

이동 애드혹 네트워크에서의 안정 경로 선택 알고리즘

(A Reliable Route Selection Algorithm in Mobile Ad-hoc Networks)

김 원 익 ^{*} 서 영 주 ^{**} 안 성 옥 ^{***}

(Won-Ik Kim) (Young-Joo Suh) (Syungog An)

요 약 유선 네트워크 환경을 위해 설계된 경로 설정 프로토콜들은 대역폭의 제한성과 예측할 수 없는 위상의 변화로 인해 이동 애드혹(ad-hoc) 네트워크 환경에 적용하기에는 부적합하다. 최근 들어 애드혹 네트워크 환경에 적합한 경로 설정 프로토콜들이 많이 개발되었다. 그러나 위상이 급격히 변화하는 애드혹 네트워크에서 멀티미디어 데이터 전송과 같이 실시간 서비스를 지원하기에는 이러한 애드혹 경로 설정 프로토콜로는 한계가 있다. 본 논문에서는 애드혹 네트워크에서의 위상 변화에 대한 적응력을 향상시키기 위해서 위성 위치 확인 시스템(GPS: Global Positioning System)을 활용한 가상 지역(안정 지역, 경고 지역) 개념을 제안하고 있고 AODV의 경로 설정 과정 시 이러한 가상 지역 개념을 도입함으로써 이동 단말의 이동성에 의한 위상의 변화에도 잘 적용할 수 있는 안정된 경로의 설정을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 다양한 트래픽 상태와 단말들의 이동성 형태에 따른 중요 변수들을 설명하였으며 이에 따라 제안하는 경로 설정 프로토콜들의 효율성을 검증하고 있다.

키워드 : 무선 이동 네트워크, 애드혹 네트워크, 경로 설정, 위성 위치 확인 시스템

Abstract The routing protocols designed for wired networks can hardly be used for mobile ad-hoc networks due to limited bandwidth of wireless transmission and unpredictable topological change. Recently, several routing protocols for mobile ad-hoc networks have been proposed. However, when these protocols are applied to support real time services like multimedia transmission, they still have problems in ad-hoc networks, where the topology changes drastically. In this paper, we propose a new route selection algorithm which selects the most reliable route that is impervious to route failures by topological changes by mobile hosts. For reliable route selection, the concept of virtual zone (stable zone and caution zone) is proposed. The zone is located in a mobile node's transmission range and determined by mobile node's mobility information received by Global Positioning System (GPS). The proposed algorithm is applied to the route discovery procedure of the existing on-demand routing protocol, AODV, and evaluated by simulation in various traffic conditions and mobility patterns.

Key words : wireless mobile network, ad-hoc network, route selection, GPS

1. 서론

최근 퍼스널 컴퓨터와 무선 네트워크 기술이 빠르게 향상됨에 따라 이동 무선 컴퓨팅은 그 응용 범위와 사용 빈도가 급격히 증가하고 있다. 따라서 무선 이동 컴퓨팅

환경에 네트워크 연결을 지원하기 위한 무선 네트워크 기술이 요구되어 지고 있으며, 현재 크게 두 가지로 나뉘어지고 있다. 하부구조 기반을 갖춘(infrastructured) 네트워크와 하부구조 기반을 갖추지 못한(infrastructureless) 네트워크가 바로 그것이다. 하부구조 기반을 갖춘 네트워크는 고정되어 있고 유선으로 연결된 게이트웨이를 가진 네트워크이다. 이동 단말들은 흔히 기지국(base station)이라고 하는 고정된 브리지의 도움을 얻어 상호 통신을 한다. 반면에 하부구조 기반을 갖추지 못한 네트워크를 우리는 이동 애드혹 네트워크(Mobile Ad-hoc Network)라 부른다. 애드혹 네트워크는 하부구조 기반을 구성하는 것이 경제적으로 불리하거나 물리적으로 어려운 환경에서 인터넷과 같은 대형 통신망 서비스를 위

· 본 연구는 교육부 BK21, 과학재단 특정기초, 정보통신부 ITRC 사업의 지원에 의하여 일부 수행되었음.

^{*} 비 회 원 : 한국전자통신연구원 이동통신연구소 연구원
woniks@etri.re.kr

^{**} 종신회원 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 교수
yjsuh@postech.ac.kr

^{***} 종신회원 : 배재대학교 컴퓨터전자정보공학부 교수
sungohk@mail.paichai.ac.kr

논문접수 : 2001년 10월 31일

심사완료 : 2002년 2월 26일

해 사용되고 있으며 더 나아가 멀티미디어 서비스와 같이 실생활에 적용하려는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다[1][2][3]. 이러한 애드혹 네트워크상에서의 모든 단말들은 이동성을 가지고 있고 동적으로 서로 연결되어 질 수 있으며 따라서 이러한 단말들은 다른 단말들로의 경로를 설정하고 유지하는 라우터로서의 기능을 갖는다[4].

애드혹 네트워크를 설계하는데 있어서 가장 중요한 사항은 임의의 두 이동 단말들이 서로 통신하기를 원할 때 두 이동 단말들 사이의 최적의 경로를 찾기 위한 동적인 경로 설정 프로토콜일 것이다(일반적으로 경로 설정 프로토콜은 경로 설정 과정과 경로 유지과정으로 나뉜다). 이러한 경로 설정 프로토콜들은 이동 단말들의 높은 이동성에 의해 네트워크 위상이 급격히 변화하더라도 그에 대한 적응력이 뛰어나야 한다. 특히, 위상이 자주 변화하는 네트워크 환경 하에서 멀티미디어 데이터 전송과 같은 실시간 서비스를 지원하고자 할 경우 경로 설정 프로토콜이 이에 맞도록 진화되어야 한다[5].

기존의 유선 네트워크 상의 경로 설정 프로토콜들은 거리벡터(distance vector)나 링크상태(link state)와 같은 경로 설정 알고리즘들을 사용하였다[6]. 그러나 이러한 유선 네트워크상에서 사용되는 경로 설정 프로토콜들은 동적으로 변화하는 이동 애드혹 네트워크 환경에는 적합하지 못하다. 애드혹 네트워크 단말의 세가지 제약성(대역폭의 제약, 제한적인 전송 출력, 위치의 이동)에 의해 새로운 경로 설정 프로토콜이 요구되었다. 따라서 이러한 제약성을 극복하기 위해서 DSR(Dynamic Source Routing)[7]이나 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)[8][9]와 같은 경로 설정 프로토콜들이 개발되었다. 이러한 프로토콜들은 송신 단말이 수신 단말로 보내고자 하는 데이터가 있을 시에만 경로를 설정한다. 이것을 경로 설정 과정이라 부른다. 일단 경로가 설정되면 송신 단말이 전송할 데이터가 더 이상 없거나 데이터 전송도중 위상의 변화에 의해 해당 경로가 강제로 끊어질 때까지 그 경로는 경로 유지 과정에 의해 유지되어 진다.

DSR이나 AODV와 같은 기존의 경로 설정 프로토콜들은 경로 설정 과정 동안 최소의 홉 수를 갖는 경로를 선택하기 위해 노력한다. 그러나 최소 홉 수를 갖는 경로가 최적의 경로라고는 말할 수 없다. 비록 최소의 홉 수를 갖는 경로가 데이터 전송 시 다른 경로들에 비해 빠를 것이나 최소의 홉 수를 갖는 경로를 구성하고 있는 인접한 두 단말들의 공간적 거리는 다른 경로에 비해 비교적 멀 것이다. 인접한 두 단말사이의 거리가 멀

수록 그만큼 링크 유지시간이 짧아질 확률이 높아진다. 또한 그 링크가 포함되어 있는 경로의 유지시간을 그만큼 단축시키게 될 것이다. 결국, 단말의 이동성에 의해 경로의 끊어짐이 자주 발생 한다면 송신 단말에서 수신 단말까지의 경로를 재설정 하기위한 시간지연이 발생할 것이고 이로 인하여 결과적으로 플러딩(flooding) 되는 제어 메시지의 양이 증가하게 될 것이다. 따라서, 최소의 홉 수를 갖는 경로만이 최적이라고는 말할 수 없다. 따라서 본 논문의 목표는 경로 설정 시에 단말의 이동성에 의한 위상의 잦은 변화에도 불구하고 좀처럼 잘 끊어지지 않는 가장 안정적인 경로를 설정하고자 하는 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 GPS를 기반으로 하는 단말의 위치와 이동성 정보를 이용한 신뢰적인 경로 선택(RRS: Reliable Route Selection) 알고리즘을 제안하고 있다.

GPS를 이용한 RRS 알고리즘을 적용할 경우 각 단말들은 GPS 수신기를 사용하여 자신의 현재 위치를 파악하고 있다고 가정한다[10]. 위성 통신을 이용한 GPS는 이동 단말의 위치와 속도를 결정하기 위하여 사용되어 진다. 이러한 GPS의 위치 지정 기술의 정확성은 95% 확률 수준에서 100 미터정도이며 만약 정밀 위성 위치 확인 시스템(DGPS: Differential GPS)을 사용한다면 3~5미터정도로 정확도를 높일 수 있다. 이러한 GPS를 기반으로 한 위치 추적 기술들은 빠르게 진보할 것이며 그 정확도 또한 상당히 정교해 질 것이다[3].

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존에 연구되었던 경로 설정 프로토콜인 AODV 경로 설정 프로토콜의 기본적인 메커니즘을 경로 설정을 위주로 하여 서술하고 있고 3장에서는 경로 설정 시 안정된 경로를 설정하기위해 본 논문이 제안하는 RRS 알고리즘이 어떻게 동작하는지를 보여주고 있으며 또한 이러한 RRS 알고리즘의 기반 기술인 GPS가 어떻게 활용되는지 보여주고 있다. 다양한 트래픽 환경과 단말들의 이동성을 고려하여 기존 AODV와 RRS 알고리즘을 적용한 수정된 AODV(AODV-RRS)를 시뮬레이션을 통하여 성능 비교를 하고 그 결과들을 서술하고 있다. 그리고 5장에서 결론을 맺고있다.

2. 기존 AODV 경로 설정 프로토콜

AODV는 애드혹 네트워크를 설정하고 유지하는데 필요한 다중 홉 경로 설정을 지원하고 있다. 이러한 AODV는 DSDV(Destination-Sequence Distance Vector) 알고리즘을 기반으로 하고 있다[6]. 그러나 네트워크 내의 모든 단말들이 다른 단말들에 대한 모든 경로 정보를 미

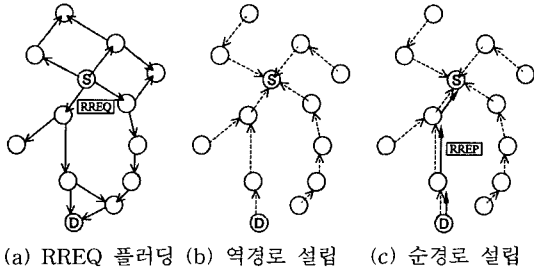


그림 1 AODV 경로 설립 과정

리 유지하고 있는 DSDV와는 달리 AODV에서는 송신 단말이 수신 단말로 데이터를 전송하고자 할 때만 경로 설립 과정을 시작한다[8][9].

2.1 경로 설립 과정

[그림 1]은 AODV에서의 경로설립 과정을 보여주고 있다. 송신 단말(S)이 수신 단말(D)로 전송하고자 하는 데이터가 있을 때 송신 단말은 RREQ(Route Request) 제어 메시지를 플러딩 할 것이다. 그 RREQ 제어 메시지는 수신 단말에 도달할 때까지 플러딩 되어진다.

네트워크내에 있는 모든 이동 단말들은 두 가지 분리된 계수기인 '단말 일련 번호(node sequence number)'와 '방송 식별자(broadcast_id)'를 유지하고 있다. 방송 식별자는 송신 단말이 새로운 RREQ를 발생시킬 때마다 1씩 증가한다. 따라서 에드혹 네트워크내의 모든 단말들은 수신한 RREQ 메시지내의 송신 단말 주소와 방송 식별자를 이용하여 이 RREQ를 식별해 낼 수 있다. RREQ를 수신한 단말들은 자신의 순방향 및 역방향 인접 단말로의 지시자(pointer)만을 캐시(cache)에 저장하고 있다. 따라서 각 단말들은 자신이 속한 경로를 구성하는 모든 단말들의 정보를 가지고 있을 필요가 없다.

2.1.1 RREQ의 플러딩 과정

송신 단말이 수신 단말로 전송하고자 하는 데이터가 있다면 RREQ를 플러딩 한다[그림 1 (a)]. 이때 RREQ를 수신한 단말들은 송신 단말 주소와 방송 식별자를 이용하여 동일한 RREQ를 수신하였는지를 판별한 후 중복된 RREQ를 폐기시킴으로써 경로 발견 시 소요되는 제어 부담을 줄인다.

2.1.2 역경로 설립

RREQ가 플러딩 되는 도중에 그 RREQ를 수신하는 모든 단말들은 RREQ를 전송한 단말로 향하는 역경로에 대한 지시자를 일시적인 경로 설정 테이블(캐시)에 저장한다. 이것은 후에 수신 단말에서 송신 단말로의 데이터 전송로가 된다[그림 1 (b)].

2.1.3 순경로 설립

RREQ를 수신한 수신 단말은 RREQ를 송신한 역경로를 따라서 RREP(Route Reply) 제어 메시지를 송신 단말로 전송하게 된다. 이때 역경로를 구성하고 있는 모든 단말들은 RREP를 전송한 단말로 향하는 순경로에 대한 경로 설정 테이블을 구성하게 된다. 이때 순경로 경로 항목의 순경로에 대한 지시자는 송신 단말에서 수신 단말로의 데이터 전송로가 된다[그림 1 (c)].

위와 같은 순서에 의하여 송신 단말에서 수신 단말로의 경로가 설립되어진다. 이때 AODV는 경로 설립 과정 동안 최소의 홉 수를 갖는 경로를 선택하기 위해 노력할 것이다. 위에서 언급한 바와 같이 비록 최소의 홉 수를 갖는 경로는 다른 경로들에 비해 데이터 전송 속도가 빠를 것이다. 그러나 인접한 두 단말사이의 공간적 거리는 다른 경로에 비해 비교적 멀 것이다. 따라서 인접한 두 단말사이의 거리가 멀면 멀수록 그만큼 경로의 끊어짐이 발생할 확률이 높아진다. 결국, 단말의 이동성에 의해 경로의 끊어짐이 자주 발생한다면 송신 단말에서 수신 단말까지의 경로를 재 설립하기 위한 전송 지연이 발생할 것이고 이로 인하여 플러딩되는 제어 메시지의 양 또한 증가하게 될 것이다.

2.2 경로 유지 과정

AODV에 의해 설립된 경로들은 다음과 같은 두 가지 방법으로 유지되어진다.

2.2.1 경로 재설립

만약 단말의 이동성에 의해 경로가 끊어진다면 새로운 경로를 찾기 위한 경로 설립 과정을 다시 시작해야 한다. 이것을 경로 재설립 과정이라 부른다. 기존 경로 설정 프로토콜상에서 모든 이동 단말들간에는 HELLO 메시지와 같은 주기적인 표지 부호(beacon signal)를 송수신하고 있고 이를 통해 인접 단말과의 링크가 살아있는지 소멸되었는지 혹은 새로운 인접 단말과의 링크가 생성되었는지를 알 수 있다. 경로를 구성하는 중간 단말이 인접 단말과의 링크가 끊어졌음을 감지하였다면 송신 단말로 향하는 모든 단말들에게 링크 끊어짐 통지 제어 메시지를 전송하게 된다. 송신 단말이 그 메시지를 수신하였을 때 비로소 경로의 재설립 과정을 수행할 수 있게 된다.

2.2.2 지역 경로 복구 방법

AODV에서는 지역 경로 복구 방법을 제시하고 있다. 경로에 속한 단말이 인접 단말과의 링크가 끊어졌음을 감지하였다면 그 단말은 자신으로부터 송신 단말과의 홉 수와 수신 단말과의 홉 수를 비교하게 된다. 만약 수신 단말과의 홉 수가 짧다면 자신으로부터 수신 단말로의 경로 재설립을 수행하고(이때 송신 단말과 자신까지의 링크들은 계속 유지될 것이다.) 송신 단말과의 홉 수

가 짧다면 송신 단말로 링크 끊어짐 통지 메시지를 전송하여 경로 재설정 과정을 수행한다.

3. 제안 알고리즘(AODV-RRS)

기존의 경로 설정 프로토콜상에서 송신 단말이 수신 단말에게 데이터를 전송하기 위해 선택한 경로는 수신 단말이 처음 수신한 RREQ 제어 메시지를 전송한 경로가 될 것이다. 이때 선택되어질 경로의 단말들은 다른 인접한 단말과 링크를 설립하고자 할 때 거리상 가장 멀리 있는 단말과 링크를 설립하려는 성질이 있기 때문에 최소 홉 수를 갖게 된다. 따라서 링크를 맺고 있는 두 단말 간의 거리가 멀면 멀수록 그만큼 단말의 이동성에 의해 쉽게 링크가 끊어질 수 있다는 것을 의미한다. 경로를 구성하고 있는 여러 링크들 중 단 하나의 링크만이라도 끊어지게 된다면 경로 설정 프로토콜에서는 다시 경로를 설립해야 하는 경로 재설정 과정을 거쳐야 한다. 이러한 경로 재설정 과정 중에는 송신 단말이 데이터를 전송할 수 없으며 경로 재설정 과정을 위해 사용되는 제어 메시지들의 플러딩은 네트워크 내의 모든 시스템들의 효율을 전반적으로 떨어뜨리게 된다. 그러므로 경로 설립 시 쉽게 끊어지지 않는 안정된 경로를 선택하는 것은 매우 중요한 일이다. 안정된 경로를 찾기 위해서 본 논문에서는 GPS로부터 산출되는 이동 단말의 위치와 속도, 방향 등을 이용한 가상 지역 개념을 제안하고 이 개념을 이용하여 선택된 경로의 안정성을 높이고자 한다. 본 논문에서는 이것을 GPS를 이용한 신뢰적인 경로 선택(RRS) 알고리즘이라 하고 또한 이 알고리즘을 AODV 경로 설정 프로토콜에 적용하고 있다. 본 논문에서는 이것을 AODV-RRS 경로 설정 프로토콜이라 칭한다.

3.1 수정된 RREQ(Route Request) 메시지

제안하는 AODV-RRS 경로 설정 프로토콜에서는 기존 AODV 경로 설정 프로토콜의 RREQ 제어 메시지에 다음과 같은 GPS 정보를 추가하고 있다.

- *mobile_node_position* (x,y)
- *stable_zone_center* (x',y')
- *stable_zone_radius* (r)

이동 단말의 속도에 따라 변화하는 *stable_zone_radius* 와 *stable_zone_center*는 본 논문에서 새롭게 소개하는 개념이다. 이러한 기존의 RREQ에 추가된 GPS 정보들은 두 단말들 사이의 링크 상태가 안정적인지 아닌지 판단하는 근거가 된다. 이러한 변수들에 대한 자세한 사항은 3.2절에서 언급한다.

수정된 RREQ를 수신한 단말은 자신이 수신 단말이

아니고 RREQ를 플러딩 할 수 있도록 허가가 되어진다면 다시 플러딩 할 RREQ에 이전 단말의 GPS 정보 필드를 지우고 그 위치에 자신의 새로운 GPS 정보를 저장한 후 플러딩한다.

3.2 가상 지역(Virtual Zone) 개념 : 안정 지역(Stable Zone)과 경고 지역(Caution Zone)

본 논문에서는 안정 지역과 경고 지역으로 구성되는 가상 지역 개념을 제안한다. '가상 지역'이란 이동 단말의 전송 범위를 둘로 나눈 것으로써 자신의 전송 범위 내에 존재하는 모든 인접 단말들을 자신과 안정된 링크를 맺을 수 있는 인접 단말들의 영역(안정 지역)과 그렇지 못한 즉, 불안정한 링크를 맺게 되는 인접 단말들의 영역(경고 지역)으로 구분한다는 의미이다.

단말의 전송 범위를 안정 지역과 경고 지역으로 구분하는 기본적인 기준은 링크를 설립할 두 단말간의 거리에 기인한다. 단말 A가 인접 단말들과 링크를 설립하고자 할 때 안정 지역에 위치해 있는 인접 단말들과 링크를 설립한다면 인접 단말과의 거리가 가깝기 때문에 그 링크는 안정적인 것이고 경고 지역에 위치해 있는 인접 단말들과 링크를 설립한다면 인접 단말과의 거리가 멀기 때문에 그 링크는 불안정해져서 쉽게 끊어질 것이다. 그러나 링크를 구성하는 두 단말간의 거리는 결국 각 단말의 이동 속도와 방향에 의해 좌우된다. 예를 들어 링크를 구성한 두 단말간의 거리가 멀더라도 각 단말들이 움직이지 않거나 약간의 속도로 움직인다면 그 링크는 쉽게 끊어지지 않는다. 또한 두 단말의 이동 방향이 서로 마주보고 진행해 간다면 점점 두 단말간의 거리는 줄어들기 때문에 그 링크는 쉽게 끊어지지 않을 것이다. 따라서 단말 A의 안정 지역의 위치와 크기에 대한 결정은 인접 단말과의 거리를 기준으로 하되 단말 A의 이동 속도와 방향에 의해 보정이 되어져야 한다.

[그림 2]는 단말의 이동 속도와 방향이 고려된 가상 지역에 대한 개념을 보여주고 있다. 단말 A의 경우 단말

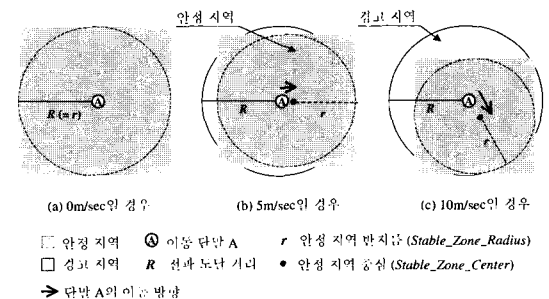


그림 3 가상 지역 기본 개념

의 안정 지역은 자신의 전송 범위보다 작거나 같은 원이며($R \geq r$) 항상 그 전송 범위 내에 내접해 있다. 그리고 경고 지역은 전송 범위 내에서 안정 지역을 제외한 나머지 영역이다. 단말의 이동 속도와 방향에 따른 안정 지역과 경고 지역의 구분은 다음과 같은 안정 지역 반지름과 안정 지역 중심에 의해 표현된다.

3.2.1 안정지역 반지름(stable_zone_radius)

안정지역 반지름은 안정 지역의 크기를 결정하는 변수로써 단말의 속도에 따라 변화된다. [그림 2 (b), (c)]는 단말 A의 속도 및 이동 방향의 변화에 따라 안정 지역의 위치와 크기가 변화되는 것을 보여주고 있다. 단말 A의 속도가 증가하면 증가할수록 안정지역 반지름(즉, 안정 지역의 크기)은 감소하고 반면에 단말의 속도가 감소하면 감소할수록 안정지역 반지름은 증가한다. 그리고 [그림 2 (a)]와 같이 단말이 정지 상태일 경우 안정지역 반지름은 전송 범위의 반지름(R)과 동일할 것이다. 단말의 속도에 대한 안정지역 반지름의 변동폭에 대한 연구는 3.4절에서 설명한다.

3.2.2 안정지역 중심(stable_zone_center)

AODV-RRS는 단말의 속도뿐만 아니라 단말의 진행 방향 또한 고려하고 있다. 비록 서로 인접해 있는 단말들이 서로의 전송 범위의 경계부분에 위치해 있더라도 두 단말의 방향이 서로 마주보고 진행해 나간다면 두 단말들로 구성된 링크는 안정적이라 할 수 있다. [그림 2 (b), (c)]를 보면 안정지역 중심은 이동 단말의 방향에 따라 이동하고 안정 지역을 나타내는 내부 원은 전송 범위를 나타내는 외부 원에 항상 내접해 있다. 따라서 단말 A의 현 위치에서 안정지역 중심으로의 방향이 바로 단말 A의 진행 방향이므로 단말의 방향은 자신의 현 위치와 안정지역 중심에 의해 유추해 낼 수 있다.

3.3 가상 지역 개념을 기반으로 한 RRS 알고리즘

[그림 3]은 안정된 경로를 선택하는 방법을 설명하고 있다. 단말 A는 데이터를 전송하고자 하는 송신 단말로 부터 전송되어진 RREQ를 수신하여 재 플러딩을 해주어야 하는 중간 단말일 수 있음을 가정하고 있고 단말 B, C, D, E는 해당 RREQ의 수신 단말이 아님을 가정하고 있다. 또한 단말 A의 전송 범위 내에는 단말 B, C, D, E가 위치해 있고 단말 A는 RREQ를 플러딩하고 단말 B, C, D, E는 그 RREQ를 수신한다고 가정한다. 단말 A가 RREQ를 플러딩 했을 때 그 RREQ를 수신한 인접 단말 B, C, D, E는 자신들이 수신 단말이 아닐 경우에 수신한 RREQ를 다시 플러딩 할 수 있는 권리를 갖는지 안 갖는지에 대해 판단한다.

본 논문에서 제안하는 AODV-RRS의 기본적인 경로

설립 과정은 기존의 AODV와 동일하며 다음과 같은 절차가 추가된다.

1) 경로 설립 과정 시 단말 A(즉, RREQ 전송 단말)는 자신의 전송 범위 내에 있는 단말들에게 자신의 GPS 정보가 담긴 RREQ를 플러딩 한다.

2) RREQ를 수신한 인접 단말 B, C, D, E는 단말 A의 GPS 정보와 자신의 GPS 정보를 이용하여 단말 A와 자신이 서로의 안정 지역 내에 위치해 있는지를 확인한다.

만약 두 단말 모두 서로의 안정 지역에 위치해 있다면 그리고 RREQ를 수신한 단말 A의 인접 단말 B, C, D, E가 수신 단말이 아니라면 그 인접 단말들은 자신의 GPS 정보가 포함된 RREQ를 플러딩 한다.[그림 3]에서는 단말 B와 D가 이에 해당).

만약 그렇지 않다면 즉, 단말 A와 인접 단말 둘 중 하나라도 서로의 경고 지역 내에 위치해 있다면 그 인접 단말에 의해 수신된 RREQ는 폐기한다.[그림 3]에서는 단말 C와 E가 이에 해당).

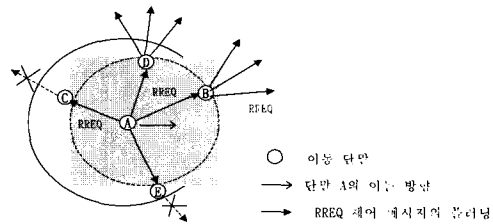


그림 3 RRS 알고리즘에 의한 경로 설립 과정

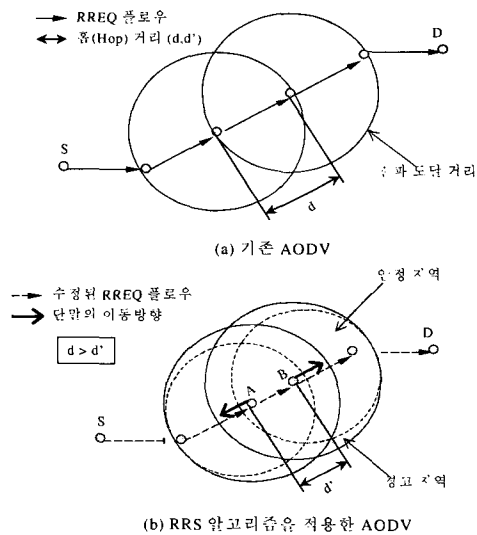


그림 5 RREQ 제어 메시지의 플로우 비교

[그림 4]의 각각의 그림들은 기존 AODV와 제안하는 AODV-RRS에 의해 RREQ들이 수신 단말로 플러딩되어지는 과정(경로 설정 과정)들을 각각 보여주고 있다. 기존 AODV를 이용할 경우([그림 4 (a)])는 경로 설정 과정 시 중간 단말은 RREQ를 수신하자마자 중복된 RREQ를 수신했을 경우와 자신이 수신 단말일 경우를 제외하고는 RREQ를 재 플러딩 할 것이다. 만약 선택된 경로상의 인접한 두 단말들 서로가 각각의 전송 범위 내의 경계 부분에 위치해 있다면 인접한 두 단말은 약간의 움직임에도 서로의 전송 범위를 벗어나게 된다. 결과적으로 잦은 경로 끊어짐이 발생하게 되고 새로운 경로를 재 설정할 때까지의 시간 지연과 제어 메시지의 플러딩에 의한 부담이 커지게 된다. 반면에 AODV-RRS를 이용한 경우([그림 4 (b)])는 단말 B가 인접 단말 A로부터 RREQ를 수신하였을 때 자신이 단말 A의 경고 지역 내에 있을 경우 혹은 단말 A가 자신의 경고 지역에 있을 경우 RREQ를 재 플러딩 하지 않고 서로의 안정 지역에 위치해 있을 경우에만 RREQ를 재 플러딩하여 링크를 맺고자 한다. 따라서 단말 A와 B간에 링크가 설립된다면 두 단말이 서로 반대 방향으로 이동해가더라도 쉽게 끊어지지 않는 안정된 링크가 된다. 단말 A의 전송 범위 내의 RREQ를 수신한 인접 단말들 모두가 그 RREQ를 재 플러딩 하는 것이 아니라 RREQ를 전송한 단말과 안정적인 링크를 설립할 수 있는 단말들만이 선택되어서 플러딩을 하기 때문에 RREQ 플러딩에 의한 부담이 적어지게 된다.

3.4 최적의 안정 지역 반지름을 위한 연구

본 논문에서는 단말의 속도에 따른 *안정지역 반지름*의 변동폭에 대한 적절한 선택이 매우 중요하다. *안정지역 반지름*의 변동폭에 따라 선택된 경로의 안정성과 홉 수가 결정되어지며 경로 설정 시 소요되는 지연 시간에 영향을 끼치기 때문이다. 경로의 신뢰성과 홉 수(또는 경로 설정 시간)는 상호 타협(trade-off) 관계를 유지한다.

AODV-RRS의 경우 단말의 속도에 따른 *안정지역 반지름*의 변동폭이 매우 클 때는 인접한 두 단말간의 실제 링크의 길이가 짧아지게 되므로 선택되어진 경로의 안정성은 매우 높아질 것이다. 그러나 송신 단말에서 수신 단말까지의 경로 홉 수가 증가하게 되고 홉 수가 증가하게 되면 그 만큼 제어 메시지의 플러딩에 의한 부담이 발생한다. 또한 단말의 안정 지역의 범위가 매우 작아지기 때문에 그 단말이 링크를 설립할 수 있는 인접 단말들의 수 또한 적어질 것이다. 따라서 단말의 수가 상대적으로 적은 네트워크 내의 단말들의 속도가 상당히 높을 때에는 경로를 설립하지 못할 확률이

높아진다. 기존의 AODV의 경우 AODV RRS에 비해 비록 생성된 경로가 불안정적이라도 경로 설립은 조금 더 빨리 이루어질 수가 있다. 이동 단말들은 인접 단말과 링크를 설립하고자 할 때 거리상 가장 멀리 있는 즉, 전송 범위의 경계 부분의 단말과 링크를 설립하려는 성질이 있기 때문에 상대적으로 AODV-RRS에 비해 경로의 홉 수는 줄어든다.

결론적으로 경로의 홉 수가 크다는 의미는 경로 설정 시 소요되는 시간이 증가됨을 나타낸다. 따라서 네트워크 상황이 동일하고 송신 단말과 수신 단말의 공간적 거리가 같을 경우 기존의 AODV에 의해 생성된 경로의 홉 수를 AODV-RRS에 의해 생성된 경로의 홉 수와 크게 차이가 나지 않도록 해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 단말의 속도에 따른 안정 지역 크기의 변동폭에 대한 연구를 통하여 최적의 변동폭을 유추해 내고 있다. 다음은 단말의 속도에 따른 최적의 *안정지역 반지름* 값을 유추하기 위한 식이다.

안정지역 반지름(r) *전송범위 반지름*(R) $\beta \times$ 단말 속도
여기서 β 값은 단말의 속도에 따라 *안정지역 반지름*에 대한 변동폭을 결정하는 변수이다. 이러한 β 값은 0보다 큰 정수 값을 갖는다. $\beta = 0$ 이라면 단말의 속도에 관계없이 *안정지역 반지름*은 단말의 전송 범위(R)와 동일하기 때문에 기존 AODV와 동일하다. 그러나 β 값이 증가한다면 *안정지역 반지름*은 단말의 속도에 영향을 받아 그 값이 작아지게 된다. 이것은 값이 증가하면 증가할수록 더욱 단말의 속도에 영향을 받아 *안정지역 반지름*은 점점 작아지게 되고 안정 지역의 크기는 점점 줄어들어 더욱 안정적인 경로를 구성할 수 있게 된다. 그러나 경로 홉 수의 증가로 인하여 경로 설정시의 지연과 데이터 전송 지연 또한 증가하게 된다. 따라서 이러한 β 값을 실제 현장 시험을 통해 해당 네트워크 환경에 맞는 적절한 값을 선택해야 한다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 특정 환경 하에 가장 최적의 β 값을 찾는다.

4. 성능 분석

본 논문에서는 RRS 알고리즘을 적용한 AODV 경로 설정 프로토콜(AODV RRS)을 제안하였다. 이번 장에서는 시뮬레이션을 통해 기존에 제시되었던 본래의 AODV 경로 설정 프로토콜과 제안하는 AODV-RRS 경로 설정 프로토콜들을 비교하고 있다. 기존 AODV의 경우는 기존에 수많은 연구를 통해 성능의 우수성이 입증되어 왔다[11][12][13]. DSR과 DSDV 경로 설정 프로토콜과의 성능 비교에 있어서 대부분의 환경에서 우위를 차지하고 있고 특히, 네트워크 내의 이동 단말의

속도가 빨라 위상의 잦은 변화를 유발하는 경우에 있어서는 더욱 안정적임을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 AODV 외에 기존 경로 설정 프로토콜과는 연구 중복이라 판단 하에 성능 비교는 하지 않고 있다. 본 논문의 시뮬레이션을 위하여 이동 무선 환경을 지원하는 네트워크 시뮬레이터(ns-2)를 이용하였다[14] [15].

4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 모델을 살펴보면 다음과 같다. 2250 × 450m 범위를 갖는 네트워크 지역 내에 75개의 이동 단말들이 고루 분포되어 있다. 시뮬레이션 시작 시 분포되는 각 단말들의 위치는 랜덤하게 선정되어지며 시뮬레이션 진행 중에 단말은 균일한 속도에 의해 랜덤하게 정해진 위치를 향해 나아가게 된다. 또한 그 위치에 도달하게 되면 쉬지않고 다시 랜덤하게 정해진 위치로 이동하게 된다. 따라서 정해진 속도 외에 상당한 이동성을 갖는 환경을 구현 하였다. 본 논문에서는 이동 단말의 속도는 2.5m/sec에서 12.5m/sec사이의 값을 갖는다. 애드혹 네트워크의 단말들이 12.5m/sec 정도의 고속의 이동성을 가지는 경우는 드물다. 그러나 본 논문의 시뮬레이션에서는 AODV와 AODV-RRS의 속도에 따라 변화하는 특성들을 관찰하기 위해서 단말들이 휴지 기간 없이 (pause time = 0) 12.5m/sec까지의 속도로 이동하는 고속 환경을 구성하였다. 따라서 그 단말의 속도를 5가지(2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 m/sec)로 구분하여 정의하고 있고 각각의 속도 차이는 2.5m/sec씩 균일하며 한 번의 시뮬레이션 시 모든 이동 단말들의 속도를 단 한 종류의 속도로 고정하였다. 즉, 속도를 저속(2.5m/sec)에서 고속(12.5m/sec)으로 2.5m/sec씩 증가시킬 때 변화되는 과정을 유도해냈다.

송신 단말은 75개의 모든 단말들 중에서 임의로 50개가 선택되며 선택된 송신 단말 모두 연속적인 비트 전송률(CBR: Constant Bit Rate)을 가진다. 패킷 크기는 64byte이고 패킷 전송률은 4packets/sec이다. 또한 링크의 대역폭은 2Mbps이다. 이동 단말의 전파 도달거리(R)는 250미터이다.

[표 1]은 위에서 언급한 시뮬레이션 환경 변수를 정리한 것이다.

• AODV-RRS의 환경 설정

안정지역 반지름은 $[R - \beta \times \text{단말의 속도}(m/sec)]$ 에 의해 계산되며 안정지역 반지름의 변동폭을 결정하는 변수인 β 값은 2와 3, 그리고 4를 적용한다. 따라서 세 가지 β 값에 대해 각각 시뮬레이션을 하여 제시한 알고리즘에 있어서 속도에 따른 가장 최적의 안정 지역 크기의 변동폭을 알아보려고 한다. 예를 들어, β 값이

표 1 시뮬레이션 환경 변수

환경 변수	값
전송 범위	250 m
네트워크 범위	2250 m × 450 m
총 시뮬레이션 시간	300 sec
전체 이동 단말의 개수	75
전송 단말의 개수	50
대역폭	2 Mbps
패킷 전송률	4packets/sec
트래픽 타입	Constant Bit Rate

2일 경우 이동 단말이 최고 속도(12.5m/sec)를 가질 때 안정지역 반지름 값은 $(R - 25)$ 미터이고 최저 시속(2.5m/sec)일 때는 $(R - 5)$ 미터가 된다. 따라서 안정지역 반지름은 단말의 속도에 따라 225미터에서 245미터까지의 변동폭을 갖는다.

본 논문은 변화하는 단말의 이동성 패턴을 표현하기 위해 랜덤하게 추출한 시나리오 파일을 작성하였으며 공정성을 위하여 두 프로토콜들에 동일한 시나리오 파일을 적용하였다. 또한 두 프로토콜 모두 MAC 계층에서의 링크 끊어짐 감지 방법을 사용하였을 뿐 hello 메시지 등과 같은 네트워크 계층에서의 링크 끊어짐 감지 방법은 추가하지 않는다.

4.2 시뮬레이션 결과

[그림 5]는 단말의 속도 변화에 따른 평균 경로 유지 시간에 대한 결과이다. 즉, 송신 단말이 수신 단말로부터 RREP를 수신한 시점부터 해당 경로가 위상의 변화로 인해 끊어질 때까지의 시간을 의미한다. 이 그림에서는 제안하는 모든 AODV-RRS들($\beta=2,3,4$)이 기존의 AODV에 비해 전체적으로 이동 단말의 평균 경로 유지 시간이 길다는 것을 볼 수 있다. 그 만큼 AODV-RRS

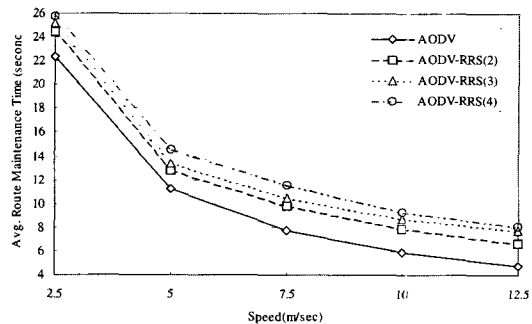


그림 6 평균 경로 유지 시간

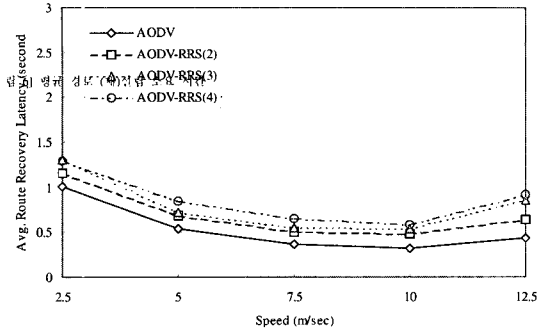


그림 7 평균 경로(재)설립 소요 시간

에 의한 경로가 AODV에 의한 경로보다 더욱 안정적임을 알 수 있다. 또한 β 값이 높으면 높을수록 그만큼 안정된 경로를 선택하게 되므로 그 경로의 평균 유지 시간이 더 길어진다. 이것은 단말의 속도의 증가에 따른 β 값의 증가는 안정 지역의 크기를 줄이기 때문에 그만큼 설립된 경로의 유지 시간이 증가하게 되기 때문이다. 따라서 모든 속도에 걸쳐 AODV-RRS에 의한 경로 유지 시간이 AODV보다 더욱 오래 지속된다.

[그림 6]은 두 프로토콜의 경로가 끊어진 후부터 경로가 재 설립될 때까지의 평균 소요시간을 비교한 것이다. AODV-RRS의 평균경로 재설립 소요시간은 AODV보다 길다. 왜냐하면, AODV에 의해 생성된 경로의 홉 수가 AODV-RRS에 의한 경로의 홉 수에 비해 더 짧기 때문이다. 또한 AODV-RRS는 가상 지역 개념으로 인하여 RREQ의 제한적인 플러딩을 수행함으로써 경로 설립이 실패할 경우가 많아지기 때문이다. 안정 지역의 크기가 줄어들면 그 경로의 신뢰성은 높아지지만 경로 설립 시 경로의 홉 수가 그만큼 증가하거나 경로 자체가 설립이 되지 않을 확률이 높아지게 된다. 본 논문에서는 On-Off 알고리즘을 제안함으로써 이러한 문제를 해결하고 있다. [그림 5]와 [그림 6]을 통해 평균 경로 유지 시간과 평균 경로 재설립 소요 시간은 서로 상호타협(trade-off) 관계임을 알 수 있다. 그러나 AODV-RRS와 AODV의 평균 경로 재설립 시간의 차이는 밀리초 단위인 반면에 평균 경로 유지 시간의 차이는 초 단위이므로 성능 분석을 하는데 더 큰 비중을 차지한다.

[그림 7]은 총 시뮬레이션 시간동안 평균적으로 하나의 단말이 데이터를 전송하고자 할 때 발생하는 경로 끊어짐 횟수를 보여주고 있다. 이 그림에서는 AODV보다 AODV-RRS들($\beta=2,3,4$)에 의한 경로가 안정적이기 때문에 끊어짐 횟수도 상당히 줄어들었음을 알 수 있다. AODV-RRS에 의해 설립된 경로에 속한 단말들 중에

서 속도가 빠른 단말들은 자신이 링크를 맺고 있는 이웃 단말과의 거리가 가깝기 때문에 그만큼 쉽게 끊어지지 않는 경로를 이룰 수 있다. 반면에 단말의 속도와 관계없이 경로상의 링크를 맺고 있는 AODV의 경우는 단말들의 약간의 움직임에도 그 경로는 쉽게 끊어지게 된다. 따라서 AODV-RRS는 경로를 구성하기 위한 제어 정보의 플러딩을 줄임으로써 제어 부담을 감소시키게 되며 또한 TCP 성능을 높이는 결과를 가져온다[16]. 따라서 [그림 5], [그림 6], [그림 7]에 의해 우리는 AODV-RRS를 애드혹 네트워크에 적용함으로써 설립된 경로의 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있게 되어 애드혹 네트워크에서도 멀티미디어 서비스를 할 수 있음을 알 수 있다.

[그림 8]은 송신 단말이 수신 단말로 데이터를 전송하고자 할 때 설립되는 실제 경로의 홉 수를 송신 단말에서 수신 단말까지의 최적화된 경로의 홉 수로 나눈 값을 보여주고 있다. 이 그림을 보면 AODV-RRS들($\beta=2,3,4$)에 의한 경로가 AODV에 비해 홉 수가 늘어나는 것을 알 수 있다. 또한 RRS의 β 값이 증가하면 증가할수록 더욱 그 차이는 커지고 있다. 그러나 본 논문의 성능 분석에서 이러한 현상은 무시할 만하다. AODV와 AODV-RRS($\beta=4$)의 경우에 최고 시속(12.5m/sec)의 경우를 비교해 보더라도 0.13 홉 차이밖에 보이지 않고 있기 때문이다.

[그림 9]는 평균적으로 한 개의 패킷이 수신 단말로 전송될 때 까지 걸리는 시간을 보여주고 있다. 이러한 평균 패킷 지연시간은 송신 단말에서 수신 단말로 전송된 패킷의 개수에서 수신 단말로 도착하기까지 걸린 총 패킷 지연시간을 나눈 값이다. 그림에서 보는 바와 같이 기존 AODV든 여러 β 값을 갖는 AODV RRS든 비슷한 시간과 양상을 보이고 있다. 이러한 이유는 다음과 같다. AODV RRS에 의해 설립된 경로는 AODV에 의해 설립된 경로보다 끊어짐 횟수는 적기 때문에 평균 패킷 지연시간이 더 적어야 한다. 그러나 설립된 경로의 홉 수가 증가하기 때문에 그만큼 지연 시간이 증가하게 된다. 따라서 단말의 속도가 낮은 경우에는 서로 비슷한 평균 패킷 지연시간을 갖게 된다. 그러나 이동 단말의 속도가 10m/sec를 넘어가면서부터 높은 3과 4의 β 값을 갖는 AODV-RRS의 평균 패킷 지연 시간이 증가하고 있다. 이것은 [그림 8]에서 보는 바와 같이 설립된 경로의 홉 수는 단말의 속도가 증가하더라도 일정한 홉 수를 갖기 때문이다. 따라서 단말의 속도가 증가하면 할수록 AODV-RRS에 의해 설립된 경로의 평균 패킷 지연시간에 대한 효율은 증가하게 된다.

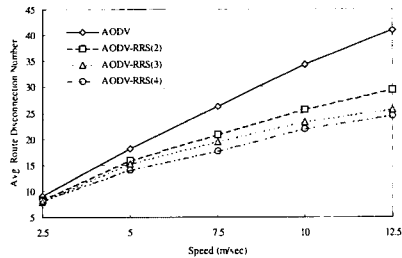


그림 7 평균 경로 끊어짐 횟수

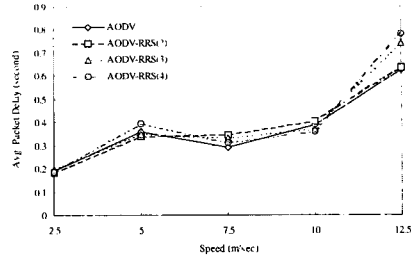


그림 9 평균 패킷 지연 시간

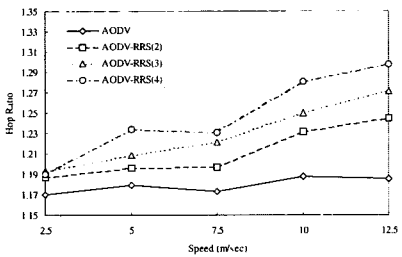


그림 8 정규화(normalize)

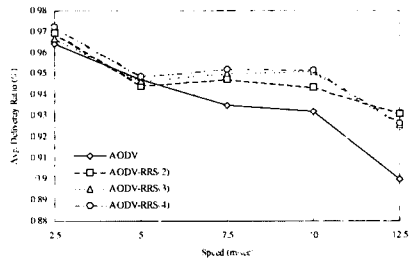


그림 10 평균 패킷 전송률

[그림 10]은 송신 단말이 전송한 패킷들이 수신 단말에게 얼마만큼 도착되었는지를 알아보는 평균 패킷 전송률을 보여주고 있다. 이러한 패킷 전송률은 송신 단말이 수신 단말로 전송한 패킷의 개수를 수신 단말에서 실제로 수신한 패킷의 개수로 나눈 값이다. 이 그림에서는 저속(2.5m/sec와 5m/sec)일 경우에는 비슷한 패킷 전송률을 보인다. 그러나 이동 단말이 고속으로 움직일수록 그 만큼 경로의 끊어짐 또한 많아지기 때문에 패킷들이 유실될 확률이 높아지므로 AODV에 비해 안정된 경로를 찾는 AODV-RRS들이 속도에 따른 패킷 전송률이 더욱 높음을 알 수 있다.

5. 결론

에드혹 네트워크상에서 위상은 단말의 이동성에 의해 급격하고 예측할 수 없도록 변화한다. 기존에 제시된 프로토콜인 AODV의 경우 경로 설립 과정 시 선택되는 경로의 견고함에 대한 방안은 없으며 결과적으로 새로운 경로의 재설립으로 인해 발생하는 상당한 부담을 안고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 안정된 경로를 찾기 위한 AODV-RRS라는 새로운 경로 선택 알고리즘을 제안했다. 이러한 제안하는 알고리즘을 위해서 본 논문에서는 이동 단말의 위치와 방향, 속도 등을 유추해 낼 수 있는 GPS 기술을 이용하였으며 이러한 GPS 정보들을 이용하여 안정 지역과 경고

지역 같은 가상 지역 개념을 제안하였다. 이러한 가상 지역은 이동 단말의 속도와 방향에 따라 전파 도달거리 내에서 동적으로 변화되어지는 것을 볼 수 있었다. 이에 따라 이동 단말의 속도와 방향을 고려한 AODV-RRS에 의해 선택되어진 경로는 단말의 이동성에도 불구하고 쉽게 끊어지지 않는 믿음만한(안정된) 경로임을 알 수 있다. 본 논문의 시뮬레이션 결과에 의해 우리는 AODV-RRS에 의해 선택된 경로가 AODV에 의한 경로보다 유지 시간이 커짐을 알 수 있고 그만큼 경로의 끊어짐의 횟수가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 속도에 따른 안정 지역의 크기의 변동폭에 따라 성능이 큰 영향을 받게 됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] S. Basagni, I. Chlamtac, and V. R. Syrotiuk. Dynamic source routing for ad-hoc networking using the global positioning system. In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference 1999 (WCNC'99), pp. 301-305, September 1999.

[2] S. Basagni et al. Route selection in mobile multimedia ad-hoc networks, In Proceedings of the IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (McMuC'99), pp. 97-103, November 1999.

[3] Y. -B. Ko and N. H. Vaidya. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks, In Proceedings of ACM/IEEE International Conference Mobile Computing and Networking Conference (MOBICOM'98), pp. 66-75, October 1998.

[4] E. M. Royer and C. -K Toh. A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless Networks. IEEE Personal Communications, pages 46-55, April 1999.

[5] W. -I. Kim, D.-H. Kwon, and Y.-J. Suh. A Reliable Route Selection Algorithm Using Global Positioning Systems in Mobile Ad-hoc Networks, In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'2001), June 2001.

[6] C. E. Perkins and P. Bhagwat. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers, ACM Comput. and Commun. Rev. (ACM SIGCOMM'94), pp.234-244, October 1994.

[7] D. Johnson and D. Maltz. Dynamic source routing in ad-hoc wireless networks. In T. Imielinski and H. Korth, editors, Mobile Computing, chapter 5. Kluwer Academic, 1996.

[8] C. E. Perkins. Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing, Internet Draft, November 1997.

[9] 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 (WMCSA'99), pages 90-100, February 1999.

[10] E. D. Kaplan, editors. Understanding the GPS: Principles and Applications. Boston: Artech House, February 1996.

[11] S. -J. Lee, M. Gerla and C. K. Toh. A simulation study of table-driven and on-demand routing protocols for mobile ad hoc networks, IEEE Network, pp. 48-54, 1999.

[12] Semir R. Das, C. E. Perkins, and Elizabeth M. Royer. Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad-hoc networks. In Proceedings of the Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2000), pp. 3-12, March 2000.

[13] P. Johansson, T. Larsson, and N. Hedman. Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks, In Proceedings of the fifth annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MOBICOM'99), pp. 195-206, August 1999.

[14] K. Fall and K. Varadhan. ns notes and documentation. The VINT project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, May 1998.

[15] The CMU Monarch Project. The CMU Monarch Projects Wireless and Mobility Extensions to ns, URL: <http://www.monarch.cs.cmu.edu/>. (2000-04-25). Work in progress.

[16] G. Holland and N. H.Vaidya, Analysis of TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks, In Proceedings of the fifth annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MOBICOM'99), pp. 219-230, August 1999.



김 원 익

1999년 2월 아주대학교 정보통신대학 정보및컴퓨터공학부 졸업(학사). 2001년 2월, 포항공과대학교 정보통신대학원 정보통신학과 졸업(석사). 2001년 2월 ~ 현재 한국전자통신연구원 이동통신연구소 연구원. 관심분야는 이동 ad-hoc 네트워크, 이동통신(IMT 2000)



서 영 주

1985년 한양대 전자공학 학사. 1987년 한양대 전자공학 석사. 1996년 미국 Georgia Tech 컴퓨터공학 박사. 1988년 ~ 1990년 LG전자 연구원. 1990년 ~ 1993년 충청대학 조교수. 1996년 ~ 1997년 미국 Georgia Tech Postdoc Researcher. 1997년 ~ 1998년 미국 University of Michigan Research Fellow. 1998년 ~ 현재 포항공과대 컴퓨터공학과 조교수. 관심분야는 Network protocols, Wireless Mobile Networks, Interconnection Networks



안 성 옥

1983년 2월 고려대학교 수학교육과 졸업(학사). 1985년 2월 고려대학교 대학원 수학과 졸업(전산학전공 석사). 1989년 8월 고려대학교 대학원 수학과 졸업(전산학전공 박사). 1991년 ~ 현재 배재대학교 정보통신공학부 부교수. 1993년 ~ 1994년 펜실베이니아주립대학교 컴퓨터학과 교환교수. 1994년 ~ 1995년 뉴욕주립대학교 컴퓨터학과 교환교수. 관심분야는 데이터베이스, 컴퓨터네트워크, XML 저장관리기, 컴퓨터교육