

# 무선 네트워크에서 TCP의 성능을 향상시키기 위한 기지국 버퍼 관리 기법

최진희<sup>0</sup> 진현욱 유 혁  
고려대학교 컴퓨터학과  
{jhchoi, hwjin, hxy}@os.korea.ac.kr

## Adaptive buffer management of base station for extending TCP over wireless networks

Jin-Hee Choi<sup>0</sup> Hyun-Wook Jin Hyuk Yoo  
Dept. of Computer Science & Engineering, Korea University

### 요 약

TCP는 안정한 링크에서 사용되도록 설계되었기 때문에 패킷 유실이 빈번하게 발생할 수 있는 무선 링크에서는 TCP의 심각한 성능 저하 현상이 나타난다. 본 논문에서는 기지국에서의 버퍼 관리를 통해 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 알고리즘을 제시한다. 알고리즘은 무선 링크의 패킷 유실과 그에 따른 TCP의 혼잡 제어 수행에 의해서 기지국의 버퍼가 비는 것을 방지한다. 결과적으로 제시된 알고리즘은 네트워크의 유휴 상태를 최소화하여 TCP의 성능을 향상시킬 수 있다.

### 1. 서론

무선 인터넷이 보급됨에 따라 기존에 널리 사용되던 인터넷의 서비스(웹 브라우징, email 등)를 그대로 무선 인터넷에도 적용하려 하고 있다. 하지만 이러한 서비스들이 기반하고 있는 프로토콜은 TCP(Transmission Control Protocol)인데, 이 프로토콜은 에러가 거의 없는 안정한 링크(link)를 대상으로 설계되었기 때문에 무선 링크처럼 지연 시간이 길고 패킷 유실이 많은 환경에서는 적절하게 동작하지 않는다. 이는 TCP가 패킷의 유실이 있을 때마다 그 원인이 네트워크의 혼잡(congestion)이라 판단하고 fast retransmit와 fast recovery같은 중단 혼잡 제어(end-to-end congestion control) 알고리즘을 사용하기 때문이다. 그 결과, 링크의 활용도(link utilization)가 낮아질 수 있으며, TCP의 성능 자체도 크게 감소한다.

이와 같은 TCP의 문제점을 개선하기 위해 많은 연구들이 진행되어 왔다. 대표적인 연구로는 I-TCP[1], Link-level Retransmission[2], EBSN scheme[3], TCP SACK, SMART[4], Snoop[5], New Snoop[6] 등이 있는데, 이들은 대부분 매우 제한적인 환경에서만 적용 가능한 경우가 많으며, 기존 네트워크 프로토콜의 많은 수정이 요구된다는 단점이 있다.

중단 시스템(end system)에 새로운 프로토콜을 보급한다는 것은 대단히 어려운 문제이기 때문에 기지국의 버퍼 관리를 좀

더 효율적으로 하여 성능 향상을 꾀하는 방법이 더욱 효과적인 접근 방법이다. 기존의 많은 버퍼 관리 방법들[11]은 세션이 많아져 발생하는 버퍼의 오버 플로우(buffer overflow)와 그 결과 발생할 수 있는 GS(Global Synchronization)[7]를 막는 데에 중점을 두었다. 그러나 버퍼 오버 플로우 문제는 셀이 작아지고 있는 상황을 고려한다면 큰 문제는 아니다. 오히려 기지국에서 보다 중요한 문제는 무선 링크의 에러로 인해 발생하는 연속적인 패킷 유실(multiple packet drop)의 결과 발생할 수 있는 GS와 그로 인한 버퍼 언더 플로우(buffer underflow)로 버퍼의 유휴 상태가 길어지는 현상을 막는 것이다. 이는 무선 네트워크의 셀(cell)이 점차 작아지고 있는 추세인데다가 보다 고품질의 서비스를 제공하기 위해 세션의 수에 제한을 두기 때문에 더욱 발생하기 쉬운 문제이다. 따라서 본 논문에서는 이렇게 교환하는 데이터의 양은 많지만 세션의 수는 작은 상황에서 패킷 유실로 인한 버퍼의 언더 플로우(underflow) 현상을 막고 나아가 TCP 세션의 성능을 향상시키기 위한 효과적인 버퍼 관리 기법을 제안한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 버퍼 언더 플로우가 발생하는 상황과 그로 인한 버퍼의 변화를 설명하며, 3절에서는 이를 해결할 수 있는 알고리즘을

기술한다. 마지막으로 4절에서는 논문을 요약하고 향후의 연구 계획을 설명한다.

2. 기지국의 버퍼 상태 변화

TCP는 패킷의 유실이 발생하면 혼잡 회피 알고리즘을 수행한다. 하지만 연속적인 패킷 유실(multiple packet drop)이 발생할 경우에는 처리량이 크게 저하된다. 무선 링크는 지연 시간이 길고 비트 에러가 많은 특징이 있지만 지연 시간은 TCP의 동작에 커다란 영향은 주지 못한다. 반면, 비트 에러는 패킷의 유실로 이어지는데, burst한 특성 때문에 결과적으로 연속적인 패킷 유실이 발생하는 경우가 많다. 이런 경우, 기지국의 버퍼는 쌓아놓을 패킷이 없는 유향 상태가 되며, 이는 결과적으로 대역폭을 낭비하게 된다.(그림 1,2,3) 그림 1,2,3은 각각 링크에 에러가 없는 경우, 1%의 에러가 발생하는 경우, 3%의 에러가 발생하는 경우를 나타낸 것이며, 에러율이 높아짐에 따라 큐의 유향 상태 시간이 길어짐을 알 수 있다.

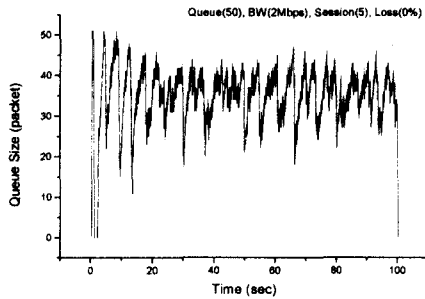


그림 1

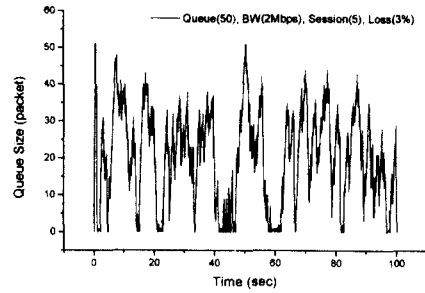
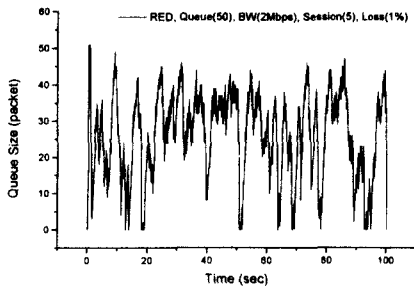


그림 2

그림 3

3. Wireless Adaptive Buffer Management : WAB

링크의 에러로 인해 연속적인 패킷 유실이 발생하게 되면 송신 측의 TCP는 윈도우(cwnd)의 크기를 줄이거나 경우에 따라서는 타임 아웃이 발생할 때까지 패킷을 보내지 않는 현상이 발생한다. 이로 인해 기지국의 버퍼에 큐잉할 패킷이 없는 극단적인 경우도 빈번하게 발생하게 되는데, 이는 무선 링크의 대역폭을 낭비하는 결과를 초래한다.

3.1 WAB Algorithm

이 절에서는 WAB 알고리즘을 기술한다. 이 알고리즘은 RED[9]를 기반으로 설계되었지만 이외의 버퍼 관리 방법과 결합되어도 무방하다. 알고리즘에서 사용되는 중요한 인자로는 패킷 유실의 원인이 무선 링크의 에러에 의한 것이라 판단할 확률 p와 이러한 판단 매커니즘을 적용시킬 threshold 값 m, 그리고 캐쉬를 플러쉬(flush)하는 기준 값인 패킷 수 n, 캐쉬의 크기 s가 있다.

```

for each packet arrival
    m = (1 - W)m + Wq
    if q <= m
        if q <= n
            flush cache
            force to send ZWA packet

    calculate probability p
    with probability p
    
```

cache the arriving packet  
end

이러한 버퍼의 유휴 상태를 최소화하기 위해 버퍼의 패킷이 적어지다가 threshold 이하로 떨어지면 확률 p에 의해 무선 링크의 패킷 유실이 원인이라 판단하여 이후 들어오는 패킷들은 캐싱(caching)한 후, ACK가 나갈 때마다 캐쉬에서 제거하고 버퍼에 있는 패킷의 수가 n개 이하로 떨어지게 되면 캐쉬에 있는 패킷들에 대해 ZWA(Zero Window Advertisement) 패킷을 만들어 전달한다.(구현에 따라 flow의 정보만을 유지하는 것도 가능하다.)

ZWA 패킷이 올 경우, 송신측의 TCP는 persist 모드로 전환하여 윈도우를 줄이지 않기 때문에 불필요하게 윈도우를 줄여 버퍼 언더 플로우가 발생할 확률을 줄여주며[8] 더불어 TCP의 성능(throughput) 또한 향상시킬 수 있다.

### 3.2 WAB의 구현

이 알고리즘의 핵심은 WAB 모드로의 전환 기준인 threshold와 이후 패킷들을 캐쉬하고 관리하는 WAB cache이다. WAB cache는 개념적인 구성 요소이며, 실제 구현의 방식은 다양할 수 있다. 일례로 버퍼의 크기가 threshold 이하로 떨어졌을 경우, 모든 패킷을 캐싱하게 될 경우, 캐쉬의 크기를 결정해야 한다. 하지만 모든 패킷에 대해 ZWA를 보낼 필요는 없으므로 실제 필요한 패킷은 가장 최근의 것(순차 번호가 가장 높은) 하나 뿐이다. 이렇게 플로우 별 관리를 하게 되면 캐쉬의 크기 결정 문제를 고려할 필요도 없을 것이다.

하지만 플로우 관리자(flow manager)를 두어 가장 높은 순차 번호만을 유지하고자 할 경우에는 순차 번호의 wrapping around 문제가 발생할 수 있다. 이 문제를 해결하는 가장 쉬운 방법은 BSD TCP 구현에서 사용된 Sequence Space Comparison이다.[10]

### 3. 결론 및 향후 계획

본 논문은 기지국에서 흐름 제어(flow control)를 보다 효율적으로 할 수 있는 버퍼 관리 알고리즘인 WAB을 제안하였다. WAB은 셀이 작아지고, 세션의 수가 적어지는 최근의 무선 네트워크 환경에서 발생할 수 있는 버퍼 언더 플로우 현상을 줄여주며, 패킷 유실로 인한 TCP의 오 동작을

방지하여 그 성능도 향상시켜 줄 수 있다.

현재 다양한 환경에서 WAB의 성능에 대한 시뮬레이션이 진행 중이며, 이후 이에 대한 수학적 모델링과 분석이 시행될 것이다.

### 4. 참고 문헌

- [1] H. Balakrishnan, S. Seshan and R.H. Katz, "Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks," ACM Wireless Networks, 1(4), Dec. 1995
- [2] E. Ayanoglu, S. Paul, et.al, "A Link-Layer Protocol for Wireless Networks," ACM/Baltzer Wireless Networks Journal, 1:47-60, February 1995.
- [3] B. Bakshi, et.al, "Improving performance of TCP over wireless networks," Texas A&M University Technical Report TR-96-014.
- [4] K. Fall and S. Floyd, "Simulation-based Comparisons of Tahoe, Reno, and Sack TCP," Computer Commun. Review, 1996.
- [5] H. Balakrishnan, "An Implementation of TCP Selective Acknowledgments," <http://daedalus.cs.berkeley.edu/pub/tcpsack/>, 1996.
- [6] J.H. Hu, K. L. Yeung, et al, "Hierarchical Cache Design for Enhancing TCP over Heterogeneous Networks with Wired and Wireless Links," GLOBECOM 2000, Nov. 2000.
- [7] Jacobson, "Congestion Avoidance and Control," Computer Communication Review, vol. 18, 1988..
- [8] T. Goff, J. Moronski, and D.S. Phatak, "Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement mechanism for mobile environments," INFOCOM 2000.
- [9] S. Floyd, V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance," IEEE/ACM Transactions on Networking 1993.
- [10] D. Comer, D. Stevens, "Internetworking with TCP/IP volume II," p 200, prentice hall 1999.
- [11] Jian-Hao Hu, Kwan L. Yeung, "FDA: A Novel Base Station Flow Control Scheme for TCP over Heterogeneous Networks," INFOCOM 2001.

<sup>0</sup> 본 연구는 2001년 정보통신부의 대학 S/W 연구 센터 지원 사업에 의해 연구됨.