구현은 ns-2 CMU 확장판에 포함된 DSR과 AODV에 기반을 두고 있다. 시뮬레이션 플랫폼 상에서 DSR과 AODV 라우팅 프로토콜을 이용하여 제안하는 프로토콜을 구현하였다.

본 ns-2 시뮬레이션은 $1000 \times 1000m^2$의 정방형 영역 상에서 움직이는 이동 노드들을 대상으로 수행된다. $250m$의 무선 전송 범위와 자유공간 전파 채널을 가정한다. 2 Mbps의 데이터 전송률을 가지며, 각 시뮬레이션은 300초 동안 수행된다. CBR 소스는 초당 4 개의 패킷을 전송하며, 데이터 페이로드는 512 바이트이다. 이동 노드들은 *random waypoint model*에 따라 불규칙하게 임의로 움직인다고 가정한다. 최대 노드 속도와 일시정지 시간의 두 파라미터는 이동 노드의 이동 패턴을 결정한다. 각 노드는 시뮬레이션 영역 내에서 임의로 선택한 목적지까지 임의로 선택한 속도로 이동한다.



(그림 19) ns-2 시뮬레이션 플랫폼의 절차

Fig. 19. The overview of platform ns-2 simulation

속도는 20 *m/sec*로 설정한다. 노드가 목적지에 도착하면, 일정정지 시간(1 *sec*)동안 머무른 후에 다시 이동한다. 본 시뮬레이션 연구에서는 이동 Ad Hoc 네트워크에서 라우팅 프로토콜을 측정하는데 광범위하게 사용되고 있는 다음과 같은 3가지의 성능 척도를 집중적으로 평가한다.

첫 번째, 패킷 전송율은 일정 시간동안 송신 노드가 전송한 전체 데이터 패킷 중에서 수신 노드에게 성공적으로 전달된 데이터 패킷 수의 비율을 뜻한다.

두 번째, 패킷 지연시간은 경로 발견 동안의 버퍼링, 인터페이스에서의 큐잉 지연, MAC 계층에서의 재전송 지연, 전파 지연 및 전송 시간 등에 의해 유발되는 모든 가능한 지연 시간을 포함하는 패킷 지연시간의 평균을 의미한다.

세 번째, 라우팅 오버헤드는 초당 전송되는 전체 라우팅 패킷의 수(즉, hello, RREQ, RREP, RERR 및 forewarning packet의 수)로서 각각의 홉 전송을 하나의 전송으로 계산한 값을 지칭한다.

3가지의 성능 척도를 측정하기 위하여 평균 노드 속도, 노드의 수와 같은 2가지 시뮬레이션 인자를 의미 있는 범위에서 변화시킨다. 즉, 평균 노드 속도는 0~20 m/sec, 노드의 수는 10~100으로 적용한다. 한 가지 시뮬레이션 인자를 변화시키는 동안에 나머지 인자들은 고정되는데, 평균 노드 속도는 4 m/sec, 노드의 수는 50의 고정값을 갖는다. 노드의 수는 주어진 네트워크 영역에서의 노드 밀도를 의미한다.

4.2 ns-2 시뮬레이션 결과 및 분석

본 절에서는 시뮬레이션 결과를 제시하고, 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘의 성능을 AODV 및 DSR과 비교 분석한다. 제안하는 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘을 FDSR(Forewarning DSR)과 FAODV(Forewarning AODV)로 표시한다.

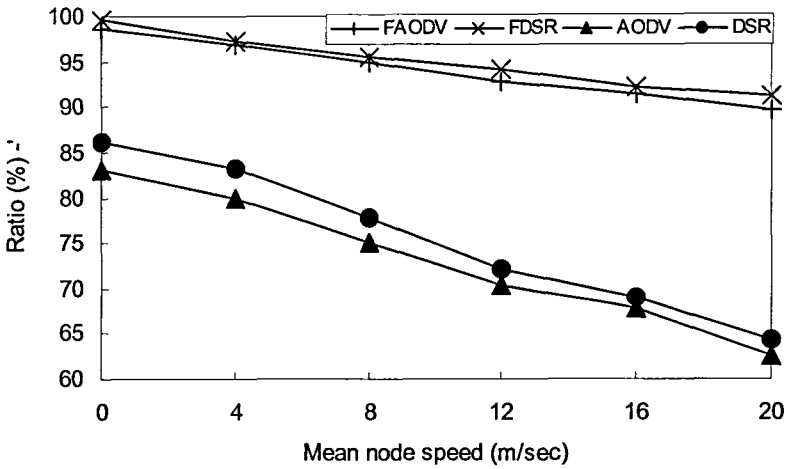
본 절에서는 시뮬레이션 결과를 제시하고, 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘의 성능을 AODV 및 DSR과 비교 분석한다. 제안하는 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘을 FDSR(Forewarning DSR)과 FAODV(Forewarning AODV)로 표시한다. 또한 사전경고 패킷을 FWP(Forewarning Packet)으로 표시한다.

패킷 전송율

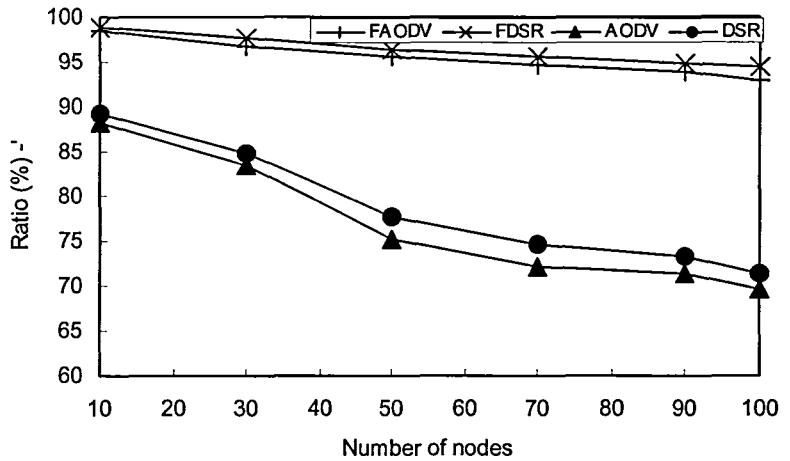
그림 20은 평균 노드 속도, 노드의 수 등의 변화에 따른 DSR, AODV, 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 FDSR과 FAODV의 패킷 전송율을 나타낸다. 그림 20-(a)에서는 성능 척도를 측정하기 위하여 평균 노드 속도를 기준으로 0에서 20 m/sec까지 증가시켜 각 프로토콜의 성능을 비교하였고, 그림 20-(b)에서는 주어진 네트워크 영역에서의 노드의 수를 10개에서 100개까지 증가시켜 성능을 측정하였다.

패킷의 전송율이 2가지 시뮬레이션 인자 모두에 대하여, FDSR과 FAODV는 DSR과 AODV보다 각각 3% ~ 27%까지 성능이 우수하다. FDSR과 FAODV는 DSR과 AODV보다 높은 패킷 전송율을 갖는다. 송신 노드는 노드 고장 및 링크 손상이 발생하기 전에 재탐색 경로로 경로를

사전에 교환하기 때문에 데이터나 링크 손실이 없고 DSR과 AODV보다 높은 패킷 전송율을 가지게 된다. 송신 노드는 계속적으로 패킷이 전송하는 동안 사전에 경로 발견을 시작하기 때문에, 경로의 단절에 대한 잠재적인 가능성을 피한다. 평균 노드 속도, 노드의 수 중 어느 하나라도 증가하면 4개의 프로토콜 모두에 대하여 패킷 전송율이 감소한다. 이는 높은 노드 이동성으로 인해 더욱 빈번한 링크 손상을 초래함으로써 기존의 DSR과 AODV가 FDSR과 FAODV보다 많은 에러가 발생되기 때문에 패킷 전송율의 차이가 발생한다. 노드의 수가 많으면 신호 세기의 트래픽 간섭이 더 많이 발생함으로 링크 손상의 가능성이 증가한다.



(a) 평균 노드 속도의 변화



(b) 노드 수의 변화

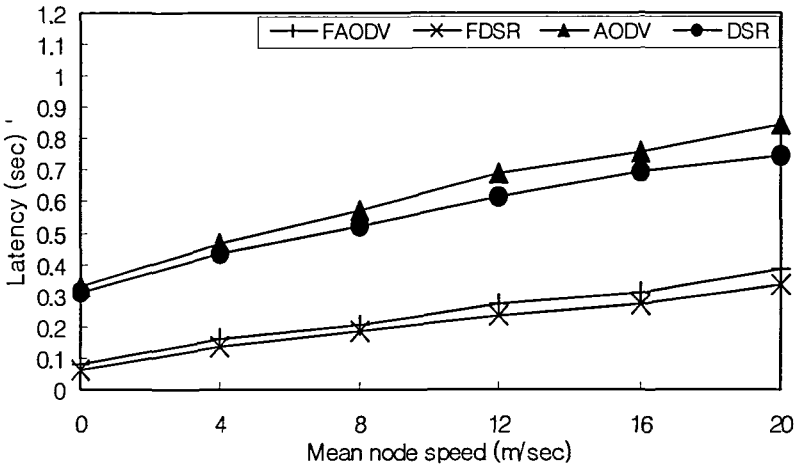
(그림 20) 패킷 전송율

Fig. 20. Packet delivery ratio

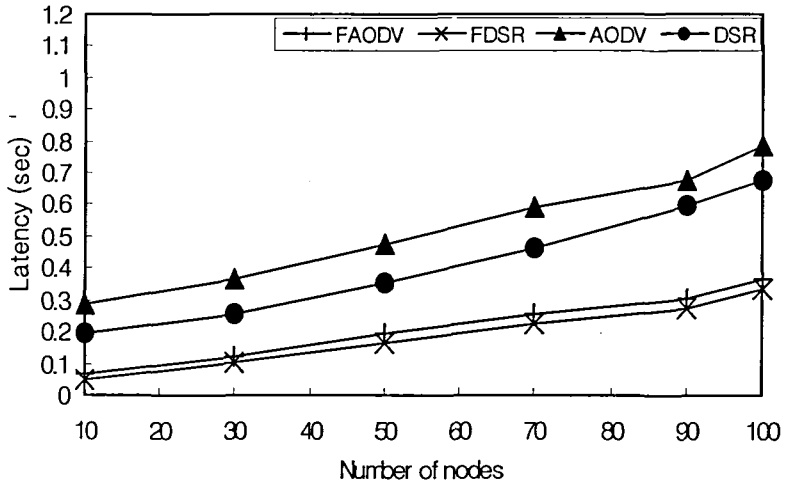
패킷 지연시간

그림 21은 평균 노드 속도, 노드의 수 등이 변화에 따른 DSR, AODV, 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 FDSR과 FAODV의 평균 지연시간을 나타낸다. 그림 21-(a)에서는 성능 척도를 측정하기 위하여 평균 노드 속도를 기준으로 0에서 20 m/sec까지 증가시켜 각 프로토콜의 성능을 비교하였고, 그림 21-(b)에서는 주어진 네트워크 영역에서의 노드의 수를 10개에서 100개까지 증가시켜 성능을 측정하였다.

2가지 시뮬레이션 인자 모두에 대하여, FDSR과 FAODV는 DSR와 AODV보다 더 짧은 지연시간을 갖는다. 제안하는 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 FDSR과 FAODV는 DSR와 AODV보다 각각 13% 및 49%까지 더 짧은 평균 지연시간을 갖는다. FDSR과 FAODV는 3가지 시뮬레이션 인자 모두에 대해서 DSR와 AODV보다 짧은 지연시간을 갖으며, 평균 노드 속도, 노드의 수 등이 증가함에 따라서 그 차이가 더욱 커진다. 즉, FDSR과 FAODV는 높은 노드 이동성, 높은 노드 밀도 등과 같은 열악한 운용 환경에서도 DSR와 AODV보다 더 견고하다. 평균 노드 속도, 노드의 수 중 어느 하나라도 증가하면 4개의 프로토콜 모두에 대하여 평균 지연시간이 증가한다.



(a) 평균 노드 속도의 변화



(b) 노드 수의 변화

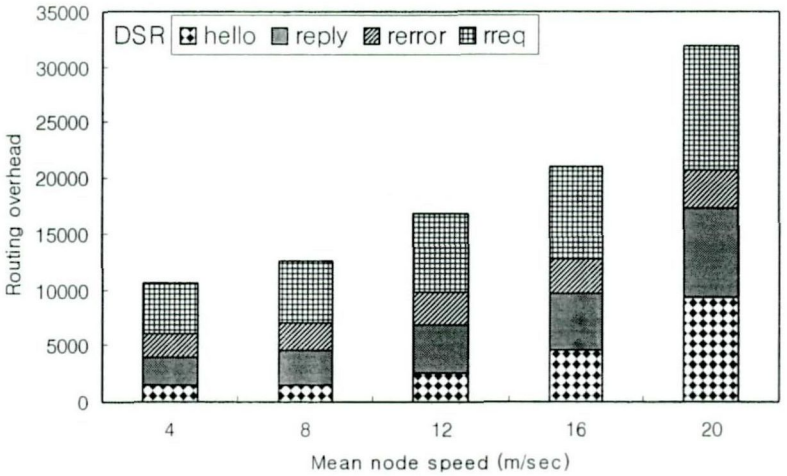
(그림 21) 평균 패킷 지연시간

Fig. 21. Average end-to-end delay

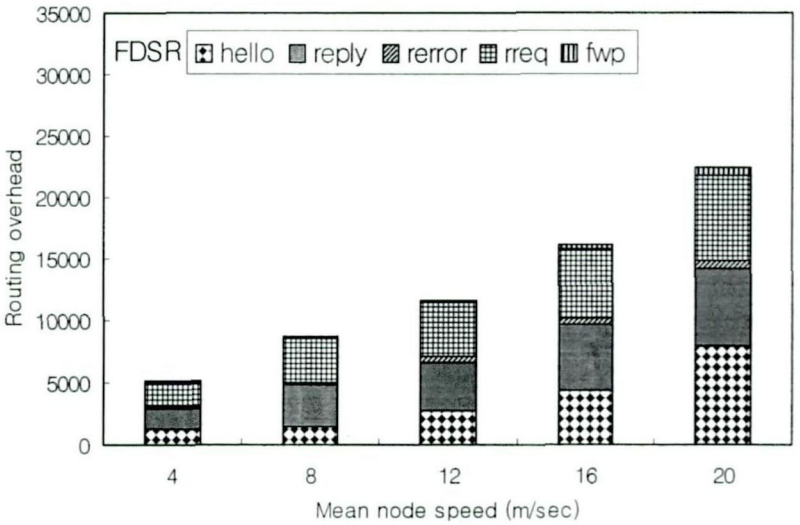
라우팅 오버헤드

그림 22는 평균 노드 속도의 변화에 따른 DSR, AODV, 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘 FDSR과 FAODV의 라우팅 오버헤드를 나타낸다. 그림 22-(a)에서는 평균 노드 속도의 변화에 따른 DSR 프로토콜의 라우팅 오버헤드를 측정하였고, 그림 22-(b)에서는 평균 노드 속도의 변화에 따른 AODV 프로토콜의 라우팅 오버헤드를 측정하였다. 그림 22-(c)에서는 평균 노드 속도의 변화에 따른 FDSR 프로토콜의 라우팅 오버헤드를 측정하였으며, 그림 22-(d)에서는 평균 노드 속도의 변화에 따른 FAODV 프로토콜의 라우팅 오버헤드를 측정하였다. 그림 22-(e)에서는 평균 노드 속도의 변화에 따른 DSR, AODV, FDSR 및 FAODV 프로토콜들의 라우팅 오버헤드를 비교하였다.

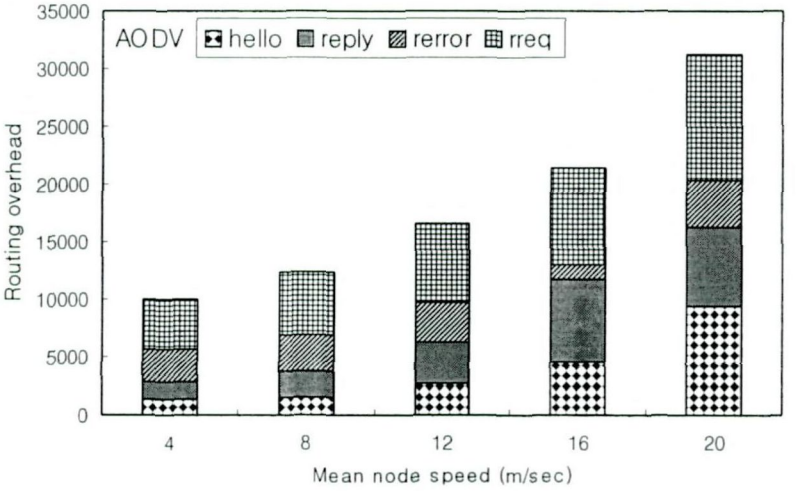
라우팅 오버헤드는 라우팅 경로를 형성하는 과정에서 소요되는 라우팅 수준에서의 오버헤드를 지칭한다. 평균 노드 속도의 변화 대하여, FDSR과 FAODV는 DSR과 AODV보다 작은 라우팅 오버헤드를 갖는다. 제안하는 FDSR과 FAODV는 DSR과 AODV보다 각각 44% 및 70%까지 작은 라우팅 오버헤드를 갖는다. FDSR과 FAODV는 평균 노드 속도의 변화에 대해서 DSR과 AODV보다 작은 라우팅 오버헤드를 갖으며, 노드가 증가함에 따라서 그 차이가 더욱 커진다. 또한 노드의 평균 속도가 증가함에 따라, RERR의 값이 커지는 것은 신호 세기의 트래픽 간섭이 시뮬레이션의 시나리오에 따라 많이 발생하여 링크 손상 가능성이 증가한다. FDSR과 FAODV는 높은 노드 이동성, 높은 노드 밀도 등과 같은 열악한 운용 환경에서도 DSR과 AODV보다 더 작은 라우팅 오버헤드를 갖는다. 평균 노드 속도, 노드의 수 중 어느 하나라도 증가하면 4개의 프로토콜 모두에 대하여 라우팅 오버헤드가 증가한다.



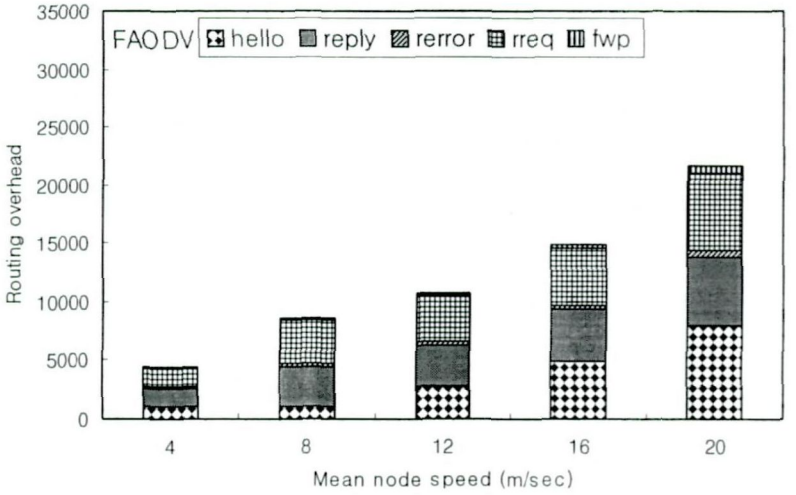
(a) DSR 프로토콜에서 평균 노드 속도의 변화



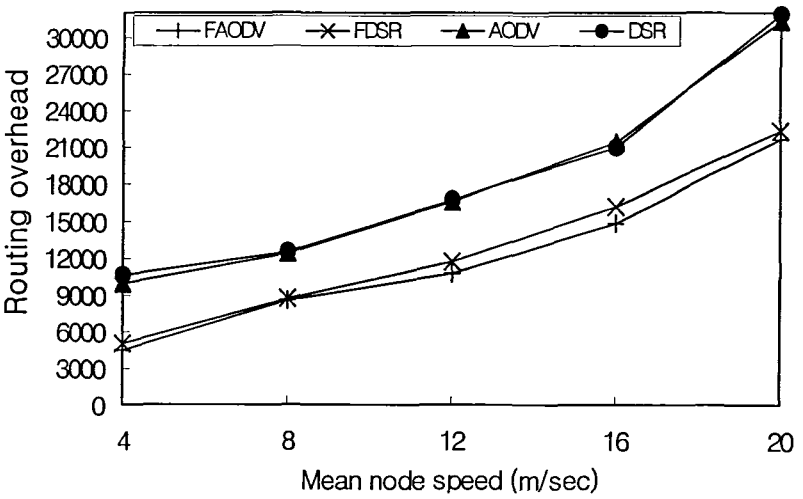
(b) FDSR 프로토콜에서 평균 노드 속도의 변화



(c) AODV 프로토콜에서 평균 노드 속도의 변화



(d) FAODV 프로토콜에서 평균 노드 속도의 변화



(e) 평균 노드 속도의 변화

(그림 21) 라우팅 오버헤드

Fig. 21. Routing overhead

본 절에서는 기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 프로토콜 중 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리 유지 알고리즘을 추가시킨 ns-2 시뮬레이션으로 실험한 결과, DSR과 AODV 라우팅 프로토콜에 비해 높은 신뢰성과 우수한 견고성을 갖는 경로를 제공할 뿐만 아니라 손실이 발생되는 경로들의 수는 현저하게 감소한다. 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘은 기존의 DSR과 AODV 프로토콜보다 패킷 전송율, 평균 지연시간, 오버헤드 측면에서 성능이 우수한 경향을 보인다.

5. 결론

본 논문은 기존의 On-demand 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘을 추가시켜 높은 신뢰성을 갖는 경로를 제공한다.

기존 인프라(기지국, AP : Access Point)가 존재하지 않는 곳에서 이동 단말기간의 라우팅으로 데이터의 송·수신 등 통신을 수행하는 네트워크를 이동 Ad Hoc 네트워크라 한다. 이동 Ad Hoc 네트워크는 이동하는 무선 단말들로 구성되며 기존 인프라에 의존하지 않으며 경로는 수신 단말까지 다중 홉으로 구성된다. 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜에서는 모든 무선 단말이 이동하는 Ad Hoc 환경을 고려하여 Table-driven 방식, On-demand 방식, 이 두 가지 방식의 장점을 혼합한 Hybrid 방식과 기타 방식으로 분류되며, 이 중에서 On-demand 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 대해 연구한다.

기존의 On-demand 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘을 추가시킨 연구이다. 핵심 아이디어는 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 손실되기 전의 임계치 신호파워 세기까지 근접하게 되면 경로는 손실될 경향이 높다고 간주하고 수신되는 패킷의 신호파워 세기가 임계치 이하로 떨어졌을 경우, 사전경고 패킷을 발생한다. 송신 노드는 기존의 경로로 계속적으로 데이터를 전송하는 동안 사전에 다른 경로 발견을 시작하기 때문에, 모든 경로의 단절에 대한 잠재적인 가능성을 피한다.

기존의 이동 Ad Hoc On-demand 방식의 라우팅 프로토콜 중 대표적인 DSR과 AODV 프로토콜에 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리 유지 알고리즘을 추가시킨 실험한 결과, DSR과 AODV

라우팅 프로토콜에 비해 높은 신뢰성과 우수한 견고성을 갖는 경로를 제공할 뿐만 아니라 손실이 발생되는 경로들의 수는 현저하게 감소한다. 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 알고리즘은 기존의 DSR과 AODV 프로토콜보다 패킷 전송율, 평균 지연시간, 오버헤드 측면에서 성능이 우수한 경향을 나타냈다.

향후의 연구 과제는 제안하는 On-demand 방식의 사전 활성화 경로 선택과 관리유지 라우팅 알고리즘이 높은 노드 밀도에서 신호 세기의 트래픽 간섭 및 다른 요인으로 인해 링크 손상이 증가되는 부분과 평균 노드 속도 이외의 노드의 수 따라 오버헤드가 증가하는 측면을 보완하는 것이다. DSR, AODV 이외의 프로토콜에 적용하여 보다 견고하고 확장성이 뛰어난 라우팅 경로를 제공함을 보여줌으로써 프로토콜의 신뢰성을 높인다.

참고문헌

[1] C. Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley, New York, NY, 2001.

[2] C. Toh, Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems, Prentice Hall PTR, 2002.

[3] M. Scott, P. Macker and H. Cirinclone, "Internet-based Mobile Ad Hoc Networking," *Proceedings of the IEEE Internet Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 63-70, 1999.

[4] Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networks (MANET) Working Group Charter. http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html. 2000.

[5] J. Broch, D. Maltz, D. Johnson, Y. Hu and J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proceedings of the Personal Communications*, vol. 4, pp. 85-97, 1998.

[6] E. Royer and C. Toh, "A Reivew of Currnet Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," *Proceedings of the IEEE Personal Communications*, vol. 6, no. 2, pp. 46-55, 1999.

[7] R. Das, R. Castaneda, J. Yan and R. Sengupta, "Comparative Performance Evaluation of Routing Protocols for Mobile, Ad hoc," *Proceedings of the International Conference on Computer Communications and Networks*, pp. 153-161, October 1998.

[8] S. Lee, M. Gerla, and C. Toh, "A Simulation Study of Table-Driven and On-Demand Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1748, pp. 45-59, 1999.

[9] D. Maltz, J. Broch, J. Jetcheva and D. Johnson, "The Effects of On-Demand Behavior in Routing Protocols for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks," *Proceedings of the IEEE J. Selected Areas in Communications*, vol. 17, pp. 1439-1453, 1999.

[10] D. Johnson, D. Maltz, Y. Hu and J. Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks," Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networks (MANET) draft-ietf-manet-dsr-05.txt, 2001.

[11] E. Perkins, M. Royer and R. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networks (MANET) draft-ietf-manet-aodv-13.txt, 2003.

[12] The Network Simulator ns-2 : http://www.isi.edu/nsnam/ns/

[13] UCB/LBNL/VINT Network Simulator, web-site http://www-mash.CS.Berkeley.EDU/ns.

[14] NS-2 with Wireless and Mobility Extensions CMU Monarch Project : http://www.monarch.cs.cmu.edu/

[15] A. Kamerman and L. Monteban, WaveLAN-II: A High- Performance Wireless LAN for the Unlicensed Band, Bell Labs Technical Journal, 1997.

[16] J. Andersen, T. Rappaport and S. Yoshid, "Propagation measurements and models for wireless communications channels," *Proceedings of the IEEE Communication Magazine*, vol. 33-1, pp. 42-49, January 1995.

[17] T. Goff, B. Abu-Ghazaleh, S. Phatak and R Kahvecioglu, "Preemptive routing in ad hoc networks," *Proceedings of the ACM/IEEE MobiCom*, pp. 43-52, July 2001.

[18] J. Kim, S. Moh and I. Chung, "A Maximally Disjoint Multipath Routing Protocol Based on AODV in Mobile Ad Hoc Networks," *Proceedings of the KIPS*, vol. 12-C, pp. 429-436, August 2005.

[19] N. Gupta and S. Das, "Energy Aware On-Demand Routing for Mobile Ad Hoc Networks," *Proceedings of the 4th International Workshop on Distributed Computing*, vol. *2571*, pp. 164-173, December 2002.

[20] M. Royer and E. Perkins, "Transmission Range Effects on AODV Multicast Communication," *Proceedings of the ACM Mobile Networks and Applications special issue on Multipoint Communication in Wireless Mobile Networks, vol. 7,* pp. 455-470, 2002.

[21] M. Zapata, "Secure Ad hoc On-Demand Distance Vector (SAODV) Routing," INTERNET-DRAFT draft-guerrero-manet-saodv-00.txt. August 2002.

[22] C. Kim, C. Toh and Y. Choi "TCP-BuS : Improving TCP Performance in Wireless Ad Hoc Networks," *Proceedings of the Journal of Communications and Networks*, vol. 3, pp. 1707-1713, June 2001.

[23] J. Liu and S. Singh, "ATCP : TCP for Mobile Ad Hoc Networks," *Proceedings of the IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 219-230, July 2001.

[24] K. Chandaran, S. Raghunathan, S. Venkatesan and R. Prakash, "A Feedback-Based Scheme for Improving TCP Performance in Ad Hoc Wireless Networks," *Proceedings of the IEEE Personal Communications*, vol. 8, pp. 34-39, February 2001.

[25] V. Gummalla and O. Limb, "Wireless Medium Access Control Protocols," *Proceedings of the IEEE Communications Surveys*, vol. 3, no. 2, Second Quarter 2000.

[26] P. Karn, "MACA-A New Channel Access Method for Packet Radio," *ARRL/CRRL Amatuer Radio 9th Computer Networking Conference*, pp. 134-140, 1990.

[27] V. Bharghavan, "MACAW : A Media Access Protocol for Wireless LANs," *Proceedings of the* ACM SIGCOMM, pp. 212-225, August 1994.

[28] L. Fullmer and J. Garcia, "Floor Acquisition Multiple Access(FAMA) for Packet-Radio Networks," *Proceedings of the ACM Mobile Networks and Applications Journal special issue on Ad-Hoc Networks*, vol. 4, pp. 157-174, 1999.

[29] F. Talucci, M. Gerla and L. Fratta, "MACA-BI(MACA By Invitation) A Receiver Oriented Access Protocol for Wireless Multihop Networks," *Proceedings of the 8th International*

Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 435-439, 1997.

[30] C. Toh, V. Vassiliou, G. Guichal and C. Shih, "MARCH : A Medium Access Control Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks," *Proceedings of the IEEE Military Communications Conference*, pp. 512-516, 2000.

[31] S. Singh and C. Raghavendra, "PAMAS-Power Aware Multi-Access Protocol with Signaling for Ad Hoc Networks," *Proceedings of the ACM Computer Communications*, pp. 5-26, July 1998.

감사의 글

늘 부족하기만한 저를 격려해 주고 용기와 자신감을 심어주었던 부모님과 사랑하는 남편과 아들, 가족들, 보이는 곳에서나 보이지 않는 곳에서 한없는 사랑과 믿음으로 저를 지켜봐 주시고 감싸주셨기에 힘든 줄 모르고 행복하게 연구할 수 있었고, 하나의 논문이 완성 될 수 있었습니다.

항상 자상한 배려와 깊은 관심을 아끼지 않으시며, 저를 학문의 길과 인간의 길로 이끌어 주신 내겐 소중한 지도 교수님이신 정일용 교수님께 마음 깊이 감사드리고 또 감사드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 기꺼이 논문을 심사하여 주시고 소중한 조언을 해 주신 나상동 교수님, 최덕재 교수님, 김충원 교수님, 심재홍 교수님께 머리 숙여 감사드립니다. 대학원 생활동안 많은 가르침을 주신 전자계산학과 이성주 교수님, 배용근 교수님, 이윤배 교수님, 김판구 교수님, 이정아 교수님께 감사의 말씀 전합니다. 연구실을 떠나 각자의 위치에서 열심히 생활하고 있는 자랑스럽고 든든한 졸업생들, 연구실의 든든한 동기이자 친구인 동길이에게도 고마운 마음을 전합니다. 여진, 동민, 종철에게도 감사의 마음과 함께 과정 마칠 때 까지 긍정적인 생각과 연구에 대한 열정이 지속되기를 기원합니다. 일상의 바쁜 생활에도 불구하고 논문의 필요한 지식과 조언을 아끼지 않았던 윤천균 교수님과 중태, 혜련이에게 감사의 말씀 전합니다.

여러 가지 일들을 묵묵히 해내고 도와주며 항상 마음속의 이야기를 함께 나눌 수 있게 해 준 나의 든든한 후배 강정희 여사와 가족들, 화영이, 수진이, 은선이에게 사랑과 애정을 함께 보냅니다.

늘 가족 같은 편안함으로 즐거운 대학원 생활이 되게 해 주고 많은 고민을 함께 나누며 지내왔던 전자계산학과 선후배님들에게도 깊은 감사의 마음을 전합니다. 특히, 언제나 따뜻하게 배려 해 주신 최종주 교수님, 박병권 교수님, 김대웅 교수님, 김평호 교수님께도 고마움과 사랑을 전합니다.

언제나 변함없는 사랑으로 모든 것을 이해 해 주고 함께 해준 나의 든든한 동반자이자 사랑하는 남편 성수씨, 그리고 나의 멋진 아들 병헌이에게도 마음 깊은 곳으로부터 고마움과 사랑을 전합니다.

또한 힘들고 지칠 때 마다 좋은 음악으로 내게 늘 힘을 실어 줄 수 있게 아름다운 음악 선곡 해 준 후배 지훈이에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 저를 아는 모든 분들께 이제까지의 제 삶에 영향을 준 것에 대해 깊은 감사의 마음을 전하며 항상 건강하고 웃음 잃지 않으시길 바랍니다.

끝으로 오늘의 제가 있기까지 항상 믿음으로 지켜 봐 주시고, 끊임없는 격려와 응원으로 나에게 큰 힘이 되어 주신 사랑하는 어머니와 하늘에 계신 사랑하는 아버지께 이 작은 결실을 바칩니다.