

논문 2013-50-7-24

지오멀티캐스트: 모바일 Ad-hoc 무선 네트워크에서 경로 안정성을 이용한 위치기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜

(Geomulticast: Location based Multicast Routing Protocol using Route Stability in Mobile Ad-hoc Wireless Networks)

하수형*, 리데덩*, 안병구**

(Sue Hyung Ha, Le The Dung, and Beongku An[©])

요약

본 논문에서는 모바일 Ad-hoc 무선 네트워크에서 경로 안정성을 이용한 위치기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜(지오멀티캐스트)을 제안한다. 본 논문에서 제안한 지오멀티캐스트의 주요한 특징 및 기여도는 다음과 같다. 첫째, 어떤 특정한 지역 내에 분포하는 모바일 노드들 중 특정 노드들에게 데이터 전송이 가능하다. 둘째, 노드들의 이동성 정보를 이용하여 안정적인 라우팅 경로를 선택한다. 셋째, 지오멀티캐스트 가이드라인 정보를 사용하여 경로 설정을 위한 불필요한 컨트롤 오버헤드나 전력의 낭비를 줄일 수 있다. 넷째, 지오멀티캐스트 서비스를 지원하기 위한 안정된 경로 설정 관련 이론적인 모델을 전개한다. 제안된 지오멀티캐스트의 성능평가는 OPNET을 이용한 시뮬레이션과 이론적인 분석을 통하여 이루어졌으며, 이론적인 결과와 시뮬레이션 결과가 유사하게 일치함을 확인 하였다. 그리고 특정한 영역에 있는 특정한 그룹에 속해있는 노드들에게 효과적으로 데이터 패킷 전송이 이루어짐을 알 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a location based multicast routing protocol, called Geomulticast, in mobile ad-hoc wireless networks. The main features and contributions of the proposed geomulticast are as follows. First, support data transmission to only the specific mobile nodes within a target area. Second, establish stable routing route by using mobility information of nodes. Third, reduce control overhead, power for construction of routing route by using geomulticast guided line information. Fourth, present a theoretical model for establishing stable route. The performance evaluation of the proposed geomulticast is executed by using OPNET simulation and theoretical analysis, and the results of simulation and theoretical analysis have similar patterns. And we can see that data packets are efficiently transmitted to specific user groups within a specific area.

Keywords : Geomulticast, Mobile Ad-hoc Networks, Route Stability, Geocast, Multicast

* 학생회원, 홍익대학교 대학원 전자전산공학과
(Dept. of Electronics & Computer Eng., in Graduate School, Hongik University)

** 평생회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
(Dept. of Computer & information Communication Engineering, Hongik University)

© Corresponding Author(E-mail: beongku@hongik.ac.kr)

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. 2012046780)

접수일자: 2013년2월15일, 수정완료일: 2013년6월21일

I. 서론

이동 애드 혹 네트워크(MANET : Mobile Ad-hoc Networks)^[1]는 핸드폰이나 노트북 등 이동 가능한 기기들이 노드가 되어 상호 무선통신 가능한 네트워크 환경을 말한다. 이러한 네트워크 환경에서의 연구는 근래 10년 사이 활발하게 이루어져 왔지만 최근 스마트폰, 네비게이션의 스마트화, 태블릿 PC의 사용증대 등과 더

불어 이 기기들을 더 빠르고 안정되게 뒷받침해 줄 수 있는 MANET 환경에 대한 연구 또한 지속적으로 요구된다.

AODV^[2]와 DSR^[3]은 이러한 MANET 환경에서 가장 대표적인 유니캐스트 라우팅 프로토콜이다. 하지만 목적지가 여러 개 존재할 경우 MANET의 제한적인 네트워크 자원을 고려할 때 이러한 유니캐스트 라우팅 프로토콜들 보다 멀티캐스트를 지원할 수 있는 라우팅 프로토콜이 훨씬 효과적이다. 멀티캐스트의 경우 설정해놓은 멀티캐스트 그룹에 해당하는 노드들에게만 동시에 데이터를 일괄 전송할 수 있기 때문이다.

MANET환경에서는 GPS(Global Positioning System)와 같이 위치정보를 바탕으로 한 많은 프로토콜들이 연구되어왔다. 한 예로 지오캐스팅^[4]은 지리적 정보를 사용하여 데이터 송신을 원하는 지역을 지오캐스트 영역(geocast region)으로 설정하고 이 지역 내의 모든 노드들이 한꺼번에 데이터를 받을 수 있도록 하는 기술이다. 하지만 이러한 지오캐스트 영역 내에 위치하는 노드들 중에서도 데이터 수신을 원하지 않는 노드들도 존재할 수 있다.

또한 본 연구가 이루어진 네트워크와 유사한 환경에서는 제한적인 네트워크 자원, 컨트롤 오버헤드, 경로 설정 지연 시간 등 많은 요소들이 고려해야 하는 대상이 된다. 하지만 본 연구는 그 중에서도 노드들의 이동성이 가장 중요하다고 고려되어 이에 중점을 두고 좀 더 안정적인 네트워크를 형성하기 위한 라우팅 프로토콜을 연구했다. 이동 애드 혹 네트워크에서는 모든 노드들이 랜덤한 이동방향, 이동속력을 가지고 계속적으로 움직이는 상황이므로 항상 네트워크가 동적이고, 연결 상태가 자주 불안해지기 쉽다. 이러한 네트워크 환경에서 좀 더 안정된 경로를 탐색하고 형성하여 패킷 전송효율을 높이기 위해서 노드 간 링크 안정성과 경로 안정성을 정량적으로 측정하고 안정성이 더 높은 경로를 설정하여 사용할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 이와 같은 경로 안정성 정보를 바탕으로 하고 지오캐스트 개념을 사용한 멀티캐스트 라우팅 프로토콜인 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 관련 연구에 관해 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안한 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 자세한 동작 과정 및 링크 안정성과 경로 안정성을 정량적으로 측정하기 위한 모델을 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션 및 이론적인 분석을 통한 성능평가에 대해 기술하고, 마지

막으로 V장에서는 결론을 맺으면서 향후 연구방향을 제시한다.

II. 관련연구

논문^[4]에서는 지오캐스팅(geocasting)에서 사용되는 여러 가지 라우팅 프로토콜들에 관하여 설명하고 이를 특정 기준에 따라 분류해 놓았다. 먼저 지오캐스팅은 멀티캐스팅의 특별한 한 종류로, 어떤 특정 지역의 모든 노드들에게 데이터를 전송하는 통신 방법 중 하나이다. 이러한 지오캐스팅을 사용한 라우팅 프로토콜도 매우 많은 종류가 존재한다. 이는 플러딩(flooding)이나 직접 플러딩(directed flooding)을 사용하는지 아니면 플러딩을 사용하지 않는 비직접 플러딩(undirected flooding) 라우팅 프로토콜인지에 따라 분류할 수도 있고, 또 다른 방법으로는 애드 혹 네트워크처럼 하부구조를 사용하지 않는 네트워크나 아니면 하부구조를 바탕으로 한 네트워크냐에 따라 구분하기도 한다. 이런 지오캐스팅 방법은 컨트롤 패킷이나 데이터 패킷을 주고받을 때 전력, 오버헤드, 지연, 대역폭 등을 상당량 줄일 수 있으므로 많은 장점이 있다. 본 연구에서는 지오캐스트의 장점을 살려 컨트롤 오버헤드는 줄이면서 지오캐스트 영역 내의 특정 몇몇 노드들만을 목적지 노드로 선정하여 멀티캐스트를 시도하였다.

논문^[5]에서는 트리구조나 메시 구조와 같은 고정된 구조를 사용하는 대신 비직접(undirected) 방법을 사용하여 RMA(Reliable Multicast Algorithm)을 제안하였다. 또한 생존시간(lifetime)이라는 새로운 매트릭이 모바일 애드 혹 네트워크에서 홉 카운트 매트릭보다 더 나은 성능을 보였음을 증명하였다. RMA는 타 유니캐스트 프로토콜을 약간 수정 보완한 알고리즘이지만 다른 프로토콜과의 비교 분석이 미약해 아쉬움이 남는다.

논문^[6]에서는 MANET 환경에서 지오캐스트 기반의 지속적인 정보 전송을 위한 방법이 제안되었다. 본 연구에서는 지오캐스트와 GPSR^[7]을 결합하여 멀티캐스트 멤버 노드들이 지오캐스트 영역을 벗어나더라도 계속하여 광고를 받을 수 있는 방안을 연구하였다. 광고 패킷의 목적지 지점을 원형으로 AR(Advertisement Region)이라 하고 AR의 중점과 가까운 노드를 포워딩 노드로 사용하여 AR까지 광고 패킷을 보낸다. 이 광고 패킷에는 경로 정보, 포워딩 노드들을 포함한 정보들이 포함되어있고 이를 수신한 AR 내의 노드들은 이를 모든 노드에 브로드캐스팅 한다. 이 패킷을 받은 노드가 멀티

캐스트 멤버 노드일 경우 멤버 노드임을 알리는 정보를 포함하여 AR 내의 노드에게 패킷을 전송해 주고 AR은 기존의 경로 정보를 통해 송신 노드에까지 알린다. 멀티캐스트 멤버 노드들이 지오캐스트 영역을 벗어나도 AR이라는 새로운 영역을 통해 지속적인 광고를 받을 수 있는 점이 장점이지만 MANET에서 컨트롤 오버헤드가 매우 증가할 수 있다는 단점이 있다.

논문^[7]에서는 무선 네트워크 환경에서 GPS 라우팅 기법을 연구했다. GPS 라우팅은 지속적으로 이동하는 노드들의 위치 정보를 사용하여 더 빠른 라우팅을 가능하게 하도록 하였다. 하지만 모든 노드들이 실시간으로 이동하고 있기 때문에 여러 이웃 노드들의 위치 좌표를 실시간으로 서로 주고받을 경우 각 노드들의 오버헤드도 많이 증가할 뿐 아니라 각 노드들의 라우팅 연산을 함에 있어서도 혼잡이 발생할 수 있다.

논문^[8]에서는 전송받은 전력(power) 레벨의 샘플링을 통한 안정성을 평가할 수 있는 매트릭을 제안했고 각 노드들의 상대 이동성을 연구했다. 이 논문에서는 경로의 안정성을 측정하기 위하여 전력 레벨이라는 파라미터로부터 접근했다는 점이 혁신적이다.

논문^[9~11]에서는 링크 안정성 및 경로 안정성에 관해 선행된 연구이다. 모바일 애드 홀 네트워크는 노드 이동에 의한 노드끼리의 연결 변화에 매우 민감하므로 이동성 모델에 따른 링크 안정성도 중요하다. 또한 이런 환경에서 링크의 안정성은 수학적으로 분석하기 매우 어려워서 대부분 시뮬레이션에만 의존한 연구가 많다. 본 논문에서 가장 중요하게 생각하여 염두에 둔 부분인 경로 안정성을 측정하기 위한 여러 모델들을 제시했다.

논문^[9]에서는 경로 안정성을 측정하기 위해 수학적으로 접근하여 싱글 홉 간의 통신에서 라디오 범위(radio range)밖에 있는 한 이웃 노드가 다른 노드의 라디오 범위를 통과해서 지나갈 경우 링크 생존기간(link duration)에 관한 모델을 제시했다. 여기서 링크 생존기간이란, 노드 간 통신 가능한 연결된 링크의 지속시간의 의미한다.

논문^[10]에서는 노드들의 이동 방향 설정을 달리 하여 한 노드의 라디오 범위 안에 다른 이웃 노드가 존재하는 경우, 그 이웃노드가 라디오 범위를 점점 벗어나는 조금 다른 상황에서 접근했다. 이 경우 한 노드를 중심으로 잡고 그 노드의 라디오 범위 안에 속해있는 이웃 노드의 이동이 어떻게 되는지를 중심으로 잡은 노드의 시각에서 점점 가까워지는지 아니면 반대로 멀어지는지

를 분석하여 링크 생존기간을 구하는 모델을 제시했다.

논문^[11]에서는 모바일 노드들의 이동성에 따라 소스 노드부터 목적지노드까지 멀티 홉 간의 평균 패킷전달 효율(PDR : Packet Delivery Ratio)을 측정하고 이것을 경로 안정성의 함수로 나타낸 모델을 제시하였다. 이는 결과적으로 확률로 표현된 값으로 경로의 안정성을 정량적으로 나타낼 수 있는 모델이기도 하다. 여러 선행 연구들의 경로 안정성을 측정할 수 있는 모델은 여러 제시가 되었지만 이를 라우팅 프로토콜에 직접 적용하여 활용할 수 있는 방안이 제시되지 못하였다는 점이 앞으로 더 연구해 나아가야 하는 방향임을 알 수 있다.

III. 제안된 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜

본 절에서는 제안한 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 기본개념과 자세한 동작과정 및 정량적인 경로 안정성 측정을 위한 이론적 분석에 대해 상세하게 설명한다.

1. 기본개념

그림 1은 제안된 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 기본 개념을 나타낸다. 제안된 지오멀티캐스트 라우팅

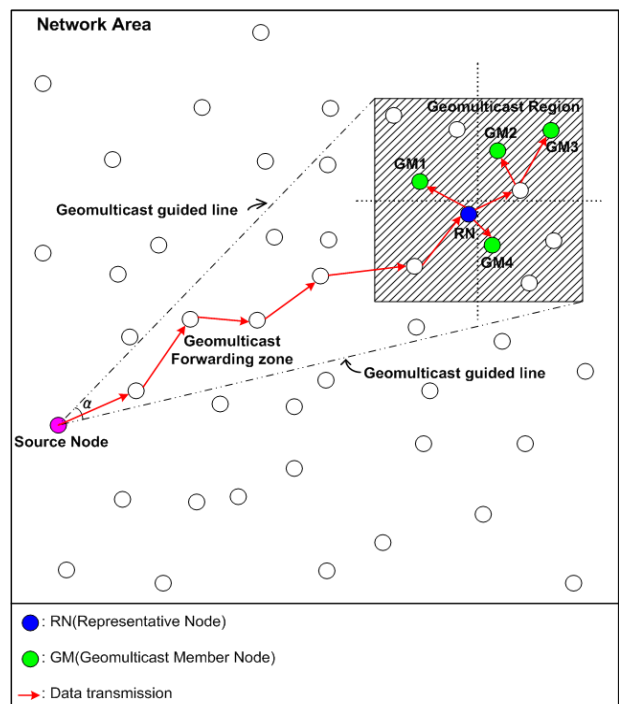


그림 1. 제안된 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 기본 개념
Fig. 1. The basic concept of proposed geomulticast routing protocol.

프로토콜에서는 먼저 지오캐스트 개념을 사용하여 소스 노드는 특정 지역 내에 분포하는 노드들에게 데이터를 송신해 줄 수 있고, 그리고 이 특정 지역 내의 노드들 중에서도 데이터 수신을 원하는 일부 다수의 목적지 노드들에게만 데이터를 전달해 줄 수 있는 멀티캐스트 개념을 동시에 사용하였다. 또한 모바일 노드들의 이동성 정보로부터 경로 생존시간(route lifetime)을 구하고 이를 바탕으로 한 정량적인 경로안정성 정보와 우선순위 알고리즘(priority algorithm)을 사용하여 보다 안정된 경로를 탐색 및 선택할 수 있도록 하였다. 제안된 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 기본개념을 요약 정리하면 다음과 같다.

- **첫째: 지오멀티캐스트 포워딩 영역 정하기.** 소스노드는 데이터 송신을 원하는 노드들이 분포하는 영역을 지오멀티캐스트영역(GR : Geomulticast Region)으로 설정하고, 소스노드부터 이 영역까지를 지오멀티캐스트 포워딩 영역(GF: Geomulticast Forwarding zone)으로 설정한다
- **둘째: 지오멀티캐스트 영역 내에서 대표노드 선출 및 지오멀티캐스트 멤버 등록.** GR 내에 존재하는 노드들 중에서 멀티캐스트 서비스를 받고자하는 노드들(GM: Geomulticast Member node)은 자체적으로 그 중에서 대표노드 (RN : Representative Node)를 선출한다. 또한 GM들의 정보를 RN에 등록시키고 RN과 GM들 사이 경로를 탐색한다. 이때 GR에서의 라우팅은 프로액티브(proactive)로 주기적인 업데이트를 통해 GM들의 위치정보와 라우팅 경로 유지를 한다.
- **셋째: 소스노드와 대표노드(RN) 사이의 안정된 경로 설정.** 소스노드와 RN 사이에서 정량적으로 측정된 경로 안정성 정보를 바탕으로 여러 경로들을 탐색 및 비교 해보고 가장 안정된 경로를 선택한다. 또한 GF에서 이루어지는 라우팅은 발생할 수 있는 여러 오버헤드를 고려하여 경로 설정이 필요할 경우에만 라우팅 정보를 업데이트 할 수 있는 리액티브(reactive) 방식을 사용한다.
- **넷째: 설정된 안정된 경로위로 지오멀티캐스트 멤버노드들에게 데이터 전송.** 소스노드는 설정된 안정된 경로를 경유하여 데이터 패킷을 먼저 지오멀티캐스트 영역내에 있는 RN에게 전송하고, RN 노드는 GM 들에게 설정된 안정된 경로를 경유하여 데이터 패킷을 전송한다.

2. 동작과정

제안된 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 자세한 동작과정과 최종 경로를 형성하는 방법은 다음과 같다.

Step 1. 지오멀티캐스트 영역(GR) 및 지오멀티캐스트 포워딩 영역(GF) 설정.

그림 1에서와 같이 소스노드는 먼저 데이터를 전송하고자 하는 목적지 노드들이 분포하는 지역을 GR(Geomulticast Region)로 지정한다. 제안된 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 GPS(Global Positioning System)를 사용하여 GR의 위치 및 범위를 알고 있다고 가정한다. 또한 아래 그림 2와 같이 소스노드는 GR의 대각선 꼭지점과 연결하는 두 선분을 지오멀티캐스트 가이드라인(geomulticast guided line)으로 설정하고, 이 선분에 의해 형성되는 영역을 GF(Geomulticast Forwarding zone)라 한다. 또한 이 두 선분과 소스노드 사이에 형성되는 각도를 α 라 하고 이는 GR의 크기에 따라 변동된다. 앞서 언급했듯이 본 연구는 각 노드들이 GPS를 사용하여 위치정보를 알 수 있다고 가정하고 있으므로 이 두 가이드라인과 GR이 만나는 꼭지점의 위치 또한 알 수 있다. 그림 2에서는 소스노드가 GR의 제 3사분면에 위치하는 경우를 나타내고 있는데 이때, 소스노드의 위치를 원점이라 생각하면 두 가이드라인은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 이 식은 모바일 노드가 GF 내부에 속해 경로 형성에 관여 할 노드인지 아닌지를 판별하는데 필요하다.

$$\text{Geomulticast guided line 1} = \frac{b_1}{a_1}x \quad (1)$$

$$\text{Geomulticast guided line 2} = \frac{b_2}{a_2}x$$

그리고 소스노드 또한 지속적으로 이동하는 모바일 노드이므로 이 식 (1)은 소스노드가 GR의 어느 사분면에 위치하는가에 따라 음/양, 가이드라인의 기울기 계수가 달라진다.

소스노드로부터 GR 내에 존재하는 GM들까지의 라우팅은 두 가이드라인과 GR이 형성하는 GF안의 노드들만을 경유하여 이루어지며, 이 일부 영역인 GF를 사용함으로써 컨트롤 오버헤드, 경로 형성 지연시간, 노드들의 전력 소비 등을 절감할 수 있는 이득을 얻고자 하였다.

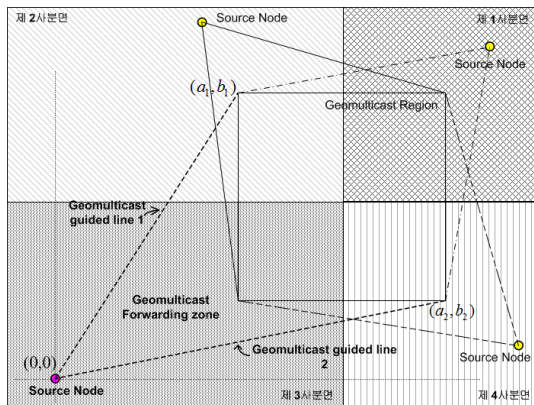


그림 2. 지오멀티캐스트 안내선 설정 및 지오멀티캐스트 포워딩 영역 형성
Fig. 2. Making geomulticast guided lines and geomulticast forwarding region.

Step 2. 지오멀티캐스트 멤버(GM)들을 선정하고 대표 노드(RN) 선출 후 GM들의 정보등록 및 경로탐색

Step 1의 GR(Geomulticast Region) 영역 안에 분포하는 노드들 중 데이터 수신을 원하는 특정 몇몇 노드들만을 GM(Geomulticast Member)으로 선정한다. 이때 선정된 노드들이 본 라우팅 기법에서 최종 목적지 노드

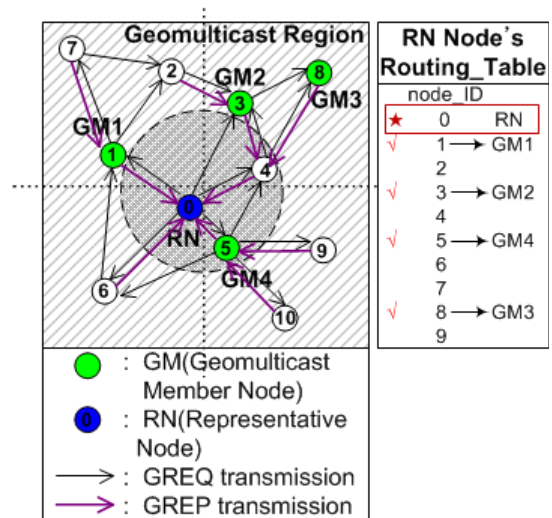


그림 4. 제안된 라우팅 프로토콜의 대표노드 선출 및 대표노드에 지오멀티캐스트 멤버 등록
Fig. 4. Representative node's selection and geomulticast nodes' registration of proposed routing protocol.

표 1. 지오멀티캐스트 라우팅 테이블
Table 1. Geomulticast_Routing_Table.

Source_ID	Present_Node_ID	Previous_Node_ID
Mobility	Link_Stability	Route_Stability
Geomulticast_Member_Node		

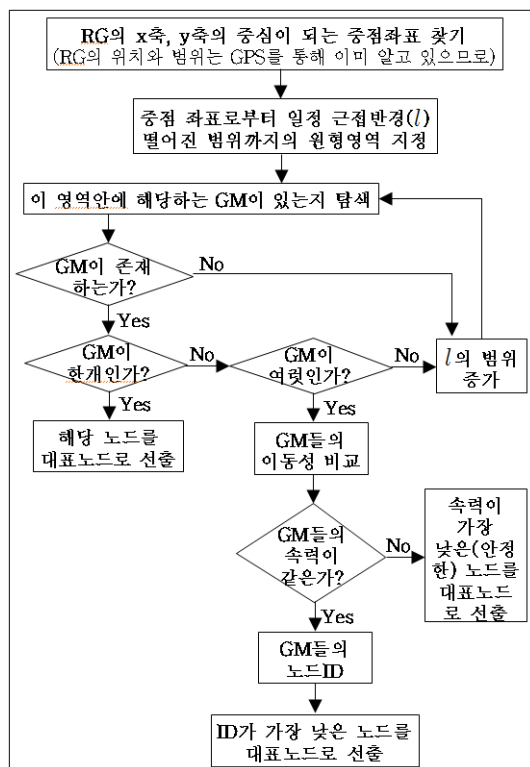


그림 3. RN 선출 흐름도
Fig. 3. Flow chart of RN selection.

들이 된다. GR 안의 여러 GM들은 자체적으로 GM들 중에서 하나를 RN으로 선출한다. 이 때, 대표노드를 선출하는 방법은 위 그림 3의 흐름도를 따른다. 이 흐름도에서 일정 근접반경(l) 안에 여러 개의 GM들이 분포해 있을 때 이 노드들의 이동 속력을 비교하여 속력이 가장 낮은 노드를 RN(Representative Node)으로 선출하게 되는데, 이는 모바일 노드의 이동 속력이 낮을수록 움직임이 적으므로 이를 RN으로 선출해야 좀 더 안정된 경로를 형성하는데 유리하기 때문이다.

GR 내에서 RN이 선출되면 그림 4에서 보는 것과 같이 RN은 지오멀티캐스트 영역 내에서 모든 노드들과 GREQ(Geomulticast Request Packet), GREP(Geomulticast Reply Packet)를 주고 받으며 GM인지 아닌지를 판별하며, 이 과정에서 경로 안정성을 측정하여 안정된 라우팅 경로 또한 선택된다. 경로 안정성 측정을 위한 이론적 분석은 다음 3절에서 설명한다. RN과 GM 사이의 경로설정 및 정보등록 방법의 상세한 설명은 다음과 같다.

- RN은 GREQ를 생성하고 GR내의 이웃한 노드들에게 브로드캐스트 한다. GREQ에는 RN ID 및 위치

정보, GR 정보, 지오멀티캐스트 ID 정보가 포함되어 있다. GR 내의 한 노드가 다른 여러 이웃 노드들로부터 GREQ를 받았을 경우, 가장 안정한 경로로부터 받은 GREQ의 라우팅 정보만을 라디오 범위 (radio range)안의 모든 노드들에게 브로드캐스팅 한다.

- GR 내에 분포하는 노드들 중 RN이 보낸 GREQ를 수신한 GM 노드들은 GREP를 생성하고, 표 1과 같이 자신이 GM인지 아닌지의 정보를 추가하여 RN에게 송신한다. GREP에는 각 GM 노드 ID 및 위치 정보, RN 노드 ID 및 위치정보가 포함되어 있다.
- 각 노드들이 GREP를 RN으로 송신할 때에는 GREQ의 라우팅 정보를 바탕으로 경로 안정성이 가장 높은 단일 경로로만 유니캐스트 한다. GREQ의 전송방식은 메쉬(mesh)구조가 되고 GREP는 트리(tree) 구조의 전송 방식이 된다.
- RN이 GREP를 성공적으로 수신하면 최종적으로 RN은 자신의 라우팅 테이블에 어떤 노드가 GM인지에 관한 정보와 자신으로부터 각 GM들까지 형성된 안정된 경로정보를 갖게 된다. 또한, RN은 주기적으로 라우팅 정보를 업데이트 하는 프로액티브(proactive) 방식을 사용하여 GM들의 이동 정보와 이 노드들 사이의 경로를 항상 유지하도록 한다.

Step 3. 경로안정성 기반 경로 탐색 및 경로 설정

먼저 소스노드는 GF(Geomulticast Forwarding region) 내에 분포하는 노드들을 경유하며 RREQ(Route Request Packet), RREP(Route Reply Packet)을 주고받으며 RN(Representative Node)까지의 경로를 탐색하며 이는 3절에서 설명할 경로 안정성 정보에 따라 이루어진다.

- 소스노드는 RREQ를 생성한 다음에 이웃한 모든 노드들에게 브로드캐스트 한다. RREQ에는 소스노드 ID, 지오멀티캐스트 ID, GR(Geomulticast Region) 및 GF 정보가 포함되어 있다.
- RREQ를 수신한 각 모바일 노드는 RREQ를 전송받은 노드(이전 노드)로부터 자신 노드까지의 링크안정성(link stability)과 소스노드로부터의 멀티 홉 경로 안정성(route stability)을 계산하여 자신의 라우팅 테이블에 저장하고 이웃 노드로 전송한다.
- 만약 여러 노드들로부터 RREQ를 수신하였을 경우, 각 경로들로부터 온 RREQ 라우팅 테이블의 경로안

정성 정보들로부터 경로 안정성 평균값(ARS : Average of Route Stability)을 구한 후 각 라우팅 테이블의 경로 안정성 값과 비교한다. 이때 라우팅 테이블의 경로 안정성 값이 ARS 이상인 경로로부터 전송받은 패킷만 다음 이웃 노드로 브로드캐스팅 하며 이 과정은 RN이 RREQ를 수신할 때 까지 계속 반복된다.

- RN은 일정시간 노드들로부터 RREQ를 수신하면 각 라우팅 테이블의 경로 안정성 정보를 비교하여 가장 안정한 경로로부터 차례로 우선순위(priority)를 준다. 그리고 RREP를 생성하여 높은 우선순위의 경로로부터 차례로 유니캐스트 한다. RREP에는 RN ID 및 위치정보, 지오멀티캐스트 ID, 소스노드 ID 정보가 포함되어 있다.
- 소스노드가 RREP를 수신하면 정상적으로 경로 형성이 이루어지고, 일정 시간 내에 RREP를 수신하지 못하면 대표노드는 차 우선순위의 경로로 RREP를 유니캐스트 한다. RN은 이 같은 과정을 우선순위 3번째까지의 경로로 RREP를 송신해보고 만약 소스노드가 모든 경로로도 RREP를 수신하지 못하면 이는 노드들 전반적인 이동이 많다고 판단하여 Step 3의 처음부터 경로를 재탐색 한다.
- 소스노드부터 RN까지의 라우팅 또한 Step 2에서처럼 RREQ는 브로드캐스트 형태의 메쉬전송, RREP는 유니캐스트 전송이 된다. 그리고 Step 3에서의 라우팅은 리액티브(reactive) 전송방식을 사용하여 경로 재형성이 필요한 경우에만 라우팅 정보를 업데이트함으로써 라우팅 유지에 불필요한 오버헤드를 줄이고자 하였다.

Step 4. 설정된 안정된 경로를 통한 데이터 전송

Step 2에서 RN(Representative Node)은 자신의 라우팅 테이블에 GM(Geomulticast Member node)들의 정보를 가지고, GM들까지의 안정된 경로가 형성되었다. 그리고 Step 3에서 소스노드부터 RN까지 안정된 경로 또한 설정되었다. 따라서 소스노드는 형성된 안정된 경로를 경유하여 최종 목적지인 GM들까지 데이터를 멀티캐스트로 전송한다.

3. 이론적 분석: 지오멀티캐스트 경로 안정성

본 연구에서 링크 안정성과 경로 안정성을 정량적으로 측정하기 위한 이론적 분석은 다음과 같다. 먼저 소스노드에서 RN(Representative Node)까지 멀티 홉 경

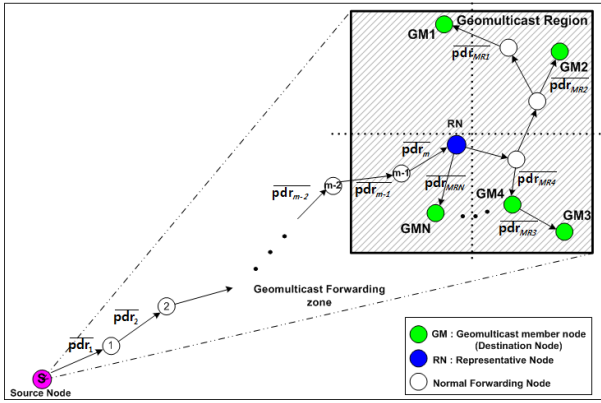


그림 5. 경로안정성 측정
Fig. 5. Calculation of route stability.

로 안정성은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다^[11].

$$\overline{pdr}_m = \sum_{m=1}^{\left\lceil \frac{L}{R} \right\rceil} \left\{ \prod_{i=1}^m \overline{pdr}_i \cdot P_m(M) \right\} \quad (2)$$

여기에서, L 은 소스노드로부터 대표노드까지 최대 거리, R 은 라디오 범위, $\left\lceil \frac{L}{R} \right\rceil$ 은 $\frac{L}{R}$ 을 올림한 정수, m 은 소스노드로부터 지오멀티캐스트 멤버노드까지의 최대 홉 카운트, \overline{pdr}_i 는 두 노드 사이 링크 생존기간 (Link lifetime)의 평균 pdf(probability density function), $P_M(m)$ 은 한 링크에서 멀티 홉 카운트의 pmf(probability mass function)를 나타낸다.

위 식 (2)를 활용하여 RN부터 GM(Geomulticast Member node)들까지의 경로 안정성을 구해보면 다음 식 (3)과 같다.

$$\overline{pdr}_{MR_k} = \sum_{k=1}^{\left\lceil \frac{\gamma\sqrt{2}}{R} \right\rceil} \left\{ \prod_{i=1}^k \overline{pdr}_i \cdot P_K(k) \right\} \quad (k=1,2,\dots,N) \quad (3)$$

여기에서, R 은 라디오 범위이고, N 은 지오멀티캐스트 멤버노드의 수이며, $P_K(k)$ 는 대표노드로부터 지오멀티캐스트 멤버노드들까지 홉 카운트의 pmf이고, γ 는 지오멀티캐스트 영역 한 변의 길이를 나타낸다. 위 식 (2)와 (3)으로부터 소스노드와 각 GM들까지 경로 전체 안정성을 구하면 아래 식 (4)와 같다.

$$PDR_{GM} = \overline{pdr}_m \times \frac{\overline{pdr}_{MR1} + \overline{pdr}_{MR2} + \dots + \overline{pdr}_{MRN}}{N} \quad (4)$$

여기에서, \overline{pdr}_m 은 소스노드로부터 대표노드까지의 평균 경로 안정성, \overline{pdr}_{MR_k} 은 대표노드로부터 각 지오멀티캐

스트 멤버노드까지의 평균경로 안정성을 나타낸다.

따라서 제안된 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜의 전체 경로 안정성은 식 (4)에서 나타낸 PDR_{GM} 이 된다.

IV. 성능평가

1. 시뮬레이션 환경

본 시뮬레이션에서 각 노드들은 GPS 를 사용하여 각 노드들의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. 표 2는 시뮬레이션 환경을 보여주고 있다.

표 2. 시뮬레이션 환경
Table 2. Simulation Environment.

Simulation Tool	OPNET (Optimized Network Engineering Tool)
Network Size	5 km × 5 km
Geomulticast Region	2 km × 2 km
Number of Mobile Nodes in Network Area	500
Number of Mobile Nodes in Geomulticast Region	50, 100, 150
Number of Geomulticast Nodes	5, 10, 15
Maximum Velocity of Mobile Nodes	20, 40, 60
Radio Range	250m
	0~2π
Mobility Model	RWP(Random WayPoint)

2. 성능측정 파라미터

- **PDR(Packet Delivery Ratio)** : 소스노드가 보낸 패킷 수와 목적지 노드가 받은 패킷 수의 비율을 나타낸다.
- **Scalability** : 지오멀티캐스트 멤버 노드 수 증가에 따른 PDR
- **Control Overhead** : 경로를 형성하기 위해 노드 당 주고 받은 컨트롤 패킷들의 평균
- **Delay** : 경로를 형성하기까지 걸린 지연 시간

3. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 시뮬레이션 결과를 그래프 상에서 확인해보고 결과에 대한 분석을 기술한다. 먼저 아래 그림 6과 그림 7은 모바일 노드들의 속력에 따른 경로 안정성과 PDR을 시뮬레이션 결과와 이론적 분석으로 각각 나타내었다. 그림 6과 그림 7의 결과에서 모바일 노드

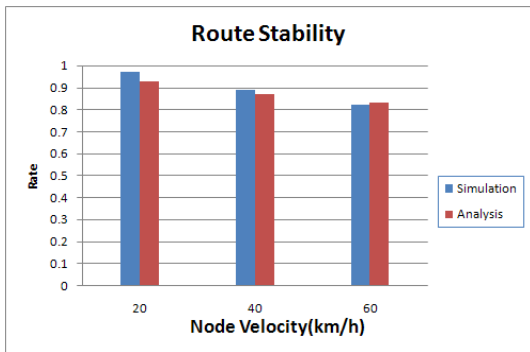


그림 6. 모바일 노드들의 속력에 따른 경로 안정성
Fig. 6. Route stability as a function of mobile nodes' velocity.

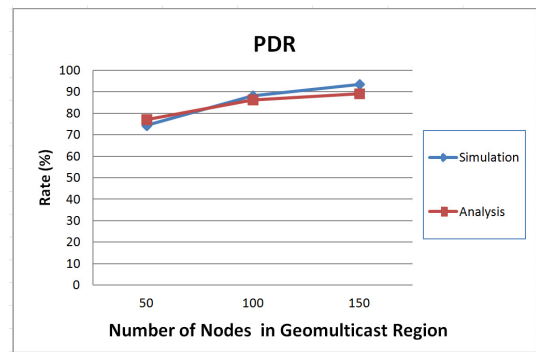


그림 9. 지오멀티캐스트 영역 내의 노드수에 따른 PDR (노드들의 최대 이동속력 = 20km/h)
Fig. 9. PDR as a function of number of nodes in geomulticast region (velocity of nodes' max = 20km/h).

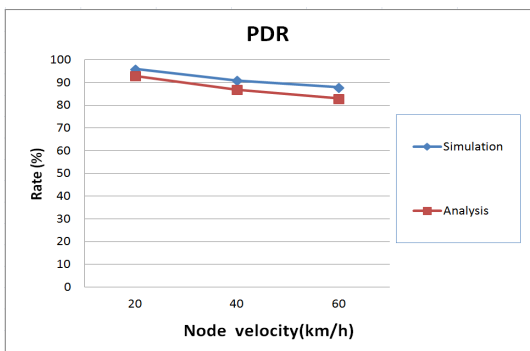


그림 7. 모바일 노드들의 속력에 따른 PDR
Fig. 7. PDR as a function of mobile nodes' velocity.

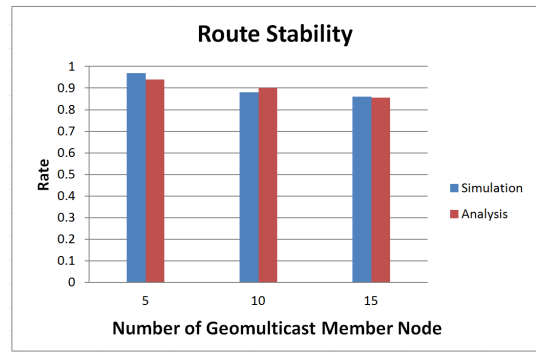


그림 10. 지오멀티캐스트 영역 내의 지오멀티캐스트 멤버 노드 수에 따른 PDR (노드들의 최대 이동속력 = 20km/h)
Fig. 10. PDR as a function of number of geomulticast member nodes in geomulticast region(velocity of nodes' max = 20km/h).

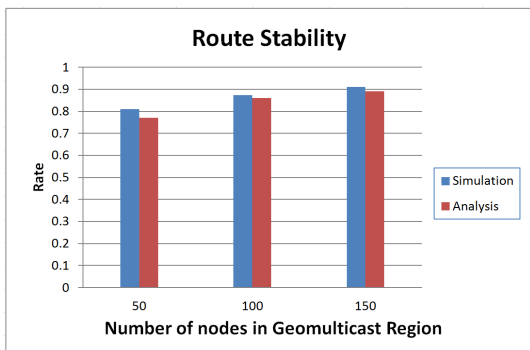


그림 8. 지오멀티캐스트 영역 내의 노드수에 따른 경로 안정성 (노드들의 최대 이동속력 = 20km/h)
Fig. 8. Route stability as a function of number of nodes in geomulticast region (velocity of nodes' max = 20km/h).

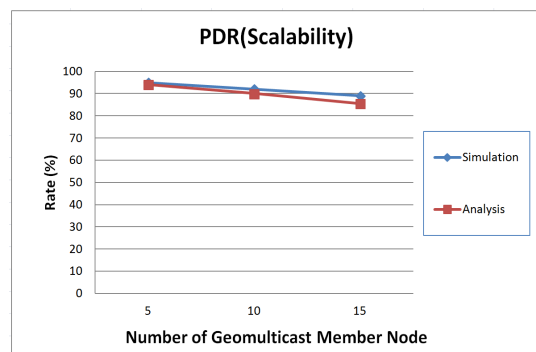


그림 11. 지오멀티캐스트 영역 내의 지오멀티캐스트 멤버 노드 수에 따른 PDR (노드들의 최대 이동속력 = 20km/h)
Fig. 11. PDR as a function of number of geomulticast member nodes in geomulticast region(velocity of nodes' max = 20km/h).

들의 최대 속력이 증가할수록 경로 안정성이 감소함을 볼 수 있는데 이로 인해 네트워크가 불안정 해지므로 데이터 전송 효율 또한 감소함을 알 수 있다. 또한 이론적인 분석결과와 시뮬레이션 결과가 유사한 패턴을 가짐을 알 수 있다.

그림 8과 그림 9는 노드들의 최대 속력을 20km/h로 고정시켰을 때 지오멀티캐스트 영역 안의 노드 수에 따른 경로 안정성과 PDR을 각각 나타낸다. 지오멀티캐스

트 멤버 노드들은 지오멀티캐스트 영역 안에만 존재하므로 이 영역 내에서 노드들의 밀집도에 따른 경로 안

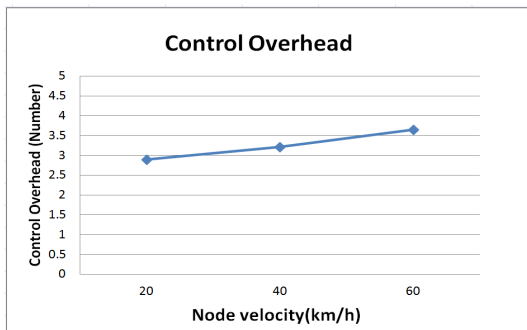
정성과 PDR을 측정해 본 결과 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 지오멀티캐스트 영역 안의 노드들이 많이 분포되어 있을수록 경로 안정성과 PDR 모두 증가함을 볼 수 있는데 이는 이 영역에 포함되는 노드들이 밀집되어 있을수록 경로 단절의 위험이 감소하고 여러 경로 중 더 안전한 경로를 탐색할 수 있는 가능성이 높아지기 때문이다. 이 결과 역시 이론적인 분석결과와 시뮬레이션 결과가 유사한 패턴을 가짐을 알 수 있다.

그림 10과 그림 11는 지오멀티캐스트 영역 내의 지오멀티캐스트 멤버 노드 수에 따른 경로 안정성과 PDR을 각각 보여주고 있다. 여기서 데이터를 수신 받고자 하는 멀티캐스트 멤버 노드들의 수에 따른 PDR을 특별히 확장성(scalability)이라 하는데 멀티캐스트 멤버 노드들의 수가 많을 때에도 데이터 패킷 전송 효율이 높게 잘 유지된다면 확장성이 좋다고 말할 수 있다. 본 논문에서는 데이터 패킷을 전달해야 하는 지오멀티캐스트 멤버 노드 수가 많을수록 PDR이 조금 감소하지만 거의 일정함을 알 수 있다. 그 이유는 지오멀티캐스트 영역 내에서 경로 안정성 기반 라우팅과 멀티캐스트 개념을 사용하여 데이터 패킷을 전달하기

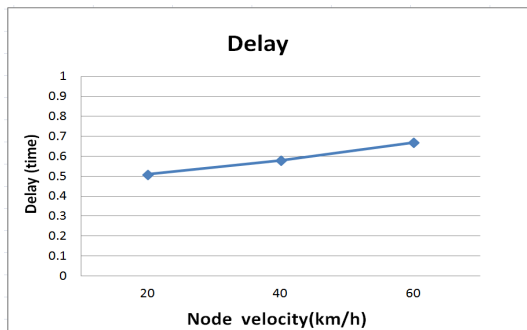
때문이다. 하지만 목적지 노드가 많을수록 안정된 경로만을 선택하기 어렵기 때문에 패킷 전달 효율이 약간 감소함을 알 수 있다.

그림 12의 (a)와 (b)는 은 모바일 노드들의 최대 속력에 따른 라우팅 경로 설정을 위한 컨트롤 오버헤드(control overhead)와 지연시간(delay)를 보여주고 있다. 모바일 노드들의 속력이 증가 할수록 네트워크는 더 역동적인 상황이 되므로 안정된 경로를 선택하기 위한 컨트롤 패킷을 주고받는 횟수는 증가하고 경로 설정에 걸리는 지연시간도 함께 증가함을 알 수 있다.

그림 13의 (a)와 (b)는 각각 GR내의 노드 수 변화에 따른 라우팅 경로 설정을 위한 컨트롤 오버헤드와 시간 지연을 나타내고 있다. GR 내의 노드 수가 증가할수록 다양한 경로를 선택할 수 있는 기회와 보다 안정된 경로를 탐색할 수 있는 기회가 증가하지만, 많은 노드들과 경로 형성에 필요한 컨트롤 시그널들을 주고받아야 하므로 평균 컨트롤 오버헤드는 증가하는 양상을 보였다. 시간지연 또한 GR안의 노드들이 많아질수록 경로를 형성하기 위해 주고받는 컨트롤 시그널이 증가함에 따라 함께 증가함을 보였다.

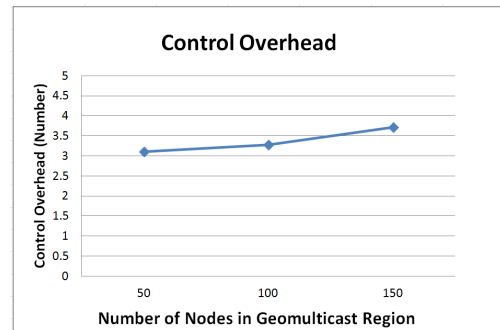


(a)

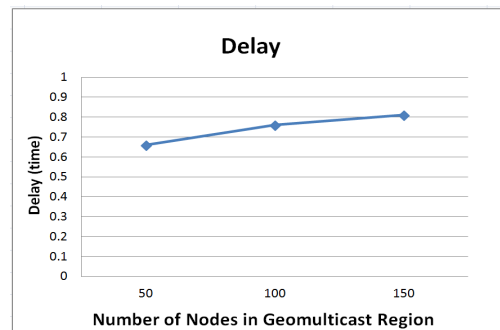


(b)

그림 12. 모바일 노드들의 속력에 따른 컨트롤 오버헤드와 지연시간
Fig. 12. Control overhead and delay as a function of mobile nodes' velocity.



(a)



(b)

그림 13. 지오멀티캐스트 영역 내 모바일 노드들의 개수에 따른 컨트롤 오버헤드와 지연시간
Fig. 13. Control overhead and Delay as a function of number of nodes in Geomulticast region.

IV. 결 론

본 논문은 모바일 애드 혹 무선 네트워크 환경에서 지오캐스트 개념과 멀티캐스트 개념을 동시에 사용하여 어떤 지역에 있는 특정 노드들에게만 데이터를 전송할 수 있고, 모바일 노드들의 이동성 정보에 따라 더 안정한 경로를 선택할 수 있는 경로 안정성 기반의 지오멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 본 연구에서는 노드들의 이동성을 최우선으로 고려하여 보다 안정된 경로를 선택할 수 있도록 하였고, 지오멀티캐스트 영역까지의 라우팅 및 데이터 전송 시 지오멀티캐스트 포워딩 영역 안의 노드들만을 사용하여 컨트롤 신호, 지연, 전력 낭비 등을 줄일 수 있다. 본 논문의 성능평가는 OPNET을 통해 이루어졌으며 시뮬레이션 결과는 이론적으로 얻은 결과와 거의 비슷한 형태로 나타남을 확인할 수 있었다. 그리고 지오멀티캐스트에 참여하는 노드들의 수가 증가 하여도 경로 안정성과 PDR을 효과적으로 지원함을 알 수 있다. 그러나 노드들의 이동성이 증가함에 따라 즉, 네트워크 환경이 더 역동적으로 변함에 따라 경로 안정성 및 PDR이 감소하였고 컨트롤 오버헤드와 지연시간 또한 길어짐을 알 수 있었다.

REFERENCES

[1] Corson, Scott S., and Macker J., "Mobile Ad-hoc Networking (MANET) : Routing performance Issues and Evaluation Considerations," IETF RFC 2501, January 1999.

[2] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," Proc. of IEEE WMCSA 1999, pp. 90-100, February 1999.

[3] David B. Johnson and David A. Maltz. "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," in mobile computing, edited by Tomasz Imielinkski and Hank Korth, chapter 5, pp. 153-181, Kluwer Academic Publishers, 1996.

[4] Christian Maihofer, "A Survey of Geocast Routing Protocols," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol 6, no 2, pp 32-42, Second Quarter 2004.

[5] Thiagaraja, Mukesh Singhal, D. Panda and P.Sadayappan, "A reliable Multicast Algorithm for Mobile Ad hoc Networks," Proc. of IEEE 22nd International Conference on Distributed Computing Systems, pp.563-570, 2002.

[6] Yoh Shiraish, Osamu Takahashi and Ryo Miki, "A geocast-based Multicast Method for

Continuous Information Delivery in MANET," Proc. of IEEE 2010 International Conference in P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, pp. 511-516, 2010.

[7] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter stateless routing for wireless networks," Proc. of MobiCom 2000, pp. 243-254, August 2000.

[8] Zhiyong Zhang, Zhiping Jia and Hui Xia, "Link Stability Evaluation and Stability Based Multicast Routing Protocol in Mobile Ad hoc Networks," Proc. of 2012 IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications, pp.1570-1577, 2012.

[9] Sung Soon Cho and John P. Hayes, "Impact of Mobility on Connection Stability in Ad Hoc Networks," Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 1650 - 1656 vol. 3, March 2005.

[10] Xi Hu, Jinkuan Wang, Cuirong Wang, "Link Stability Prediction and its Application to Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of PEITS2009, pp. 141 - 144, December 2009.

[11] Le The Dung and Beongku An, "A Modeling Framework for Supporting and Evaluation Performance of Multi-hop Paths in Mobile Ad-hoc Wireless Networks," Computers and Mathematics with Applications, vol. 64, no. 5, pp. 1197-1205, Elsevier, September 2012.

저 자 소 개



하 수 형(학생회원)
2011년 2월 홍익대학교 컴퓨터정
보통신 공학과 졸업(BS)
2013년 2월 홍익대학교 대학원 전
자전산공학과 석사과정
졸업 (MS)

<주관심분야: Mobile Ad-hoc Networks, Sensor
Networks, Wireless Communications, Wireless
Routing Protocols, Geocast Routing>



리 데 덩(학생회원)
2008년 10월 Ho Chi Minh
City-University of
Technology(BS)
2012년 8월 홍익대학교 대학원
전자전산공학과 (MS)
2012년 현재 홍익대학교 대학원
전자전산공학과 박사과정
재학.

<주관심분야: Mobile Ad-hoc Networks, Multicast
Routings, Cooperative Communications, Network
Coding>



안 병 구(평생회원)
1988년 경북대학교 전자공학과
(BS)
1996년 (미)Polytechnic
University, Dept. of
Computer and Electrical
Eng., USA (MS).

2002년 (미)New Jersey Institute of Technology
(NJIT), Dept. of Computer and
Electrical Eng., USA. (Ph.D)

1989년~1994년 포항산업과학기술연구원(RIST),
선임연구원

2003년~현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
교수

2012년 대한전자공학회 컴퓨터소사이어티 회장
<주관심분야: Wireless Networks, Ad-hoc &
Sensor Networks, Multicast Routing, QoS
Routing, Cross-Layer Technology, Cooperative
Communication, Network Coding, VLC
Bioinformatics, Content-Centric Networks,
Network Security>