

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.6.257>

JIWIT 2012-6-32

모바일 Ad-hoc 무선 네트워크에서 경로 안정성 기반 방향성 안내 라우팅 프로토콜

A Route Stability-based Direction Guided Routing Protocol in Mobile Ad-hoc Wireless Networks

하수형*, 리데덩*, 안병구**

Suehyung Ha, Le The Dung, Beongku An

요약 본 논문에서는 링크 안정성 기반 방향성 안내 라우팅 프로토콜(RSDGR)을 제안한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 주요한 특징 및 기여도는 다음과 같다. 첫째, 노드들의 이동성 정보를 이용하여 두 노드 간 링크 안정성과 멀티 홉 간의 루트 안정성을 정량적으로 계산하고, 소스노드와 목적지 노드 사이에서 가장 안정된 경로를 설정한다. 둘째, 소스노드와 목적지 노드 사이의 경로 안정성에 따라서 경로형성을 위한 방향성 안내 영역을 동적으로 설정하여 최적화한다. 셋째, 두 노드 간 링크 안정성과 멀티 홉 간의 경로 안정성을 정량적으로 계산하기 위한 이론적인 모델을 제시한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가는 OPNET(Optimized Network Engineering Tool)을 이용한 시뮬레이션과 이론적인 분석을 통하여 이루어졌다. 성능평가 결과 경로 안정성에 따른 PDR은 시뮬레이션과 이론적인 분석에서 서로 비슷한 양상을 보였다. 또한 모바일 노드들의 이동속도가 빠를수록, 소스노드의 방향성 안내 영역의 크기는 작을수록 경로 안정성과 그에 따른 PDR은 감소하는 반면 Delay와 Control 오버헤드는 증가함을 확인할 수 있었다.

Abstract In this paper, we propose a Route Stability-based Direction Guided Routing protocol(RSDGR) in mobile ad-hoc wireless networks. The main features and contributions of the proposed routing protocol are as follows. First, it can calculate link stability between two nodes as well as route stability of multi hop quantitatively by using nodes' mobility. And this protocol can establish the most stable path between a source node and a destination node. Second, according to the route stability between a source node and a destination node, it can control and optimize the direction guided region dynamically for route setup. Third, we suggest theoretical model for quantitative calculation of link stability between two nodes and route stability of multi hop path. The performance evaluation of the proposed routing protocol is performed by simulation using OPNET(Optimized Network Engineering Tool) and theoretical analysis. The results of performance evaluation show that the patterns of PDR are similar in simulation and analysis according to route stability. The faster mobile nodes' velocity and the smaller source node's direct guided region, the lower route stability and PDR and the higher delay and control overhead related to this.

Key Words : Route Stability, Mobile Ad-hoc Wireless Network, Routing, Geocast, Location Based Service(LBS)

*준회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과

**중신회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과

접수일자 : 2012년 9월 24일, 수정완료 : 2012년 11월 20일

계재확정일자 : 2012년 12월 14일

Received: 24 September 2012 / Revised: 20 November 2012 /

Accepted: 14 December 2012

**Corresponding Author: beongku@hongik.ac.kr

Dept. of Computer & Information Communications Engineering,
Hongik University, Korea

I. 서론

2000년 중·후반부터 유비쿼터스에 대한 관심이 높아지면서 더불어 무선 네트워크, 모바일 네트워크, 애드 혹 네트워크에 관한 연구도 활발히 이루어져 왔다. 먼저 이동 애드 혹 네트워크(MANET : Mobile Ad-hoc Networks)란 고정된 하부구조나 AP(Access Point) 없이 모바일 단말끼리 일시적으로 네트워크를 형성하여 서로 통신할 수 있는 네트워크 환경을 말한다^[1-2]. 이런 네트워크 환경은 전쟁이나 재난 및 응급 상황, 통신 시설이 제대로 갖추어지지 않은 오지에서의 통신 등에 유용하게 활용될 수 있다.

이와 같은 네트워크 환경에서는 모든 모바일 노드들이 데이터를 송수신 하는 단말기이며 동시에 다른 노드들에게 전달하는 라우터의 역할까지 동시에 수행하게 된다. 이 모바일 노드들은 핸드폰, 노트북, 무전기 등 여러 가지 기기들이 해당될 수 있으며 이들이 센서 기능을 탑재한 환경이라면 모바일 애드 혹 센서 네트워크가 된다. 센서 네트워크의 경우, 각 센서들의 배터리 용량이 제한적이므로 이를 해결할 수 있는 방안이 가장 대두되고 있다. 또한 이는 사람이 직접 데이터를 수집하기 어려운 광범위한 지역의 생태계나 데이터 수집에도 이미 많이 응용되고 있다. 이 외에도 전시 상황에서 모바일 기기들의 보안과 관련된 문제의 해결, 재난 및 응급 상황에서 바이오 기술을 융합한 바이오 애드 혹 네트워크에 관한 연구도 많이 이루어지고 있다.

이런 여러 가지 연구가 많이 이루어지고 있는 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 본 연구는 각 노드들의 이동성에 가장 중점을 두고 있다. 따라서 노드들의 이동성에 따라 가장 안전한 경로를 선택하여 데이터의 전송률을 높일 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문은 위치 기반서비스(GPS : Global Positioning System)를 바탕으로 하여 소스노드와 목적지 노드는 각자의 위치를 실시간으로 주고 받아 서로 알고 있다는 가정 하에 진행 되었다. 이 경우 소스노드는 목적지 노드의 위치 정보를 미리 알고 있기 때문에 방향성 안내 서비스를 사용하여 경로 형성에 불필요한 노드로의 패킷 전달을 줄여 컨트롤 오버헤드와 경로형성에 걸리는 지연 시간을 줄이고자 하였다.

모든 노드들이 이동 가능한 네트워크 환경에서 각 모바일 노드들은 라우터 역할까지 동시에 수행하므로 데이터 전송 효율을 향상시키기 위해서는 이에 따른 경로 안

정성이 매우 중요하다. 본 논문에서는 데이터 전송 시 경로 안정성을 최우선으로 고려하였으며, 노드들의 랜덤 이동성을 이용하여 각 노드 사이의 링크 안정성(Link Stability)^[3-5]과 멀티 홉 간의 경로 안정성(Route Stability)을 정량적으로 측정 하고, 가장 안정성이 높은 경로를 라우팅 경로로 선택 하도록 한다. 또한 경로의 안정성에 따라 다음 경로 선택 시 방향성 안내 영역(Direction Guided Region)의 범위를 좀 더 효율적으로 설정할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 관련 연구에 관해 기술하고, III장에서는 링크 안정성과 경로 안정성을 정량적으로 측정하기 위한 모델 및 제안된 라우팅 프로토콜을 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통한 결과 분석 및 성능평가에 대해 기술하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺으면서 향후 연구방향을 제시한다.

II. 관련 연구

논문^[1-2]에서는 모바일 애드 혹 무선 네트워크 환경에 대한 전반적인 설명과 이러한 환경이 다른 일반적인 네트워크나 유선 환경과 비교 했을 때 특이한 점 및 특징을 나타내고 있다. 또한 이런 특이점들이 라우팅을 포함하는 네트워크 프로토콜에서 어떻게 작용하는지에 대한 성능평가를 하고 있다. 먼저 모바일 애드 혹 무선 네트워크 환경에서 애드 혹 이란 액세스 포인트나 다른 고정된 하부구조 없이 모바일 노드들끼리 일시적으로 네트워크를 형성하여 서로 통신 할 수 있는 환경을 말하며, 이는 비상 시 또는 긴급 상황에서 유용하게 활용될 수 있다. 여기서는 모바일 애드혹 네트워크에 관해 전반적으로 잘 설명하고 있지만 이러한 네트워크 환경이 비교했던 다른 환경과의 단점을 극복할 수 있는 자세한 방안은 제안되지 않았다.

논문^[3]에서는 경로 안정성을 측정하기 위해 수학적 으로 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^[4]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 가까워 지는지 아니면 반대로 멀어지는지를 분석하여 링크 생존기간을 구하는 모델을 제시했다.

논문^[5]에서는 모바일 노드들의 이동성에 따라 소스 노드부터 목적지노드까지 멀티 홉 간의 평균 패킷전달효율(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 여럿 제시가 되었지만 이를 라우팅 프로토콜에 직접 적용하여 활용할 수 있는 방안이 제시되지 못하였다는 점이 앞으로 더 연구해 나아가야 하는 방향임을 알 수 있다.

논문^[6]에서는 본 연구에서 사용한 이동성 모델인 RWP(Random Waypoint) 모델에 관련하여 자세하게 나타내었다. 먼저 RWP 모델이란 각 모바일 노드들의 이동성을 나타낸 모델로, V_{min} 와 V_{max} 사이에서 랜덤하게 선택된 속력으로 랜덤한 방향($0\pi \sim 2\pi$)으로 랜덤한 시간 동안 이동 후 랜덤한 정지시간(pause time)을 가지고, 이 이동은 이와 같은 사이클로 되풀이된다. 특히 이 연구에서는 애드 혹 무선 네트워크 환경에서 라우팅 시에 RWP 모델이 어떠한 영향을 미치는지에 대해 나타내었다. 또한 이 RWP 모델을 확률적 분포로 나타내고 이를 분석했다.

논문^[7]에서는 지오캐스팅(geocasting)에서 사용되는 여러 가지 라우팅 프로토콜들에 관하여 설명하고 이를 특정 기준에 따라 분류해 놓은 연구논문이다. 먼저 지오캐스팅은 멀티캐스팅의 특별한 한 종류로, 어떤 특정 지역의 모든 노드들에게 데이터를 전송하는 통신 방법이다. 소스 노드에서 목적지 노드로 멀티 홉으로 데이터를 전송할 때 전달영역(forwarding zone)을 설정하여 그 영역의 노드들을 중간 노드로 하여 데이터를 전송하는 방식이다.

III. 제안된 라우팅 프로토콜

1. 기본 개념

본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜의 기본 개념은

그림 1의 (a) ~ (c)와 같이 나타낼 수 있고 이를 간단히 설명하면 다음과 같다.

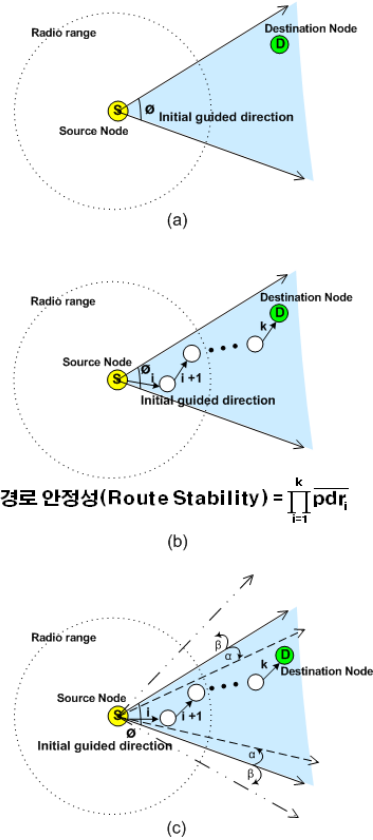


그림 1. 제안된 라우팅 프로토콜의 기본 개념
 Fig 1. The basic concept of proposed routing protocol

첫째 : 그림 1의 (a)와 같이 소스노드와 목적지 노드는 GPS 시스템을 사용하여 서로의 위치를 알고 있으므로 소스노드는 목적지 노드의 위치를 포함하는 임의의 초기 방향성 안내영역(Initial guided direction : ϕ)을 설정한다.

둘째 : 소스노드는 RREQ Message(Route Request Message)를 생성하여 전송하고 이때 RREQ Message가 한 노드씩 거쳐갈 때 마다 각 중간 노드는 소스노드로부터의 경로 안정성을 그림 1의 (b)와 같은 방법으로 계산하여 정량적인 경로 안정성을 구한다. 이 수식에서 \overline{pdr}_i 는 두 노드 사이, 즉 한 링크에서의 평균 pdr 을 말하고, 한 멀티 홉 경로의 안정성은 각 링크 안정성의 곱으로 나타낼 수 있다.

셋째 : 측정된 경로 안정성을 바탕으로 2 장에서 기술한 라우팅 프로토콜의 알고리즘에 따라 경로 설정이 이루어지고, 설정된 경로를 이용하여 데이터를 전송한다.

넷째 : 모든 모바일 노드들이 계속 움직이기 때문에 한번 설정한 최적 경로를 계속 사용할 수 없다. 따라서 어느 정도 노드들의 이동이 있을 후 또 다른 경로의 설정이 필요한데 이 때, 다음 경로 설정 시 그림 1의 (c)와 같이 이미 설정했던 경로의 안정성 정보를 참고하여 동적인 방향성 안내 영역(Φ)의 범위 영역을 $-\alpha$ 또는 $+\beta$ 로 재조정 할 수 있다^[8].

2. 제안된 라우팅 프로토콜 : RSDGR

그림 2 는 제안된 라우팅 프로토콜의 알고리즘 및 경로 설정하는 방법을 나타낸다.

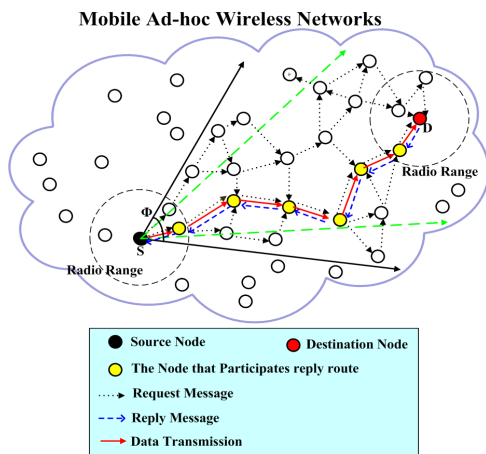


그림 2. 제안된 라우팅 프로토콜의 동작과정
Fig 2. movement processing of proposed routing protocol

제안된 라우팅 프로토콜의 동작과정을 설명하면 다음과 같다.

Step 1. 먼저 소스노드와 목적지 노드는 GPS 시스템을 사용하여 각각의 위치 정보를 알고 있기 때문에 소스노드는 다른 노드들의 현재 이동 속도를 고려하여 초기 방향성 영역(Φ)를 설정한다.

Step 2. 소스노드는 표 1.과 같은 Route_Stability_Table에 RREQ Message(Route Request Message)를 생성하여 Radio range 안에 있는 다른 이웃 노드들에게 브로드캐스팅 한다.

표 1. Request_Stability_Table

Table 1. Request_Stability_Table

| 소스 노드 ID | 현재 노드 ID | 이전 노드 ID | 이동성 정보 | 링크 안정성 | 경로 안정성 | 경로 안정성 평균 |
|----------|----------|----------|--------|--------|--------|-----------|
|----------|----------|----------|--------|--------|--------|-----------|

- ▶ 현재노드 ID : RREQ Message를 받은 노드의 ID
- ▶ 이전노드 ID : RREQ Message를 전달해준 바로 한 홉 이전 노드의 ID
- ▶ 이동성 정보 : 노드의 위치, 속도(방향, 이동속력)
- ▶ 링크 안정성 : 이전 노드와 현재노드 사이(한 홉)에서 계산된 정량적인 값
- ▶ 경로 안정성 : 소스노드부터 현재노드(멀티 홉)까지 계산된 정량적인 값
- ▶ 경로 안정성 평균 : 여러 이웃노드들로부터 RREQ Message를 받았을 경우, 각 경로 안정성 값들의 평균

Step 3. RREQ Message를 수신한 노드들은 자신이 현재노드가 되어 표 1 의 테이블에 자신의 정보들을 갱신하고 이웃 노드들에게 브로드캐스팅 하며 이는 목적지 노드가 RREQ Message를 수신할 때 까지 반복한다. 만약 RREQ Message를 수신한 노드가 여러 이웃 노드들로부터 이 메시지를 받을 경우 표 1 의 6번째 경로 안정성 정보들을 이용해 평균을 구하고 그 값을 Stability_Table의 마지막에 저장한다. 그리고 각 경로로부터의 경로 안정성 정보와 마지막 평균 값을 비교해 평균 이하의 경로로 들어온 RREQ Message는 다음 이웃 노드로의 브로드캐스트에 참여하지 않는다.

Step 4. 목적지 노드가 RREQ Message를 수신하면 목적지 노드는 일정 시간 기다렸다가 가장 안정된 경로로부터 온 RREQ Message부터 5번째까지를 순차적으로 정렬하고 그 이후 들어온 RREQ Message는 고려하지 않는다. 목적지 노드는 RREP Message를 생성하고 정렬에서 가장 우선순위가 높은 안정된 경로로부터 차례로 RREP Message를 유니캐스트 하게 된다. 이 경우 소스노드가 RREP Message를 받으면 경로 형성이 성공적으로 이루어지고, 만약 일정 시간동안 소스노드가 RREP Message를 받지 못한다면 중간 노드들의 이동이 많아 경로 형성에 부적절한 것으로 판단하여 다음 우선순위의 경로로 RREP Message를 재전송한다. 또한 3번 우선순위까지의 경로 사용 후에도 소스노드가 RREP Message를 수신하지 못한다면 이는 전반적인 노드들의 이동이 너무 빈번함으로 판단하고 소스노드는 알고리즘의 step 1. RREQ Message전송부터 다시 경로 형성을 시도한다.

Step 5. 소스노드와 목적지 노드가 RREQ Message와 RREP Message를 성공적으로 주고 받아 경로 형성이 제

대로 이루어진 경우 형성된 경로를 사용하여 데이터 전송이 이루어진다.

Step 6. 모든 모바일 노드들이 계속 움직이는 상황이므로 기존 경로 설정 및 데이터 전송 후 경로 재설정을 할때는 이미 설정 후 사용한 경로의 안정성에 따라 소스노드의 초기 방향성 안내 영역(Φ)의 범위를 재설정한다. 이 때, 확률로 구한 경로 안정성을 식 (1)와 같이 Φ 의 함수로 정규분포함수(uniform function)로 매핑하여 더 안정한 경로일수록 작은 Φ 값을 이용한다.

$$\Phi = f\left(\prod_{i=1}^k \overline{pdr}_i\right) = f(pdr_k) \quad (\Phi_0 < \Phi < \Phi_k) \quad (1)$$

$$= \Phi_0 + \Phi_1(1 - pdr_k)$$

where $\Phi_k = \Phi_0 + \Phi_1 = \frac{\pi}{2}$, $\Phi_0 = \frac{\pi}{6}$

3. 이론적 분석

본 논문에서는 아래의 그림 3 과 같이 RWP(Random Waypoint) 이동성 모델을 바탕으로 한 모바일 노드들의 멀티 홉 경로를 고려한다. 그림 3 은 모바일 애드 혹 무선 네트워크 환경에서 두 모바일 노드를 소스노드(S)와 목적지 노드(D)로 지정하고, 소스노드로부터 목적지 노드 사이의 멀티 홉 경로를 나타낸다.

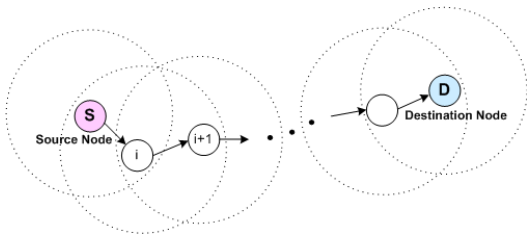


그림 3. 소스노드와 목적지 노드 사이의 멀티 홉 경로
Fig 3. Multihop path between Source node and Destination node

각 모바일 노드들의 이동 및 노드들 사이 형성되는 링크는 서로 독립적이다. 이와 같이 형성된 멀티 홉 경로에서 소스노드와 목적지 노드 사이의 전체 경로의 안정성 [5], 즉 PDR(Packet Delivery Ratio)은 경로에 속해있는 각 링크의 개별적 PDR들의 곱과 같고 이는 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$pdr_k = \overline{pdr}_1 \times \overline{pdr}_2 \times \dots \times \overline{pdr}_{k-1} \times \overline{pdr}_k = \prod_{i=1}^k \overline{pdr}_i \quad (2)$$

위 식에서 pdr_k 는 k 홉 경로의 pdr 을 나타내고, \overline{pdr}_i 은 i 노드와 $i+1$ 노드 사이의 평균 pdr 을 나타낸다.

두 모바일 노드 사이 한 홉의 pdr 을 얻기 위해서는 링크 생존 기간(link duration)을 알아야 하고, 이를 구하기 위해서는 그림 4 예서와 같이 먼저 두 노드 사이의 상대 이동성을 구해야 한다. 여기서 언급하는 상대이동성이란, 이웃노드들의 속도 및 방향성 정보를 포함하는 벡터 값이다. 일반적인 RWP 모델에서, 모든 노드들은 각각 독립되어 있으며 서로 다른 이동성을 가지고 각기 다른 속도로 이동한다. 이 경우 서로의 상대 이동성을 구하기 위해서 한 노드(N_2)를 고정된 것 처럼 생각하고 N_2 노드에서 다른 이웃노드(N_1)의 이동을 살펴보면 N_1 은 그림 4 처럼 \vec{v}_{12} 로 나타낼 수 있다. 또한 이 상대 속도 \vec{v}_{12} 는 벡터의 기본 정리에 따라 $\vec{v}_{12} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$ 로 나타낼 수 있고 여기에서 두 노드의 상대 속력은 아래 식 (3)를 사용해서 구할 수 있다.

$$v_{12} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2\cos(\Pi - \alpha)} \quad (3)$$

만약 본 논문에서 시뮬레이션 한 환경과 같이 모든 노드들의 속력이 같다($v_1 = v_2 = v_{fixed}$)고 가정할 경우 위의 식(3)에서의 상대속력은 아래 식 (4)과 같이 더 간단하게 나타낼 수 있다.

$$v_{12} = \sqrt{2v_{fixed}^2 - 2v_{fixed}^2\cos\alpha} = 2v_{fixed}\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (4)$$

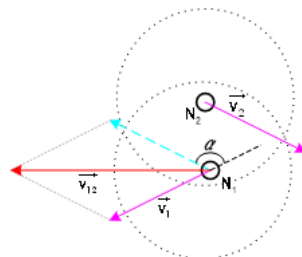


그림 4. 두 모바일 노드 사이의 상대속도를 측정하기 위한 모델
Fig 4. The model for measuring relative velocity between two mobile nodes

이제 그림 5 에서 이동 거리(D_i)로부터 링크 생존 기간을 측정하기 위한 상대 속력을 구할 수 있다. 여기서 표기한 D_i 는 한 노드(N_i)가 다른 이웃 노드(N_0)의 라디오 범위(radio range) 안에서 이동한 거리를 나타내며, 다음 식 (5)와 같이 계산 될 수 있다.

$$D_i = \sqrt{R^2 - d_i^2 \sin^2(\Pi - \theta_i)} + d_i \cos(\Pi - \theta_i) \quad (5)$$

또한, 링크 생존 기간(t_{link})는 한 노드(N_0)에서 보았을 때 직선 이동하는 이웃 노드(N_i)가 자신의 라디오 범위를 벗어나기까지 시간으로 이는 위의 D_i 에 걸리는 시간과 같으며 그림 5 에서는 붉은 점선으로 표시된 선분만큼 이동하는데 걸리는 시간을 나타낸다.

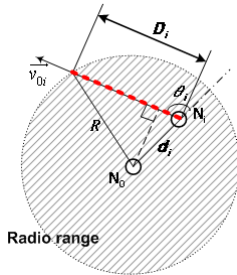


그림 5. 두 모바일 노드 사이의 링크 생존 기간을 측정하기 위한 모델
Fig 5. The model for measuring link duration between two mobile nodes

IV. 성능평가

1. 시뮬레이션 환경

표 2. 시뮬레이션 환경
Table 2. Simulation Environment

| | |
|-----------------------------|--|
| Simulation Tool | OPNET (Optimized Network Engineering Tool) |
| Network size | 1 km x 1 km |
| Number of Mobile nodes | 50 |
| Radio range | 250m 0~2π |
| Mobility model | RWP(Random WayPoint) |
| Initial Direction(ϕ) | 60° |

본 시뮬레이션에서는 각 노드들은 GPS 시스템을 사용하여 각자의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. 표 2는 시뮬레이션 환경을 보여주고 있다.

2. 성능측정 파라미터

PDR(Packet Delivery Ratio) : 소스노드가 보낸 패킷 수와 목적지 노드가 받은 패킷 수의 비율을 나타낸다.

Control Overhead : 경로를 형성하기 위해 노드 당 주고 받은 컨트롤 패킷(RREQ Message, RREP Message)들의 평균

Delay : 경로를 형성하기까지 걸린 시간

3. 시뮬레이션 결과

다음은 시뮬레이션 결과에 대해 설명한다.

그림 6은 모바일 노드들의 속력에 따른 경로 안정성과 PDR을 보여주고 있다. 시뮬레이션과 이론적인 분석 결과가 유사한 패턴을 가지고 있음을 알 수 있으며, 모바일 노드들의 속력이 증가할수록 네트워크가 더 역동적이므로 그에 따른 경로 안정성은 감소하게 되고, 이에 의해 경로가 단절될 확률이 높으므로 PDR 또한 감소함을 알 수 있다.

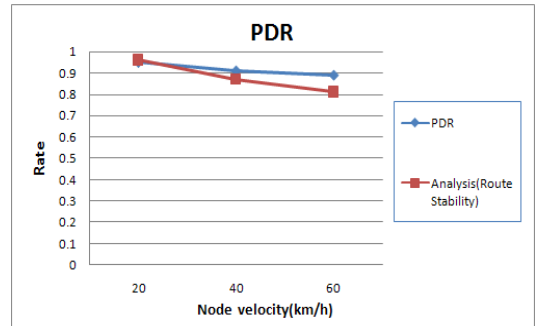


그림 6. 모바일 노드들의 속력에 따른 PDR과 경로 안정성($\phi = \Pi/3$ 로 고정)

Fig 6. PDR and Route Stability per mobile nodes' velocity ($\phi = \Pi/3$ by fixed)

그림 7은 소스노드의 ϕ 값에 따른 경로 안정성과 PDR을 보여주고 있다. 시뮬레이션과 이론적인 결과가 비슷하게 일치함을 알 수 있으며, 소스노드가 정하는 ϕ 값이 클수록 이전 경로 형성 시 측정된 경로 안정성이 높아졌다. 이는 경로 선택에 참여하는 노드들이 많을수록 경로를 형성할 수 있는 기회비용이 높아지므로 이에 따

른 PDR 값도 그림 6 의 설명과 같은 이유로 증가한다.

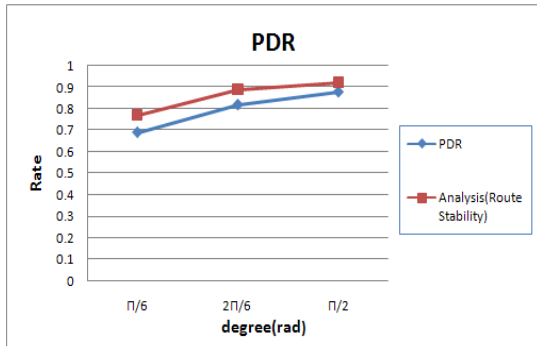


그림 7. 소스노드의 ϕ 값에 따른 PDR과 경로 안정성 (노드들의 최대 이동속력 = 20km/h)

Fig 7. PDR and Route Stability per Source node's degree(rad). (velocity of nodes' max = 20km/h)

그림 8 은 노드들의 속력에 따른 Control Overhead를 보여주고 있다. 노드들의 속력이 증가할수록 경로가 끊어질 가능성이 빈번해 지므로 경로 형성을 위한 컨트롤 시그널도 더 많이 필요한 것을 알 수 있다.

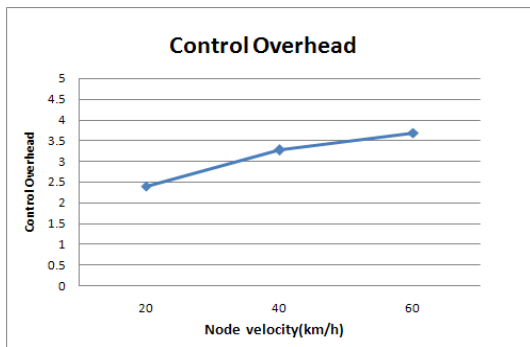


그림 8. 모바일 노드들의 속력에 따른 Control Overhead ($\phi = \pi/3$ 로 고정)

Fig 8. Control overhead per mobile nodes' velocity ($\phi = \pi/3$ by fixed)

다음 그림 9는 소스노드의 ϕ 값에 따른 Control Overhead를 보여주고 있다. ϕ 각도가 증가함에 따라 Control Overhead 또한 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 컨트롤 패킷이 소스노드에서 목적지노드에 도달하기 까지 더 많은 노드들을 거쳐야 할 경우 그만큼 오버헤드가 증가하게 됨을 의미한다.

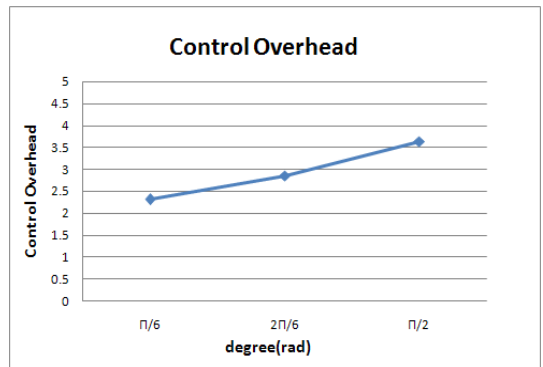


그림 9. 소스노드의 ϕ 값에 따른 Control Overhead (노드들의 최대 이동속력 = 20km/h)

Fig 9. Control Overhead per source node's degree(rad)

다음 그림 10 과 그림 11 은 각각 모바일 노드들의 속력에 따른 Delay와 소스노드의 ϕ 각도에 따른 Delay를 나타내고 있다. 모바일 노드들의 속력이 빨라질수록 네트워크 상태가 더 동적이 되므로 경로를 찾는 데 소요되는 시간이 길어지고, 소스노드의 ϕ 각도가 클수록 더 많은 이웃노드들에게 브로드캐스팅 해야 하므로 더 많은 지연이 있었다.

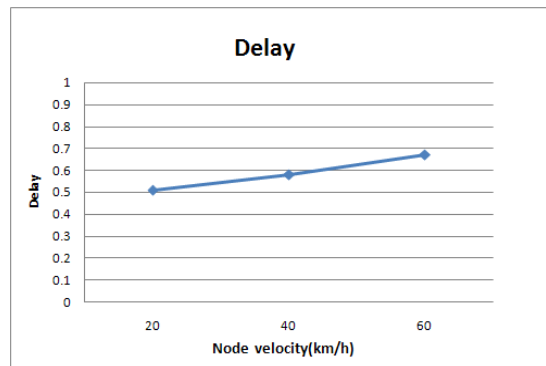


그림 10. 모바일 노드들의 속력에 따른 Delay ($\phi = \pi/3$ 로 고정)

Fig 10. Control overhead per mobile nodes' velocity ($\phi = \pi/3$ by fixed)

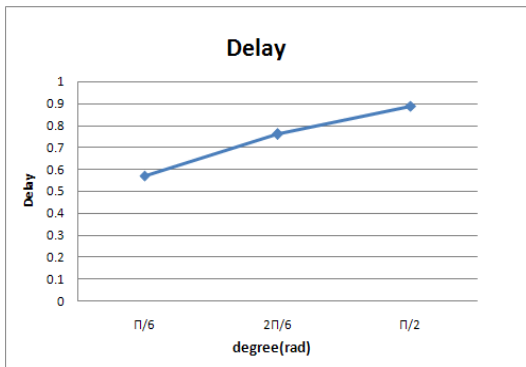


그림 11. 소스노드의 ϕ 값에 따른 Delay (노드들의 최대 이동속력 = 20km/h)

Fig 11. Delay per Source node's degree(rad) (velocity of nodes' max = 20km/h)

V. 결론

본 논문에서는 모바일 애드 혹 무선 네트워크 환경에서 모바일 노드들의 이동성에 따른 경로 안정성을 최우선으로 고려하고 경로 안정성을 기반으로 하여 방향성 안내영역을 사용한 라우팅 프로토콜(RSDGR)을 제안하였다. 제안된 라우팅 프로토콜의 기본 개념과 목적은 노드들의 이동성 정보를 이용한 링크 및 경로 안정성의 정량적인 측정과 계산, 이를 이용한 안정된 경로 설정, 라우팅 경로설정 비용을 줄이고 성능을 향상시키기 위한 방향성 안내 영역의 최적화에 있다. 본 논문의 시뮬레이션은 OPNET에서 진행되었고 그 결과 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가는 시뮬레이션과 이론적인 결과가 거의 일치함을 보여주고 있다. 즉, 본 논문에서 제시한 경로 안정성 모델과 제안된 라우팅 프로토콜은 시뮬레이션과 이론적인 분석을 통하여 검증 확인할 수 있었다. 그리고 노드들의 이동속도가 증가함에 따라서 PDR이 감소하고, control overhead 및 delay가 증가함을 알 수 있고, 방향성 안내영역(ϕ 각도)가 증가함에 따라서 PDR은 증가하나, control overhead 및 delay가 증가함을 알 수 있었다. 따라서 안정된 경로뿐만 아니라 최적의 방향성 안내영역의 설정이 제안된 라우팅 프로토콜의 성능향상을 위해서 필요함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Corson, Scott S., and Macker J., "Mobile Ad-hoc Networking (MANET) : Routing performance Issues and Evaluation Considerations," IETF RFC 2501, January. 1999.
- [2] IETF Mobile Ad Hoc Networks (MANET) Working Group Charter; <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [3] SungSoon Cho and John P. Hayes, "Impact of Mobility on Connection Stability in Ad Hoc Networks," Wireless Communications and Networking Conference, 2005 IEEE, 1650 - 1656 Vol. 3, March 2005.
- [4] Xi Hu, Jinkuan Wang, Cuirong Wang, "Link Stability Prediction and its Application to Routing in Mobile Ad Hoc Networks," Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS), 2009 2nd International Conference, December. 2009, pp. 141 - 144
- [5] 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.
- [6] Christian Bettstetter, "Stochastic Properties of the Random Waypoint Mobility Model," Accepted for ACM/Kluwer Wireless Networks, Special Issue on Modeling & Analysis of Mobile Networks, Author' preprint, March. 2003.
- [7] Christian Maihofer, "A Survey of Geocast Routing Protocols," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol 6, no 2, pp 32-42, Second Quarter 2004.
- [8] Rakesh Kumar Banka and Guoliang Xue, "Angle Routing Protocol: Location Aided Routing for Mobile Dynamic Angle Selection," MILCOM 2002. Proceedings, Dept. of Comput. Sci. & Eng., Arizona State Univ., Tempe, AZ, USA, Vol. 1, pp. 501-506, October 2002.

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012-0007119).

저자 소개

하 수 형(준회원)



- 2011년 2월 : 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 졸업.
- 2011년 ~ 현재 : 홍익대학교 대학원 전자전산공학과 석사과정 재학.

<주관심분야 : Mobile Ad-hoc networks, Sensor networks, Wireless communications, wireless routing protocols, Geocast routing>

리 데 덩(준회원)



- 2008년 10월 : Ho Chi Minh City - University of Technology 졸업.
- 2012년 8월 : 홍익대학교 대학원 전자전산공학과 석사과정 졸업.
- 2012년 ~ 현재 : 홍익대학교 대학원 전자전산공학과 박사과정 재학.

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

안 병 구(종신회원)



- 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
- 2012년 ~ 현재 : 대한전자공학회 컴퓨터소사이어티 회장
- 2003년 ~ 현재 : 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
- 2005년 ~ 2011년 : Marquis Who's Who in Science and Engineering was listed.(세계과학기술인명사전 등재)
- 2006년 ~ 2011년 : Marquis Who's Who in the World was listed. (세계인명사전 등재)

<주관심분야 : Wireless Networks, Ad-hoc & Sensor Networks, Multicast Routing, QoS Routing, Cross-Layer Technology, Cooperative Communication, Network Coding, Bioinformatics, VLC>