

## 무선네트워크에서 노드의 에너지를 고려한 종단간 안정성 있는 메시지 전송 프로토콜

마이딘당 · 김명균\*

### Stable Message Transmission Protocol Considering Remaining Energy of Nodes on Wireless Networks

Mai Dinh Duong · Myung-Kyun Kim\*

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

#### 요 약

멀티홉 무선네트워크에서 메시지 전송 경로는 경로 탐색 과정을 통해 설정하게 되는데 일반적으로 최단경로를 이용하게 된다. 그러나 이러한 경로는 네트워크 중앙부근의 노드들을 많이 이용하여 에너지 사용의 불균형 및 혼잡 발생 확률을 높여 메시지 전송 안정성을 떨어뜨리는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 노드들의 잔여 에너지량을 고려하여 종단간 안정성 있는 메시지 전송 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안한 프로토콜은 링크성능평가척도로 ETX (Expected Transmission Count) 를 사용하며, 경로설정시 노드의 잔여 에너지량이 적은 노드들을 회피함으로써 경로 고장 확률을 줄이고 이로 인한 메시지 손실을 최소화하도록 하고 있다. 제안한 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 QualNet 시뮬레이터를 이용하여 성능측정을 수행하였고, 이를 기존의 라우팅 프로토콜들과 비교하였다. 성능측정 결과 종단간 메시지 전송률 및 메시지 전송지연시간 등에 있어서 기존 신뢰성 보장 프로토콜인 MRFR 프로토콜과 유사하였지만 노드들의 부하균등성 측면에서 MRFR 프로토콜 보다 우수함을 보였다.

#### ABSTRACT

In multi-hop wireless networks, a message transmission path is set up on demand by a route discovery step, where a shortest path is used in general. The shortest path, however, normally uses the nodes near the center area, which causes a high traffic load in that area and reduces the message transmission reliability. We propose a stable routing protocol considering the remaining energy of nodes. Our protocol uses ETX as a link performance estimator and tries to avoid the nodes with smaller energy. By doing this, we can reduce the route failure probability and packet loss. We have evaluated the performance of the proposed protocol using QualNet and compared with AODV and MRFR protocols. The simulation result shows that our protocol has a similar performance as MRFR in terms of end-to-end message reception ratio, average message delay and delay jitter, but outperforms MRFR in terms of traffic load distribution.

**키워드** : 무선네트워크, 안정성 있는 메시지 전송, 링크성능평가척도, 부하균등 프로토콜

**Key word** : Wireless networks, Stable message transmission, Link performance estimator, Load-distribution protocols

접수일자 : 2013. 10. 07 심사완료일자 : 2014. 04. 21 게재확정일자 : 2014. 05. 07

\* **Corresponding Author** Myung-Kyun Kim (Email: mkkim@ulsan.ac.kr, Tel: +82-52-259-2209)

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.5.1215>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

멀티홉 무선네트워크에서는 링크의 특성이 어려움이 높고 시간에 따라 자주 변하여 각 링크의 안정성이 떨어지므로 송수신자 사이의 메시지 전송은 송신자가 전송이 필요할 경우 수신자까지 경로를 동적으로 설정한 후 전송하는 Reactive 라우팅 프로토콜을 사용한다 [1, 2]. 그러나 경로설정 후 데이터를 전송하는 도중 전송경로상에 있는 링크에서 고장이 발생하게 되면 송수신자 사이의 경로를 다시 설정해야 하는 문제가 발생하게 된다. 이러한 링크고장은 전송 데이터의 손실 및 전송지연시간의 증가, 그리고 새로운 경로설정을 위한 제어패킷들로 인한 네트워크 트래픽을 증가시키는 등의 문제가 발생하게 된다. 송신자와 수신자 사이의 전송경로의 고장 확률은 전송경로를 구성하는 링크들의 고장 확률에 따라 달라지므로, 종단간 안정성 있는 메시지 전송을 위해서는 고장확률이 작은 링크를 통해 구성하는 것이 필요하다. 시간에 따라 동적으로 변하는 무선 링크의 성능을 정확히 예측하기 위해 RTT (Round Trip Time), BW (BandWidth), ETX (Expected Transmission Count) 등 많은 링크성능평가척도들이 사용되고 있는데 [3], 정적 무선네트워크에서 ETX 평가척도가 가장 성능이 좋은 것으로 알려져 있고 [4, 5], 본 논문에서는 안정성 있는 종단간 메시지 전송 경로를 구하기 위해 링크성능평가 척도로 ETX를 사용한다.

멀티홉 무선네트워크에서 신뢰성 있는 메시지 전송을 위해 많은 연구들이 수행되어 왔다 [6-8]. 무선네트워크에서 많이 사용되고 있는 AODV [2]와 같은 프로토콜은 메시지 전송을 위해 최단거리 경로를 이용하여 전송을 하는데, Pham 과Perreau [9]는 최단거리 경로가 신뢰성 있는 메시지전송을 위해 좋은 선택이 아님을 보여 주었다. 최근 트란안타이 등 [8]은 종단간 메시지 신뢰성을 고려하여 가장 신뢰성이 높은 경로를 통해 메시지를 전송하고 전송도중 고장이 발생할 경우, 백업경로를 통해 전송경로를 빨리 복구할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 그러나 이러한 라우팅 프로토콜들은 노드들의 에너지를 고려하지 않아 메시지 전송경로에 네트워크 중앙부근에 위치한 노드들이 많이 사용되고 이로 인해 노드의 고장으로 인한 메시지 손실 및 혼잡이 발생할 확률이 높아질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 종단간 안정성 있는 메시지 전송을 위해 노드들의

에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안한 프로토콜은 경로들의 종단간 신뢰성 값과 경로를 구성하는 노드들의 에너지량을 고려하여 메시지 전송경로를 선택함으로써, 노드들의 에너지 사용을 균등하게 하며 종단간 메시지 전송 신뢰성을 향상시키게 된다. 본 논문에서 제안한 프로토콜의 성능 분석을 위해 QualNet 시뮬레이터를 통해 프로토콜을 구현하고, 기존의 AODV [2] 프로토콜과 신뢰성 보장 측면에서 우수한 성능을 보인 MRFR [8] 프로토콜들과 성능을 비교 분석하였다. 성능분석은 종단간 메시지 전송률, 메시지 전송지연시간 및 지터, 그리고 노드들의 부하균등성 측면에서 측정하였으며, 제안한 프로토콜은 모든 측면에서 AODV 프로토콜에 비해 우수한 성능을 보였다. 그리고 종단간 메시지 전송률, 메시지 전송지연시간 및 지터 등은 기존 신뢰성 보장 프로토콜인 MRFR 프로토콜과 유사하였지만 노드들의 부하균등성 측면에서 MRFR 프로토콜 보다 훨씬 우수함을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 본 논문에서 사용하고 있는 ETX 성능평가척도와 기존의 부하균등 프로토콜들에 대해 기술하고, III절에서는 본 논문에서 제안하는 노드들의 잔여 에너지 값을 고려한 신뢰성 있는 메시지 전송 프로토콜에 대해 기술한다. IV절에서는 제안한 프로토콜에 대한 성능 시뮬레이션에 대해 기술하고, 마지막으로 V절에서는 결론에 대해 기술한다.

## II. 관련 연구

### 2.1. ETX 링크성능평가척도

멀티홉 무선네트워크에서 메시지 전송경로의 성능평가를 위해 다양한 링크성능평가척도들이 많은 연구자들에 의해 제안되었는데 [4, 5], 본 논문에서는 이동성이 많지 않은 무선네트워크에서 성능이 우수하다고 알려진 ETX [5] 척도를 사용한다. 노드  $x$ 와  $y$  사이의 링크  $(x,y)$ 에 대한 ETX 값은 링크  $(x,y)$ 에서 하나의 패킷을 성공적으로 전송하기 위해 필요한 평균 전송횟수를 나타내며, 아래 수식 (1) 과 같이 노드  $x$ 에서  $y$  로의 패킷수신률(Packet Reception Rate),  $PRR(x,y)$ , 과 노드  $y$ 에서  $x$  로의 패킷수신률,  $PRR(y,x)$  을 통해 구해진다.

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

각 노드들은 링크의 패킷수신률을 구하기 위해 주기적으로 인접한 노드들과 Probe 패킷을 교환하며, 노드 x에서 y 로의 패킷수신률 PRR(x,y)는 주어진 윈도우 w 시간 동안에 노드 x가 전송한 Probe 패킷 중에서 노드 y 가 성공적으로 수신한 Probe 패킷의 수를 통해 구한다. 노드y는 PRR(\*,y) 값을 자신의 Probe 패킷에 포함하여 전송함으로써 인접한 노드들이 값을 계산하도록 한다. 각 링크에 ETX 값이 주어진 네트워크에서 송신자 S에서 수신자 D까지의 경로에 대한 경로 ETX,  $e2eETX(S,D)$ , 는 다음과 같이 구한다.

$$e2eETX(S,D) = \sum_{(x,y) \in path(S,D)} ETX(x,y) \quad (2)$$

여기서 path(S,D)는 송신자 S에서 수신자 D 사이의 경로, 즉  $path(S,D) = \{(S,X_1), (X_1,X_2), \dots, (X_{k-1},X_k), (X_k,D)\}$  를 의미한다. 송신자 S에서 수신자 D 사이에는 많은 경로가 존재하며, 본 논문에서는 이들 경로 중 가장 신뢰할 수 있는 경로, 즉  $e2eETX$  값이 가장 작은 경로를 찾고 이 경로를 통해 데이터를 전송함으로써 신뢰성 있는 전송을 하도록 하고 있다.

### 2.2. 부하균등 라우팅 프로토콜

멀티홉 무선네트워크에서 부하를 고려한 경로탐색 알고리즘들이 많은 연구자들에 의해 연구되었다 [10, 11]. 논문 [10]의 저자들은 각 노드가 전송하는 메시지 트래픽을 자신이 전송하는 트래픽 (self-traffic)과 자신이 포워딩하는 다른 노드들의 트래픽으로 나누고, 전체 트래픽양에서 self-traffic 양의 비율에 따라, 포워딩 데이터 패킷 및 경로설정패킷의 처리를 다르게 함으로써 혼잡에서 벗어나도록 하는 방법을 사용하고 있다. 논문 [11]에서는 무선 인터넷 액세스 네트워크에서 송신자들의 인터넷 액세스를 여러 액세스 게이트웨이에 분산하도록 하기 위한 프로토콜을 제안하였다. 이를 위해 액세스 게이트웨이 노드들은 다른 노드들 보다 에너지를 많이 가지며 새로운 노드가 인터넷을 액세스하고자 할 때, 부하가 가장 작은 무선 인터넷 액세스 게이트웨이를 통해 인터넷에 접속하도록 한다.

그림 1의 네트워크에서 노드 A가 C로 A-B-C 경로를 통해 메시지를 전송하고 있고, 노드 D가 G로 경로를 설정하고자 할 때, 경로는 D-B-G 와 D-E-F-G 두 개의 경로가 존재하는데, AODV 와 같은 프로토콜에서는 최단경로인 D-B-G 경로가 선택한다.

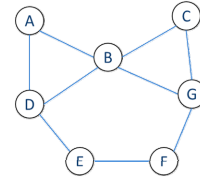


그림 1. 부하를 고려한 경로설정  
Fig. 1 Route establishment considering traffic load

그러나 D-B-G 경로를 선택하면 노드 B의 트래픽이 증가하게 되어, 혼잡이 발생할 확률이 높아지고 노드 B의 에너지 소모가 많아져 노드B가 다운될 확률이 높아지게 된다. 이 경우 D-B-G 경로를 선택하는 것보다 D-E-F-G 경로를 선택하는 것이 혼잡을 피하고 메시지 전송 신뢰성을 높일 수가 있다. 따라서 신뢰성 있는 메시지 전송을 위해서 경로의 신뢰성과 함께 노드들의 에너지량을 고려하는 것이 필요하다.

### III. 노드 에너지를 고려한 안정성 있는 메시지 전송 프로토콜

본 논문에서는 네트워크내의 모든 노드들의 초기 에너지량은 모두 동일하다고 가정하고, 노드 X는 수식 (3)과 같이 정규화된 잔여 에너지 값 (remE(X))을 가지고 있다. 배터리에 의존하여 동작하는 모바일 노드들은 배터리를 절약하기 위한 기능들과 현재 배터리 상태에 따라 동작을 제어하기 위한 기능을 가지고 있으며, 이를 위해 배터리 잔량을 구하는 기능을 플랫폼에서 제공하고 있다. 예를 들어 안드로이드 플랫폼에서는 BatteryManager 클래스를 통해 배터리의 다양한 상태를 알 수 있는 기능을 제공하고 있으며, 이 클래스의 level 프로퍼티가 정규화된 배터리 잔량을 나타낸다.

$$remE(X) = \frac{\text{노드 } X \text{의 현재 에너지량}}{\text{노드 } X \text{의 초기 에너지량}} \quad (3)$$

본 논문의 라우팅 프로토콜은 노드의 잔여 에너지  $remE(X)$  값과 경로의  $e2eETX$  값을 고려하여 잔여 에너지 값이 일정 이상이고  $e2eETX$  값이 작은 경로를 선택하여 메시지 전송 신뢰성을 높이도록 하고 있다.

### 3.1. 경로탐색 과정

제안하는 프로토콜은 기존 무선네트워크 프로토콜들과 같이 송신자가 메시지 전송이 필요할 경우 경로탐색 과정을 통해 메시지 전송 경로를 구하고 메시지를 전송하게 되며, 메시지 전송경로 탐색은 송신자의 RREQ (Route REQuest) 패킷 플러딩과 수신자의 RREP (Route REPLY) 패킷 전송을 통해 이루어 진다. RREQ 패킷 플러딩을 통해 수신자는 잔여 에너지량이 일정량 이상인 경로들 중에서 종단간 ETX 값이 최소인 경로를 구하게 된다. 이를 위해 각 노드들은 라우팅테이블과 노드테이블을 유지하는데, 라우팅테이블은 자신을 경유하는 각 경로에 대한 정보를 가지며 노드테이블은 자신의 인접 노드들 사이의 링크들에 대한 값을 유지한다. 라우팅테이블 하나의 항은 하나의 경로정보를 포함하며 아래와 필드들로 구성되어 있다:

$[id, prevHop, routeETX, routeMRE]$

여기서  $id$ 는 경로식별자이고,  $prevHop$  은 경로의 이전노드를 나타내며,  $routeETX$  는 송신자에서 자신까지 해당 경로에 대한 ETX 값을 나타내며,  $routeMRE$  는 송신자에서 자신까지 해당 경로 상에 있는 노드들의 잔여 에너지량 중 최소값을 나타낸다. 각 노드들은 주기적으로 Probe 패킷을 인접노드들과 교환하며, 이 Probe 패킷을 교환을 통해 인접노드 사이의 링크에 대한 값을 구하고 이를 노드테이블에 유지한다.

### 3.2. RREQ 패킷 플러딩

제안하는 라우팅 프로토콜에서 노드 S가 D로 메시지 전송이 필요하면 전송경로를 찾기 위해  $RREQ[id, etxSum, minE]$  패킷을 브로드캐스팅하게 된다. 여기서  $id$ 는 설정하는 경로에 대한 ID,  $etxSum$ 은 RREQ 패킷이 거처온 경로의 ETX 값을 가지며,  $minE$  값은 RREQ 패킷이 송신자에서 해당 노드까지 거처온 경로상에 있는 노드들의 잔여 에너지량 중 최소값을 나타낸다. 송신자가 처음 RREQ 패킷을 브로드캐스팅할 때  $etxSum$

값은 0,  $minE$  값은 1 을 갖는다. 송신자가 전송한 RREQ 패킷은 중간노드들에 의해 다시 브로드캐스팅 되면서 수신자까지 전송되는데, 전송과정에서  $etxSum$  은 RREQ 패킷이 전송된 경로의  $e2e\_ETX$ 값을 갖게 되고,  $minE$  은 전송된 경로상에 있는 노드들의 잔여 에너지량 중에서 최소값을 갖게 된다.

그림 2는 노드들의 RREQ 패킷 처리과정을 나타낸다. 노드가 첫 번째 RREQ 패킷을 받으면 새로운 경로  $id$ 에 대한 라우팅테이블 항을 생성하고, 수신한 RREQ 패킷의 정보로 초기화 한다.

```
// B가 A로부터 RREQ[id,etxSum,minE] 수신하는 경우
(i) 처음 수신한 경우:
  (a) 경로 id에 대한 라우팅테이블 항 생성 및 초기화:
      [id, prevHop = A, routeETX = etxSum + (A,B), route
      MRE = minE]
  (b) RREQ패킷 갱신 후 다시 브로드캐스팅하고,
      ΔdelayRREQ 타이머 설정
      etxSum = etxSum + ETX(A,B),
      minE = min{minE, remE(B)}
(ii) 경로 id에 대한 라우팅테이블 항 존재할 경우:
  (a) (minE - routeMRE ≥ H2) 또는 // 조건 (1)
      (routeMRE - minE ≤ H1 이고 etxSum + etx(A,B) <
      routeETX) 일 경우: // 조건 (2)
      (1) 경로 id에 대한 라우팅테이블 항 갱신:
          [prevHop = A, routeETX = etxSum + (A,B),
          routeMRE = minE]
      (2) RREQ 갱신 후 저장하고, updateFlag = 1
          etxSum = etxSum + ETX(A,B),
          minE = min{minE, remE(B)}
  (b) (a)가 아닐 경우: RREQ 버림
(iii) ΔdelayRREQ 타이머 타임아웃:
  (a) updateFlag = 1 이면, RREQ 패킷을 다시
      브로드캐스팅
```

그림 2. 경로설정 알고리즘  
Fig. 2 Route establishment algorithm

경로  $id$ 에 대한 RREQ 패킷을 다시 수신하게 되면, 각 노드들은 기존에 유지하고 있는 라우팅테이블 항의 정보와 RREQ 패킷에 들어있는 정보를 비교하여 새로 수신한 RREQ 패킷의 경로정보가 더 좋으면 라우팅테이블 항을 갱신하게 된다. 더 좋은 경로에 대한 판단은 2 가지 기준에 의해 수행되는데, 첫 번째는 새로 수신한 RREQ 패킷의  $minE - routeMRE \geq H2$  일 경우, 즉 수신한 RREQ 패킷 경로의 잔여 에너지량이 현재 라우팅테이블에 있는 경로의 잔여 에너지량 보다  $H2$  값 이상 클 경우, 노드는 새로 수신한 RREQ 경로의 정보로 라우팅테이블 항을 갱신하며, 여기서  $H2$ 는 최소 잔여 에너지를 통해 경로정보 갱신을 위해 주어진 Threshold

값을 나타낸다. 두 번째 기준은 ( $routeMRE - minE \leq H1$  이고  $etxSum + ETX(A,B) < routeETX$ ) 일 경우, 즉 수신한 RREQ 패킷 경로의 잔여 에너지량이 라우팅 테이블에 있는 경로의 잔여 에너지량 보다 H1 값 이상 작지 않고 경로 ETX ( $etxSum + ETX(A,B)$ ) 값이 라우팅 테이블의 경로 ETX ( $routeETX$ ) 보다 작으면, 노드는 새로 수신한 RREQ 경로의 정보로 라우팅테이블 항을 갱신한다. 여기서 H1 역시 경로 ETX 값을 통해 라우팅 경로정보 갱신을 위해 필요한 최소 잔여 에너지 값 차이를 나타내는 Threshold 값이며, H1, H2 값은 0과 1사이의 값이다.

두 개의 Threshold H1 과 H2 값에 따라 라우팅 프로토콜의 성능이 달라질 수 있는데, H2 값이 너무 크면 조건 (1)을 만족하기 어려워 조건 (2)에 의해서만 경로를 찾게 되어 MRFR 프로토콜과 유사해 지고, H2 값이 너무 작으면 조건 (1)에 의해 최소 잔여 에너지 값이 가장 큰 경로를 찾게 되어 부하분산 측면에서는 좋지만 신뢰성 있는 경로를 찾기가 어렵게 된다. 또한 조건 (2)는 경로 ETX 가 가장 작은 신뢰성 있는 경로를 찾기 위한 조건인데, 경로 ETX 가 작지만 잔여 에너지가 너무 작으면 부하분산 측면에서 좋지 않다. 따라서 수신한 RREQ 패킷의 잔여 에너지가 현재 라우팅테이블 항의 잔여 에너지 보다 H1 이상 작지 않으면, 경로 ETX 값이 작은 경로를 선택하도록 하여 부하분산을 고려한 신뢰성 있는 경로를 선택하도록 하고 있다. H1, H2 두 Threshold 값의 변화에 따른 라우팅 프로토콜의 성능변화에 대해 4절에서 자세하게 기술한다.

본 프로토콜에서는 새로운 RREQ 패킷에 의해 라우팅테이블 경로정보가 갱신되면 다시 RREQ 패킷을 브로드캐스팅하게 되고, 이로 인해 너무 많은 RREQ 패킷이 생성될 수 있다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 각 노드는 첫 번째 RREQ 패킷을 수신하면 새로운 라우팅테이블 항을 생성하고, 수신한 첫 번째 RREQ 패킷을 다시 브로드캐스팅 한 뒤  $\Delta delayRREQ$  타이머를 설정한다. 이 후 수신되는 RREQ 패킷들에 대해서는 기존 라우팅테이블 항의 경로보다 더 좋은 경로이면 라우팅테이블만 갱신하고,  $updateFlag$  값을 1로 설정한다. 나중에  $\Delta delayRREQ$  타이머 값이 0이 되면,  $updateFlag$  값을 체크하여 1이면 저장된 RREQ 패킷을 다시 브로드캐스팅하도록 한다. 이렇게 함으로써 각 노드는  $\Delta delayRREQ$  시간동안 수신된 RREQ 패킷들 중에서 가

장 좋은 경로정보를 라우팅테이블에 유지하며 RREQ 패킷 브로드캐스팅을 최소화 한다.  $\Delta delayRREQ$  타이머 값은 각 노드가 이웃노드들로부터 RREQ 패킷을 모두 받을 수 있는 시간으로 설정하도록 하는데, 이 타이머 값에 따른 성능분석에 대해 4절에서 기술한다.

이와 같은 과정을 통해 송신자에게 전송되는 RREQ 패킷들은 전송된 경로에 대한 ETX 값과 최소 에너지량 값을 갖게 된다. 목적지 노드 D는 첫 번째 RREQ 패킷을 수신하면  $\Delta delayRREP$  타이머를 설정하고 이 시간 동안 수신된 RREQ 패킷중에서 가장 좋은 경로를 선택하고, 선택된 경로에 대한 RREQ 패킷에 대해 RREP 패킷을 전송한다. RREP 패킷은 RREQ 패킷 전송중에 설정된 역경로를 통해 송신자에게 전송되며, 송신자는 선택된 경로를 통해 데이터 패킷을 전송하게 된다.

#### IV. 라우팅 프로토콜 성능분석

제안한 라우팅 프로토콜의 성능분석을 위해 QualNet [12]을 통한 시뮬레이션을 통해 기존의 AODV [2] 그리고 MRFR 프로토콜 [8] 과 성능비교를 하였다. 성능비교는 종단간 패킷수신률, 종단간 평균 패킷지연시간 및 지터, 그리고 노드들의 부하균등성에 대해 분석하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table. 1 영문제목 Simulation parameters

시뮬레이션 시간	1000s
네트워크 크기	1500m x 1500m
노드 전송반경	250m
$\Delta delayRREQ$	25ms
$\Delta delayRREP$	25ms
데이터 패킷 간격	1s
데이터 패킷 크기	512B
MAC 프로토콜	IEEE 802.11
에너지 모델	초기전력: 15J, 전압: 6.5V, 전송전력 (15dbm), 수신 sensitivity (-87dbm)

성능분석은 125개의 노드를 가진 1500m x 1500m 크기의 네트워크에서 임의의 5개의 플로우를 생성하고 각 플로우별로 단위시간당 전송되는 패킷을 증가시켜가며 성능을 측정하였다. QualNet 시뮬레이터는 시뮬레이션 시작부터 현재까지 패킷을 송수신하면서 소비한 전력 양을 유지하고 있으며, 노드의 배터리 잔량은 초기 배

터리량에서 현재까지 소비한 배터리량을 빼서 구할 수 있다. 본 논문의 시뮬레이션을 위한 QualNet 파라미터는 표 1과 같다.

제한한 프로토콜은 노드들의 잔여 에너지를 고려하여 경로ETX 값이 가장 작은 경로를 선택한다. 송신자에 의해 전송된 RREQ 패킷을 받은 중간노드 및 목적지 노드는 두 개의 Threshold H1, H2 값에 따라 최소 잔여 에너지가 큰 경로를 선택하거나 경로ETX 가 작은 경로를 선택한다. H1, H2 값에 따라 라우팅 프로토콜의 성능이 달라질 수 있는데, 그림 3은 H1, H2 값에 따른 중단간 패킷 수신률을 보여준다.

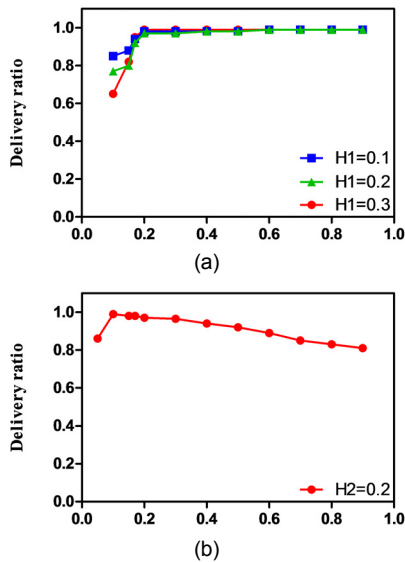


그림 3. (a) H1, (b) H2 값에 따른 중단간 패킷수신률  
Fig. 3 End-to-end packet reception rate in terms of (a) H1 and (b) H2 values.

그림 3 (a)에서는 H1 값을 0.1, 0.2, 0.3 일 경우 각각에 대해 H2 값이 증가함에 따른 중단간 패킷수신률을 보여준다. 각각에 대해 H2값이 0.2까지는 H2 값이 증가함에 따라 패킷수신률이 증가하지만, 0.2 이후에는 패킷수신률의 변화가 거의 없음을 보여준다. 그림 3 (a)에서 보듯이 H2 값이 0.2 보다 작을 경우, 대부분 경로들이 경로 ETX 조건 (그림 2의 조건 (2)) 보다 최소 잔여 에너지 조건 (그림 2의 조건 (1))에 의해 경로가 선택되어 중단간 메시지 수신률이 떨어질 수 있다. 그러나 H2 값이 0.2 이후에는 패킷수신률의 변화가 거의 없어

H2=0.2 값이 패킷수신률 감소없이 노드의 잔여 에너지를 최대 고려할 수 있는 값을 알 수 있다. 그림 3 (b)는 H2 값이 0.2일 경우 H1 값의 변화에 따른 중단간 패킷수신률을 보여준다. 그림에서 보듯이 H1 값이 0.1까지는 증가하고, H1=0.1 일 때 최대가 된 뒤 이후에는 패킷수신률이 0.3 정도까지는 소폭 감소하고 0.4 이후에는 많이 떨어지는 것을 보여준다. H1 값이 작으면 (조건 (2))에서 경로ETX 값이 작은 경로를 선택할 수 있지만, H1 값이 너무 작으면 잔여 에너지가 너무 작은 경로를 선택할 가능성이 커져 경로고장으로 인한 패킷수신률이 떨어짐을 보여준다. 따라서 제한한 프로토콜에서 가장 좋은 패킷수신률을 보여주는 Threshold 값은 H1 = 0.1 과 H2 = 0.2 임을 알 수 있고, 이후 성능평가에서는 모두 H1 = 0.1 과 H2 = 0.2 를 사용하였다.

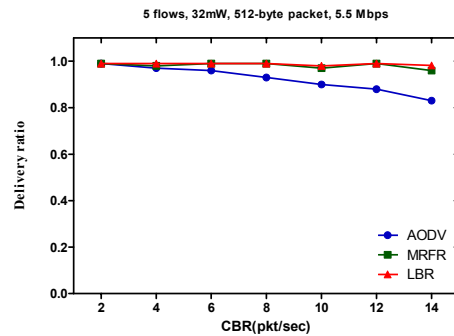


그림 4. 트래픽 증가에 따른 중단간 패킷수신률  
Fig. 4 End-to-end packet reception rate in terms of traffic per flow

그림 4는 플로우의 트래픽 증가 (단위시간당 전송하는 패킷수의 증가)에 따른 중단간 패킷수신률을 나타낸다. 그림에서 보듯이 제안하는 프로토콜은 트래픽이 증가함에 따라 AODV 프로토콜에 비해 패킷수신률이 좋음을 알 수 있고, MRFR 프로토콜과는 거의 비슷한 패킷수신률을 보여주고 있다. 제안한 프로토콜은 패킷수신률에 있어서는 MRFR 프로토콜과 유사하지만, 나중 그림 6에서 보듯이 노드들의 부하균등성 측면에서 MRFR 보다는 우수함을 알 수 있다.

그림 5는 플로우의 트래픽 증가에 따른 전송되는 데이터 패킷들의 평균 지연시간과 패킷지터를 나타낸다. 패킷당 평균 전송지연시간 및 지터 값은 전체 시뮬레이션 동안 전송되는 각 패킷들의 전송지연시간 (경로두절

시 새로운 경로 탐색 시간 포함)을 전송한 패킷수로 나누어 계산하였으며, 그림 5에서 보듯이 전체적인 평균 전송 지연시간은 제안한 프로토콜이 가장 작음을 알 수 있다. 이 사실은 제안한 프로토콜이 노드들의 부하를 고려한 신뢰성 있는 경로를 사용함으로써 경로두절이 적게 발생함을 알 수 있다.

그림 6은 제안한 프로토콜과 MRFR 프로토콜 사이의 부하균등성 성능을 나타낸다. 프로토콜의 부하균등성 성능을 측정하기 위하여 본 논문에서는 네트워크상의 각 노드들이 시뮬레이션 동안 전송한 패킷의 수를 측정하였다.

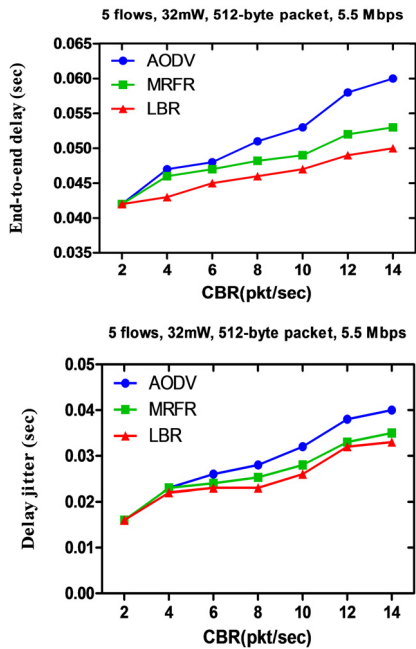


그림 5. 트래픽 증가에 따른 평균 패킷지연시간 및 지터  
**Fig. 5** End-to-end average packet delay and jitter in terms of traffic per flow

그림 6은 제안한 프로토콜과 MRFR 프로토콜 각각에 대해 125개의 각각의 노드가 시뮬레이션을 수행하는 동안 전송한 패킷의 수를 나타낸다. 그림에서 보듯이 제안한 프로토콜이 MRFR 프로토콜에 비해 노드들 사이의 전송한 패킷의 수가 균등함을 알 수 있다. 하나의 노드가 전송한 패킷의 수가 제안한 프로토콜의 경우에는 최소 0 ~ 최대 1856 (평균 538)개인 반면, MRFR 프로토콜의 경우에는 최소 0 ~ 최대 2826 (평균 538)개로 평균적

으로는 같지만 최대값과 최소값 사이의 차이가 큼을 알 수 있다. 그림 6은 시뮬레이션 동안 제안한 라우팅 프로토콜이 MRFR 프로토콜에 비해 노드들의 전력을 균등하게 사용하였음을 나타낸다.

제안하는 프로토콜에서 RREQ 패킷을 포워딩하는 노드들은 첫 번째 RREQ 패킷을 수신하면 이 RREQ 패킷을 다시 브로드캐스팅하고, 이후  $\Delta\text{delayRREQ}$  타이머를 설정하고 이 시간동안 수신된 RREQ 패킷들에 대해서는 브로드캐스팅을 하지 않고 타이머가 타임아웃된 뒤 최종 선택된 경로에 대한 RREQ 패킷을 브로드캐스팅 하도록 함으로써 생성되는 RREQ 패킷 수를 줄이도록 하고 있다.

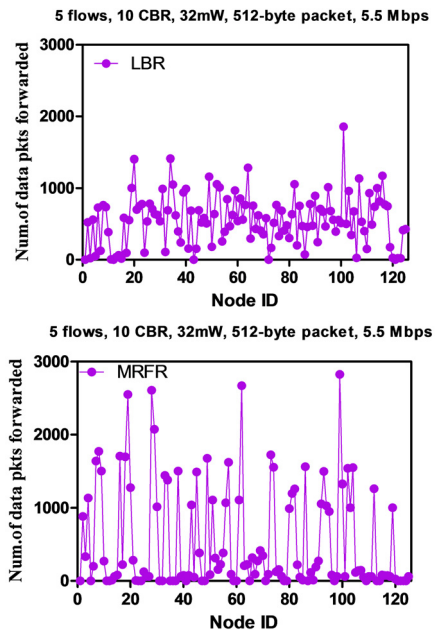


그림 6. 제안한 프로토콜과 MRFR의 부하균등성 비교  
**Fig. 6** Load balancing performance of LBR and MRFR protocols

$\Delta\text{delayRREQ}$  타이머 값에 따라 생성되는 RREQ 패킷량이 달라지는데, 그림 7은  $\Delta\text{delayRREQ}$  값의 변화에 따른 RREQ 패킷 브로드캐스트 ratio를 보여준다. 여기서 RREQ 패킷 브로드캐스트 ratio는 하나의 노드에서 수신된 전체 RREQ 패킷 수에 대한 브로드캐스트된 RREQ 패킷 수의 비율을 나타낸다. 그림에서 보듯이  $\Delta\text{delayRREQ}$  값이 커짐에 따라 RREQ 패킷 브로드캐스트

트 ratio는 줄어듬에 반해 경로설정지연시간은 커짐을 알 수 있다.

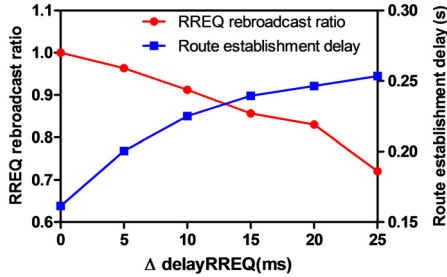


그림 7.  $\Delta \text{delayRREQ}$  값에 따른 RREQ 브로드캐스트 ratio  
 Fig. 7 RREQ packet broadcast ratio in terms of  $\Delta \text{delayRREQ}$  timer

## V. 결 론

본 논문에서는 무선네트워크에서 노드들의 잔여 에너지를 고려한 종단간 메시지 신뢰성을 보장하기 위한 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 프로토콜에서는 경로탐색과정에서 각 노드들이 경로상의 노드들 중 최소 에너지량 또는 경로ETX 값 두 가지 기준에 따라 가장 좋은 경로를 선택하도록 함으로써 잔여 에너지가 작은 노드를 회피하면서 종단간 경로ETX값이 작은 경로를 선택하도록 한다. 제안한 프로토콜의 성능분석을 위해 QuialNet 시뮬레이터를 이용하여 AODV 프로토콜 그리고 MRFR 프로토콜과 성능을 비교 분석하였다. 성능분석결과 본 논문에서 제안한 프로토콜이 종단간 패킷수신률 측면에서는 기존 신뢰성 보장 프로토콜인 MRFR프로토콜과 비슷하지만 부하균등성 측면에서는 우수함을 보여주었다.

### 감사의 글

이 논문은 2012년도 울산대학교 연구비를 지원 받았음.

## REFERENCES

- [ 1 ] C. S. Murthy and B. S. Mahoj, *Ad hoc wireless networks: Architectures and protocols*, Prentice-Hall, 2004.
- [ 2 ] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad hoc on demand distance vector(aodv) routing", *IETF RFC 3561*, 2003.
- [ 3 ] N. Baccour et al., "A comparative simulation study of link quality estimator in wireless sensor network", *IEEE MASCOTS'09*, pp. 1 - 10, Sep. 2009.
- [ 4 ] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks," *Proc. ACM SIGCOMM'04*, pp. 133-144, 2004.
- [ 5 ] D. Couto, D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris, "A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing," *Wireless Networks*, vol. 11, no. 4, pp. 419 - 434, 2005.
- [ 6 ] B. Mainaud, M. Zekri and H. Afifi, "Improving routing reliability on wireless sensors network with emergency paths", *Proc. of 28th ICDCS*, pp.545 - 550, Jun. 2008.
- [ 7 ] Z. Ye, S. V. Krishnamurthy and S. K. Tripathi, "A framework for reliable routing in mobile ad hoc networks", *IEEE INFOCOM*, vol. 1, pp. 270 - 280, 2003.
- [ 8 ] Ahn Tran Thai and Myung Kyun Kim, "A Routing Protocol with Fast-Recovery of Failures Using Backup Paths on MANETs", *J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.*, Vol. 16, No. 7, pp. 1541-1548, 2012. 07.
- [ 9 ] P. P. Pham and S. Perreau, "Performance analysis of reactive shortest path and multipathrouting mechanism with load balance", *IEEE INFOCOM*, pp. 251 - 259, Apr. 2003.
- [ 10 ] Y. Yoo and S. Ahn, "A simple load-balancing approach in cheat-proof ad hoc networks", *IEEE GLOBECOM*, Vol. 6, pp. 3573-3577, Nov. 2004.
- [ 11 ] B. C. Kim, J. Y. Lee, H. S. Lee, and J. S. Ma, "An ad-hoc routing protocol with minimum contention time and load balancing," *IEEE GLOBECOM*, Vol. 1, pp. 81-85, Dec. 2003.
- [ 12 ] Qualnet simulator [Internet]. Available: <http://www.scalable-networks.com/content/>





**마이딘딩(Mai Dinh Duong)**

2012년 하노이 공대 졸업  
2013년~ 현재 울산대학교 전기공학부 석사과정  
※관심분야 : 산업용 네트워크, 실시간 통신



**김명균(Myung-kyun Kim)**

1984년 서울대학교 컴퓨터공학 졸업  
1986, 1996년 KAIST 전산학과 졸업 (석사, 박사)  
1998년~ 현재 울산대학교 전기공학부 교수  
※관심분야 : 산업용 네트워크, 실시간 통신