MANET에서 백업경로를 이용한 빠른 경로복구 능력을 가진 라우팅 프로토콜

트란안타이* · 김명균**

A Routing Protocol with Fast-Recovery of Failures Using Backup Paths on MANETs

Ahn Tran Thai* · Myung-Kyun Kim**

이 논문은 2011년도 울산대학교 연구비를 지원받았음

요 약

본 논문에서는 MANET에서 링크고장 발생시 빠른 경로복구 기능을 갖는 다중경로기반 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안한 프로토콜은 데이터 전송이 필요할 경우 중단간 가장 신뢰성이 높은 주경로와 주경로상에 고장이 발생할 경우 전송경로를 복구하기 위한 보조경로를 설정하고, 주경로를 통해 데이터를 전송하게 된다. 데이터 전송도중 주경로상의 링크에 고장이 발생하면 보조경로를 이용하여 빠르게 복구함으로써 데이터의 손실을 줄이고 새로운 경로설정을 위한 제어패킷 트래픽을 줄이게 된다. 제안한 프로토콜의 성능을 QualNet 시뮬레이터를 이용하여 기존 프로토콜들과 비교분석하였고, 성능분석결과 본 논문에서 제안한 프로토콜이 기존 프로토콜들에 비해 중단간 패킷전송률이 약 10-20% 정도 높고, 링크고장시 경로복구시간은 3배 정도 빠름을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This paper proposes a new multipath-based routing protocol on MANETs with Fast-Recovery of failures. The proposed protocol establishes the primary and secondary paths between a source and a destination considering the end-to-end packet reception reliability of routes. The primary path is used to transmit messages, and the secondary path is used to recover the path when detecting failures on the primary path. If a node detects a link failure during message transmission, it can recover the path locally by switching from the primary to the secondary path. By allowing the intermediate nodes to recover locally the route failure, the proposed protocol can reduce the number of packet loss and the amount of control packets for setting up new paths. The simulation result using QualNet simulator shows that the proposed protocol was about 10-20% higher than other protocols in terms of end-to-end message delivery ratio and the fault recovery time in case of link fault was about 3 times faster than the other protocols.

키워드

MANET, 경로복구, 신뢰성있는 라우팅 프로토콜, 중단간 패킷수신률

Key word

MANET, Fault recovery, Reliable routing protocol, End-to-end packet reception rate

* 준회원 : 울산대학교

** 정회원 : 울산대학교 (교신저자, mkkim@ulsan.ac.kr)

접수일자 : 2012. 06. 04

심사완료일자 : 2012. 06. 26

I. 서 론

MANET (Mobile Ad hoc Network)는 인프라스트럭처 없이 이동성을 가진 노드들이 모여 자율적으로 구성된 네트워크로, 회의실에서의 무선통신, 산업현장 또는 로봇들 사이의 협동작업, 최근에는 차량간 통신을 위해서 많이 사용되고 있다 [1]. MANET은 무선링크의 특성 및 노드들의 이동성으로 인해 각 링크의 안정성이 떨어진다. MANET에서 데이터를 전송하는 도중 전송경로상에 있는 노드들이 이동하여 링크고장이 발생하게 되면 송수신자 사이의 경로를 다시 설정해야 하는 문제가 발생하고, 이로 인한 전송 데이터의 손실, 전송지연시간의 증가, 그리고 새로운 경로설정을 위한 제어패킷들로 인한 네트워크 트래픽을 증가시키는 등의 문제가 발생하게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 많은 연구자들이 다중경로를 이용하여 경로복구 및 전송 데이터 손실을 감소하기 위한 프로토콜들을 제안하였다 [2].

본 논문에서는 MANET에서 링크고장 발생시 빠른 경로복구 기능을 갖는 다중경로기반 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안한 프로토콜은 데이터 전송이 필요할 경우 종단간 가장 신뢰성이 높은 주경로와 주경로상에 고장이 발생할 경우 전송경로를 복구하기 위한 보조경로를 설정하고, 주경로를 통해 데이터를 전송하게 된다. 데이터 전송도중 주경로상의 링크에 고장이 발생하면 보조경로를 이용하여 빠르게 복구함으로써 데이터의 손실을 줄이고 새로운 경로설정을 위한 제어패킷 트래픽을 줄이게 된다. 제안한 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 QualNet 시뮬레이터를 이용하여 기존 NMDR [3], HLAR [4], MAODV-SIM [5] 프로토콜들과 종단간 패킷 전송률, 패킷지연시간, 경로복구시간 등의 측면에서 비교분석하였다. 성능분석결과 본 논문에서 제안한 프로토콜이 기존 프로토콜들에 비해 패킷전송률은 약 10-20% 정도 높았고, 링크고장 발생시 경로복구시간은 3배 정도 빠름을 알 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 MANET에서 관련 연구들에 대해 기술하고, III절에서는 본 논문에서 제안하는 MANET에서 빠른 경로복구 기능을 가진 신뢰성 있는 메시지 전송 프로토콜에 대해 기술한다. IV절에서는 제안한 프로토콜에 대한 성능 시뮬레이션에 대해 기술하고, 마지막으로 V절에서는 결론에 대해 기술한다.

II. 관련 연구

MANET에서 신뢰성 보장 및 경로복구 기능을 가진 다중경로 기반 라우팅 프로토콜들이 많은 연구자들에 의해 제안되었다 [2]. NDMR 프로토콜 [3]은 노드비중첩경로 (node disjoint path)를 사용하는 프로토콜로, RREQ 패킷에 경로정보를 포함하도록 하고, 수신자는 가장 먼저 도착한 RREQ패킷에 포함된 경로를 주경로로 선택하고, 주경로와 노드들이 중첩되지 않도록 보조경로들을 선택하게 된다. 경로설정 후 데이터를 전송하는 도중 링크고장이 발생하면 이를 탐지한 노드가 링크고장을 송신자에게 알리고 송신자는 이후 데이터를 보조경로를 통해 전송하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 가장 먼저 도착한 RREQ 패킷을 통한 최단경로 선택은 링크고장 발생 확률이 커서 신뢰성 있는 전송경로라고 하기가 어렵고 [4], 또한 RREQ 패킷에 경로정보를 축적해야 하고 수신자에서 수신한 RREQ 패킷들의 경로중첩성 검사를 위한 오버헤드가 큰 문제점이 있다. AODVM 프로토콜[5]은 AODV 프로토콜[6]에 기반한 다중경로 라우팅 프로토콜로, NMDR 프로토콜과 같이 수신자에서 여러 경로를 통해 전송된 RREQ 패킷을 통해 중첩성이 없는 다중경로를 선택하여 전송하는 프로토콜이다.

AODVM 프로토콜 역시 최단경로를 선택하고 있어 신뢰성 전송 측면 [4] 과 수신자에서 경로중첩성 오버헤드가 측면에서 문제점이 있다. AODV-BR [7] 프로토콜과 이 프로토콜의 단점을 보완한 IBR-AODV 프로토콜 [8]은 제어패킷 또는 데이터 패킷을 엿들을 수 있는 주변노드들을 백업노드로 활용하며, 데이터 전송경로상의 노드가 링크고장을 검출하면 백업노드르 이용하여 전송경로를 복구하게 된다. 그러나 AODV-BR 과 IBR-AODV 프로토콜은 패킷을 엿들을 수 있는 주변노드들만 이용함으로써 백업경로의 이용이 제한적이며 네트워크 밀도가 높을 경우 전송경로 노드 주변에 존재하는 많은 노드들이 백업노드에 참여함으로써 프로토콜 오버헤드가 큰 단점이 있다. MAODV-SIM 프로토콜 [9]은 RSSI 와 같은 SIM (Signal Intensity Metric)을 링크 성능평가척도로 사용하며, RREQ 플러딩을 통해 각 경로상의 링크들 중 최소 SIM값을 구하고, 이 최소 SIM 값이 가장 큰 경로를 주경로로 다음으로 큰 경로를 대체경로로 사용하고, 링크고장 발생 시 대체경로를 사용하여

전송함으로써 패킷손실을 줄이도록 하고 있다. 그러나 RSSI와 같은 링크성능평가척도는 링크의 신뢰성을 평가하는 척도로 부족하며, 최소 SIM 값이 가장 큰 경로가 종단간 가장 신뢰성 있는 경로라고 하기가 어려운 문제가 있다.

HLAR 라우팅 프로토콜 [10]은 ETX (Expected Transmission Count) 링크성능평가척도를 사용하고 위치정보를 이용한 수정된 AODV 프로토콜을 사용한다. HLAR 프로토콜에서 각 노드는 위치정보를 통해 RREQ 패킷을 자신보다 목적지 노드에 가까운 노드들만 통해 전송함으로써 RREQ 플러딩 오버헤드를 줄이고 있다. 또한 HLAR 프로토콜은 데이터 전송도중 링크고장이 발생하면 링크고장을 검출한 노드가 RRP (Route Repair Packet) 패킷을 브로드캐스팅함으로써 전송경로를 복구하도록 하고 있다. 그러나 HLAR 프로토콜은 경로설정시 종단간 신뢰성을 고려하지 못하고 있으며, 링크고장 발생시 해당 링크를 우회하기 위한 경로를 찾기 위한 전송지연시간으로 인해 경로복구 시간이 큰 문제가 있다. 또한 HLAR 프로토콜에서 각 노드들이 위치탐지시스템을 필요로 한다.

III. 빠른 경로복구 기능을 갖는 다중경로 기반 MANET 라우팅 프로토콜

본 논문에서는 링크성능평가척도로 ETX를 사용하는데, 링크 (x,y)에 대한 ETX값은 링크 (x,y)에서 하나의 패킷을 성공적으로 전송하기 위해 필요한 평균 전송횟수를 나타내며 [11], 수식 (1)과 같이 x에서 y로의 패킷수신률 PRR(x,y) 과 y에서 x로의 패킷수신률 PRR(y,x)을 통해 구해진다.

$$ETX(x,y) = \frac{1}{PRR(x,y) \times PRR(y,x)} \quad (1)$$

링크의 ETX를 구하기 위해 각 노드는 주기적으로 hello 패킷을 브로드캐스팅하며, PRR(x,y)은 노드 y에서 윈도우 w 시간동안 x가 전송한 hello 패킷 중 성공적으로 받은 hello 패킷의 비율을 통해 구한다. 링크의 ETX 값이 주어진 네트워크에서 송신자 S에서 수신자 D까지의 한 경로에 대한 종단간 패킷수신률 e2e_ETX(S,D) 는 수식

(2)와 같이 정의된다. 여기서 path(S,D)는 송신자 S에서 수신자 D 사이의 경로를 의미한다.

$$e2e_ETX(S,D) = \sum_{(x,y) \in path(S,D)} ETX(x,y) \quad (2)$$

노드 S에서 D 사이에는 많은 경로가 존재하며 본 논문에서는 이들 경로 중 가장 신뢰할 수 있는 경로, 즉 e2e_ETX 값이 가장 작은 경로를 찾고 이 경로를 통해 데이터를 전송함으로써 신뢰성 있는 전송을 하도록 하고 있다.

3.1. 주경로 설정

제안하는 프로토콜에서는 신뢰성 있는 데이터 전송 경로를 찾기 위해 RREQ[id, etxsum, ttl] 패킷을 브로드캐스팅하게 되는데, 새로운 경로에 대한 식별자 id, RREQ 패킷이 거쳐 온 경로에 대한 ETX 값을 갖는 etxsum, 그리고 RREQ 패킷의 플러딩 범위를 제한하기 위한 ttl 필드를 가진다. 각 노드들은 RREQ 패킷을 받게 되면 etxsum 값은 수신한 링크의 ETX 값을 더하고, ttl 값은 1 만큼 감소한 뒤 필요할 경우 다시 브로드캐스팅을 통해 다음 노드로 전송하게 된다. 노드 x는 RREQ 패킷을 수신하면 경로 id에 대한 다음과 같은 항목을 갖는 라우팅 테이블에 유지한다.

$$[ID, PRI_{fwd}, PRI_{bwd}, SND_{fwd}, SND_{bwd}, ETX_{pri}, ETX_{snd}]$$

여기서 PRI_{bwd} 와 SND_{bwd} 는 각각 가장 작은 etxsum 값과 두 번째 작은 etxsum 값을 가진 RREQ 패킷을 전송한 노드들을, 그리고 ETX_{pri} 와 ETX_{snd} 는 이들 RREQ 패킷의 etxsum 값을 나타낸다. 또 PRI_{fwd} 와 SND_{fwd} 는 경로 id에 대한 주경로와 보조경로에 대한 순방향노드들을 나타내며, RREQ 패킷에 대해 수신자가 전송하는 RREP 및 RREP2 패킷 전송과정에서 정해진다. 노드 x가 y로부터 RREQ 패킷을 받으면 etxsum 값을 수정한 뒤, etxsum 값이 ETX_{pri} 보다 작으면 주역경로노드 정보를, 그리고 ETX_{snd} 보다 작으면 보조역경로노드 정보를 수정한다. 그리고 주역경로노드가 바뀌게 되면 수신한 RREQ 패킷을 다시 브로드캐스팅하게 된다. (알고리즘 1) 이와 같이 RREQ 패킷이 전송되면 수신자는 인접노드들로부터 여러 개의 RREQ 패킷을 수신하게 되고, 자신이 수신한

RREQ 패킷들의 $etxsum$ 값을 비교하여 주역경로노드와 보조역경로노드를 선택하고, 주경로 설정을 위해 RREP 패킷을 그리고 보조경로 설정을 위해 RREP2 패킷을 전송한다. RREP 패킷은 AODV 프로토콜과 같이 RREQ 플러딩 과정에서 설정된 주역경로노드를 통해 송신자에게 전송되며 RREP 패킷이 전송된 노드들이 주경로를 이루게 된다.

```
// 알고리즘 1 : RREQ 플러딩 알고리즘 (중간노드 x)
when (노드 y로부터 RREQ[id,etxsum,ttl] 수신) {
    etxsum = etxsum + ETX(x,y);    ttl = ttl - 1;
    if (id에 대한 라우팅테이블항을 없을 경우) {
        라우팅항 [id, PRIfwd=Null, PRIbwd=y, SNDfwd=Null,
        SNDbwd=Null, ETXpri=etxsum, ETXsnd=∞] 생성;
        RREQ 브로드캐스팅;
    } else { // id에 대한 라우팅테이블항 존재
        if (etxsum < ETXpri) {
            SNDbwd=PRIbwd; ETXsnd=ETXpri;
            PRIbwd=y; ETXpri=etxsum;
            RREQ 브로드캐스팅;
        } else if (etxsum < ETXsnd) {
            SNDbwd=y; ETXsnd=etxsum;
        } else
            RREQ 패킷 버림;
    }
}
```

그림 1은 경로설정을 위한 RREQ 패킷 플러딩 전송과정을 나타낸다. 그림 1-(a)에서 송신자 S가 수신자 D로의 경로를 찾기 위해 RREQ[id,0,5] 을 브로드캐스팅하면, (알고리즘 1)과 같이 각 중간노드들은 자신이 수신한 RREQ 패킷들 중에서 $etxsum$ 값이 작은 순서로 두 개의 패킷을 선택하고, 주역경로노드 PRI_{bwd} 와 보조역경로노드 SND_{bwd} 를 설정한다. 예를 들어 노드 G가 인접노드 B, E, H, F, I 노드들로부터 RREQ들을 수신하면 $etxsum$ 값을 갱신한 뒤, 가장 작은 $etxsum$ 값을 갖는 RREQ[id,3,3]를 전송한 노드 B를 주역경로노드로, 그리고 다음으로 작은 $etxsum$ 값을 갖는 RREQ[id,4,2]를 전송한 노드 F를 보조역경로노드로 선택한다.

(a)

	S	A	B	C	E	F	G	H	I	D
PRI_{fwd}	B	B	G	-	-	G	D	D	-	-
SND_{fwd}	A	-	F	-	-	-	H	-	-	-
PRI_{bwd}	-	S	S	B	B	B	B	G	F	G
SND_{bwd}	-	B	A	S	A	C	F	E	G	H
ETX_{pri}	-	2	1	2	3	3	3	5	4	5
ETX_{snd}	-	2	3	3	4	3	4	6	5	6

(b)

그림 1. RREQ 플러딩과 생성되는 라우팅테이블 항
Fig. 1 RREQ Flooding for Connection Establishment and Routing Table Entries

이와 같이 RREQ 패킷이 전송되면, $etxsum$ 과 ttl 값 갱신 후에 D가 수신하게 되는 RREQ 패킷들은, 노드 G로부터 RREQ[id,5,1], 노드 H로부터 RREQ[id,6,1], 노드 I로부터 RREQ[id,7,1]를 수신한다. 이들 중에서 D는 가장 작은 $etxsum$ 을 갖는 RREQ 패킷을 전송한 G를 주역경로노드로, 다음으로 작은 $etxsum$ 을 갖는 RREQ 패킷을 전송한 H를 보조역경로노드로 선택하고, 주역경로노드에 RREP 패킷을 전송하여 주경로를 설정한다. 그림 1-(b)는 RREP 패킷 전송을 통해 설정된 주경로와 각 노드의 라우팅테이블 항목을 나타낸다.

3.2. 보조경로 설정

수신자는 주경로를 설정하기 위해 RREP 패킷을 전송하고 나서 일정시간($\Delta delay_{RREP}$) 뒤에 보조경로를 설정하기 위해 RREP2 패킷을 보조역경로노드에게, 보조역경로노드가 없을 경우 주역경로노드에게 전송한다. RREP2 패킷은 보조역경로노드 또는 주역경로노드들을 통해 송신자에게 전송되는데 이 과정에서 각 중간노드들의 보조경로를 구성하는 보조순경로노드가 설정되게 된다. 주경로상에 속하지 않은 노드 x가 y로부터 RREP2 패킷을 받으면 자신의 주순경로노드를 노드 y로 설정하

고 RREP2 패킷을 자신의 주역경로노드에 전송한다. 주순경로노드에 속한 노드 x 가 y 로부터 RREP2 패킷을 받으면 자신의 보조순경로노드를 y 로 설정하고, RREP2 패킷을 보조역경로노드가 존재하면 보조역경로노드에 보내고, 그렇지 않으면 주역경로노드에 전송한다 (알고리즘 2). 위와 같은 과정으로 RREP2 패킷이 전송되는 링크들이 보조경로를 이루게 되는데, 주경로상에 있는 노드와 새로 추가되는 주경로상에 있지 않은 노드들을 포함하여 루프를 형성할 경우가 발생한다 (그림 2 참조).

```
// 알고리즘 2: 보조경로 설정 알고리즘
// 노드 x의 경로 id에 대한 라우팅테이블 항: (PRIfwd, SNDfwd, PRIbwd, SNDbwd, ETXpri, ETXsnd)
when (노드 y로부터 RREP2[id] 패킷 수신) {
  if (flag_PRI != 1) { // x: 보조경로상의 노드
    PRIfwd = y;
    RREP2 패킷을 PRIbwd 노드에게 전송;
  } else { // x: 주경로상의 노드
    if (flag_RREP2 == 1) { // 루프 형성
      SNDfwd = Null;
      RREP2 패킷을 PRIbwd 노드에게 전송;
    } else {
      flag_RREP2 = 1;
      if (PRIfwd == y) SNDfwd = Null;
      else
        SNDfwd = y;
      if (SNDbwd == Null)
        RREP2 패킷을 PRIbwd 노드에게 전송;
      else
        RREP2 패킷을 SNDbwd 노드에게 전송;
    }
  }
}
```

그림 2. 루프를 형성하는 보조역경로의 예
(a) A-B-A 루프 (b) A-B-C-E-A 루프
Fig. 2 Example of a loop in a secondary path
(a) A-B-A Loop (b) A-B-C-E-A Loop

루프를 형성할 경우 주경로상에 있는 노드는 RREP2 패킷을 중복하여 수신하게 되는데, 이럴 경우 자신의 보조순경로노드 SND_{fwd}를 Null로 하고, RREP2 패킷을 주역경로노드에 전송한다.

그림 3은 그림 1의 예에서 RREP2 패킷 전송을 통한 보조경로 설정 예를 보여준다. (알고리즘 2)와 같은 RREP2 패킷 전송과정을 통해 주경로상에 있지 않은 새로운 노드들 A, F, H가 보조경로에 추가되었고, 기존 주경로상에 있는 노드 S, B, G 등에는 보조순경로노드들이 추가되었다. 주경로상의 링크에 고장이 발생할 경우 보조경로상의 링크들을 이용하여 복구할 수 있는데, 예를 들어 링크 G-D에 고장이 발생할 경우, G-H-D를 통해, 링크 B-G에 고장이 발생할 경우, B-F-G를 통해, 링크 S-B에 고장이 발생할 경우, S-A-B를 통해 각각 복구할 수 있게 된다.

	S	A	B	C	E	F	G	H	I	D
PRI _{fwd}	B	B	G	-	-	G	D	D	-	-
SND _{fwd}	A	-	F	-	-	-	H	-	-	-
PRI _{bwd}	-	S	S	B	B	B	B	G	F	G
SND _{bwd}	-	B	A	S	A	C	F	E	G	H
ETX _{pri}	-	2	1	2	3	3	3	5	4	5
ETX _{snd}	-	2	3	3	4	3	4	6	5	6

그림 3. 주경로와 보조경로 설정
Fig. 3 Establishment of a primary and a secondary paths

3.3. 링크고장시 경로복구

경로설정 후 송신자는 주경로를 통해 데이터 패킷을 전송하며, 전송도중 주경로상의 링크고장이 발생할 경우, 고장을 검출한 노드의 보조순경로노드가 있을 경우 주순경로를 보조순경로로 대체함으로써 빠른 경로복구가 가능하다. 만약 고장을 검출한 노드가 보조순경로노드를 가지고 있지 않을 경우에는 자신의 주역경로노드에 RERR (Route ERROR) 패킷을 전송한다. 이 RERR 패

킷은 보조순경로노드를 가지고 있는 노드에 도착할 때까지 주역경로노드를 통해 전달되고, 보조순경로노드를 가지고 있는 노드에 도착하면 그 노드는 주순경로를 보조순경로로 대체하여 데이터 전송경로를 복구하게 된다 (알고리즘 3).

```
//알고리즘 3: 경로복구 알고리즘
// 주경로노드 : x
// 경로 id에 대한 라우팅테이블항 : (PRIfwd, SNDfwd, PRIbwd,
SNDbwd, ETXpri, ETXsec)
when (PRIfwd로의 링크고장 or RERR[id] 패킷수신) {
  if (SNDfwd != NULL) { // 보조순경로 존재
    PRIfwd = SNDfwd; SNDfwd = NULL;
  } else { // 보조순경로 없음
    PRIfwd = NULL;
    RERR 패킷을 PRIbwd 노드에게 전송;
  }
}
```

그림 4는 경로설정 후 주경로상의 링크에서 고장이 발생할 경우 경로를 복구하는 예를 나타낸다. 그림 3-(a)와 같이 주경로 S-B-G-D를 통한 데이터 전송 도중 B-G 경로에 고장이 발생하면, 고장을 검출한 노드 B는 주경로를 자신의 보조순경로노드 F로 수정한다. G-D 경로에 고장이 발생할 경우에도 마찬가지로, 고장을 검출한 노드 G는 자신의 보조순경로노드 H를 이용하여 데이터 전송경로를 복구할 수 있다.

그림 4. 보조경로를 이용한 경로복구
Fig. 4 Path recovery using a secondary path

IV. 시뮬레이션

제안한 프로토콜의 성능분석을 위해 QualNet 시뮬레이터 [12]를 이용한 시뮬레이션을 통해 성능을 측정하였다. 측정한 성능은 기존의 NDMR [3], MAODV-SIM [9], HLAR 프로토콜 [10] 등과 비교를 하였는데, NDMR은 비중첩경로를 사용하는 다중경로 기반 프로토콜 중에서 대표로 선택하였고, MAODV-SIM은 본 연구와 유사한 방법을 사용하지만 링크성능평가척도와 경로선택 방법의 차이를 비교하기 위해서 선택하였고, HLAR은 로컬 경로복구 방법의 차이를 비교하기 위하여 선택하였다. 성능비교는 중단간 패킷수신률, 중단간 평균 패킷 지연시간, 그리고 경로복구시간에 대해 분석하였다. 시뮬레이션을 위한 QualNet 시뮬레이터 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table. 1 Simulation Parameters

시뮬레이션 시간	1000s
네트워크 크기	1500m x 1500m
노드 전송반경	250m
$\Delta delayRREP$	50ms
MAC 프로토콜	IEEE 802.11
이동성 패턴	Random waypoint
이동속도	0-25 m/s

그림 5는 노드 이동속도에 따른 중단간 패킷수신률을 나타낸다. 성능분석 결과 모든 프로토콜에서 노드의 이동속도가 증가함에 따라 패킷수신률은 감소하였으며, 동일한 이동속도에서는 본 논문에서 제안하는 프로토콜 (MRFR)이 다른 프로토콜들에 비해 우수한 패킷수신률을 보였으며 이러한 차이는 이동속도가 커짐에 따라 더욱 커지는 현상을 보여주었다. 예를 들어 속도가 15m/s 이고 10-플로우 경우, HLAR, NDMR, MAODV-SIM 프로토콜들의 경우는 각각 0.69, 0.68, 0.75인 반면, MRFR 프로토콜의 경우는 0.84로 약 10-20% 정도 좋은 성능을 보였다. 이러한 결과는 제안한 프로토콜이 다른 프로토콜들보다 좀 더 중단간 신뢰성 있는 경로를 통해 전송함을 나타낸다.

그림 5. 종단간 패킷수신률
Fig. 5 End-to-end packet reception rate

그림 6은 노드 이동속도에 따른 전송되는 패킷들의 평균 지연시간을 보여준다. 그림 6에서 노드의 이동속도가 작을 경우는 제한한 프로토콜의 지연시간은 다른 프로토콜들과 유사하거나 오히려 조금 크지만 (10-플로우, 속도-0의 경우: NDMR, HLAR은 75ms, MAODV-SIM은 90ms, MRFR은 98ms), 이동속도가 커짐에 따라 제한한 프로토콜의 지연시간이 다른 프로토콜들에 비해 작아짐을 알 수 있다 (예를 들어 10-플로우, 속도-15의 경우: NDMR 220ms, HLAR 210ms, MAODV-SIM 185ms, MRFR 160ms). 이러한 현상은 노드 이동속도가 작을 경우에는 링크의 고장 확률이 작아 다른 프로토콜에 비해 경로의 홉수가 평균적으로 큰 제한한 프로토콜이 지연시간이 약간 클 수 있지만, 노드의 이동속도가 커지면 링크고장 확률이 커지고, 이럴 경우 안정된 경로를 택하는 제한한 프로토콜이 다른 프로토콜들에 비해 평균 지연시간이 작아진다.

그림 6. 평균 패킷지연시간
Fig. 6 Average delay of packets

프로토콜들의 고장복구 성능을 분석하기 위하여 링크고장이 발생 시 경로를 복구하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 본 실험을 위해 경로설정 후 주기적으로 데이터를 전송하는 도중에 임의의 링크에서 고장이 발생하도록 하고 경로발생 후 경로를 복구하고 다음 데이터 패킷이 목적지에 도착할 때까지의 시간을 측정하였다. 그림 7은 프로토콜별로 링크고장시 평균 경로복구시간을 나타낸다. 프로토콜별 경로복구시간은 노드수가 증가함에 따라 줄어들음을 알 수 있는데, 이는 노드수가 증가하면 경로를 복구할 수 있는 대체경로가 많아져 경로복구가 빨리 수행됨을 보여준다. 그림 7에서 보듯이 제한한 프로토콜이 비교하는 프로토콜들에 비해 경로복구시간이 훨씬 적음을 알 수 있다. 예를 들어 노드 수가 150개이고 10-플로우의 경우, HLAR, NDMR, MAODV-SIM 프로토콜들의 경우 경로복구 시간이 1.25s, 1.05s, 1.02s 인 반면에 MRFR 프로토콜은 약 360ms 정도로 3배 정도 빠름을 알 수 있다.

그림 7. 링크고장시 평균 경로복구시간
Fig. 7 Average path recovery time to handle link faults

V. 결 론

본 논문에서는 MANET에서 종단간 신뢰성 있는 데이터 전송과 링크고장 발생시 빠른 경로복구 기능을 갖는 다중경로기반 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제안한 프로토콜은 데이터 전송이 필요할 경우 송신자에서 수신자까지의 종단간 가장 신뢰성이 높은 주경로와 링크고장이 발생할 경우 전송경로를 복구하기 위한 보조경로를 설정한다. 경로설정 후 데이터 전송도중 링크고

장이 발생하면 보조경로를 이용하여 빠르게 복구함으로써 데이터의 손실을 줄이고 새로운 경로설정을 위한 제어패킷 트래픽을 줄이게 된다. 제안한 프로토콜의 성능을 QualNet 시뮬레이터를 이용하여 기존 프로토콜들과 비교분석하였고, 성능분석결과 본 논문에서 제안한 프로토콜이 기존 프로토콜들에 비해 종단간 패킷전송률이 높고, 링크고장 시 경로복구시간이 빠름을 보여주었다.

참고문헌

- [1] C.E.Perkins, Ad Hoc Networking, Addison Wesley, 2001.
- [2] A.Tsirigos and Z.J.Haas, "Multipath routing in the presence of frequent topological changes," IEEE Comm. Magazine, pp. 132 - 138, Nov. 2001.
- [3] X.Li and L.Cuthbert, "Stable node-disjoint multipath routing with low overhead in mobile ad hoc network," Proc. IEEE MASCOTS, pp. 184 - 191, Oct. 2004.
- [4] P.P.Pham and S.Perreau, "Performance analysis of reactive shortest path and multipath routing mechanism with load balance," Proc. IEEE INFOCOM, pp. 251 - 259, Apr. 2003.
- [5] Z.Ye, S.V.Krishnamurthy and S.K.Tripathi, "A framework for reliable routing in mobile ad hoc networks," Proc. IEEE INFOCOM, pp. 270 - 280, Apr. 2003.
- [6] C.E.Perkins, E.M..Belding-Royer and S. R.Das, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-13.txt>, IETF Internet draft, Feb. 2003.
- [7] S.J.Lee, M.Gerla, "AODV-BR: Backup routing in Ad Hoc networks." Proc. IEEE WCNC, pp. 1311-1316, 2000.
- [8] J.Jeon, K.Lee and C.Kim, "Fast Route Recovery Scheme for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE ICOIN, pp. 419-423, 2011.
- [9] B.Mainaud, M.Zekri and H.Afi, "Improving routing reliability on wireless sensors network with emergency paths," Proc. IEEE ICDCS, pp.545 - 550, Jun. 2008.

- [10] A.Rabayah and R.Malaney, "A new hybrid location-based ad hoc routing protocol," Proc. IEEE GLOBECOM, pp. 1 - 6, Dec. 2010.
- [11] N.Baccour, et. al, "A comparative simulation study of link quality estimator in wireless sensor network," Proc. IEEE MASCOTS, pp. 1 - 10, Sep. 2009.
- [12] Qualnet simulator, <http://www.scalable-networks.com/content/>.

저자소개

트란안타이(Anh Tran Thai)

2011년 하노이 공대 졸업
2011년~ 현재 울산대학교
전기공학부 석사과정

※ 관심분야: 산업용 네트워크, 실시간 통신

김명균(Myung-kyun Kim)

1984년 서울대학교 컴퓨터공학과
졸업
1986, 1996년 한국과학기술원
전산학과 졸업(석사, 박사)

1998년~ 현재 울산대학교 전기공학부 교수
※ 관심분야: 산업용 네트워크, 실시간 통신