

논문 2011-4-34

# 무선 애드 혹 망에서 빠른 경로 복구를 위한 LBN 방법의 시뮬레이터 구현

## A Simulator of LBN Method for Fast Link Recovery over Wireless Ad-Hoc Networks

신현호\*, 박지훈\*, 주복규\*\*

Hyun-Ho Shin, Ji-Hoon Park, Bok-Gyu Joo

**요 약** 무선 Ad-Hoc 망에서는 중심 노드 없이 노드들끼리 경로를 설정하고 데이터를 전송한다. 이 때문에 경로상의 노드들이 기기 장애나 이동으로 인해 경로가 끊어지게 되면 데이터 전송 지연을 초래하고 경로를 찾기 위한 일련의 과정은 네트워크의 오버헤드를 초래하게 된다. 우리는 통신기기의 기능장애로 링크가 손상되었을 경우 MAC 계층에서의 패킷 재전송으로 새로운 경로를 찾는 방법 대신에, 기기가 기능장애를 예상하고 이웃들에게 고정된 형태의 메시지를 보내어 링크가 손상된 것을 알림으로서 효과적으로 경로를 재탐색을 하게 하는 방법을 제안하고, 그 효율성을 NS2를 이용한 시뮬레이터를 구현하고 TCP/IP 단에서 성능 향상을 보였다.

**Abstract** In wireless ad-hoc network, the detection of link breakage and re-establishing the route path causes lots of network overhead and results in communication delay. In the LBN method, the node causing a link breakage actively sends a message to neighbors so that they can instantly start re-establishing process of new path. In this paper we describe the result of network simulation we performed using NS2 to show the effectiveness of LBN method.

**Key Words :** Ad-Hoc Network, MAC Layer, Route Diconnection

### 1. 서 론

무선 Ad-Hoc 망은 기반구조(Infrastructure) 없이 무선 통신이 가능하고 이동하는 노드들끼리 서로 교신하는 네트워크 구조이다. 중심에서 제어하는 노드가 없으므로 각 노드들은 서로간의 협력을 통해 그리고 각자가 라우터로서의 기능을 함으로서 멀티 홉(Multi-Hop)을 통한 최적의 전송 경로를 확보하고 이를 통하여 데이터가 전송되도록 하여야 한다. 애드 혹 망은 유선망을 구성하기

어렵거나 망을 구성한 후 단기간 사용되는 경우에 적합하며, 호스트의 이동에 제약이 없고 언제 어디서나 노드 간 통신을 가능하게 하는 빠른 망 구성과 저렴한 비용 등의 장점이 있다.

무선 Ad-Hoc 망에서는 무선이라는 특수한 환경과 이동성을 가진 노드라는 특성에 의해 각 노드들간의 통신은 채널 페이딩(channel fading), 혼잡(congestion), 이동성(mobility), 전력 소실(power extinction) 등 여러 가지 이유로 경로가 쉽게 손상될 수 있다. 이런 경로 끊김을 탐지하고 손상된 경로를 복구하는 일련의 과정 동안의 패킷 전송 실패와 많은 오버헤드가 발생하여 네트워크 성능을 저하시키는 요인이 된다. 이는 기존의 많은 연구

\*준회원, 홍익대학교 컴퓨터 정보통신공학과

\*\*정회원, 홍익대학교 컴퓨터 정보통신공학과  
접수일자 2011.2.17, 수정일자 2011.7.15  
게재확정일자 2011.8.12

들에 의해 멀티 홉 Ad-Hoc 망에서의 TCP의 성능평가를 통해 확인할 수 있다.<sup>[1, 2]</sup> 이러한 링크의 손상 탐지와 복구과정을 위해 소비되는 시간을 줄이기 위한 많은 연구들이 다양한 무선 라우팅 프로토콜을 기반으로 진행되어 왔으나 아직까지 만족할 만한 결과를 얻지 못하고 있다.<sup>[3, 4, 5]</sup>

이 논문은 [6]에서 무선 망에서 경로 손상을 빠르게 탐지할 수 있도록 제안된 LBN 방법을 네트워크 시뮬레이션 도구인 NS2<sup>[7]</sup>를 이용한 시뮬레이터를 구현하여 그 성능향상을 입증하기 위한 것이다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 Ad-Hoc 망에서 대표적인 경로 설정 방법에서 경로 단절 탐지와 재설정에 대하여 살펴본다. 3장에서는 이 연구에서 제안한 빠른 경로 단절 탐지 방법에 대해 기술하고, 4장에서는 성능 평가를 위한 모의 실험환경과 그 결과로 제안된 방식의 성능향상 부분에 대하여 기술하고, 마지막 장은 결론으로 본 논문을 마무리 한다.

## II. 관련 연구

무선 Ad-Hoc 네트워크에서의 라우팅 기법에는 대표적으로 AODV(Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing)와 DSDV (Destination Sequenced Distance Vector Routing)가 있다. 여기서 우리는 이 두 기법에서의 경로설정과 경로 복구에 대해 알아본다.

### 1. AODV

AODV 라우팅 프로토콜은 Ad-hoc 네트워크에서 가장 대표적인 요구기반(on demand) 라우팅 프로토콜로서, 소스 노드가 데이터 전송의 필요에 따라 목적지 노드까지의 라우팅 경로설정 되는 Reactive 방식이다.<sup>[8]</sup> 여기서 먼저 경로를 찾은 뒤 데이터 전송이 일어나게 되는데, AODV가 경로 탐색 및 유지관리를 위해 사용하는 메시지는 RREQ(Route Request), RREP(Route Reply), RERR (Route Error), RREPACK(Route Reply Acknowledgement)의 네 가지가 있다.

RREQ는 소스 노드가 목적지 노드를 찾기 위해 사용하는 메시지타입이다. RREQ를 발생시키는 노드는 데이터 전달을 처음에 요구한 소스 노드와 경로 단절이 생겼을 때 경로 복구를 위해 경로 복구 작업을 시작하는 중간

노드가 될 수 있다. 이들 노드들은 RREQ 메시지를 네트워크 내에 플러딩(flooding)하게 된다. RREQ를 수신한 노드는 자신이 목적지 노드이거나 또는 목적지까지의 라우팅 경로를 알고 있다면 RREP 메시지를 사용하여 응답하게 된다. RREQ를 받은 노드가 자신이 목적지 노드도 아니고 목적지 노드까지의 경로를 알고 있지 않다면, RREQ의 홉 수를 1 증가시키고 RREQ 소스 노드까지의 역 경로를 라우팅 테이블에 저장한 후, 받은 RREQ 메시지를 이웃 노드에게 전달하게 된다. 이 과정을 플러딩이라고 부른다. RREP-ACK는 RREQ 소스 노드가 RREP를 수신한 후 이에 대한 응답을 위해 사용하는 메시지 타입이다. RERR은 목적지 노드까지 가는 경로가 단절되었을 때, 경로 단절을 소스 노드에게 통보(notify)하기 위해 사용된다. RERR을 받은 소스 노드는 목적지 노드까지의 새로운 경로를 생성하기 위해 새로운 경로 탐색 과정을 시작하게 된다. 경로 생성 과정 중에 루프(loop)가 생길 수도 있는데 이런 것을 방지하기 위해 AODV에서는 시퀀스 넘버(Sequence Number)를 사용한다. 이 시퀀스 넘버가 높을수록 최신 라우팅 정보를 의미한다.

### 2. AODV의 경로 단절 발견과 재설정

경로 탐색 과정을 통해 생성된 경로는 데이터 전송 중에는 유지되어야 한다. 만일 노드의 손상이나 이동과 같은 이유로 경로 단절(Link breakage)이 발생한 경우, 시간 초과(time out)나 4번 또는 7번 재전송을 통해 경로 단절을 탐지 된다. 경로 단절을 발견한 경로상의 노드는 자신의 위치와 목적지 위치를 비교하여 자신부터 경로를 재설정하는 방식인 지역 경로 복구 방식과 소스 노드에게 알려 소스노드부터 다시 경로를 재설정 하는 방식을 선택하게 된다. AODV는 이런 방식에 의해 이동이 빈번한 무선 Ad-Hoc 망에서 DSDV에 비해 노드의 이동에 빠르게 대처할 수 있다는 장점이 있지만 경로 단절을 발견하는 시간과 경로 재설정을 하기 위한 패킷 전송 등의 오버헤드로 인해 네트워크 성능을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다.

### 3. DSDV

DSDV는 대표적인 프로액티브(proactive) 라우팅 프로토콜로 AODV와 마찬가지로 'Distance Vector' 방식으로써 목적지까지 가장 적은 홉 수를 가진 노드를 다음 홉으로 정한다. 네트워크에 있는 각 노드들은 전체 네트

워크 정보를 알기 위해서 라우팅 테이블을 교환함으로써 라우팅 테이블을 완성 유지하게 된다. 그러나 네트워크의 정보가 변하기 때문에 라우팅 테이블을 갱신해야 하는데, 순서 번호(sequence number)가 큰 최근의 것을 우선으로 갱신하며, 이 번호가 같을 때는 목적지까지 적은 홉 수를 가진 것으로 갱신해 준다. 라우팅 테이블을 주고 받을 때는 순서 번호를 이용해서 새로운 경로와 쓸모없는 경로의 구별이 가능하게 되므로 루프(loop)가 발생하는 것을 방지한다.

이 방식은 작은 네트워크에서는 유리할 수 있으나 메쉬(mesh) 네트워크 같이 큰 네트워크 상황에서는 주기적인 라우팅 테이블 갱신은 부하가 클 뿐만 아니라 네트워크 변화를 빠르게 따라가기 어렵기 때문에 QoS를 만족시키기 위한 실시간 정보를 라우팅에 이용하기도 어렵다.

### III. LBN의 설계

본 장에서는 LBN 방식을 설명한다.<sup>[1]</sup> 기본 개념은 노드의 전원 단절(Power off), 내부센서에 의한 시스템 비정상 감지, MAC 계층에서 슬립 모드이거나 절전 모드일 때 "Link Breakage Notification"(LBN)로 이름 지어진 메시지를 다른 무선 노드에게 브로드캐스트 하도록 한다. LBN의 설계는 On/Off Switch, Sensor, Predictor, MAC Layer component로 구성되어있고 LBN component와 연결되어 있다. LBN이 이들 컴포넌트에서 이상 신호들을 받게 되면 이것을 브로드캐스트를 통해 주변 노드들에게 알려주게 된다. 이 메시지는 preamble과 PHY header 그리고 MAC frame으로 구성되어 최저 전송속도를 가지도록 modulated/coded 되어 미리 만들어진 프레임으로 캐쉬에 저장된다. 그러므로 MAC 계층과 PHY 계층에서의 프레임 생성 과정의 시간적 소모 없이 LBN은 필요시에 즉시 전송 할 수 있다.

이 때 Sensor가 LBN으로 많은 신호로 보내 이 정보들을 알림으로써 주변에 데이터 트래픽과 함께 혼잡을 야기 할 수 있다. 따라서, 동일한 Switch, MAC layer, Sensor와 같은 컴포넌트로부터 중복되는 신호를 1개나 2개로 제한함으로써 LBN에 많은 중복 신호가 접수되어 필요 이상으로 많은 프레임이 전송되는 것을 예방할 수 있다.

LBN을 수신한 주변 노드는 송신한 노드의 LBN 패킷

이 라우팅 테이블에 있는 다음 노드인지 체크해야한다. 만약 그렇다면 수신한 노드는 즉시 다음 경로가 손상되었음을 감지하고 새로운 경로를 탐색해야 한다. 슬립 모드, power off 등의 상황으로 LBN이 발생한다면 이것은 채널의 혼잡 등의 이유로 전송이 늦어지면 안 되기 때문에 최우선 순위로 보내어져야 한다. 따라서 DIFS(Distributed Interframe Space)보다 더 짧은 PIFS(Point Interframe Space)가 지난 후에 전송하도록 한다.

### IV. 모의 실험 및 평가

이 연구에서 제시한 LBN 기법의 성능을 평가하기 위한 모의실험을 위해서 우리는, 네트워크 성능 평가 시뮬레이션 도구인 NS2를 사용하였다. 모의실험에서는 Ad-Hoc상황에서 802.11a 표준에 정의된 파라메타들에 따라 25개의 이동 노드를 가정하여 수행하였다.

이 모의 실험은 구체적인 라우팅 프로토콜을 고려하지 않고 기존의 방법과 비교해서 링크 손실을 알아내는 시간이 얼마나 감소되는지에 초점을 두었다. 그러므로 기존 시스템에서의 링크 실패를 탐지하는 딜레이를 여기서 제안하는 방법에 의해 링크 실패를 즉시 탐지 할 수 있기 때문에 그 딜레이를 감소시킬 수 있다.

비교 대상에 관하여서는, Layer-2에서 4번 또는 7번의 재전송을 통해 링크 단절을 알아내는 방법과 비교하다. 노드의 이동에 따라 신호가 약해짐에 따라 링크의 손상을 예측하는 링크 단절 예측방법과 달리, LBN 방식은 노드 자신이 주로 기기 등의 이상으로 경로 단절을 이웃 노드들에게 알려주는 방식이기 때문이다.

기존의 방법에서는 링크 손상이 일어날 경우 RTSthreshold 값에 따라 4번 또는 7번의 재전송을 시행한다. 그림 1은 링크 손상 시 기존의 재전송방법이 수행하는 결과를, 그림 2는 우리가 제안하는 LBN 방법의 처리 결과를 보여준다. 본 연구에서 제안한 LBN 기법은 그림에서 보는 바와 같이 4 또는 7번의 재전송을 수행하지 않는 것을 볼 수 있었다. 재전송을 시행하지 않기 때문에 기존 방법에 보다 경로 재설정 시간이 줄었고 그 절약된 시간만큼 데이터 패킷양은 늘어났다.

```

transmit mac_id : 5 , time : 2.002456000
Retransmit mac_id : 5 , time : 2.002898333 ssrc_:1
transmit mac_id : 5 , time : 2.003487333
Retransmit mac_id : 5 , time : 2.003929667 ssrc_:2
transmit mac_id : 5 , time : 2.005198667
Retransmit mac_id : 5 , time : 2.005641000 ssrc_:3
transmit mac_id : 5 , time : 2.006310000
Retransmit mac_id : 5 , time : 2.006752333 ssrc_:4
transmit mac_id : 5 , time : 2.010502333
transmit mac_id : 5 , time : 2.011396333
transmit mac_id : 5 , time : 2.011956000
Retransmit mac_id : 5 , time : 2.012398333 ssrc_:5
transmit mac_id : 5 , time : 2.020742333
transmit mac_id : 5 , time : 2.021636333
transmit mac_id : 5 , time : 2.025456000
Retransmit mac_id : 5 , time : 2.025898333 ssrc_:6
transmit mac_id : 5 , time : 2.030382333
transmit mac_id : 5 , time : 2.031276333
transmit mac_id : 5 , time : 2.040382333
transmit mac_id : 5 , time : 2.041276333
transmit mac_id : 5 , time : 2.048376000
Retransmit mac_id : 5 , time : 2.048818333 ssrc_:7
Link_Breakage
transmit mac_id : 5 , time : 2.048892333
    
```

그림 1. 링크 손상시 기존 방법  
Fig. 1. Legacy Method when Link Breakage

```

transmit mac_id : 10 , time : 1.993545000
Link_Breakage_Predictor
LBN
transmit mac_id : 10 , time : 1.994558667
    
```

그림 2 링크 손상시의 LBN 처리  
Fig. 2. LBN Process when Link Breakage

실제 무선 애드혹 망에서 전송되는 데이터 패킷 범위에 대한 모의 실험 결과를 그림 3. 에 정리하였다.

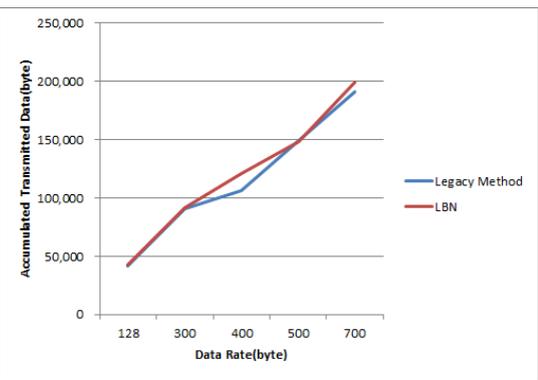


Fig 3. 실험 결과의 요약  
Fig. 3. Summary of Simulation Results

위 결과에서 보는바와 같이 LBN 방식이 Legacy Method에 비해 전송된 데이터량이 전 대역폭에서 모두 많음을 알 수 있다. 그 차이가 근소하게 나타난 이유는 시뮬레이션 시간이 짧았고 다른 백그라운드 데이터가 없는 상황을 가정하였기 때문이며, 노드 수가 많은 Mesh 네트워크 같이 잦은 링크 손상이 일어나는 상황에서는 더 큰 차이를 보일 것이다.

## V. 결론

본 논문에서 제안하는 방법은 무선 애드혹 망에서 노드의 단절을 빨리 발견하고 경로를 재설정하게 하는 LBN 기법이다. 여기서는 노드가 재난을 당하거나 일시적 또는 지속적으로 통신이 마비되어 통신을 할 수 없을 때 노드 자신이 링크의 손상을 LBN 메시지로 주변노드에게 알리게 된다. 이 방법을 사용하면 이를 수신한 이웃 노드는 MAC Layer의 링크 손실 탐지 없이 즉시 경로 재탐색을 수행할 수 있다. 결과적으로 이 방법은 링크 손실 탐지에 따른 오버헤드를 제거할 뿐만 아니라 즉시 경로 재탐색을 수행하게끔 해준다.

우리는 모의실험을 통하여 우리가 제안하는 방법이 기존의 방법과 비교하여 링크 재탐색까지 걸리는 시간이 감소하고 따른 데이터 패킷의 전송량의 증가를 보였다. 또한 기존의 논문<sup>[7]</sup>에서는 한 홉 간의 한정적인 노드들 간의 성능향상을 입증했으나 본 논문에서는 TCP/IP 단에서 성능평가를 하여 네트워크의 성능향상을 입증하였다.

이번 모의실험은 링크 손상이 한 번 밖에 일어나지 않고 데이터를 주고받는 링크가 하나 만 존재한다는 가정으로 수행하였다. 앞으로의 실험에서는 다양한 환경에서, 많은 노드들의 데이터 패킷 교류가 있는 상태에서 LBN 방식이 효과적임을 입증할 필요가 있다.

최근 스마트 폰의 보급이 급격하게 증가함으로 인해 무선 애드혹 망에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 기존 인프라 없이 이동이 가능한 노드들끼리 네트워크를 구축하고 데이터를 전송한다는 장점에 의해 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 무선 Ad-Hoc 망 기술의 발전은 가까운 장래에 실생활에 매우 유용하게 쓰일 수 있도록 발전할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] V. Anantharaman and R. Sivakumar, "A Microscopic Analysis of TCP Performance over Wireless Ad-hoc Networks", Proceedings of the ACM SIGMETRICS (poster paper), 2002.
- [2] T. D. Dyer and R. V. Boppana, "A Comparison of TCP Performance over Three Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks",

- Proceedings of ACM MOBIHOC, 2001.
- [3] L. Qin and T. Kunz, "increasing Packet Delivery Ratio in DSR by Link Prediction," IEEE HICSS'03, January 6-9 2003.
- [4] F. Klemm, Z. Ye, S. V. Krishnamurthy, and S. K. Tripathi, "Improving TCP Performance in Ad Hoc Networks using Signal Strength based Link Management," Ad Hoc Networks Journal, pp. 175-191, 2005.
- [5] Rick Wan Kei Ha, A Sleep-Scheduling-Based Cross-Layer Design Approach for Application-Specific Wireless Sensor Networks (Dissertation, University of Waterloo), 2006.
- [6] 박중대, 김병서, 박지훈, 신현호, Route Disconnection의 빠른 검출 방법, 2010년 전자공학회 하계종합학술대회, 2010. pp. 2557-2559.
- [7] The Network Simulator-NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [8] 서현근, 김기형, 애드 혹 네트워크에서 AODV에 기반한 효율적인 경로 복구 기법, KNOM Review, Vol. 6, No. 1, June 2003, pp.1-8.

※ 이 논문은 2010학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음

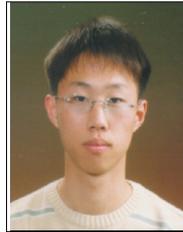
#### 저자 소개

##### 신 현 호(준회원)



- 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 (학사)
- 동 대학원 재학
- <주관심분야 : 이동무선통신>

##### 박 지 훈(준회원)



- 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 (학사)
- 동 대학원 재학
- <주관심분야 : 이동무선통신>

##### 주 복 규(중신회원)



- 학위  
University of Maryland, Dept. of Computer Science, 공학박사
- 경력
- 1990년 ~ 1998년 삼성전자 중앙연구소 수석연구원
- 1998년 ~ 2000년 (주)동양시스템즈

연구소장

- 2001년 ~ 현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
- <주관심분야 : 소프트웨어 재사용, 인터넷보안, 모바일 네트워크>