

이동 애드 혹 네트워크에서 RTT 에 영향을 주는 요인에 대한 분석

황재현, 유혁
고려대학교 컴퓨터학과
e-mail : jhhwang@os.korea.ac.kr

Analysis of Factors Affecting RTT in Mobile Ad Hoc Networks

Jae-Hyun Hwang, Hyuck Yoo
Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

요 약

인터넷과 같은 안정된 네트워크에서는 RTT 가 종단 시스템에서 네트워크의 상태 변화를 추정할 수 있게 해주는 유일한 정보이다. 따라서 많은 전송 계층 프로토콜들은 RTT 를 기반으로 재전송 타임아웃 값이나 전송률 조절과 같은 중요한 결정을 내리고 있다 그러나 노드의 이동 가능성이 있고, 링크가 안정하지 않은 이동 애드 혹 네트워크에서는 RTT 가 네트워크의 변화하는 상황을 정확히 반영하는 정보라 할 수 없다. 이 논문에서는 시뮬레이션 방법론을 이용하여 이동 애드 혹 네트워크에서 RTT 에 영향을 주는 요인을 밝히고 그 정도를 분석하고자 한다.

1. 서론

인터넷(Internet)과 같이 링크가 안정된 패킷 교환 네트워크(packet switching network)에서는 네트워크의 상황에 대한 가장 중요한 정보가 라우터들의 큐잉 지연시간(queuing delay)이다. RTT(Round Trip Time)은 종단 간 시스템 사이의 큐잉 지연시간을 나타내주는 유일한 정보이기 때문에 그 동안 많은 전송 계층 프로토콜(transport layer protocol)에서 이 정보를 이용하여 전송률(sending rate)이나 재전송 타임아웃 값(retransmission timeout value)을 결정하는데 사용해왔다. 그러나 최근 주목을 받고 있는 이동 애드 혹 네트워크(mobile ad hoc network)는 구성 노드(node)의 이동이 잦고, 노드들을 연결하는 무선 링크(wireless link)가 불안정하며, 사용되는 MAC 프로토콜의 특성에 따라 채널의 변화가 빈번하기 때문에 종단 시스템(end system)에서 얻은 RTT 값의 변화만으로 네트워크의 상황을 판단하는 것은 적절하지 못하다. 즉, 인터넷과 달리 RTT 변화에 영향을 미치는 다른 요소들 -MAC 프로토콜의 특성, 라우팅 프로토콜의 특성 등- 이 존재하지만 구체적으로 어떤 요인이 그 변화에 어느 정도 영향을 주는지는 검증되지 않았다. 이 논문의 목적은 RTT 에

영향을 주는 요인들을 분석하여, 많은 연구에서 전송률이나 재전송 타임아웃 값과 같은 중요한 결정에 이용되어온 RTT 가 이동 애드 혹 네트워크에서도 여전히 사용 가능한 정보인지에 대한 여부를 밝히는데 있다. 검증은 ns-2 를 이용한 시뮬레이션 방법론을 통해 수행되며, 이 결과를 통해 이동 애드 혹 네트워크 하의 전송 계층 프로토콜이 이용할 수 있는 대체 정보를 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2 절에서 관련 연구에 대해 간단히 소개한다. 3 절에서는 애드 혹 네트워크에서 RTT 에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 대해 살펴보고, 4 절에서는 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 환경과 시나리오를 자세히 설명하며, 5 절에서는 시뮬레이션 결과와 그에 대한 분석이 소개된다. 마지막으로 6 절에서는 분석에 대한 결론을 짓고, 향후 연구 방향을 제시하면서 논문을 마무리 한다.

2. 관련 연구

초기에 애드 혹 네트워크와 관련된 연구에서는 유선 환경과의 차이에서 오는 문제점들을 극복하기 위한 대안들이 제시되었다. 애드 혹 네트워크에서 지적

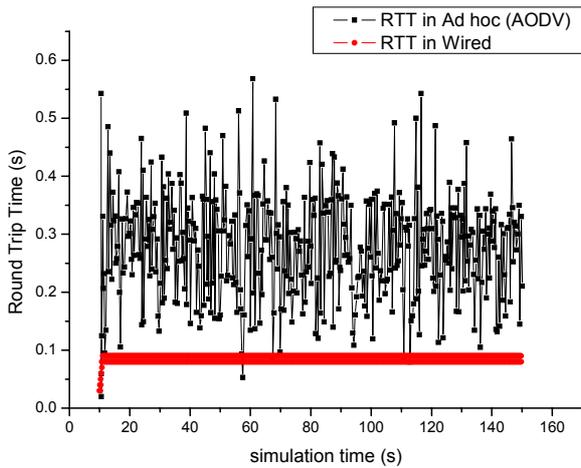


그림 1. 애드 혹 네트워크와 유선 네트워크에서의 RTT 측정 그래프

된 가장 큰 문제점 중 하나는 노드의 이동에 의한 링크의 단절(link failure)과 라우터의 혼잡(congestion)을 구분할 수 없다는 것이며, 이를 해결하기 위해 명시적으로 송신자 측에 링크의 단절을 통보하고 송신을 막는 매커니즘들이 제안되었다[9]. 이러한 연구들의 주요 목표는 기존에 사용되어 왔던 전송 계층 프로토콜들의 성능 향상에 있다. 그러나 최근에 들어서는 보다 근본적인 해결을 위해 애드 혹 네트워크의 특성 자체를 분석하는 연구들이 많이 이루어지고 있다. [4]에서는 애드 혹 네트워크에서의 Bandwidth-Delay Product를 수학적으로 모델링하고 실험을 통해 이를 검증하였다. MAC 프로토콜로 인해 발생할 수 있는 채널 경합, Exposed Node Problem, Interference Range 에 따른 Hidden Node Problem 등의 문제점도 연구되어 왔다 [5][6][10]. 이러한 연구들은 중단 시스템에서 애드 혹 네트워크의 특성을 이해하고 대응하기 위한 연구의 초석이 된다.

3. RTT 에 영향을 미칠 수 있는 요인들

애드 혹 네트워크에서 RTT 의 변화를 살펴보면 (그림 1) 병목 지점(bottleneck)이 없는 동일한 환경 하의 유선 네트워크에 비해 변화가 상당히 심하다. 유선 네트워크에서는 RTT 가 큐잉 지연시간에 지배적인 영향을 받으므로 큐의 변화가 작은 상황에서 RTT 의 변화 또한 작다. 그러나 애드 혹 네트워크에서는 큐의 변화에 상관없이 RTT 의 변화가 불규칙하게 나타나고 있으며, 따라서 큐잉 지연시간 이외에 다른 요소가 크게 작용하고 있다는 점을 유추해 볼 수 있다.

애드 혹 네트워크에서 RTT 에 영향을 미칠 수 있는 요인으로는 먼저 MAC 프로토콜의 특성을 들 수 있다. 애드 혹 네트워크에서는 기본적으로 단일 채널을 공유함으로써 노드 간에 채널 경쟁이 발생한다. 한 노드에서 데이터를 전송하기 위해서는 채널 경쟁을 거쳐야 하며 그에 따라 전송 가능 여부가 결정된다. 즉,

채널 경쟁에 따라 전송 타이밍의 변화 폭이 커진다는 것을 의미한다. 또한 데이터를 주고받는 중단 노드 사이의 홉 수가 증가할수록 채널 경쟁에 참여하는 노드 수가 많아지므로 전체 지연시간의 변화 폭은 더욱 커질 것이다.

또 다른 요인으로는 라우팅 프로토콜에서 사용하는 제어 메시지(control message)를 들 수 있다. 이동 애드 혹 네트워크에서는 잦은 토폴로지의 변화를 유지하기 위해 다양한 매커니즘의 라우팅 프로토콜을 사용하는데, 매커니즘 방식의 차이에 따라 사용되는 제어 메시지의 빈도가 다르며, 홉이 증가함에 따라 빈도 수가 증가함이 [7],[8]에 보고되었다. 제어 메시지의 빈도 수가 증가하면 채널 경쟁에 미치는 영향 정도가 달라지며 이는 곧 RTT 의 변화에 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

이와 같은 요인들이 실제로 애드 혹 네트워크에서 RTT 에 어느 정도 영향을 미치는가에 대해 시뮬레이션을 통해 분석해보도록 하겠다.

4. 시뮬레이션 환경과 시나리오

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 수행된 시뮬레이션은 버클리 대학의 네트워크 시뮬레이터인 ns-2 를 사용하였다[1]. 실험의 편의를 위해 노드의 이동성은 배제하였다. 시뮬레이션 토폴로지는 그림 2 와 같으며, 홉 수(n)는 $1 \leq n \leq 9$ 사이로 증가시켰다. 라우팅 프로토콜은 ns-2 최신 버전(ns-2 version 2.27)에서 지원되고 있는 DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector, proactive 방식[2])와 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector, reactive 방식[3])를 사용하여 각각 RTT 에 미치는 영향을 비교하였다. 링크 계층은 IEEE 802.11 MAC 프로토콜 표준을 사용하였으며[11], 대역폭 및 전송 도달 범위 등의 값은 ns 의 기본값을 사용하였다.

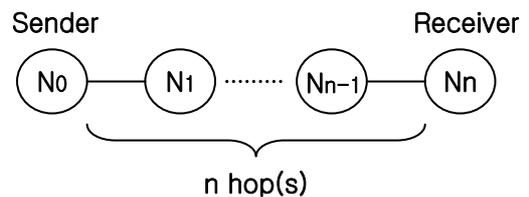


그림 2. 시뮬레이션 토폴로지

4.2 시뮬레이션 시나리오

본 논문에서는 RTT 가 받는 영향 정도를 시뮬레이션 동안 측정된 Sender-Receiver 간 RTT 의 표준편차로 나타내었다. 2 절에서 언급한 요인들의 영향 정도를 측정하기 위해 실험한 시나리오는 다음과 같다.

시나리오 1. (채널 경합의 유무) - 채널 경합이 미치는 영향 정도를 알아보기 위해, 홉 수를 증가시켜가며 채널 경쟁이 있는 경우와 없는 경우의 RTT 편차를 비교한다. 채널 경쟁을 없애는 방법은 다음과 같다.

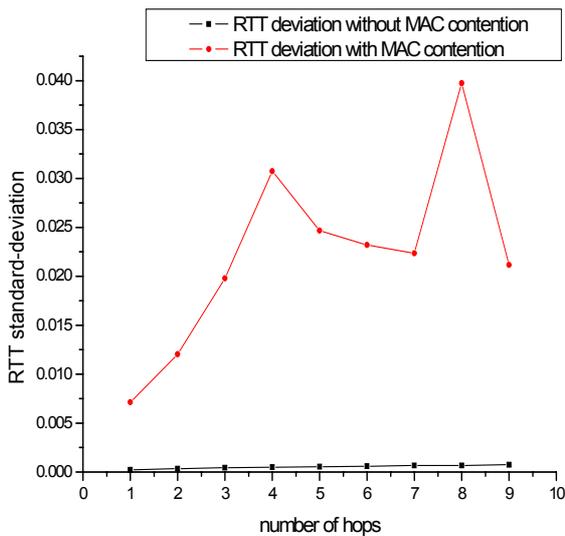


그림 3. 채널 경쟁 유무에 따른 RTT의 편차 그래프 - 시나리오 1

UDP의 경우, 홉 수(n)에 따른 Sending Rate(S·R)을 다음과 같이 조절한다.

$$S \cdot R(n) = \frac{s}{n \cdot t} \text{ (bytes / sec)} \quad (1)$$

s는 UDP 패킷의 크기(bytes), t는 한 홉을 지나는데 소요되는 지연시간(s)이다. n 홉을 통과한다면 총 $n \times t$ (s)가 지연되므로, (1)의 전송률보다 낮은 전송률에서는 한 패킷이 Sender에서 Receiver에 도착한 이후에 다른 패킷의 전송이 시작된다. 즉, 채널 경쟁을 발생시키지 않는 전송률이 된다. TCP의 경우는, congestion window 크기를 1로 고정시키면 네트워크상에 하나의 패킷 흐름만이 존재하며 채널의 경쟁이 생기지 않는다.

채널 경쟁이 있는 경우는 congestion window 크기가 2 이상인 경우로, 이 때 전송 방향으로 데이터 패킷간의 채널 경쟁과 ACK로 인한 양방향 간의 채널 경쟁이 발생한다. 여기서 congestion window의 증가에 따른 혼잡의 요인을 피하기 위해 [4]에서 제시한, 홉당 최적의 CWL(Congestion Window Limit) 값을 사용하였다.

이 밖에 라우팅 프로토콜의 제어 메시지에 의한 영향을 제외시키기 위해 두 경우 모두 AODV를 사용하여 경로 구성이 끝난 직후부터 측정을 하였다.

시나리오 2. (라우팅 프로토콜의 종류) - proactive 및 reactive 방식의 라우팅 프로토콜이 미치는 영향을 분석하기 위해 DSDV와 AODV를 사용하여 홉 수를 늘려가며 실험하였다. 이 때, 데이터 패킷으로 인한 채널 경쟁 요인을 제거하기 위해 시나리오 1과 같은 방법을 사용하였다.

5. 시뮬레이션 결과와 분석

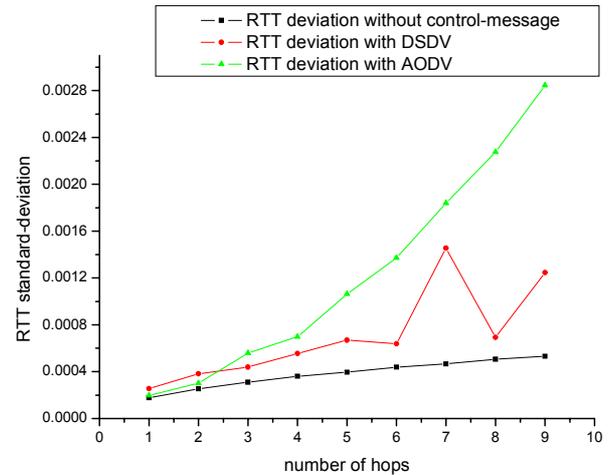


그림 4. 라우팅 프로토콜에 따른 RTT의 편차 그래프 - 시나리오 2

그림 3과 그림 4는 각 시나리오에 대한 결과 그래프이다. 채널 경쟁의 유무에 따른 그래프를 살펴보면, 채널의 경쟁이 없는 경우일 때는 애드 혹 네트워크 환경이라 할지라도 RTT의 편차가 거의 없음을 볼 수 있다. 이것은 유선 네트워크에서의 상황과 비슷한 결과를 보여준다. 반면에 채널에 경쟁이 생길 경우에는 RTT의 편차가 크게 증가하였다. 3절에서 설명한 바와 같이 Bandwidth-Delay Product를 계산하여 최적의 Congestion Window Limit를 적용한 실험 결과이기 때문에 큐잉 지연시간은 측정 요소에 반영되지 않는다. 즉, 채널 경쟁 요소만이 결과 측정에 반영되었고, 이로 인해 RTT가 크게 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다.

시나리오 1의 그래프를 좀 더 살펴보면, 한 홉일 때 채널 경쟁에 참여하는 노드 수가 가장 적기 때문에 RTT의 편차 값도 상대적으로 작게 나타났다. 홉 수가 늘어남에 따라 채널 경쟁에 참여하는 노드의 수가 증가하게 되고 그에 따라 RTT의 변화 폭도 더욱 커짐을 알 수 있다. 이는 링크 계층에서 MAC 프로토콜의 RTS(Request-To-Send), CTS(Clear-To-Send)에 의한 Exposed Node Problem에 의해 동시에 여러 노드가 채널 경쟁에 참여하기 때문이다[4]. 즉, 노드 수가 증가했음에도 불구하고 한 순간에 한 노드만이 데이터를 전송할 수 있기 때문에 Sender 노드에서 전송된 데이터는 매 노드마다 채널 경쟁을 하게 되고, 따라서 데이터의 전송 타이밍을 변화하게 하는 중요한 요인으로 작용한다. 또한 [5]에서 보고된 Interference Range가 채널 경쟁 요소에 포함되어 있으며, 이 부분 역시 ns-2에 포함되어 실험 결과에 반영되었다. 네 홉 이후부터는 동시 채널 경쟁을 피할 수 있는 여분의 노드가 생겨나기 때문에 공간적 재사용(spatial reuse)[4]에 의해 RTT의 변화 폭이 줄어든다. 이 공간적 재사용으로 인해 채널 경쟁의 정도에 차이가 생기며 RTT의

편차는 이를 비교적 잘 반영하고 있다.

라우팅 프로토콜의 영향을 살펴볼 경우(그림 4), 홉 수가 증가할수록 RTT의 편차도 따라서 증가하는 형태를 보이거나 AODV의 경우에 RTT의 편차가 홉 수의 증가에 따라 더 크게 나타남을 볼 수 있다. 일반적으로 proactive 방식의 라우팅 프로토콜은 데이터의 전송 시기에 상관없이 라우팅 테이블을 만들고 유지하기 위해 주기적으로 제어 메시지를 전송하기 때문에 네트워크 오버헤드가 reactive 방식의 라우팅 프로토콜보다 크다. 그러나 DSDV가 초기 경로를 설정하는 시간 동안에는 데이터의 전송이 불가능하기 때문에 그 기간 동안의 측정은 이루어지지 않았고, AODV는 요구 기반 프로토콜이므로 전송과 더불어 경로를 구성하기 때문에 측정된 제어 메시지 수가 더 높게 나타나게 된다. 즉, 실제 측정 시간 동안에는 AODV가 DSDV에 비해 네트워크 유지를 위해 사용한 제어 메시지 수가 더 많았다. DSDV의 경우, 측정 시간 동안 사용한 제어 메시지의 빈도가 전체 전송 횟수의 0.2% 미만인 반면, AODV의 경우 2%~4% 정도를 차지하였다. 따라서 그만큼 채널 경쟁을 유발시키며 이는 RTT 편차의 증가로 나타난다. 홉 수가 증가할수록 더 많은 노드에서 제어 메시지가 사용되며 홉의 수에 따라 RTT의 편차는 증가하는 형태를 보인다.

결과적으로 라우팅 프로토콜의 특성에 따른 제어 메시지의 빈도 역시 채널 경쟁과 같은 이유로 RTT의 변화에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다. 그러나 시나리오 1의 결과와 비교해 보았을 때 편차의 scalability는 크게 떨어지며 상대적으로 큰 차이라 볼 수 없다. 이는 전체 데이터 전송 수에 비해 제어 메시지가 차지하는 비중이 작기 때문인데, 라우팅 프로토콜의 제어 메시지가 RTT에 미치는 영향이 그다지 크지 않음을 보여주는 결과라 할 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

이상의 시뮬레이션을 통해, 이동 애드 혹 네트워크에서 RTT에 영향을 미치는 요인으로 큐잉 지연에 의한 영향 외에 채널의 경쟁과 같이 크게 영향을 미치는 다른 요소가 존재함을 보였다. 또한 노드의 이동 여부 등을 고려한다면 상황에 따라 RTT에 영향을 주는 요인이 변화할 수도 있다. 결과적으로 이동 애드 혹 네트워크에서는 전송 계층에서 RTT 값을 통해 네트워크의 변화하는 상황을 정확히 판단할 수가 없다. 이는 유선 네트워크에서의 RTT 값과 동일한 신뢰성을 갖지 못함을 의미하며, 따라서 네트워크의 상황을 판단할 수 있는 다른 대체 정보나 매커니즘이 필요하다. 이러한 매커니즘으로는 ECN(Explicit Congestion Notification)이나 라우팅 제어 메시지, 혹은 링크 상태 메시지 등을 들 수 있다. 그러나 라우팅 제어 메시지와 같이 네트워크 계층(Network Layer)에서 사용되는 정보들은 전송 계층(Transport Layer)에서 직접적으로 반영하기 힘들기 때문에, 이를 전송 계층의 기능 구현에 복합적으로 이용할 수 있는 크로스 계층(Cross Layer) 구조의 도입이 필요하다.

향후 연구로는 RTT를 대체할 정보에 대한 연구와

그에 따른 타당성 검증이 필요하며, 이동 애드 혹 네트워크에 효율적인 프로토콜 스택 구조의 제안이 요구된다.

참고문헌

- [1] K. Fall and K. Varadhan, "NS notes and documentation," the VINT Project, UC Berkeley, LBL USC/ISI, and Xerox PARC, available from <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns>, Nov 1997.
- [2] Perkins, C. E. and Bhagwat, P., "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," In proceedings of ACM SIGCOMM'94, pp.234-244, August 1994.
- [3] Perkins, C. E. and Royer, E. M., "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing," In proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing systems and Applications, pp.90-100, February 1999.
- [4] Kai Chen, Yuan Xue, Samath H. Shah, Klara Nahrstedt, "Understanding Bandwidth-Delay Product in Mobile Ad Hoc Networks," Elsevier Computer Communications (ComCom) Journal, Special Issue on Protocol Engineering for Wired and Wireless Networks, 2004.
- [5] Kaixin Xu, Mario Gerla, and Sang Bae, "How Effective is the IEEE 802.11 RTS/CTS Handshake in Ad Hoc Networks?," IEEE Globecom'02
- [6] Deepanshu Shukla, Leena Chandran-Wadia, Sridhar Iyer, "Mitigating the exposed node problem in IEEE 802.11 adhoc networks," IEEE International Conference on Computer and Communication Networks (ICCCN), Oct 2003.
- [7] Sung-Ju Lee, Elizabeth M Belding-Royer, Charles E. Perkins, "Scalability Study of the Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol," International Journal of Network Management 2003. 13: 97-144.
- [8] Atsushi Iwata, Ching-Chuan Chiang, Guangyu Pei, Mario Gerla, Tsu-Wei Chen, "Scalable Routing Strategies for Ad Hoc Wireless Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 8, august 1999.
- [9] Jin-Hee Choi, Chuck Yoo, "TCP-aware Source Routing in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Symposium on Computers and Communications, 2003.
- [10] S. Xu and T. Saadawi, "Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multihop wireless ad hoc networks?," IEEE Communications Magazine, June 2001.
- [11] IEEE 802.11 working group, "IEEE Std 802.11, 1999 Edition," available from <http://standards.ieee.org/catalog/olis/laman.html>, ISO/IEC 8802-11: 1999.