

ExOR 라우팅 프로토콜의 성능 개선을 위한 연구

이승준, 성우경, 장주욱
서강대학교 전자공학과
e-mail : mymar@eecl.sogang.ac.kr

A Study on Performance Improvement of ExOR Protocol

Seung-Jun Lee, Woo-Kyung Sung, Ju-Wook Jang
Dept. of Electronic Engineering, Sogang University

요 약

본 논문에서는 멀티 홉 무선 네트워크에서 적용 가능한 통합적인 MAC 및 라우팅 프로토콜인 ExOR의 성능개선을 위한 방안을 제시하였다. ExOR은 무선 네트워크의 전송이 브로드 캐스트 방식으로 이루어지는 것을 이용하여 기회주의적인 라우팅을 시도함으로써 멀티 홉 무선 네트워크에서 링크의 사용량을 낮추고 쓰루풋을 높일 수 있는 전송 기법이다. 하지만 ExOR은 멀티 홉 무선 네트워크의 크기가 확장되거나 링크의 전송률이 낮다면 라우팅에 참여하는 노드들의 패킷 전달이 원활하지 않기 때문에 지연시간이 크게 증가하여 성능이 급격히 저하되는 단점이 있다. 본 논문에서는 ExOR 라우팅 프로토콜을 적용 시, 패킷을 전달하는 노드 이외의 다른 노드들이 자기 차례가 되기 전까지 아무 일도 하지 않는다는 점에 착안하여 동시에 2 개 이상의 노드가 패킷을 전달하는 방식을 제안하였다. 본 논문에서는 ExOR 라우팅에 참여하는 노드가 패킷을 전달 할 때, 패킷 간 충돌 및 간섭을 최소화 할 수 있는 2 개 이상의 다른 노드를 선택하여 동시에 패킷 전송을 시도하는 방식으로 지연시간을 줄이고, 쓰루풋을 향상시키는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

1. 서론

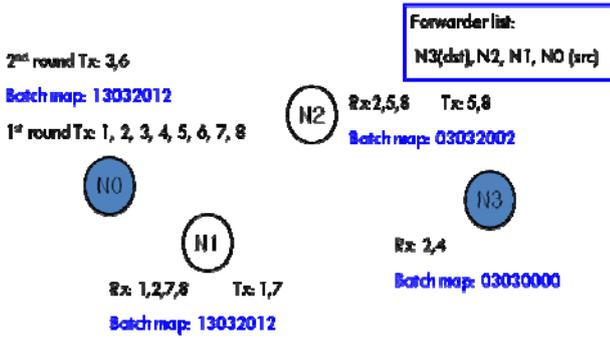
지금까지 멀티 홉(Multi-hop) 무선 네트워크에서의 라우팅은 일반적으로 유선 네트워크의 라우팅을 기반으로 한 방식[4][7][8]을 사용하였다. 이러한 라우팅 방식은 소스(Source)와 목적지(Destination) 간에 가장 좋은 라우팅 경로를 결정하고 라우팅 경로의 노드들은 전달 받은 패킷(Packet)을 다음 순서의 노드에게 포워딩(Forwarding)하는 기법을 이용한다. 그러나 무선 네트워크에서의 패킷 전송은 브로드 캐스트(Broadcast)로 이루어지기 때문에 명확한 라우팅 경로가 정해져 있지 않다. ExOR[1]은 이와 같은 무선 네트워크의 브로드 캐스트 전송의 특징을 이용하여 라우팅 하는 기법이다. 기존의 라우팅 방식이 패킷 전달을 위한 경로를 설정한 것과는 달리, ExOR은 무선 네트워크의 특성을 고려하여 패킷을 수신한 일부 노드만 일정한 순서에 따라 라우팅을 시도하는 기회주의적인 라우팅 기법을 이용함으로써 무선 링크의 사용량을 낮추고 쓰루풋(Throughput)을 증가시킨다. 그러나 이와 같은 ExOR 라우팅 프로토콜은 멀티 홉 무선 네트워크의 크기가 확장 될 경우 여러 가지 문제점을 가지고 있다. ExOR 라우팅 프로토콜은 소스와 목적지 간의 거리가 증가하여 중간에 라우팅에 참여하는 포워딩 노드(Forwarder)의 수가 증가하면, 현재 패킷을 전송하고 있는 노드 이외의 다른 포워딩 노드들은 자기 순서가

돌아올 때까지 기다려야 한다. 포워딩 노드 수가 증가하면 할수록 대기시간은 길어지기 때문에, ExOR은 거대한 멀티 홉 무선 네트워크 환경에서 급격히 성능이 저하될 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 네트워크의 확장에 따른 ExOR의 한계를 극복하기 위하여 동시에 2 개 이상의 노드가 포워딩 하는 개선된 ExOR을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 절에서는 ExOR의 기본적인 동작과 문제점에 대하여 설명하고, 3 절에서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 설명한다. 4 절에서는 본 논문에서 제안하는 개선된 ExOR의 성능을 검증하기 위한 NS-2 시뮬레이션 및 결과를 분석하며, 5 절에서 본 논문의 결론을 내린다.

2. ExOR 기본 구조

2.1. ExOR의 동작

멀티 홉 무선 네트워크의 특징을 고려하는 ExOR[1] 라우팅 프로토콜의 핵심은 다수의 패킷을 한 묶음으로 전송하는 Batch Data와 각 포워딩 노드가 수신한 패킷을 기록하는 Batch map이다. ExOR에서는 포워딩하는 중간 노드를 결정하기 위해 링크의 매트릭(metric)으로 ETX[4]값을 이용하여 포워딩 노드를 선정하고 포워드 리스트(Forward List)를 결정한다.



(그림 1) ExOR의 패킷 전송의 예

ExOR의 기본 동작의 예는 (그림 1)과 같다. Batch map에는 각 포워딩 노드의 번호가 기록되며, Tx는 전송하는 패킷 번호, Rx는 해당 노드가 수신한 패킷 번호를 나타낸다.

- (1) 소스 N0는 8개의 패킷을 Batch Data로 브로드캐스트한다.
- (2) 목적지 N3는 자신이 수신한 패킷(2,4)을 Batch map에 기록하고 Batch map을 전송한다.
- (3) N2는 N3의 Batch map을 보고 자신의 Batch map을 업데이트하고 자신이 수신한 패킷 중 N3가 가진 패킷을 제외한 5,8번 패킷을 전송한다.
- (4) 포워드 리스트의 다음 순서에 있는 N1은 Batch map을 보고 (3)에서 앞선 노드가 전송한 패킷(2,8)을 제외하고 자신이 가진 1,7번 패킷을 전송한다.
- (5) 소스 N0는 나머지 3,6번 패킷을 브로드캐스트한다.
- (6) 위의 과정을 N3가 Batch Data의 90%를 수신할 때까지 반복한다.

ExOR은 위와 같이 멀티 홉 무선 네트워크의 라우팅에서 소스가 데이터의 묶음을 브로드캐스트함으로써 다수의 중간 노드가 데이터의 일부를 수신할 수 있는 가능성을 이용하는 라우팅 기법이다. 이와 같은 방식은 기존의 DSDV[7]나 AODV[8] 프로토콜의 라우팅 경로 검색 및 결정의 과정이 없으며, 브로드캐스트로 전송하는 무선 네트워크의 성질을 고려하여 라우팅에 이용함으로써 멀티 홉 무선 네트워크에서 쓰루풋을 증가시킨다.

2.2. ExOR의 문제점

ExOR 라우팅 프로토콜은 멀티 홉 무선 네트워크의 크기가 확장될 경우, 성능을 유지하는데 문제가 발생한다. ExOR은 소스와 목적지 간의 거리가 증가할 경우에는 원활한 라우팅을 위해 더 많은 수의 포워딩 노드를 필요로 한다. 따라서 하나의 포워딩 노드가 패킷을 전송할 때, 나머지 포워딩 노드는 자기가 전송할 순서가 돌아올 때까지 대기해야 한다. 즉, 포워딩 노드의 수가 증가할수록 자기 순서가 돌아올 때까지 대기하는 시간이 길어지고 결과적으로 전송 성능 저하를 가져온다. ExOR은 이와 같은 문제점 때문에

소스와 목적지 간의 거리가 멀리 떨어진 거대한 멀티 홉 무선 네트워크에서는 아무 일도 하지 않고 대기하는 포워딩 노드의 수가 너무 많기 때문에 적용하는데 한계가 있다.

3. 동시 전송이 가능한 ExOR

본 논문에서는 앞서 제시한 ExOR의 문제점을 극복하고 소스와 목적지 간의 거리가 멀리 떨어진 거대한 멀티 홉 무선 네트워크에서도 성능을 보장할 수 있는 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 개선된 ExOR의 기본 아이디어는 (그림 2)와 같다.

<기존 ExOR>



<제안 방식>



(그림 2) 제안 방식의 개념

기존 ExOR이 포워드 리스트의 순서에 따라 하나씩 차례대로 전송하는 방식과는 달리 본 논문에서 제안하는 ExOR은 동시에 2개 이상의 노드가 자신이 가진 패킷을 브로드캐스트한다. 이러한 동시 전송이 가능한 ExOR을 구현하기 위해서는 동시 전송하는 노드들 간에 발생할 수 있는 패킷 간 충돌을 최소화 하면서 전체 쓰루풋을 증가시킬 수 있도록 해야 한다. 이러한 성능의 최적화를 위해서는 포워드 리스트의 노드들 중 어떤 노드를 동시에 전송할 것인지를 결정해야 한다. (그림 3)은 본 논문에서 제안하는 개선된 ExOR의 동시 전송 포워딩 노드를 결정하는 과정을 보여주고 있다.

a, b, t, k, n: 포워딩 노드 #
 Pr(a,b) : a-b 링크의 전송확률
 p(a,b) : 1/Pr(a,b)
 i : 현재 전송할 노드 #
 후보자 노드의 집합 $S = \{ \forall n | 0.2 < Pr(n,i) < 0.3 \}$
 c(a,b) : a,b 노드 간 상대적 거리 = b-a (if a < b)

$$\forall t \in S, \text{노드 } t \text{의 비용} = \text{Cost}(t) = \frac{\sum_{k=t+1}^{i-1} p(t,k) \cdot c(t,k)}{\sum_{k=t+1}^{i-1} c(t,k)}$$

if (Cost(1) < Cost(2))
 pair(2,i) 결정;
 Repeat Process..

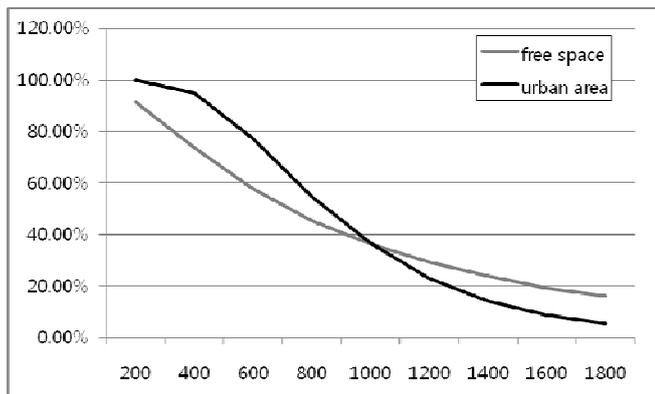
(그림 3) 동시 전송 노드 결정을 위한 알고리즘

본 논문에서 제안하는 개선된 ExOR 은 현재 전송하는 포워딩 노드와 일정 확률 이하의 전송률을 가지는 노드를 후보자 노드의 집합으로 선택한다. 이후에 (그림 3)의 알고리즘에 따라 후보자 노드들과 현재 전송하는 포워딩 노드 간의 상대적인 거리를 반영하는 Cost 를 계산하고 Cost 가 가장 작은 노드를 동시 전송하는 노드로 결정한다. 여기서 결정하는 각 노드의 Cost 값은 포워딩 노드 간의 상대적인 거리와 기존 링크의 ETX 값의 곱으로써, 각 링크의 상대적인 비용을 나타내며, Cost 를 계산하기 위해 필요한 링크의 전송률은 기존 ExOR 에서 알고 있는 ETX 값을 이용한다. 본 논문의 개선된 ExOR 은 최초 전송 이전에 현재 포워딩 노드와 동시에 전송하는 노드 pair(t,k)를 결정하고 포워드 리스트의 순서에 따라 동시에 전송한다. 본 논문에서는 실험의 편의를 위해 동시 전송하는 포워딩 노드 간의 상대적인 거리를 노드의 번호의 차이로 선택하였으며, 이것은 실제 거리(m), 또는 노드 간 홉(hop)수 등으로 결정 될 수 있다.

이와 같은 개선된 ExOR 라우팅 기법은 후보자 노드의 집합 S 를 어떤 구간으로 선택하느냐가 전체 성능에 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 집합 S 를 결정하는 다양한 구간에 대한 시뮬레이션 결과를 비교하였으며, 노드 수의 변화에 따른 지연시간 및 쓰루풋의 변화를 측정하였다.

4. 시뮬레이션 및 성능 평가

본 논문에서는 기존 ExOR 과 제안 방식의 성능 평가를 위해 NS-2 Network Simulator[5] 를 이용하여 실험하였다. 기존 ExOR 의 Roofnet[1][2] 환경과 흡사한 2 가지 무선 환경에서 시뮬레이션을 진행하였다. 실험에 사용된 NS-2 wireless model 은 [6]에 명시된 파라미터를 이용하여 결정하였으며, 2 가지 무선환경에 대한 거리에 따른 패킷 수신률은 (그림 4)와 같다.



(그림 4) 거리에 따른 패킷 수신률

소스와 목적지 간의 포워딩 노드는 각각 300m 거리마다 배치하였으며 100 개의 패킷을 하나의 Batch Data 로 전송하였고, 각 패킷의 크기는 1024byte 로 고정하였다. 2 가지의 무선 환경마다 포워딩 노드의 수를 증가시키며 지연시간 및 쓰루풋을 측정하였으며 100 회 시행의 평균값을 비교하였다.

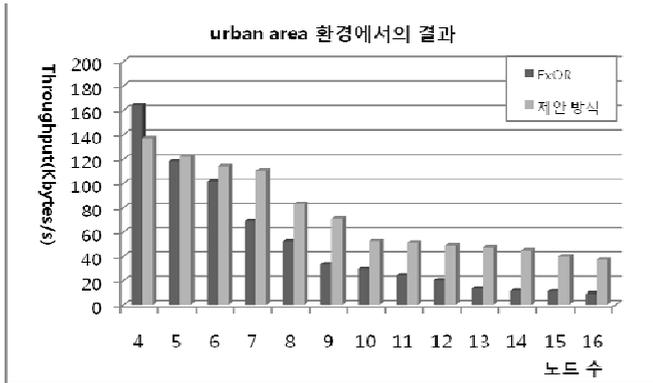
본 논문에서는 ExOR 과 제안 방식의 성능 비교를 위해 900m 씩 떨어진 포워딩 노드를 동시 전송 노드로 결정하였다. 포워딩 노드들은 300m 마다 포워딩 노드를 배치하였기 때문에 기존의 유선 환경에서의 3-hop 의 거리에 해당한다. 즉, Urban Area 의 경우 포워딩 노드 간에 22.77% 의 전송률을 가지는 노드를 동시 전송 노드로 선택하였으며 Free Space 의 경우 서로 간 29.3% 의 전송률을 가지는 노드를 선택하여 동시 전송 하도록 실험하였다. 이것은 본 논문에서 제안하는 알고리즘(그림 3)에서 집합 S 를 결정하기 위한 후보자 노드를 선택하는 구간을 의미하며, 각 네트워크의 상황에 따라 변경 할 수 있다.

<표 1> ExOR 과 제안방식의 지연시간(s) 비교

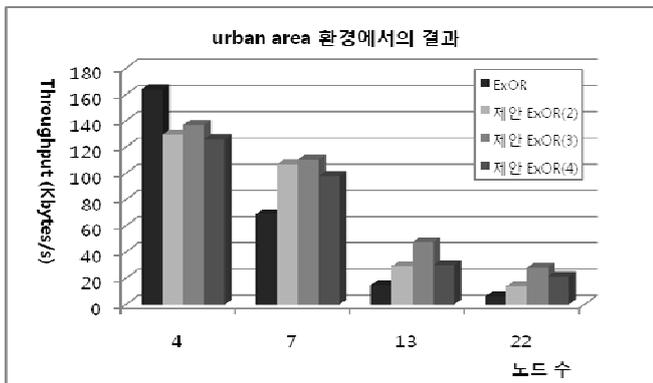
노드 수	Urban Area		Free Space	
	ExOR	제안 ExOR	ExOR	제안 ExOR
4	0.6253	0.7473	0.5561	0.7776
5	0.8666	0.8382	0.7794	0.8685
6	1.0091	0.8988	1.3466	0.9594
7	1.4902	0.9291	1.5305	1.0897
8	1.969	1.2321	2.0427	1.2624
9	3.0922	1.4442	3.3112	1.4442
10	3.4766	1.9593	3.6866	1.929
11	4.201	2.0119	4.7055	1.9896
12	5.063	2.1108	5.4332	2.3017
13	7.661	2.1714	6.9574	2.3332
14	8.9392	2.2666	8.325	2.5156
15	9.314	2.5653	9.4667	2.6133
16	11.127	2.7471	11.233	2.9077

<표 1>은 앞서 언급한 2 가지 환경을 기반으로 포워딩 노드의 수가 증가함에 따라 목적지가 100 개의 Batch Data 를 모두 수신할 때까지의 지연시간을 보여 준다. 거리가 증가함에 따라 전송률이 급격히 감소하는 Urban Area 의 환경에서는 노드 수가 5 개 이상일 경우, 기존 ExOR 보다 제안 방식의 성능이 우수하다. 노드 수가 16 개인 거대한 멀티 홉 무선 네트워크의 경우, 지연시간이 최대 75% 이상 감소하는 것을 확인할 수 있다. Free Space 의 경우에도 노드 수가 6 개 이상일 경우, 기존 ExOR 의 지연시간이 급격히 증가하는 반면에 제안방식의 경우에는 어느 정도 성능이 유지되는 것을 확인할 수 있다.

(그림 5)는 Urban Area 환경에서 노드 수의 변화에 따른 쓰루풋의 변화를 비교하였다. 기존 ExOR 은 네트워크의 크기가 확장되고 노드 수가 증가함에 따라 급격하게 성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 본 논문에서 제안하는 개선된 ExOR 의 경우에는 성능의 감소폭이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 멀티 홉 무선 네트워크의 크기가 커질수록 제안 방식이 안정된 성능을 보장할 수 있다는 것을 의미한다.



(그림 5) 노드 수의 증가에 따른 성능 비교



(그림 6) 동시전송 노드의 선택 범위에 따른 영향

(그림 6)은 본 논문에서 제안하는 알고리즘(그림 3)에서 집합 S 를 결정하는 전송 확률의 범위를 변경함으로써 동시 전송하는 노드의 선택에 따른 성능을 비교한다. (그림 6)의 제안 ExOR(n)은 유선 네트워크에서의 n-hop 거리에 존재하는 노드들끼리 동시 전송하는 경우를 의미하며, 노드 수에 따른 쓰루풋을 나타내고 있다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 제안 방식은 노드 수가 4 개일 경우를 제외하고, 모든 경우에서 3-hop 거리만큼 떨어진 포워딩 노드끼리 동시 전송 할 경우 우수한 성능을 보여준다. 즉, 2-hop 간 동시 전송하는 제안 ExOR(2)의 경우, 동시 전송하는 포워딩 노드의 패킷 간 충돌로 인하여 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 또한 4-hop 간 동시 전송하는 제안 ExOR(4)의 경우에는 기존 ExOR 처럼 대기하는 포워딩 노드 수가 증가하기 때문에 제안 ExOR(3)의 경우보다 성능이 저하된다. 물론 이와 같은 결과는 앞서 언급한 2 가지 NS-2 wireless model 의 패킷 수신률에 따라 도출된 것이며, 환경의 변화에 따라 거리에 따른 패킷 수신률이 변화한다면 다른 결과를 가져올 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 멀티 홉 무선 네트워크에서 적용 가능한 ExOR 라우팅 프로토콜의 성능개선을 위한 기법을 제시하였다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존 ExOR 의 구조를 그대로 이용하면서 ETX 정보를 이용하여 동시 전송하는 노드를 검색하기 때문에 추가적인 오버헤드를 요구하지 않는다. 본 논문에서 제

안하는 알고리즘은 노드 수가 16 개 이상인 거대한 멀티 홉 무선 네트워크에서 기존 ExOR 보다 약 75% 이상의 성능 향상을 보여준다. 즉, 제안하는 알고리즘은 Wireless Mesh Network 와 같은 멀티 홉 무선 네트워크의 크기가 크고 이동성을 많이 요구하지 않는 환경에서 링크의 사용량을 최적화하며 데이터 전송의 효율성을 증가시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] Sanjit Biswas and Robert Morris. ExOR: Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks, SIGCOMM '05, August, 2005.
- [2] D. Aguayo, J. Bicket, S. Biswas, G. Judd, and R. Morris. Link-level measurements from an 802.11b mesh network. ACM SIGCOMM 2004, August 2004.
- [3] D. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, and R. Morris. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing. ACM/IEEE MobiCom, September 2003.
- [4] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill. Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks. ACM SIGCOMM Conference, September 2004.
- [5] Kevin Fall, K. Varadhan, The ns Manual. September 2007. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>
- [6] Weihua Zhuang, Jon W. Mark, Wireless Communications and Networking, Pearson Education, 2003
- [7] C. E. Perkins and P. Bhagwat. Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers. ACM SIGCOMM Conference, August 1993
- [8] C. E. Perkins and E. M. Royer. Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV). 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999.