

패킷 손실 구별 모듈을 이용한

Ad-hoc 통신망에서의 TCP 성능 향상에 관한 연구

조남호⁰, 이정민, 최웅철, 이승형, 정광수

광운대학교 전자공학부 컴퓨터통신연구실

{nhcho⁰, jmllee}@adams.kw.ac.kr, {wchoi, shrlee, kchung}@daisy.kw.ac.kr

A Study on Performance Improvement of TCP

Using Packet Loss Discrimination Module in Ad-hoc Network

Namho Cho⁰, Jungmin Lee, WoongChul Choi, Seung Hyong Rhee, Kwangsue Chung

School of Electronics Engineering, Kwangwoon Univ.

요 약

최근 기지국(Base Station)의 도움 없이 이동 단말기 간의 다중 무선 홉을 사용하여 송·수신자 간의 데이터 전송을 가능하게 하는 Ad-hoc 통신망에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 유선망과 달리 Ad-hoc 통신망은 무선 전송 매체를 사용하기 때문에 신호의 페이딩(Fading), 간섭(Interference), 잡음(Noise) 등에 의해 높은 BER(Bit Error Rate)이 발생하는 특징을 가지고 있다. 하지만, 현재 인터넷 상에서 광범위하게 사용되고 있는 전송 규약인 TCP(Transmission Control Protocol)는 유선망의 신뢰적인 전송 매체를 고려하여 개발된 프로토콜이기 때문에 TCP를 수정 없이 Ad-hoc 통신망에 적용할 경우 전송 성능이 저하되는 문제를 가지고 있다. 전송 성능이 저하되는 문제는 기존 TCP가 여러 발생의 원인을 혼잡에 의한 것으로 인식하고 불필요한 혼잡 제어를 하기 때문이다. 본 논문에서는 송신자가 여러 발생 원인을 구별하고, 그에 따라 전송률을 조절함으로써 Ad-hoc 망에서의 TCP 성능 향상을 위한 방법을 제시하였다. 또한 ns-2 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 TCP의 성능이 제안된 알고리즘에 의해 향상되었음을 확인하였다.

1. 서 론

오늘날 무선 환경에서 인터넷을 사용할 수 있는 무선 인터넷의 보급으로 인해 그 사용자가 크게 증가하고 있다. 그로 인해 무선 환경을 고려한 많은 연구가 진행되고 있으며, 기지국의 도움 없이 이동 단말기 간의 다중 무선 홉을 사용하여 송·수신자 간의 데이터 전송을 가능하게 하는 Ad-hoc 통신망에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. Ad-hoc 통신망은 유선망과 달리 무선 전송 매체를 사용하기 때문에 신호의 페이딩, 간섭, 잡음 등에 의해 높은 BER를 가지며, Ad-hoc 통신망을 구성하는 노드의 이동성으로 인해 동적인 토폴로지를 가진다. 이러한 특성으로 인해 패킷 손실의 원인이 유선망과는 다른 특성을 가지게 된다. 또한 이동 노드는 배터리 전원에 의존하여 동작하기 때문에 유선망에서 고려되지 않은 통신상의 제약을 가지고 있다 [1].

TCP는 현재 인터넷 상에서 광범위하게 사용되고 있는 신뢰적인 전송 프로토콜로서 유선망의 신뢰적인 전송 매체를 고려하여 개발된 프로토콜이기 때문에 이를 수정 없이 Ad-hoc 통신망에 적용할 경우 전송 성능이 저하되는 문제를 가지고 있다. 전송 성능 저하의 주된 원인은 유선망과 달리 Ad-hoc 통신망에서 전송 매체의 특성과 노드의 이동성에 의해 혼잡 이외의 패킷 손실이 발생하는데, 기존 TCP는 패킷 손실의 원인을 혼잡에 의한 것으로 인식하여 불필요한 혼잡 제어를 반복하기 때문이다. 결과적으로 불필요하게 전송률을 감소시킴으로써 전송 효율을 크게 저하시키며, 이동 노드의 배터리를 불필요하게 소모시키는 심각한 문제를 일으키게 된다.

본 논문에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 패킷 손실의 원인을 구별하는 모듈을 TCP에 추가함으로써 Ad-hoc 통신망에서 TCP의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제시하고 ns-2 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 제안된 모듈의 성능을 검증한다 [2].

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 Ad-hoc 통신망에서의 TCP 성능 향상을 위한 관련 연구에 대해 살펴본 후, 3장에서는 패킷 손실 구별 모듈에 대해 설명한다. 4장에서는 제안된 모듈의 성능 평가를 위한 실험과 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 기술한다.

2. 관련 연구

패킷 손실의 원인을 구별하기 위한 연구의 주된 목적은 패킷 손실의 원인을 구별하고 그에 따라 적절히 전송률을 조절함으로써 Ad-hoc 통신망에서 TCP가 불필요하게 전송률을 감소시키는 것을 방지하는데 있다. 이러한 패킷 손실의 원인을 구별하기 위한 연구는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다.

첫째는 제어 메시지를 사용하여 패킷 손실의 원인을 구별하는 연구로, 패킷 손실과 같은 예러가 발생했을 때, 송신자와 수신자 사이의 링크에 속한 중계 노드(Intermediate Node)가 송신자에게 제어 메시지를 전송하여 패킷 손실 원인에 대해 명확히 알려주는 기법이다. 대표적으로 ECN(Explicit Congestion Notification), ELN(Explicit Loss Notification), ELFN(Explicit Link Failure Notification) 등이 있다 [1].

둘째는 종단(End Point)에서 패킷 손실의 원인을 구별하는 연구로써 원인의 구별의 주체가 수신자와 송신자의 두 가지로 나뉘어 진다. 수신자가 패킷 손실의 원인 구별을 하는 기법은 패킷의 ROTT(Relative One-way Trip Time)를 이용하여 패킷 손실의 원인을 구별한 후 패킷 손실의 원인 정보가 담긴 ACK를

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 [R01 - 2005 - 0000 - 10934 - 0 (2005)]의 지원에 의해 수행되었음.

송신자에게 전송하는 기법이며, 대표적으로 Bias, Spike, Zigzag 등이 있다 [3]. 송신자가 패킷 손실의 원인을 구별하는 기법은 대표적으로 Vegas Loss Predictor와 TCP-RCWE가 있다 [4],[5]. Vegas Loss Predictor는 현재 전송률과 예상 전송률의 비교를 통해 패킷 손실의 원인이 혼잡에 의해 발생했는지 아니면 채널 에러에 의해 발생했는지를 판단한다. TCP-RCWE는 패킷의 손실에 의해 타임아웃이 발생하면 RTT(Round Trip Time)와 SRTT(Smoothed Round Trip Time)를 비교하여 패킷 손실의 원인을 구별하는 기법이다.

3. TCP with Loss Discrimination Module

앞 절에 언급한 Ad-hoc 통신망에 제안된 ECN, ELN, ELFN과 같은 제어 메시지를 사용하는 기법은 에러가 발생했을 경우, 이 에러의 발생 원인을 송신자에게 명확히 알려 줄 수 있기 때문에 전송 효율 측면에서 큰 이득을 갖는 장점이 있다. 하지만, 채널 에러가 빈번할 경우 제어 메시지의 손실과 잦은 제어 메시지 전송으로 인하여 제어 메시지가 망의 오버헤드(Overhead)로 작용할 수 있으며, 이종의 노드가 참여할 경우 호환성이 떨어지는 단점이 있다. 또한 수신자가 패킷 손실의 원인을 구별하는 기법은 잦은 채널 에러로 인해 ACK의 손실이 발생했을 때 송신자가 패킷 손실의 원인을 알 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 단말의 제한된 배터리 전원을 고려하여 구현과 적용이 용이하며, 별도의 제어 메시지에 따른 추가적인 오버헤드를 발생시키지 않는 송신자 기반의 패킷 손실 구별 모듈이 TCP에 추가된 TCP-LD(TCP with Loss Discrimination Module)를 제안한다.

3.1 Vegas Loss Predictor의 문제점

Vegas Loss Predictor는 TCP-Vegas의 알고리즘과 같이 측정된 BaseRTT를 기준으로 망의 혼잡 상태를 모니터링하게 된다. RTT의 변화 정도를 기반으로 기대전송률과 현재전송률을 구한 후, 두 전송률 간의 차이인 식 (1)의 Diff와 식 (2)를 통해 식 (3)과 같이 망의 병목 구간에 있는 패킷의 양을 측정하게 된다 [4].

$$Diff = (Expected - Actual) * BaseRTT \quad (1)$$

$$RTT = BaseRTT + N / Actual \quad (2)$$

$$N = cwnd * (1 - \frac{BaseRTT}{RTT}) \quad (3)$$

식 (3)의 N 값을 식 (4)와 같이 TCP-Vegas의 β 값과 비교하여 세 개의 중복 ACK를 수신했을 때, 패킷 손실의 원인이 혼잡에 의한 것인지 아닌지를 판단하게 된다. 원인이 혼잡에 의한 손실일 경우 ssthresh(Slow Start Threshold) 값을 현재의 혼잡 윈도우(Congestion Window)의 반으로 줄이고, 혼잡 윈도우를 ssthresh값에 3을 더하여 전송을 재개하게 된다. 반면, 채널 에러에 의한 손실일 경우, ssthresh 값을 현재 혼잡 윈도우의 4/5로 줄인 후 전송을 재개하게 된다.

$$f_{vegas} = \begin{cases} \text{If } N > \beta, \text{ Congestion Loss} \\ \text{If } N \geq \beta, \text{ non_Congestion Loss} \end{cases} \quad (4)$$

Vegas Loss Predictor는 TCP-Vegas의 알고리즘을 그대로 이용한 알고리즘이기 때문에 기존의 TCP-Vegas의 문제인, BaseRTT를 정확히 측정할 수 없는 모호성 문제로 인해 망의 상태를 정확히 예상할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 따라서 패킷 손실의 원인을 정확히 구별할 수 없는 단점을 가지게 되며, 결과적으로 다른 플로우와 경쟁하는 Ad-hoc 통신망에 적

용할 경우 성능이 저하되는 문제를 가지게 된다.

3.2 Loss Discrimination Module과 동작 방식

Vegas Loss Predictor가 가지는 BaseRTT의 모호성 문제점을 해결하기 위해 제안된 Loss Discrimination Module은 그림 1과 같이 RTT는 망 내 병목구간의 버퍼 상태를 반영한다는 이론을 기반으로 RTT의 최대값과 최소값을 유지하고, 패킷 간 RTT의 편차를 이용하여 병목구간의 버퍼 상태를 모니터링하게 된다.

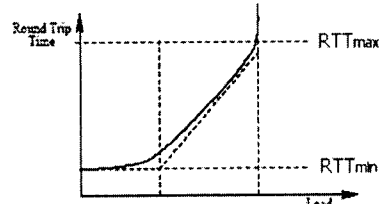


그림 1. RTT versus Network Load [4]

그림 1과 같이 RTTmin은 망의 병목 구간에 버퍼링되는 패킷이 없이, 즉 큐잉 지연(Queuing Delay)없이 패킷과 ACK의 전파 지연(Propagation Delay)에 의해 발생되는 시간 값을 나타내게 된다. 또한 RTTmax는 병목 구간의 버퍼가 오버플로우(Overflow)되기 직전의 상태를 반영하는 시간 값으로 RTTmin과 최대 큐잉 지연 시간의 합을 나타내게 된다. 이를 정리하면 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다. 또한, 패킷 간의 RTT 편차는 패킷 사이의 큐잉 지연 차이를 의미하는 것으로 이를 식으로 정리하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 RTTn은 n번째 패킷에 대한 RTT를 의미한다.

$$RTT_{max} - RTT_{min} = Queue_Delay_max \quad (5)$$

$$(6)$$

그림 1에서 볼 수 있듯이 RTT와 병목 구간의 버퍼량은 비례하기 때문에 이 최대 큐잉 지연 시간은 상대적인 망의 최대 버퍼량을 의미하게 되며, 패킷 간의 RTT의 편차는 패킷 사이의 버퍼량을 상대적으로 의미하게 된다.

식 (5)와 식 (6)을 바탕으로 패킷 손실이 발생했을 때, 손실의 원인을 판단하게 되는 Loss Discrimination Module의 알고리즘은 식 (7)과 같다.

$$D = cwnd * \left(\frac{RTT_n - RTT_{n-1}}{RTT_{max} - RTT_{min}} \right) \quad (7)$$

식 (7)의 D값은 패킷이 현재 병목 구간에 얼마나 버퍼링될 수 있는지를 비율로 나타낸 값에 현재의 혼잡 윈도우인 cwnd를 곱한 값으로, 1를 초과하게 되면 혼잡에 의한 오버플로우가 발생하는 것을 의미한다. 따라서 D와 1의 비교를 통하여 패킷 손실이 혼잡에 의해 발생했는지, 채널 에러에 의해 발생했는지를 판단하게 된다.

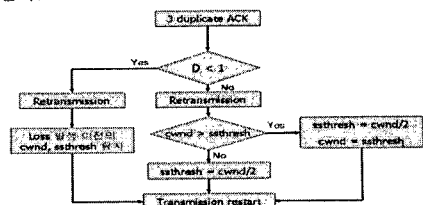


그림 2. TCP-LD의 동작 방법

패킷 손실의 원인을 구별하는 TCP-LD는 세 개의 중복 ACK를 수신하게 되면 그림 2와 같이 동작하게 된다.

4. 실험 환경 및 성능 평가

본 논문에서 제안한 TCP-LD의 성능을 평가하기 위하여 버클리 대학의 ns-2(Network Simulator)를 이용하여 두 가지 실험을 하였다. 첫째는 채널 에러에 의한 패킷 손실 없이 혼잡에 의한 패킷 손실만 발생할 때 기존 Reno와의 공평성을 실험하였으며, 둘째는 채널 에러로 인한 패킷 손실에 따른 성능 실험을 하였다.

4.1 TCP-LD와 Reno 플로우 간의 공평성 실험

TCP-LD와 Reno 플로우 간의 공평성 실험을 위해 그림 3와 같은 토폴로지를 갖는 환경을 구성하여 실험하였다.

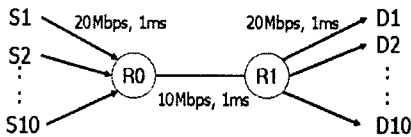


그림 3. 공평성 실험 환경

그림 3은 채널 에러에 의한 패킷 손실이 없는 환경에서 S1~S10의 10개의 송신자와 D1~D10까지의 10개의 수신자로 이루어져 있다. S1~S5 노드는 TCP-LD 프로토콜을 사용하여 각각 D1~D5 노드로 0초부터 60초 까지 데이터를 전송을 하며, S6~S10 노드는 Reno 프로토콜을 사용하여 10초부터 60초 까지 각각 D6~D10 노드로 데이터를 전송하게 된다. 패킷의 크기는 1Kbytes이며, 총 실험 시간은 60초이다.

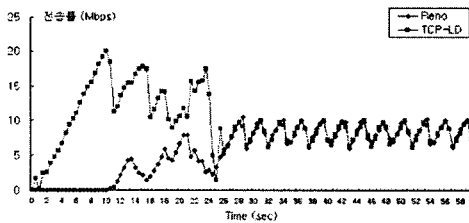


그림 4. Reno와 TCP-LD의 Throughput

그림 4와 같이 TCP-LD는 채널 에러에 의해 패킷 손실이 없고 혼잡에 의한 패킷 손실만 있는 경우 25초 이후에 Reno와 공평하게 동작하는 것을 확인할 수 있다. 이는 TCP-LD의 패킷 손실 모듈이 패킷 손실의 원인을 혼잡으로 인식하고 Reno와 공평하게 작동을 하기 위해 전송률을 감소하기 때문이다.

4.2 채널 에러에 의한 손실에 따른 성능 실험

채널 에러에 의한 손실에 따른 TCP-LD의 성능을 실험하기 위하여 그림 5와 같은 토폴로지를 갖는 환경을 구성하여 실험하였다.

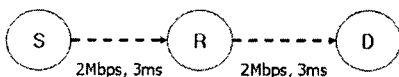


그림 5. 손실에 따른 성능 실험 환경

그림 5는 2Mb의 대역폭과 3ms의 지연시간을 갖는 IEEE 802.11b MAC을 사용하여 Ad-hoc 통신망을 구성하였다. 채널 오류에 의한 손실률은 0~10%로 각각 나누어 실험을 하며, 총 60초 동안 송신자는 수신자로 1Kbytes 크기의 패킷을 계속적

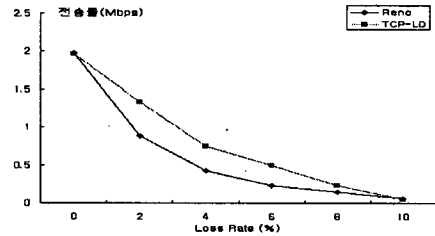


그림 6. 손실에 따른 Reno와 TCP-LD의 Throughput

으로 전송한다.

그림 6과 같이 TCP-LD는 채널 에러에 의해 패킷 손실이 발생하는 환경에서 Reno보다 더 좋은 성능을 나타내게 된다. 이는 패킷 손실이 발생했을 경우 TCP-LD가 패킷 손실의 원인을 구별하고 그에 따라 전송률을 조절하기 때문이다.

5. 결론

무선 전송 매체를 사용하는 Ad-hoc 통신망에서 기존 TCP는 패킷 손실의 원인을 혼잡에 의해 발생하는 것으로 인식하기 때문에 불필요한 혼잡 제어로 성능이 저하되는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 패킷 손실의 원인을 구별하기 위한 연구로 ECN 등과 같은 제어 메시지를 사용하는 기법과 수신자 기반의 패킷 손실을 구별하는 기법 등이 제안되었지만, 이는 잦은 채널 에러 발생 시 오버헤드로 작용하는 큰 단점을 가지고 있다. 또한 송신자 기반의 Vegas Loss Predictor는 기존의 Vegas가 갖는 BaseRTT의 모호성 문제를 그대로 갖기 때문에 패킷 손실의 원인을 정확히 구별하는데 한계가 있다.

본 논문에서는 RTT의 최대값과 최소값 및 RTT 변화량을 이용하여 보다 정확하게 패킷 손실의 원인을 구별하는 TCP-LD를 제안하였다. TCP-LD는 송신자 기반에 패킷 손실 구별 모듈을 Reno에 추가하여 채널 에러가 없는 환경에서는 Reno와 공평하게 작동하며, 채널 에러에 의한 패킷 손실이 발생하는 환경에서는 패킷 손실의 원인을 구별하여 전송률을 조절함으로써 기존의 Reno보다 더 좋은 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 추가적인 오버헤드가 없기 때문에 이동 노드의 한정된 배터리 전원을 고려하였다.

향후 과제로는 무선의 한정된 대역폭을 사용하는 Ad-hoc 통신망의 특성을 고려한 대역폭 추정 알고리즘과의 연동에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] G. Holland and N. Vaidya, "Analysis of TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks," IEEE/ACM MOBICOM, August 1999.
- [2] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [3] S. Cen, P. C. Cosman and G. M. Voelker, "End-to-end differentiation of congestion and wireless losses," Proc. Multimedia Computing and Networking (MMCN) conf. 2002.
- [4] S. Biaz and N. Vaidya, "Sender-based heuristics for distinguishing congestion losses from wireless transmission losses," Technical Report TR98-013, CS Dept., Texas A&M University, June 1998.
- [5] M. Gunes and D. Vlahovic, "The Performance of the TCP/RWE Enhancement for Ad-hoc Networks," IEEE Computer Society, 2002.