

이동 호스트를 위한 TCP 성능향상기법 비교연구

이 호 손 주 영

부산시 영도구 동삼동 1 번지 한국해양대학교 컴퓨터공학과

A Comparison Study on the Techniques to Improve TCP Performance for Wireless and Mobile Networks

Ho Lee Jooyoung Son

Dept. of Computer Engineering, Korea Maritime University
1 Dongsam-Dong, Youngdo-Gu, 606-791, Korea

요 약

인터넷의 발달과 이동단말기 서비스의 확대는 이동단말기를 이용한 인터넷 서비스의 요구를 증대시키고 있다. 이동 환경에서의 인터넷 서비스를 지원하기 위해서는 기존 유선망에서 널리 사용되고 있는 TCP 프로토콜의 개선이 반드시 필요하다. TCP 프로토콜의 개선은 이동단말기의 여러 제약점들을 극복하는 문제에 집중되어 있다. 첫째, 무선링크(wireless link)에서 나타나는 패킷손실의 원인에서 혼잡에 의한 원인과 링크자체의 전송에러(transmission error)에 의한 원인을 구별해 내는 능력을 추가하여야 한다. 둘째로, 이동단말기의 협소한 대역폭으로 인한 TCP프로토콜의 헤더 압축에 대한 개선이 필요하다. 셋째로, 이동단말기의 위치정보를 실시간으로 관리할 수 있는 기능과 하위계층의 프로토콜과의 상호연동 기능도 추가되어야 할 것이다. 본 논문에서는 이러한 여러 가지 개선 방안들 중에서 무선링크의 사용으로 인한 패킷손실의 원인을 구별해 내고 그 개별적 원인에 따라 적절하게 제어하는 기법들을 소개하고 비교 분석한다.

1. 서론

최근 이동단말기를 이용한 인터넷 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라 무선망의 인터넷 연동 중요성이 크게 부각되었다. 이를 위해서 많은 문제점이 해결되어야 하지만, 특히 기존의 유선망에서 널리 사용되고 있는 TCP 프로토콜은 인터넷 서비스를 받고자 하는 mobile device의 특성에 맞지 않다. 이는 주로 mobile device와 유선망의 end-node간의 전송 에러에 의한 요인이 많다. 결국 이것은 end-to-end간 처리율(throughput)의 저하를 초래한다[1, 2, 8].

유선망에서의 end-to-end간 패킷손실로 인한 처리율의 저하는 주로 혼잡(congestion)에 의한 원인이 많았다. 이러한 환경에서의 TCP는 혼잡제어(congestion control)에 부합하도록 개발되어 쓰이고 있다. 이렇듯 기존 유선망에서의 TCP는 무선망에서의 패킷 손실을 혼잡에 의한 원인으로 오인하여 TCP 송신자는 혼잡 윈도우(congestion window)의 크기를 줄이고, 손실된 패킷을 재 전송한다. 그러나, 무선망에서의 패킷 손실은 혼잡에 의한 것이 아니라, 대부분 mobile device의 hand-off나 유선망의 end-node와 mobile device간의 링크 에러에 의한 것이다. 이와 같이 기존 유선망의 TCP를 무선망에 적용시키면, 급격한 성능의 저하를 초래한다.[3]

무선망의 인터넷 연동을 효율적으로 지원하기 위해서는 mobile device와 기지국간에 적용되는 TCP는 기존 유선망에서의 TCP를 무선망의 특성에 맞게 적용, 개선하여 사용하여야 한다. 기존의 TCP를 개선하기 위한 여러 연구 과제 가운데 패킷 손실의 원인을 규명하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문은 무선망에서의 TCP의 효율적인 사용을 위한 CATs(Congestion Avoidance Techniques)에서 유도된 Loss Predicts 기법들을 소개하고 비교 분석하였다.[4, 5, 6]

CATs에서 유도된 Loss Predicts 기법들은 다양한 네트워크 파라미터들에 의존하여 상이한 결과들을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 3가지 CATs들을 소개하고, CATs기법들에 의해 유도된 각각의 Loss Predicts기법들

에 대한 방법과 실험결과를 제시하고, 결론과 향후 연구방향으로 구성되어 있다.

2. 혼잡회피 기법 : CATs

2.1 용어와 표기

- TCP송신자의 혼잡윈도우 : W
TCP송신자에 의해 억눌리지먼트 되지 않은 data의 최대 전송 양을 결정
- i 번째 모니터링된 packet : P_i
- i 번째 모니터링된 packet을 위한 혼잡윈도우 : W_i
- i 번째 모니터링된 패킷을 위한 round-trip time : RTT_i
 i 번째 모니터링된 패킷 P_i 가 전송되어지고, 억눌리지먼트를 송신자가 받을 때까지의 시간
- i 번째 모니터링된 패킷의 throughput : T_i
$$T_i = \frac{W_i}{RTT_i} \quad (1)$$

2.2 혼잡회피 기법 1 : TCP-Vegas

TCP-Vegas 혼잡회피 기법은 TCP연결 동안에 측정된 모든 RTT s들 가운데 최소 값인 $BaseRTT$ 를 유지하여 혼잡을 회피하는 기법이다.

i 번째 모니터링된 패킷을 위한 억눌리지먼트가 수신되었을 때, TCP송신자는 $Expected Throughput$ 을 다음과 같이 계산한다.

$$Expected Throughput = \frac{W_i}{BaseRTT} \quad (2)$$

실제로 i 번째 모니터링된 패킷의 throughput은 다음과 같다.

$$Actual Throughput = \frac{W_i}{RTT_i} \quad (3)$$

TCP-Vegas 혼잡제어기법에서는 이러한 $Expected Throughput$ 과 $Actual Throughput$ 간의 차이를 D 라고 하고 $BaseRTT$ 에 이 D 를 곱해서 f_{Vegas} 로서 정의되어 진다.

$$f_{Vegas} = BaseRTT \times D = (1 - \frac{BaseRTT}{RTT_i}) \quad (4)$$

이러한, f_{Vegas} 의 값은 두 개의 임의의 값 α, β 사이에서 비교된다. 이러한 두 개의 α, β 값은 Vegas-1,3과 Vegas-2,4와 같은 형태로 나타난다. ($\alpha < \beta$). [4]

TCP-Vegas의 혼잡회피 기법은 f_{Vegas} 의 값이 α 보다 작으면, TCP-Vegas 혼잡회피 기법은 혼잡윈도우의 크기를 증가시키고, 역으로 β 보다 크면 혼잡윈도우의 크기를 감소시킨다.

2.3 혼잡회피 기법 2 : f_{NTG}

f_{NTG} 혼잡회피 기법은 정규화된 throughput의 기울기에 기초로 한 기법이다. 먼저 f_{NTG} 를 계산하기 위해 throughput 기울기를 TG_i 라 정의하고, 이와 같이 i 번째 모니터링된 패킷의 throughput 기울기는 다음과 같다.

$$TG_i = \frac{T_i - T_{i-1}}{W_i - W_{i-1}} \quad (5)$$

f_{NTG} 혼잡회피 기법은 첫 번째 모니터링된 패킷의 throughput 기울기인 TG_i 와 i 번째 모니터링된 패킷의 throughput 기울기와 관계에 의해 다음과 같이 나타난다.

$$f_{NTG} = \frac{TG_i}{TG_1} \quad (6)$$

TG_i 은 $\frac{1}{RTT_i}$ 로서 나타나고, 따라서, f_{NTG} 는 다음과 같이 나타난다.

$$f_{NTG} = \frac{RTT_i}{W_i - W_{i-1}} (\frac{W_i}{RTT_i} - \frac{W_{i-1}}{RTT_{i-1}}) \quad (7)$$

f_{NTG} 혼잡회피 기법은 이러한 f_{NTG} 의 값이 1/2보다 작으면 혼잡윈도우(congestion window) 크기를 감소시키고, 1/2보다 크면, 혼잡윈도우의 크기를 증가시킨다.

2.4 혼잡회피 기법 3 : f_{NDG}

f_{NDG} 혼잡회피 기법은 정규화된 지연(delay)의 기울기에 기초로 한 혼잡회피 기법이다. f_{NDG} 는 i 번째 모니터링된 패킷이 수신되어졌음을 알리는 역놀리지먼트가 발생하였을 때, 다음과 같이 나타난다.

$$f_{NDG} = \frac{(RTT_i - RTT_{i-1}) (W_i + W_{i-1})}{(RTT_i + RTT_{i-1}) (W_i - W_{i-1})} \quad (8)$$

이러한 f_{NDG} 혼잡회피 기법에서는 f_{NDG} 의 값이 0보다 크면, 혼잡윈도우(congestion window)의 크기를 감소시키고, 0보다 작으면, 혼잡윈도우(congestion window)의 크기를 증가시킨다.

앞에서 살펴본 3가지 혼잡회피 기법(congestion avoidance Techniques)을 기반으로 하여 TCP송신자가 패킷손실의 원인이 혼잡(congestion)인지, 무선링크상의 전송에러(transmission error)인지를 예측한다.

3. 패킷손실 예측 : Loss Predictions

3.1 Loss Predictor : Vegas

Vegas의 혼잡회피 기법을 이용한 손실예측(Loss prediction)은 모니터링된 패킷이 수신된 것에 대한 역놀리지먼트가 발생할 때마다, 손실 예측기(loss predictor)는 f_{Vegas} 의 값을 계산한다.

이렇게, 계산된 f_{Vegas} 의 값이 1보다 크면, 다음에 일어날 패킷손실(packet loss)이 혼잡(congestion)에 의한 것이라고, 예측하고, 1과 같거나 작으면, 다음 패킷손실(packet loss)의 원인이 무선링크상의 전송에러(transmission errors)라고 예측한다.

3.2 Loss Predictor : NTG

NTG의 혼잡회피 기법을 이용한 손실예측(Loss prediction)은

모니터된 패킷이 수신된 것에 대한 역놀리지먼트가 발생할 때마다, 손실 예측기(loss predictor)는 f_{NTG} 의 값을 계산한다.

이렇게, 계산된 f_{NTG} 의 값이 1/2보다 작으면, 다음에 일어날 패킷손실(packet loss)이 혼잡(congestion)에 의한 것이라고, 예측하고, 1/2과 같거나 크면, 다음 패킷손실(packet loss)의 원인이 무선링크상의 전송에러(transmission errors)라고 예측한다.

3.3 Loss Predictor : NDG

NDG의 혼잡회피 기법을 이용한 손실예측(Loss prediction)은 모니터링된 패킷이 수신된 것에 대한 역놀리지먼트가 발생할 때마다, 손실 예측기(loss predictor)는 f_{NDG} 의 값을 계산한다.

이렇게, 계산된 f_{NDG} 의 값이 0보다 작으면, 다음에 일어날 패킷손실(packet loss)이 혼잡(congestion)에 의한 것이라고, 예측하고, 0과 같거나 크면, 다음 패킷손실(packet loss)의 원인이 무선링크상의 전송에러(transmission errors)라고 예측한다.

4. 패킷손실 예측의 성능 평가

3가지 손실예측(loss predictions)이 패킷손실(packet loss)의 원인을 무선 전송에러로부터 혼잡손실(congestion losses)을 구별해 내는 능력을 평가하기 위해 다음과 같은 네 개의 측정법을 채택하였다.

- 혼잡손실 예측의 빈도 수
(FCP: Frequency of Congestion Loss Prediction)
TCP연결동안에 예측한 모든 경우의 수와 TCP연결 동안에 손실 예측기(Loss Predictor)가 패킷손실의 원인을 혼잡으로 예측한 수의 비율
- 무선손실 예측의 빈도 수
(FWP: Frequency of Wireless Loss Prediction)
TCP연결동안에 예측한 모든 경우의 수와 TCP연결 동안에 손실 예측기가 패킷 손실의 원인을 무선전송에러(wireless transmission errors)로 예측한 수의 비율
- 혼잡손실 예측의 정확도
(A_c : Accuracy of Congestion Loss Prediction)
패킷손실의 원인이 혼잡의 원인이라는 것이 정확하게 진단 되었을 때의 정도를 나타낸다.
- 무선손실 예측의 정확도
(A_w : Accuracy of Wireless Loss Prediction)
패킷손실의 원인이 혼잡의 원인이라는 것이 정확하게 진단 되었을 때의 정도를 나타낸다.

패킷손실 예측 기법들은 아래에 제시된 여러 가지 네트워크 파라미터들에 의해서 각 기법들의 빈도 수와 정확도가 상이하게 나타난다.

- 네트워크 파라미터
 - Round-trip propagation Time : T_p
 - Bandwidth : b_w
 - Router Queue Size : q_s
 - Congestion loss rate : r_c
 - Wireless loss rate : r_w

각 기법들의 성능평가는 5개의 파라미터들 중에서 하나의 값을 변화시키고, 다른 값들은 일정하게 유지하여 네 개의 빈도 수와 정확도의 변화를 관찰한다.

아래에 제시되는 표 4.1, 4.2, 4.3은 각각의 기법들이 여러 가

지 네트워크 파라미터들에 의해서 네 개의 측정요소들이 어떻게 달라지는가를 보여 주고 있다.

4.1 Vegas

표 4.1 혼잡손실 예측의 빈도 수 (FCP)의 변화 - Vegas

	T_p	b_w	q_s	r_c
	↑	↑	↑	↑
FCP	↓	↓	↑	↓
A_c	일반적으로 FCP의 경향과 비슷			

- BaseRTT를 기준으로 측정되어지는 RTT와의 차이를 이용하는 기법
- FCP의 값에 의해 무선링크 손실을 추측
- 혼잡손실 예측의 정확도(A_c)
일반적으로 FCP의 경향을 따르며, FCP의 값보다는 항상 높게 나타난다.
- 무선손실 예측의 정확도(A_w)
혼잡손실 예측의 정확도에 따라서 상대적으로 나타남.
- T_p , b_w , r_c 는 각각의 값이 증가함에 따라 FCP의 값이 반비례하고, 라우터의 큐 크기와는 비례
- * Vegas기법은 각 네트워크 파라미터들에 의존하여 상이한 성능을 나타낸다.
- * NTG나 NDG기법에 비해 상대적으로 좋은 성능을 보인다.

4.2 NTG

표 4.2 혼잡손실 예측의 빈도 수 (FCP)의 변화 - NTG

	T_p	b_w	q_s	r_c
	↑	↑	↑	↑
FCP	↓	↓	↑	no change
A_c	FCP의 경향과 밀접하게 변화			

- 모니터 시점마다의 throughput 기율기 변화를 이용
- FCP의 값에 의해 무선링크 손실을 추측
- 혼잡손실 예측의 정확도(A_c) / 무선손실 예측의 정확도(A_w)
Vegas와 유사한 형태로 나타나지만, 특히 A_w 는 Vegas 보다 FWP에 더욱 밀접하게 관련되어 나타난다.
- 혼잡 손실률(r_c)과는 무관하게 FCP와 A_c 값이 산출
- * 전통적인 throughput의 차이에 의한 예측기법으로 상이한 네트워크 상황에서 좋은 성능을 내기가 힘들다.

4.3 NDG

표 4.3 혼잡손실 예측의 빈도 수 (FCP)의 변화 - NDG

	T_p	b_w	q_s	r_c
	↑	↑	↑	↑
FCP	independent			
A_w	FCP의 경향에 밀접하게 변화			

- 모니터 시점마다 delay 기율기 변화를 이용
- NDG의 A_c 와 FCP는 전형적으로 Vegas의 예측보다 낮은 값을 갖는다.
- * 각각의 네트워크 파라미터들과는 독립적으로 FCP와 A_w 값이 산출 - 안정된 값을 유지
- * delay에 의존하므로 다른 네트워크 traffic과의 의존성을 무시할 수 없다.

5. 결론 및 향후 연구방향

급격히 확산되고 있는 이동 호스트들이 인터넷에 액세스하는데 보다 효율적인 성능과 이동 호스트 자체의 결합을 극복하기

위해서는 TCP의 개선과 적응기법이 요구된다.

본 논문에서는 이동 호스트들에 대한 인터넷 서비스를 위해서 제공되어지는 TCP를 개선하기 위해 제안된 TCP의 손실예측(loss prediction) 매커니즘들에 대하여 살펴보았다.

논문[7]에서의 결과에 의하면, 각각의 기법들은 상이한 네트워크 상황에서 좋은 손실예측을 장담할 수 없다. 이러한 것은 무선링크 자체의 손실을 예측하여 정의하지 않고, 패킷손실들에서 혼잡 손실만을 예측해 내는 간접적인 기법들을 사용함으로써 여러 가지 상이한 네트워크 상황들에 의해 각기 다른 손실 예측 성능을 나타내게 된다. 또한, 본 논문에서 제시된 혼잡제어기법을 이용한 패킷손실 예측기법들은 단순히 round-trip time이나 TCP연결상의 throughput을 이용하는 기법들이다. 이러한 방법은 네트워크 트래픽의 부분으로서 동작하는 TCP연결이므로, 역시 여러 가지 네트워크 파라미터들에 의해 상당한 영향을 받는다. 이는 패킷손실 예측기법들이 좋은 예측을 하는데 상당한 장애가 된다. 그러므로, TCP송신자 측면에서의 이러한 예측보다 TCP수신자 측면에서의 예측이 여러 가지 네트워크 상황이나, 다른 TCP연결에 영향을 받지 않고 정확한 손실예측을 하는데 큰 도움이 되리라 생각된다.

우리는 앞으로 TCP연결 상에서 수신자 중심의 손실예측 기법들을 연구하고 실험하여, 보다 효율적이고 좋은 손실예측기법 개발에 지속적인 노력을 할 것이다. 또한, 무선링크에서 문제가 되는 무선링크상의 전송에러에 대하여 혼잡손실을 예측하는 간접적인 예측이 아니라, 전송에러 자체를 예측해 내는 예측기법의 제시와 실험에 지속적인 연구를 할 예정이다.

6. 참고 문헌

- [1] Charles E. Perkins, "Mobile networking in the Internet," *ACM Mobile Networks and Application*, vol. 3, no. 4, pp3 19-334,1998
- [2] Mikael Degermark, Mathias Engan, Bjorn Nordgren, and Stephen Pink, "Low-loss TCP/IP header compression for wireless networks," *ACM Wireless Networks*, vol. 3, no. 5, pp375-387, 1997
- [3] Nitin H. Vaidya. "TCP for Wireless and Mobile Hosts," *MobiCom'99 conference Tutorial*, Aug. 1999
- [4] L. Brakmo and S. O'Malley "TCP Vegas : New Techniques for Congestion Detection and Avoidance," in *ACM SIGCOMM'94, London*, U. K, pp. 24-35, Oct. 1994
- [5] Z. Wang and J. Crowcroft, "A new congestion control scheme : Slow start and search(tri-s)," *ACM Computer Communication Review*, vol. 21, pp. 32-43, Jan. 1991
- [6] R. Jain, "A delay-based approach for congestion avoidance in interconnected heterogeneous computer networks," *ACM Computer Review*, vol. 19, pp. 56-71, 1989
- [7] Saad Biaz, Nitin H. Vadya, "Distinguishing Congestion Losses from Wireless Transmission Losses : A Negative Result," *IEEE 7th Int. on Computer Communication and Network(IC3N)*, New Orleans, Oct. 1998
- [8] Gavin holland and Nitin Vadya, "Analysis of TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks," *MobiCom'99*, Aug. 1999.