

Ad Hoc 네트워크의 경로손실 회피기반 RPAODV 라우팅

우 매 리* · 김 영 략** · 김 종 근***

요 약

Ad Hoc 네트워크에서는 노드들의 라우팅기능을 이용하여 목적지 노드까지 패킷을 전송한다. 노드이동 등으로 다음 홉 노드에 대한 링크를 손실하면 계속적인 패킷 전송을 위해서 새경로 탐색이 요구된다. 요구 기반 라우팅 프로토콜 AODV는 노드 이동으로 인한 경로 손실시에 다음 홉 노드의 링크 손실을 인식한 노드가 경로 유지를 위해 지역 탐색을 수행하거나 발신지 노드가 새경로 탐색을 수행하여 경로를 유지한다. 이 경우 새경로 탐색이나 지역 경로 탐색은 패킷의 지연을 가져오고, QoS에 나쁜 영향을 미친다. 본 연구에서는 다음 홉 노드에 대한 링크손실을 예측한 노드가 자신의 이웃 노드 중 적절한 다른 노드를 다음 홉 노드로 선택하여 경로 손실을 예방하고 QoS를 높이는 RPAODV 기법을 제안한다.

A Path Fault Avoided RPAODV Routing in Ad Hoc Networks

Mary Wu[†] · Youngrak Kim^{**} · Chonggun Kim^{***}

ABSTRACT

A Node transmits packets to a destination node using routing function of intermediate nodes on the path in Ad Hoc networks. When the link to a next hop node in a path is broken due to the next hop node's mobility, a new route search process is required for continuing packets transmission. The node which recognizes link fault starts a local route recovery or the source node starts a new route search in the on-demand routing protocol AODV. In this case, the new route search or the local route search brings packet delays and bad QoS by packet delays. We propose RPAODV that the node predicts a link fault selects a possible node in neighbor nodes as a new next hop node for the path. The proposed protocol can avoid path faults and improve QoS.

키워드 : Ad Hoc 네트워크(Ad Hoc Network), 신호세기(Signal Strength), 링크 손실(Link Fault), 경로 손실 예측(Path Fault Avoidance)

1. 서 론

이동 Ad Hoc 네트워크는 고정된 기반 망의 도움 없이 이동 노드들 간에 자율적으로 구성되는 망이다. Ad Hoc 네트워크를 구성하는 모든 노드들은 전파 도달 거리의 통신제한을 가지므로 데이터 전달시 중계 노드를 사용하여 목적지 노드까지 경로를 설정하고 데이터를 전달한다. 이 네트워크는 이동 노드의 이동 패턴과 트래픽 종류, 링크 품질 또는 잔류 전력 등에 따라 토폴로지가 변하므로 특정 노드 간 통신에 대한 경로의 설정과 유지가 어렵다. 따라서 Ad Hoc 네트워크에서 통신 노드 간에 효과적이고 안정적인 라우팅 경로를 구성하고 유지하는 라우팅 프로토콜을 개발하는 것이 중요한 과제이다. Ad Hoc 네트워크에서는 세 가지 방식의 라우팅 프로토콜이 널리 알려져 있다. 테이블 관리 방식(Table-driven 또는 Proactive)과 요구 기반 방식(On-de-

mand 또는 Reactive), 그리고 이를 혼합한 방식으로 분류된다[1, 2]. 테이블 관리 방식은 주기적으로 또는 네트워크 토폴로지가 변화할 때 라우팅 정보를 방송함으로써 모든 노드가 항상 최신의 라우팅 정보를 유지하는 방식이다. 테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜로는 DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)[3], WRP(Wireless Routing Protocol)[4], 그리고 CGRP(Clusterhead Gateway Switching Routing)[5] 등이 있다. 테이블 관리 방식 프로토콜들은 항상 최신의 경로 정보를 유지하기 때문에 트래픽 발생 시 경로 탐색의 지연 없이 통신이 가능한 반면, 테이블 관리를 위해 계속적인 제어 메시지 발생으로 인한 오버헤드와 대역폭 소비, 노드의 과도한 소비 문제 등을 발생시킨다. 이러한 문제점에 대한 해결책으로 요구 기반 라우팅 프로토콜이 존재한다. 요구 기반 방식은 트래픽이 발생하는 시점에서 경로를 탐색하는 방식으로 테이블 관리 방식이 가지는 제어 메시지 오버헤드 문제를 해결한다. 요구 기반 방식은 발신지 노드가 데이터 패킷을 전송하고자 할 때, 경로 탐색 처리를 초기화하고 질의 패킷을 방송한다. 이 질의 패킷을 목적지 노드

* 이 논문은 2003년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것이다.

† 정 회 원 : 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과

** 준 회 원 : 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과

*** 정 회 원 : 영남대학교 컴퓨터공학전공 교수

논문접수 : 2004년 9월 20일, 심사완료 : 2004년 12월 1일

또는 목적지 노드까지의 경로를 유지하는 중간 노드가 수신하면 목적지 노드 또는 중간 노드는 발신지 노드에게 응답패킷을 송신하여 목적지 까지 경로를 발신지에게 알린다. 이 방식은 경로상의 노드들이 현재 활성화된 목적지에 대해서만 라우팅 테이블을 유지하므로 테이블 관리 방식에 비해서 라우팅 오버헤드가 매우 작다. 요구 기반 방식으로는 AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector)[6, 7], DSR(Dynamic Source Routing)[8] 그리고 TORA(Temporally Ordered Routing Algorithm)[9]등이 있다. 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜은 노드의 이동으로 현재 유지하는 경로가 손실되는 경우에는 대체 경로를 탐색하여 데이터 패킷을 전송한다. 이때 새경로 탐색이 수행되는 동안 패킷 전송이 지연되고, 이것은 QoS에 좋지 않은 영향을 미친다. 이 문제를 해결하기 위한 연구로서 AODV에서 경로가 단절되었을 때 효과적으로 라우팅경로를 복구하는 AFLRS(AODV-based Fast Local Repair Scheme)이 있다[11]. 또 경로손실이 적은 안정적인 경로를 발견하는 라우팅 프로토콜로서 ABR(Associativity-Based Long-Lived Routing)과 SSR(Signal Stability-Based Adaptive Routing)이 존재한다[12, 13]. ABR은 이웃으로부터 받는 메시지를 카운터를 기록하여 라우팅 메트릭으로 사용하는 방법으로 카운터 값이 높은 링크를 선택하여 오래동안 연결성을 가지는 링크를 선택한다. SSR은 메시지의 신호세기를 고려하여 강한 연결성을 가진 노드와의 링크를 우선적으로 선택하여 링크 손실을 최소화 하는 기법이다. 그러나, 이 경우에도 노드의 이동성으로 인한 경로 손실 시 소스 노드에게 에러 메시지를 보내어 새경로 탐색을 수행하거나 지역 탐색을 수행하여 경로를 유지하므로 패킷 전송 지연이 발생한다. Ad Hoc 네트워크에서 모든 노드들은 이동성을 가지므로 경로 손실은 불가피한 문제이다. 따라서, 이 문제에 대한 근본적인 해결책이 필요하다. 본 논문에서는 대표적인 요구 기반 방식인 AODV 라우팅 프로토콜에서 노드 이동으로 인한 경로 손실을 예방하거나 최소화하기 위해 RPAODV(Robust Path AODV) 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 기법은 경로상의 각 노드가 다음 홉 노드로부터 받는 신호세기가 안정 신호세기 레벨 이상인지를 측정하고 이 데이터를 기반으로 가까운 미래의 링크상태를 예측하여, 예측결과가 안정 신호세기 레벨 이하로 떨어질 때, 새로운 다음 홉 노드를 선출하여 미리 대체하는 기법을 제안한다. 제2장에서는 AODV 라우팅 프로토콜의 개요를 설명하고, 제3장에서는 제안하는 경로유지 기법을 소개하고, 제4장에서는 실험 결과를 보인다. 마지막으로 제5장에서 결론을 맺는다.

2. AODV 개요

AODV는 DSDV 알고리즘에 기반하고 있으나 두 가지 방

식의 차이점은 DSDV는 테이블 관리 방식이고, AODV는 요구 기반 방식이다. 즉, AODV는 필요할 때만 목적지 노드에 대한 경로를 요청하고 전체 네트워크의 노드 정보를 저장하지 않는다. AODV는 경로 탐색과 경로 유지의 절차를 통해 라우팅을 수행한다. 경로 탐색 절차를 통해 목적지까지의 경로를 발견하고, 경로 유지 절차를 통해 발견된 경로를 관리하고, 노드 이동으로 인한 경로 손실이 발생하면 새경로 탐색을 수행한다.

2.1 경로 탐색

발신지 노드는 목적지 노드까지 보낼 패킷이 있을 때 경로 탐색 절차를 초기화하고, 경로 요청(RREQ; Route Request) 메시지를 플루딩한다. 경로 요청 메시지를 받은 각 노드는 메시지를 보낸 노드와 역경로를 수립한다. 경로 요청 메시지가 목적지 노드나 목적지 노드까지의 경로를 가지는 노드에게 도착하면 그 노드는 역경로를 따라 발신지 노드까지 경로 응답(RREP; Route Reply) 메시지를 전송한다. 경로 응답 메시지를 받은 각 노드들은 경로 응답 메시지를 보낸 노드를 목적지 노드의 경로에 대한 다음 홉 노드로 지정하고 이 정보를 라우팅 테이블 항목에 기록한다. 경로 응답 메시지가 발신지 노드에게 도착하면 발신지 노드는 데이터 패킷을 보내기 시작한다. 각 경로 요청 메시지는 라우팅 루프와 오래된 라우팅 정보의 전송을 방지하기 위해서 목적지 순서 번호를 포함한다.

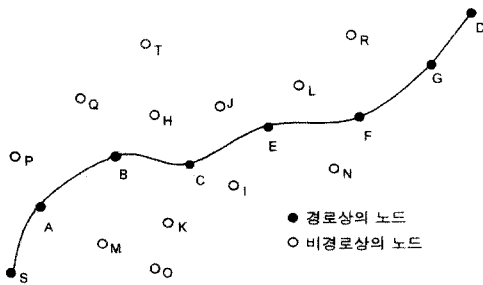
2.2 경로 유지

패킷 전송 노드는 자신의 존재를 알리기 위해서 주기적인 Hello 메시지를 방송한다. 미리 정해진 시간 내에 이웃노드로부터 Hello 메시지를 받지 못하는 경우, 해당 노드의 링크가 손실되었음을 인지한다. 다음 홉 노드의 링크 손실을 인지하면 포워딩 노드는 경로 에러(RERR; Route Error) 메시지를 모든 업 링크 노드들에게 전송하여 목적지 노드의 경로가 손실되었음을 알린다. 발신지 노드가 RERR 메시지를 수신하면 목적지까지의 새경로 탐색을 수행한다. 새경로 탐색으로 인한 패킷 전송 지연을 줄이기 위해서 지역 탐색을 수행하기도 한다[7]. 지역 탐색은 노드가 다음 홉 노드의 링크 손실을 인지하면 포워딩 노드가 발신지 노드를 대신하여 직접 목적지 경로 탐색을 수행하는 방법으로 TTL값을 사용하여 미리 결정된 n-홉까지만 경로 탐색 메시지를 방송한다. n-홉 지역 탐색에서 목적지 노드를 찾지 못한 경우 RERR 메시지를 발생하여 발신지 노드까지 전송하고 새경로를 탐색하게 한다.

3. RPAODV

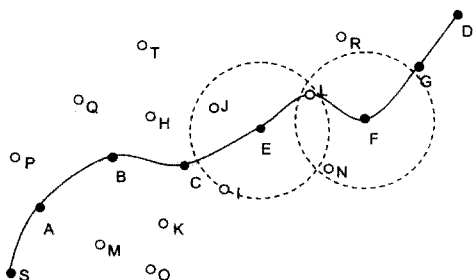
이동 Ad Hoc 네트워크에서 송신 노드에서 수신 노드로의 데이터 전달은 동적으로 구성되는 네트워크경로상의 노드들

이 라우팅 기능을 수행함으로써 이루어진다. 경로상의 각 노드들은 목적지 노드까지 경로를 유지하고 데이터를 중계한다. 기존 AODV에서 다음 홉 노드로부터 수신하는 신호 세기가 일정한 임계치 이하로 떨어질 때, 경로를 구성하는 링크를 손실한다. 이 경우, 경로 에러 메시지를 방송하여 새 경로 탐색이 이루어지거나 링크 손실을 감지한 노드는 지역 경로 탐색 메시지를 방송하여 목적지를 탐색한다. 즉, 링크 손실 후 경로 탐색이 일어나므로 전송중인 패킷의 지연이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 AODV기법에서 경로상의 각 노드가 다음 홉 노드에 대한 링크 손실을 최소화하여 경로를 유지하는 RPAODV(Robust Path AODV)를 제안한다. 현재 노드가 다음 홉 노드로부터 주기적으로 받는 신호세기를 측정하여 링크상태의 안정성을 예측하고, 링크 손실이 예측될 때, 자신의 이웃노드들 중에 적절한 대체 노드를 선택하여 다음 홉 노드로 지정함으로써 경로 손실을 최소화하고 예방하는 기법을 제안한다.



(그림 1) 소스 노드에서 목적지 노드까지의 경로

(그림 1)은 소스 노드 S가 목적지 노드 D로 패킷을 전송할 때의 패킷 경로를 보인다. 경로 상의 각 노드는 자신의 상태를 알리기 위해 주기적으로 Hello 메시지를 방송한다. 각 노드는 다음 홉 노드로부터 일정 시간 내에 Hello 메시지를 받지 못하면, 다음 홉 링크가 손실되었음을 인지한다. 제안하는 기법에서 각 노드는 링크 손실을 예측하기 위해 다음 홉 노드로부터 주기적으로 수신하는 Hello 메시지의 신호세기를 기록하고, 이 정보를 이용하여 가까운 미래의 다음 홉 노드에 대한 링크 손실을 예측한다. 다음 홉 노드에 대한 링크상태 손실이 예측될 때, 경로 손실을 막기 위해 새로운 다음 홉 노드를 선출하여 링크 손실을 막는다.

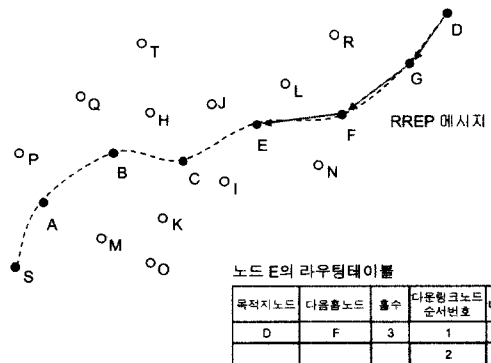


(그림 2) 새로운 다음 홉 노드의 선출 후의 경로

(그림 2)는 노드 E가 다음 홉 노드 F의 링크가 손실되는 것을 예측하고, 새로운 다음 홉 노드 L을 선출하여 패킷 경로를 재구성한 결과이다. 제안하는 기법은 각 노드가 라우팅 테이블에 목적지 경로를 기록하고, 다음 홉 노드의 Hello 메시지의 신호세기를 측정하여 다음 홉 노드에 대한 링크 손실을 예측하고, 새로운 다음 홉 노드를 선출하는 절차로 이루어진다.

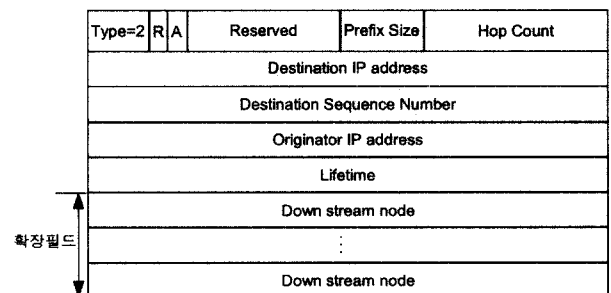
3.1 라우팅 테이블 경로 기록

경로 탐색 과정에서 각 노드는 RREP 메시지를 수신하면, 목적지에 대한 경로를 라우팅 테이블에 기록한다. 기존 AODV에서 각 노드가 RREP 메시지를 수신할 때, 자신의 라우팅 테이블에 목적지 노드, 다음 홉 노드, 홉 수를 기록한다. 제안하는 기법에서는 경로 유지를 위해서 라우팅 테이블에 경로를 형성하는 모든 다운스트림 노드를 추가하여 기록한다. (그림 3)에서 노드 E는 노드 F로부터 RREP 메시지를 수신하고 라우팅 테이블에 목적지 노드 D까지의 모든 다운스트림 노드를 기록한다. 라우팅 테이블은 목적지 노드, 다음 홉 노드, 홉 수, 다운스트림 노드 순서 번호, 다운스트림 노드 항목으로 구성된다.



(그림 3) RREP 메시지의 전송과 라우팅 테이블

라우팅 테이블에 다운스트림 노드를 기록하기 위해서 기존의 RREP 메시지에 Down stream node 항목을 추가한다. 각 노드는 RREP 메시지를 보내기 전에 Down stream node 에 자신의 IP를 추가하여 전송한다.



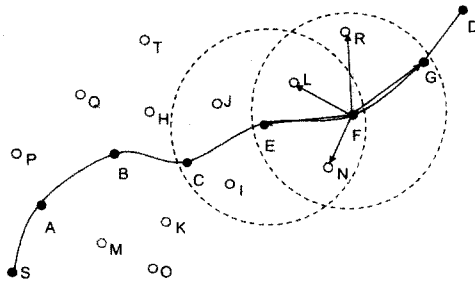
(그림 4) 확장 RREP 메시지 형식

3.2 경로 손실 예측

경로 상의 노드는 자신의 상태를 이웃노드에게 알리기 위해 주기적으로 Hello 메시지를 발송한다. 이때, 각 노드는 다음 홉 노드로부터 수신하는 신호세기를 측정하고 이 정보를 이용하여 링크의 상태의 안정성을 예측한다. 경로 손실 예측은 각 노드가 경로상의 노드로부터 수신하는 Hello 메시지의 신호세기를 기준으로 링크상태를 기록하고 예측하는 절차로 이루어진다.

3.2.1 Hello 메시지 발송과 신호세기 기록

경로 탐색 과정에서 모든 경로 설정이 완료되면 소스 노드는 데이터 패킷을 전송한다. 경로상의 각 노드는 자신의 상태 정보를 이웃노드에게 알리기 위해서 주기적으로 Hello 메시지를 발송한다.



(그림 5) Hello 메시지 발송

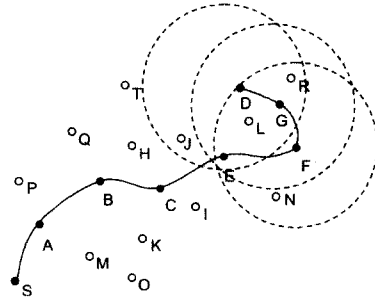
(그림 6)는 Hello 메시지 형식이다. Hello 메시지는 TTL = 1인 RREP 메시지 형식(Type = 2)으로 발송된다. (그림 5)에서 노드 F가 Hello 메시지를 발송할 때, Hop count는 0이고, Destination IP address는 자신의 주소 F이고, Destination Sequence Number는 자신의 최근의 Sequence Number로 하여 발송한다. Hello_Interval은 기본 값으로 1이므로, 경로상의 노드는 자신의 정보를 포함하여 1초마다 Hello 메시지를 발송한다.

0	15	31
Type = 2	R A	Reserved Prefix Size Hop Count = 0
Destination IP address = The node's IP address		
Destination Sequence Number = The node's latest sequence number		
Originator IP address		
Lifetime = ALLOWED_HELLO_LOSS * HELLO_INTERVAL		

(그림 6) Hello 메시지 형식

각 노드가 Hello 메시지를 수신할 때, 라우팅 테이블에서 현재 목적지에 대한 경로상의 노드로부터 수신했는지 검사한다. 다음 홉 노드나 다운 스트림 노드로부터 수신한 경우, 같은 노드로부터 3개의 메시지를 받을 때 신호세기 테이블에 수신 신호세기를 기록한다. 다음 홉 노드의 신호세기는 다음 홉 신호세기 테이블에 수신 신호세기를 기록하고, 다운

스트림 노드의 신호세기는 다운스트림 노드 신호세기 테이블에 수신 신호세기를 기록한다.



(그림 7) 네트워크 토폴로지의 예

(그림 7)에서 노드 E는 경로상의 노드 F, G, D가 발송하는 Hello 메시지를 수신한다. 다음 홉 노드 F가 발송하는 Hello 메시지를 수신하면, 노드 F가 라우팅 테이블의 다음 홉 노드임을 확인한 후, 다음 홉 신호세기 테이블에 신호세기를 기록한다[7].

<표 1> 노드 E의 다음 홉 신호세기 테이블

시간	다음 홉 노드 주소	신호세기	미래 링크상태
	2	SS _{FE}	

SS(Signal Strength)_{FE} : 노드 E가 수신하는 노드 F의 Hello message 신호세기

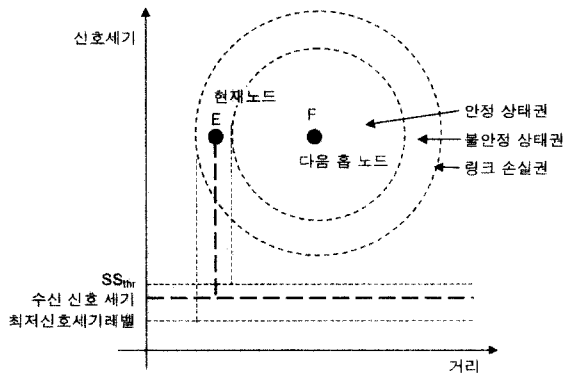
노드 G, D가 발송하는 Hello 메시지를 수신하면, 노드 G, D가 라우팅 테이블의 다운스트림 노드임을 확인한 후, 다운스트림 노드 신호세기 테이블에 신호세기를 기록한다.

<표 2> 노드 E의 다운스트림 노드 신호세기 테이블

시간	다운스트림 노드 번호	다운스트림 노드	신호세기
	2	D	SS _{DE}
	1	G	SS _{GE}

3.2.2 링크의 안정 상태 판별

다음 홉 노드로부터 받는 신호세기가 최소 신호세기 레벨 이하가 되면 링크는 손실된다. 본 연구에서 링크 손실을 방지하기 위해 두 노드 간 링크상태를 '안정 상태'와 '불안정 상태'로 구분한다. 안정적인 연결을 제공하는 신호세기 레벨을 안정 신호세기 임계치로 정하고, 수신 신호세기가 안정 신호세기 임계치 이상이 될 때, 링크는 '안정 상태'에 있다고 정의한다. 또한, 수신 신호세기가 안정 신호세기 임계치 이하일 때, 링크는 '불안정 상태'에 있다고 정의한다. 안정 신호세기를 임계치를 SS_{thr}라고 하고, (그림 8)에서 다음 홉 노드 F로부터 받는 신호세기를 SS_{FE} 라고 할 때, SS_{FE} ≥ SS_{thr}를 만족하면 링크는 '안정 상태'에 있다고 하고, SS_{FE} < SS_{thr}를 만족하면 링크는 '불안정 상태'에 있다고 한다.



(그림 8) Hello 메시지 신호 세기를 이용한 링크상태 판별

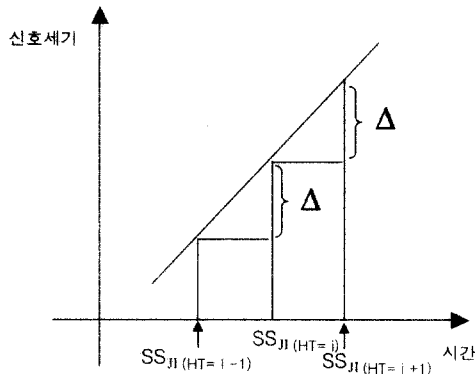
(그림 8)에서 노드 E는 다음 홉 노드 F가 방송하는 Hello 메시지의 수신 신호세기를 측정한다. 수신 신호세기가 안정 신호세기 임계치보다 작으므로 현재의 링크상태는 '불안정 상태'이다.

경로상의 각 노드는 '다음 홉 신호세기 테이블'에 기록된 다음 홉 노드로부터 수신한 현재 신호세기와 이전 신호세기 정보를 이용하여 가까운 미래의 링크상태를 예측한다. 다음 홉 노드 J로부터 현재 노드 I로 도착되는 신호세기를 $SS_{JI(HT=i)}$ (HT: Hello Time)라고 하고, 이전 시점에서 받은 신호세기를 $SS_{JI(HT=i-1)}$ 라고 할 때, 가까운 미래의 받는 신호세기 $SS_{JI(HT=i+1)}$ 는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$SS_{JI(HT=i+1)} = SS_{JI(HT=i)} + (SS_{JI(HT=i)} - SS_{JI(HT=i-1)})$$

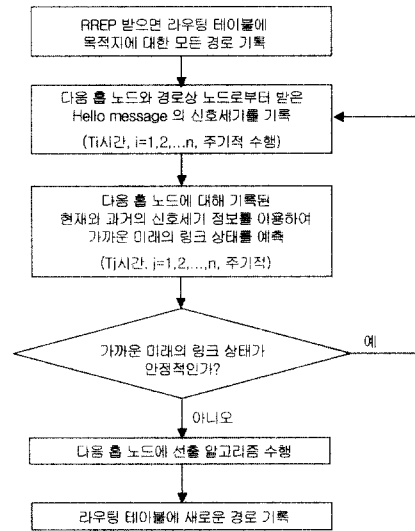
$$= 2SS_{JI(HT=i)} - SS_{JI(HT=i-1)}$$

$(SS_{JI(HT=i)})$: 다음 홉 노드 J로부터 현재 노드 I가 받는 신호세기,
 $HT=i$: 현재시점,
 $HT=i-1$: 과거시점,
 $HT=i+1$: 미래시점



(그림 9) 신호 세기 예측 모델

가까운 미래의 받는 신호세기 $SS_{JI(HT=i+1)}$ 가 안정 신호세기 이하가 될 때, 즉 링크가 '불안정 상태'가 될때, 노드는 새로운 다음 홉 노드를 선출한다.



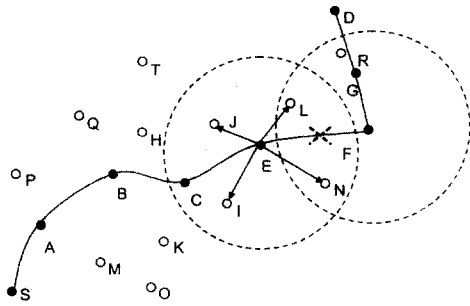
(그림 10) 제안한 경로 유지 기법의 전체 알고리즘

3.3 다음 홉 노드의 선출

새로운 다음 홉 노드의 선출은 두 가지의 절차로 이루어진다. 먼저, 노드는 다운스트림 노드 신호세기 테이블을 검사해서 새로운 다음 홉 노드를 검출한다. 다음 홉 노드 선출에 실패할 경우, 자신의 이웃 노드 중 다운스트림 노드와 연결 가능한 노드를 다음 홉 노드로 선택한다. 두 번째 다음 홉 노드 선출이 실패할 경우, 소스 노드에게 RERR 메시지를 전송하여, 새경로 탐색을 수행한다.

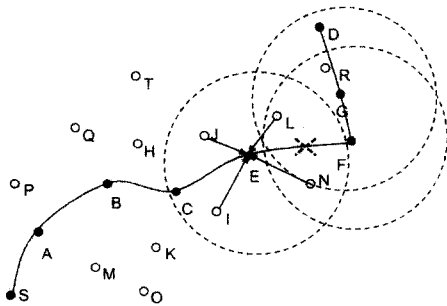
3.3.1 새로운 다음 홉 노드의 선출

경로상의 각 노드가 다음 홉 노드 링크 신호세기를 기록할 때마다 가까운 미래의 다음 홉 노드의 링크상태를 기록한다. 다음 홉 노드의 링크상태가 상태를 불안정 상태일 때, 노드는 다운스트림 노드 신호세기 테이블에서 다음 홉 노드를 선출한다. 다운스트림 노드가 존재할 경우, 안정 신호세기 임계치 이상 수신 가능한 다운스트림 노드가 존재하는지 검사한다. 가장 목적지 노드에 가까운 노드 즉, 다운스트림 순서 번호가 가장 큰 노드부터 수행한다. <표 2>에서 노드 E는 다운스트림 노드 신호세기 테이블에서 다운스트림 노드 D로부터 받는 신호세기 SS_{DE} 가 안정 신호세기 임계치 이상인 경우 노드 D를 새로운 다음 홉 노드로 선택하고, 미만인 경우 다운스트림 노드 G로부터 받는 신호세기 SS_{GE} 가 안정 신호세기 임계치 이상인 경우 노드 G를 새로운 다음 홉 노드로 선택한다. 노드 G로부터 받는 신호세기가 안정 신호세기 임계치 미만일 경우 즉, 안정 신호세기 임계치 이상 수신 가능한 다운스트림 노드가 존재하지 않을 경우, 비 경로상의 이웃 노드 중에 다음 홉 노드를 선출한다. 이때, 노드는 수신 신호세기 요청 메시지를 방송한다. (그림 11)에서 노드 o는 이웃 노드에게 수신 신호세기 요청 메시지 방송한다. 수신 신호세기 메시지의 Type은 5이고, 요청 메시지는 code 1을 사용한다. 이때, 노드 I, J, L, N은 수신 신호세기 요청 메시지를 수신한다.



Type = 5	Code = 1	Reserved
		요청노드 주소 = E
		신호세기
		다음 홉 노드 주소 = F
		신호세기
		1st 다운링크노드 주소 = G
		신호세기
		2st 다운링크노드 주소 = D
		신호세기

(그림 11) 수신 신호세기 요청 메시지



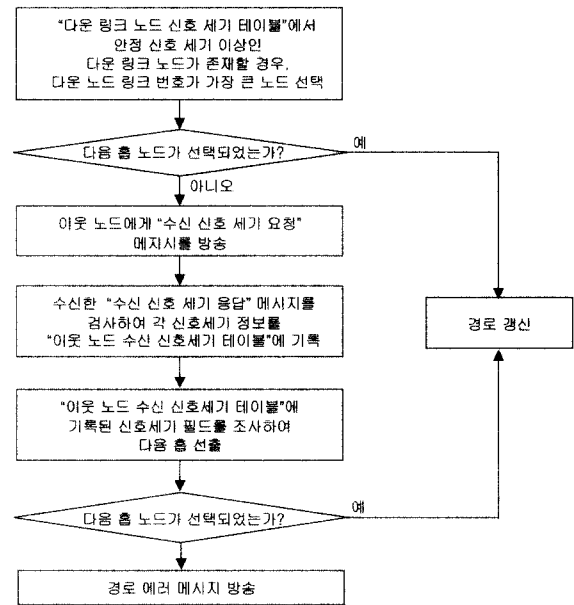
Type = 5	Code = 2	Reserved
		요청노드 주소 = E
		신호세기 = SS _{EL}
		다음 홉 노드 주소 = F
		신호세기 = SS _{FL}
		1st 다운링크노드 주소 = G
		신호세기 = SS _{GL}
		2st 다운링크노드 주소 = D
		신호세기

(그림 12) 수신 신호세기 응답 메시지

수신 신호세기 요청 메시지를 수신한 비 경로상의 노드는 경로상의 노드가 방송하는 Hello 메시지의 수신 신호세기를 기록하고, 요청 노드에게 자신의 노드 신호 세기 테이블의 정보를 수신 신호세기 응답 메시지에 실어서 전송한다. 노

드 L은 경로상의 노드 E, F, G가 방송하는 Hello 메시지를 수신한다. 수신 신호세기 SS_{EL}, SS_{FL}, SS_{GL}을 기록하고, 수신 신호세기 응답 메시지에 실어서 요청노드에게 전송한다. 수신 신호세기 응답 메시지의 Type은 5이고, code는 2를 사용한다.

노드 I, J, L, N으로부터 수신 신호세기 응답 메시지를 수신한 노드 E는 이웃 노드 수신 신호세기 테이블에 신호세기 정보를 기록하고, 이 정보를 기반으로 다음 홉 노드를 선출한다.



(그림 13) 다음 홉 노드 선출 알고리즘

노드는 이웃 노드 수신 신호세기 테이블에 기록된 신호세기 필드를 검사하여, 다음 홉 노드를 선출하는 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 자신이 방송한 메시지의 수신 신호세기가 안정 신호세기 임계치 이하인 노드를 다음 홉 노드 검출에서 제외
- ② 이웃 노드 수신 신호세기 테이블의 n_{st}다운스트림 노드로부터 받은 신호세기 필드를 검사하여 안정 신호세기 임계치 이상이면서 가장 큰 노드를 선택하여 선출, 선출하면, 6단계로 이동

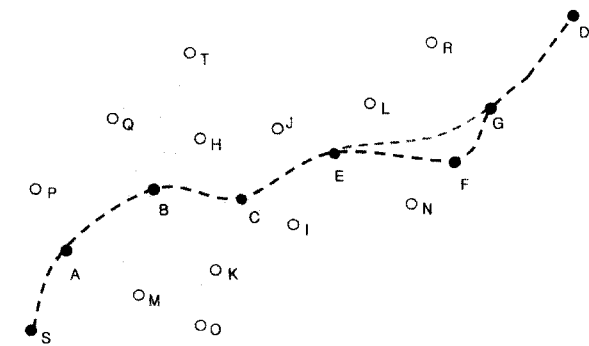
<표 3> 노드 E의 이웃 노드 수신 신호세기 테이블

이웃노드 주소	이웃노드가 노드 E로부터 받은 신호세기	이웃노드가 다음홉노드(F)로부터 받은 신호세기	이웃노드가 1 st 다운링크노드(G)로부터 받은 신호세기	이웃노드가 2 st 다운링크노드(D)로부터 받은 신호세기
I	SS _{EI}	0	0	0
J	SS _{EJ}	0	0	0
L	SS _{EL}	SS _{EL}	SS _{GL}	0
N	SS _{EN}	SS _{EN}	SS _{GN}	0

- ③ $n \leq n-1$ 로 하여 2단계로 이동($n=1$ 이 될 때까지 수행, n : 다운스트림 노드 번호)
- ④ 이웃 노드 수신 신호세기 테이블의 다음 홉 노드로부터 받은 신호세기 필드를 검사하여 안정 신호세기 임계치 이상이면서 가장 큰 노드를 선택하여 선출, 선출하면, 6 단계로 이동
- ⑤ 소스 노드에게 'RERR 메시지'를 전송
- ⑥ 경로 갱신

4. 라우팅 경로 갱신

다음 홉 노드를 선출 후, 노드는 자신의 라우팅 테이블을 갱신한다. 다운스트림 노드 중에서 다음 홉 노드를 선출한 경우, 다음 홉 노드는 선택된 다운스트림 노드로 갱신되고, 홉 수는 이전홉 수에서 다운스트림 노드 번호만큼 감소하고, 다운스트림 노드는 다음 홉으로 선택된 다운스트림 노드 이후의 다운스트림 노드가 1st다운스트림 노드가 된다. 그 이후의 다운스트림 노드는 현재 1st다운스트림 노드를 기준으로 번호가 1 증가한다. (그림 14)에서 노드 E는 1st다운스트림 노드 G를 다음 홉 노드로 선출한다. 이 경우, 다음 홉 노드는 노드 G로 갱신되고, 홉 수는 이전의 홉 수 3에서 1만큼 감소한다. 다운스트림 노드는 다음 홉 노드로 선택된 다운스트림 노드 G 이후의 다운스트림 노드 D가 1st다운스트림 노드가 된다.



목적지	다음홉노드	홉 수	다운스트림 노드 번호	다운스트림 노드
D	G	2	1	D

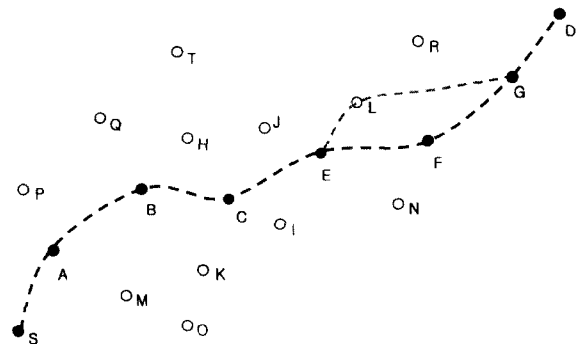
(그림 14) 노드 E의 갱신된 라우팅 테이블(다운스트림 노드 선출의 경우)

다운스트림 노드가 다음 홉 노드로 선출될 경우의 라우팅 테이블 필드 갱신 계산식은 다음과 같다.

- 다음 홉 노드 \Rightarrow 선택된 다운스트림 노드
- 홉 수 $\Rightarrow phc - n$ (phc ; 이전 홉 수, n ; 이전 다운스트림 노드 번호)

다운스트림 노드 \Rightarrow 선택된 다운스트림 노드 이후의 다운스트림 노드가 1st다운스트림 노드가 됨 이후의 다운스트림 노드는 노드번호를 하나씩 증가시킴

두 번째 다음 홉 노드 선출과정을 통해 비경로상의 노드가 다음 홉 노드로 선출될 경우, 다음 홉 노드는 선택된 비경로상의 다음 홉 노드가 되고, 1st다운스트림 노드는 선택된 다음 홉 노드가 연결가능한 다운스트림 노드가 된다.



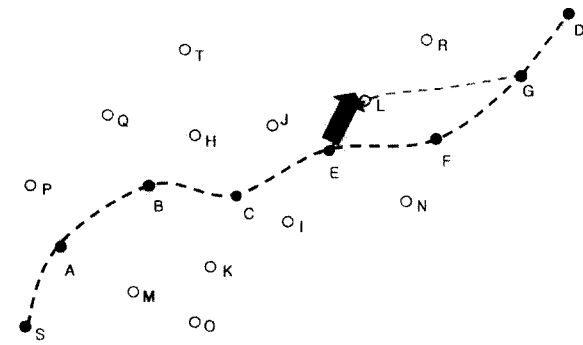
목적지	다음홉노드	홉 수	다운스트림 노드 번호	다운스트림 노드
D	L	3	1	G
			2	D

(그림 15) 노드 E의 갱신된 라우팅 테이블(비경로 노드 선출의 경우)

(그림 15)에서 노드 E는 다음 홉 노드로 L을 선출한다. 이때, 다음 홉노드는 노드 L이고, 홉 수와 다운스트림 노드 번호는 이전과 동일하다. 비경로상의 노드가 다음 홉 노드로 선출될 경우, 라우팅 테이블 필드 갱신 계산식은 다음과 같다.

- 다음 홉 노드 \Rightarrow 선택된 비경로 노드
- 홉 수 $\Rightarrow phc - (n-1)$ (phc ; 이전 홉 수, n ; 이전 다운스트림 노드 번호)
- 다운스트림 노드 \Rightarrow 선택된 비경로 노드와 연결가능한 다운스트림 노드가 1st다운스트림 노드가 됨 이후의 다운스트림 노드는 노드번호를 하나씩 증가시킴

노드는 자신의 라우팅 테이블을 갱신한 후, 선출된 다음 홉 노드로 RREP에 라우팅 테이블의 내용을 포함하여, 전송한다. 경로 갱신을 업스트림 노드와 다운스트림 노드에게 알리기 위해서, 기존의 RREP 메시지에 code 필드를 추가한다. 이경우의 code는 2이다. code 2인 RREP 메시지를 수신한 다음 홉 노드는 라우팅 테이블을 갱신한다.



노드 E의 라우팅 테이블

목적지 노드	다음홉노드	홉 수	다운스트림 노드 번호	다운스트림 노드
D	L	3	1	G
			2	D

노드 L의 라우팅 테이블

목적지 노드	다음홉노드	홉 수	다운스트림 노드 번호	다운스트림 노드
D	G	2	1	D

(그림 16) 선출된 다음 홉 노드의 라우팅 테이블 갱신

선출된 다음 홉 노드의 라우팅 테이블 갱신 계산식은 다음과 같다.

- 다음 홉 노드 ⇒ 1st 다운스트림 노드
- 홉 수 ⇒ 1감소
- 다운스트림 노드 ⇒ m - 1(m; 다운스트림 노드 번호, m ≥ 2)

Type = 2	R	A	Code	Reserved	Prefix Size	Hop Count
Destination IP address						
Destination Sequence Number						
Originator IP address						
Lifetime						
Down stream node						
Down stream node						
⋮						
Down stream node						

(그림 17) code 필드의 추가한 RREP 메시지

업스트림 노드들에게는 code = 1인 RREP 메시지를 전송하여 경로가 갱신되었음을 알린다.

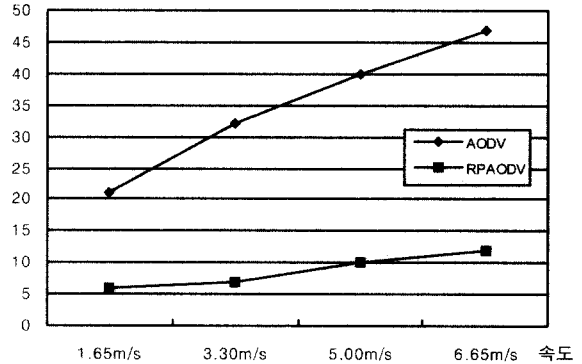
5. 실험 및 결과

본 연구에서는 기존 AODV에서 다음 홉 노드 링크 손실을 미리 예측하여 링크 손실을 회피하여 경로를 구성하는 RPAODV를 제안하였다. 제안한 방식에서 경로 손실에 대한 효율성을 검증하기 위해서 시뮬레이션을 수행하였다. 실험은 30개의 노드에 대해서 1000m×1000m내의 영역에서 이루

어졌다. 각 노드는 최대 전송 반경 250m를 가지고 속도는 최대 1.6m/s에서 6m/s를 가지면서 이동했다. Ad hoc 네트워크는 IEEE 802.11b 무선 랜 표준을 사용한다[7]. IEEE 802.11b에서 전송 신호세기 100mW이상의 신호에 대해서 수신 신호세기는 -76dBm이고 50mW이상 100mW이하의 전송 신호세기에 대해서 수신 신호세기는 -73dBm이고 50mW 이하의 전송 신호세기에 대해서 수신신호세기는 -70dBm이다 [15]. 실험에서 최소 수신신호세기를 -50dBm으로 하고, 안정신호세기 임계치는 -60dBm으로 하였다. 실험은 Unix에서 C를 사용하여 구현하였다.

제안한 방식에서 모든 경로상의 노드는 다음 홉의 신호세기가 안정신호세기를 벗어나는 것이 예측되면 제안한 기법을 사용하여 새로운 다음 홉 노드를 선출한다. 링크 손실을 예측한 노드는 자신의 신호 거리 내에 존재하는 다운 노드가 존재하는 경우, 목적지와 가장 가까운 노드를 선택하고, 존재하지 않을 경우 이웃 노드들 중에 다운스트림 순서 번호가 가장 큰 노드와 전송거리 내에 존재하는 노드를 선택한다. 기존의 AODV기법에서는 다음 홉 노드에 대한 경로가 끊어질 확률은 최대 속도 1.65m/s로 이동하는 노드에 대한 실험에서 21%, 최대 속도 3.30m/s로 이동하는 노드에 대한 실험에서 32%, 최대 속도 5.00m/s로 이동하는 노드에 대한 실험에서 40%, 최대 속도 6.65m/s로 이동하는 노드에 대한 실험에서 47%로서 이동 속도가 빠를수록 경로 손실율은 증가함을 보인다.

경로손실율



(그림 18) 노드의 속도에 따른 링크 손실율 비교

제안한 기법을 사용할 경우 경로가 손실할 경우는 이웃 노드들 중에 새로운 다음 홉 노드가 선출되지 못할 가능성과 같다. 이 경우의 경로 손실율은 최대 속도 1.65m/s로 이동하는 노드에 대한 실험에서 6%, 최대 속도 3.30m/s로 이동하는 노드에 대한 실험에서 7%, 최대 속도 5.00m/s로 이동하는 노드에 대한 실험에서 10%, 최대 속도 6.65m/s로 이동하는 노드에 대한 실험에서 12%로 나타났다. 다음 홉 노드 선출에 실패할 가능성은 노드의 이동속도가 빠를수록 증가하지만, 제안한 기법을 사용하지 않았을 때의 경로 실패율

에 비해서 많은 성능향상의 결과를 보인다.

6. 결 론

본 연구에서는 Ad Hoc 네트워크에서 노드의 이동성으로 인해 발생하는 경로 손실에 따른 새경로 탐색에 필요한 지연을 줄이기 위해 경로 손실을 예측하고 지역적인 전송 경로 수정 방식으로 경로의 신뢰성을 향상하고 효율적인 라우팅 기법을 제안하였다. 경로상의 각 노드는 자신의 원 홉 노드들에 대한 통신 신호 세기 관리를 수행하여 각 노드의 이동성에 따른 경로손실을 예측한다. 다음 홉 노드가 자신의 신호 전송 거리를 벗어날 가능성이 예측되면 자신의 이웃노드들 중에서 가장 적절한 노드를 선택하여 새로운 다음 노드로 지정함으로써 경로 손실을 막는 기법이다. 제안한 기법을 사용하여 경로 손실 가능성을 낮춤으로써 요구 기반 방식 라우팅 프로토콜에서 경로 손실에 의해 나타나는 지연을 상당히 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 추후 연구에서 시뮬레이터를 이용하여 경로 손실을 예방하는 제안된 방식이 기존의 방식에 비해 통신 네트워크 응답시간, 경로 손실율, 오버헤드 등의 측면에서 효율성의 정도를 분석할 필요가 있다. 또한, 미래신호 예측에 있어서 실제 환경에서는 이동노드의 이동거리에 따라 신호세기가 선형으로 증감하지 않고, 거리의 n제곱에 반비례하므로 본 연구에서 예측한 미래 신호에서 오차가 발생할 가능성이 있다. 미래 신호 세기의 정확한 예측은 다음 홉 노드에 대한 링크 손실을 정확히 예측할 수 있게 한다. 추후 연구에서 미래 신호 세기 예측에 있어서 실제 환경과 유사한 모델을 적용하여 본 연구를 진행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] J. J. Garcia-Luna-Aceves, M. Mosko and C. Perkins, "A New Approach to On-Demand Loop-Free Routing in Ad Hoc Networks," Proc. Twenty-Second ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC 2003), July, pp.13-16, 2003.

[2] J. Raju and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Efficient On-Demand Routing Using Source-Tracing in Wireless Networks," Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Nov.~Dec., 2000.

[3] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing(DSDV) for Mobile Computers," Comp. Commun. Rev, pp.234-44, Oct., 1994.

[4] S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks," ACM Mobile Networks and App. J., Special Issue on Routing in Mobile

Communication Networks, pp.183-197, Oct., 1996.

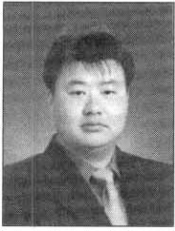
- [5] Ching-Chuan Chiang, Haiiao-Kuang Wu, Winston Liu, Mario Gerla, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," Proceedings of IEEE Singapore International Conference on Networks (SICON '97), 1997.
- [6] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," in Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, New Orleans, LA, pp.90-100, Feb., 1999.
- [7] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "RFC 3561-Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," 2003.
- [8] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," in Mobile computing, T. Imielinski and H. Korth, Eds. Kluwer Academic Publishers, pp.153-181, 1996.
- [9] V. D. Park and M. S. Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile wireless Networks," in Proceedings of IEEE INFOCOM'97, pp.1405-1413, Apr., 1997.
- [10] Hyungon Seo, Bong Sagong and Ki Hyung Kim, Web-based Modeling, Simulation and Animation of Routing Protocols, pp.356-360, Proceedings of the IASTED International Conference on Internet and Multimedia Systems and Applications, pp.19-23, Nov., 2000.
- [11] 서현근, 김기형, "에드혹 네트워크에서 AODV에 기반한 효율적인 경로 복구 기법," KNOM Review, Vol.6, No.1, pp.1-8, Jun., 2003.
- [12] C.-K. Toh, "Associativity-Based Routing For Ad-Hoc Mobile Networks," Journal on Wireless Personal Communications, Vol.4, First Quarter, 1997.
- [13] R. Dube, et al., "Signal Stability based Adaptive Routing(SSA) for Ad Hoc Mobile Networks," IEEE Personal Communication Magazine, Feb., 1997.
- [14] 우매리, 최용준, 정영식, 임경수, 김종근, "셀룰러 망의 이동국 속도와 방향을 이용한 핸드오프율 계산법," 정보과학회논문지, 정보통신, 제29권 제4호, Aug., 2002.
- [15] IEEE Std 802.11b-1999.



우 매 리

e-mail : mrwu@yumail.ac.kr

1996년 영남대학교 이과대학 수학과 이학사
2001년 영남대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2003년 영남대학교 컴퓨터공학과 박사수료
관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 네트워크 보안,
Mobile Communication, Ad-Hoc
Network



김영락

e-mail : feel2ing@hanmail.net

2002년 금오공과대학교 응용수학과
이학사

2004년 영남대학교 컴퓨터공학과 공학
석사

현재 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 컴퓨터네트워크, Mobile Ad Hoc Network



김종근

e-mail : cgkim@yu.ac.kr

1981년 영남대학교 전자공학과 공학사

1987년 영남대학교 전자공학과 공학석사

1991년 (일본)전기통신대학 공학박사

1997년 (미국) Virginia Tech. 연구교수

2003년 (미국) UCSC 연구교수

현재 영남대학교 컴퓨터공학전공 교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 무선 네트워크, 분산처리, 인터넷
응용, 멀티미디어기반 가상강의 시스템