

# 모바일 환경에서 제한된 메모리의 수신자에 의한 TCP 흐름 제어

이종민<sup>○</sup> 차호정  
연세대학교 컴퓨터과학과  
{jimlee,hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

## A TCP Flow Control for Receiver with Limited Memory in Mobile Environment

Jongmin Lee<sup>○</sup> Hojung Cha  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

본 논문은 모바일 환경에서 제한된 메모리를 가지고 있는 수신자에 의한 TCP 흐름 제어 방법을 제안한다. TCP 흐름 제어는 송신자에서 수신자에게 전달되는 Advertised 윈도우 크기를 조정하여 수행된다. 수신자는 무선 대역폭과 종단간 패킷 왕복 시간을 동적으로 측정하며 최적의 Advertised 윈도우 크기를 계산하고 송신자의 전송률을 무선 대역폭으로 제한한다. 제안된 흐름 제어 기법은 제한된 메모리를 가진 수신자를 고려하였으며 무선 네트워크의 특성을 고려한 효율적인 TCP 흐름 제어로 TCP의 전송 성능 향상과 종단간 패킷 왕복 시간의 지연을 줄일 수 있도록 하였다. 제안된 흐름 제어 기법의 효율성과 성능을 구현과 실험을 통해 검증한다.

### 1. 서론

최근 향상된 무선 네트워크 환경과 진보된 이동 단말기에 기반을 두어 기존의 음성 통신뿐만 아니라 무선 인터넷, 멀티미디어 서비스와 같은 향상된 기능을 제공하려는 시도가 이루어지고 있다[1]. 무선 인터넷 응용에 쓰이고 있는 대표적인 프로토콜로는 TCP가 있다. TCP는 신뢰성 있고 연결 지향적인 서비스를 제공하기 위한 전송 프로토콜이다. TCP에서 사용되는 수신자 버퍼는 패킷의 조립 및 버퍼링에 쓰인다. 수신자가 제한된 메모리를 가지고 있는 이동 단말기의 경우, 수신자는 메모리와 같은 시스템 자원의 제한 때문에 작은 버퍼 크기를 갖게 되고 이는 송신자의 전송률을 제한하여 전체적인 전송 성능을 감소시킨다[2].

TCP는 네트워크의 혼잡 상황을 제어하기 위해 윈도우 기반의 혼잡 제어 방식을 사용한다[3]. TCP 송신자의 혼잡 제어 방식은 혼잡 윈도우의 크기와 수신자의 버퍼 크기를 의미하는 Advertised 윈도우 크기에 의해 송신자가 수신자로부터 응답을 받지 않고 네트워크로 전송 가능한 자료의 양을 조절함으로써 전송률을 조정한다. 유선 환경에 비해 상대적으로 대역폭이 낮고 오류 발생이 많은 무선 환경의 경우, 큰 Advertised 윈도우는 종단 라우터에서의 버퍼링 부하를 증가시키며 혼잡 발생 확률을 증가시킨다[4]. 또한, 무선 환경에서의 패킷 손실로 인해 재전송되는 패킷이 종단 라우터에서의 버퍼링 지연에 의해 늦게 전송됨에 따라 패킷 전송 시간 초과가 발생하여 전송 성능을 크게 감소시킨다[5]. 따라서 라우터에서의 패킷 버퍼링 부하에 따른 자료 전송의 지연을 줄이고 혼잡 상황을 피하며, 종단간 대역폭을 최대한 활용하기 위한 효율적인 흐름 제어 방식이 필요하다.

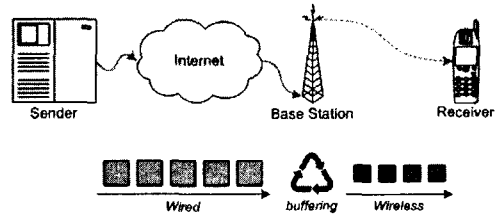


그림 1. 시스템 구조

본 논문에서는 무선 환경에서 이동 단말기와 같이 제한된 메모리를 가지고 있는 수신자를 고려하며, 전송 성능을 향상시키고 네트워크에서의 지연 및 혼잡 상황 발생을 최소화하기 위한 수신자 기반의 TCP 흐름 제어 방식을 제안한다. 또한, 제안된 방식을 실제 시스템으로 구현하고 실제 환경에서 실험함으로써, 제안하는 방식의 효율성을 검증한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 논문에서 제안하는 수신자에 의한 TCP 흐름 제어 방식에 대해 기술한다. 3 장에서는 실험 방법 및 결과에 대해 기술하고 4 장에서 결론을 맺는다.

### 2. 수신자 기반의 TCP 흐름 제어

무선 네트워크는 유선 네트워크에 비해 낮은 대역폭을 가지며, 유무선 연동 환경의 종단에 위치하게 된다. 따라서 유무선 연동 환경에서의 종단간 최대 대역폭은 전체 네트워크의 종단에 위치한 무선 네트워크의 대역폭에 의해 결정된다. 그림 1은 전체 시스템의 구조를 보여준다. 베이스 스테이션은 유무선 연동 환경에서 최종 라우터의 역할을 수행한다. TCP 수신자는 최종 무선 네트워크의 대역폭을 측정하고, 측정된 대역폭을 기반으로 송신자 전송률을 제한하기

• 본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 특정기초연구사업으로 수행하였습 (과제번호 : R01-2002-000-00141-0)

위한 최적의 Advertised 윈도우를 계산한다. 계산된 Advertised 윈도우에 기반하여 Advertised 윈도우를 조절하고 이를 응답 메시지와 함께 송신자로 전송한다. TCP에서 효율적인 전송을 위한 최적의 버퍼 크기는 식 1로 구할 수 있다[6].

$$buffer\ size = bandwidth \times RTT \quad (1)$$

버퍼 크기는 네트워크 대역폭과 종단간 패킷 왕복 시간에 의해 결정되며, 네트워크 대역폭이 크고 패킷 왕복 시간이 길수록 큰 버퍼 크기를 필요로 한다. 수신자의 버퍼 크기는 송신자에게 전달되는 Advertised 윈도우 크기를 의미한다. 식 1에 의한 최적의 수신자 버퍼 크기를 계산하기 위해서는 수신자가 유무선 네트워크의 종단에 위치하는 무선 네트워크의 대역폭 측정과 전체 네트워크를 통한 패킷 왕복 시간을 계산할 수 있어야 한다.

베이스 스테이션과 수신자와의 무선 대역폭은 제한된 대역폭을 가진다. 송신자가 제한된 무선 네트워크 대역폭 이상으로 자료를 전송하더라도 수신자는 무선 대역폭이 허용하는 대역폭으로 자료를 전송 받게 된다. 순간 무선 대역폭은 수신자에 도착하는 패킷의 시간 간격과 패킷의 크기를 이용하여 식 2에 의해 구할 수 있다.

$$R_i = \frac{S_{packet}}{t_i} \quad (2)$$

식 2에서  $S_{packet}$  은 패킷의 크기를 의미하고,  $t_i$  는  $i$  번째 수신된 패킷과 이전 패킷 간의 시간 간격,  $R_i$  는  $i$  번째 계산된 순간 무선 대역폭을 의미한다. 무선 대역폭은 무선 네트워크의 상태 변화에 따라 변하게 되며 버퍼 크기 계산에 사용되는 무선 대역폭은 동적으로 계산되는 순간 무선 대역폭  $R_i$  값 중 최대값을 사용한다.

TCP 송신자에서 수행되는 전송률 조정은 혼잡 제어를 위한 혼잡 윈도우와 수신자의 버퍼 크기를 의미하는 Advertised 윈도우에 의해 제한된다. 따라서 TCP 송신자가 수신자의 응답을 받지 않고 전송 가능한 최대 데이터의 양은 수신자의 Advertised 윈도우 크기를 넘지 않는다. 송신자의 전송률이 수신자의 Advertised 윈도우에 제한을 받을 경우 수신자가 응답 메시지로 Advertised 윈도우를 보낸 시간과 해당 Advertised 윈도우만큼 자료를 받은 시간과의 간격이 종단간 패킷 왕복 시간이 된다.

그림 2는 수신자에서 종단간 패킷 시간을 측정하는 예를 보여준다. 수신자가 송신자에게 Advertised 윈도우  $awnd_i$  를 보냈을 경우,  $awnd_i$ 를 보낸 시간과  $awnd_i$ 만큼의 자료를 수신했을 때와의 시간 간격이 마지막으로 수신한 패킷  $P_{i+n}$ 에 대한 순간 패킷 왕복시간  $RTT_{i+n}$ 이 된다. 순간 패킷 왕복 시간은 식 3으로 구할 수 있다.

$$RTT_{i+n} = \sum_{k=0}^n t_{i+k}, \text{ where } n = \frac{awnd_i}{S_{packet}} \quad (3)$$

무선 네트워크는 유선 네트워크에 비해 낮은 대역폭을 가지며, TCP 송신자의 전송률은 혼잡 윈도우의 크기보다 수신자의 Advertised 윈도우의 크기에 영향을 받을 확률이 크다. 따라서 측정된 순간

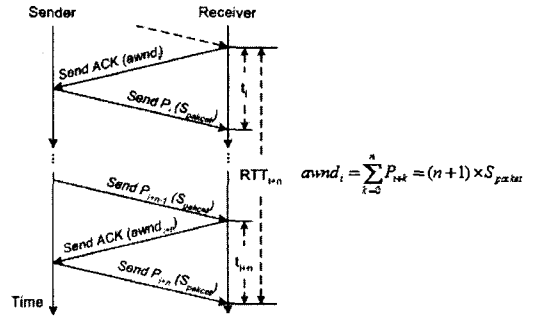


그림 2. 수신자에서의 종단간 패킷 왕복 시간 측정

패킷 왕복 시간  $RTT_i$  값 중 최소값을 BaseRTT라고 정의하여 수신자 버퍼 크기 계산에 사용한다.

휴대폰과 같은 이동 단말기는 제한된 메모리를 가지고 있다. 수신자에서 사용 가능한 메모리가 계산된 버퍼 크기보다 작을 경우 송신자의 자료 전송률이 수신자의 버퍼 크기에 의해 제한되므로 충분한 TCP 전송 성능의 향상을 이룰 수 없다. 논문에서는 수신자에서 사용 가능한 메모리의 크기에 관계없이 계산된 버퍼 크기에 근거한 Advertised 윈도우를 송신자로 전달하는 방법을 사용한다.

연결 초기 단계 및 네트워크의 상태가 변화할 때 계산된 버퍼 크기 값은 급변할 수 있다. 급변하고 정확하지 않은 버퍼 크기 계산에 의한 시스템 부하를 줄이기 위해 수신자는 단계적으로 Advertised 윈도우 크기를 증가하는 방법을 사용한다. 그림 3은 Advertised 윈도우 조절 과정의 예를 보여준다.

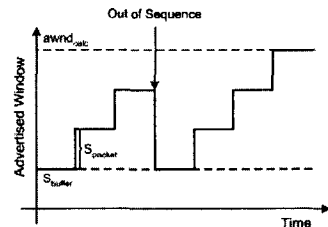


그림 3. Advertised 윈도우 조절

수신자는 사용 가능한 버퍼 크기와 관계없이 계산된 버퍼 크기에 근거하여 Advertised 윈도우를 조절하고 이를 송신자에 전달한다. 계산된 버퍼 크기가 실제 버퍼 크기보다 작을 경우, 작은 Advertised 윈도우를 송신자로 전달하므로 종단간 패킷 왕복 시간을 줄여 라우터에서의 버퍼링 부하를 줄일 수 있다. 계산된 버퍼 크기가 현재 할당되어 있는 버퍼 크기보다 큰 경우, 수신자는 실제 버퍼 크기보다 큰 Advertised 윈도우 값을 송신자에게 전달함으로써 더 높은 TCP의 전송 성능을 얻을 수 있다. 순서가 올바르게 정렬된 패킷이 도착할 경우 Advertised 윈도우를 사용 가능한 메모리의 크기로 조정함으로써 실제 메모리보다 큰 Advertised 윈도우를 전달하여 발생 가능한 추가의 패킷 재전송을 최소화한다.

### 3. 실험

본 논문에서 제안한 수신자에 의한 TCP 흐름 제어 방법은 리눅스 2.4.20 커널 코드를 수정하여 구현되었다. 실험을 위한 서버는 인터넷에 연결된 데스크톱을 사용하였고, 클라이언트는 제안된 TCP 흐름 제어 방식이 구현된 리눅스가 탑재된 노트북을 사용하였다. 무선 네트워크는 CDMA2000 1x를 사용하였으며 이를 위해 노트북에 CDMA2000 1x 지원 휴대폰을 연결하여 무선 네트워크를 통한 통신이 가능하도록 하였다. 실험 자료의 분석은 위해 tcpdump[7], tcptrace[8] 프로그램을 사용하였다.

실험에서 사용한 TCP 패킷의 크기는 인터넷에서 패킷의 단편화가 이루어지지 않는 최대 크기인 1448 Bytes를 사용하였으며, 1 MBytes의 자료를 전송하는 실험을 수행하였다. 수신자의 버퍼 크기는 기존 TCP의 경우, 2896 Bytes, 6 KBytes, 64 KBytes의 세 가지로 구분하여 실험하였다. TCP 흐름 제어를 수행할 경우의 수신자 버퍼 크기는 수신자가 제한된 시스템 자원을 가지고 있을 경우만을 고려하여 2896 Bytes로 고정하였으며 총 10회의 실험을 수행하였다.

그림 4는 수신자의 버퍼 크기에 따른 전송률과 평균을 보여준다. 수신자의 버퍼가 2896 Bytes, 6 KBytes일 경우는 전체적인 전송률이 낮음을 볼 수 있다. 이는 수신자 버퍼 크기가 작음으로 인해 송신자의 전송률이 수신자 버퍼 크기에 의해 제한을 받기 때문이다. 수신자의 버퍼가 64 Kbytes일 경우와 흐름 제어를 수행하는 경우는 비슷한 전송률을 보이며 무선 네트워크의 대역폭에 근접하고 있다. 흐름 제어를 수행할 경우 수신자 버퍼 크기가 작음에도 불구하고 한정된 무선 대역폭의 근접하게 전송률이 조정됨을 알 수 있다.

그림 5는 수신자 버퍼 크기에 따른 종단간 패킷 왕복 시간의 평균을 보여준다. 수신자 버퍼 크기가 64KBytes인 경우는 패킷 왕복 시간이 매우 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 송신자의 전송률이 종단 네트워크의 대역폭보다 커져서 종단 라우터에서의 버퍼링 시간 증가로 인한 지연이 발생했기 때문이다. 수신자 버퍼 크기가 2896 Bytes, 6 KBytes 인 경우는 송신자의 전송률이 수신자 버퍼 크기에 제한을 받아 충분한 전송 성능을 얻을 수 없는 반면, 종단 라우터에서의 버퍼링 부하가 감소하여 종단간 패킷 왕복 시간은 짧아진다. 흐름 제어를 수행하는 경우는 흐름 제어 방법이 송신자의 전송률을 종단 네트워크 대역폭에 맞도록 조정함으로써, 라우터에서의 버퍼링 부하가 감소되어 전체적인 패킷 왕복 시간이 단축된다.

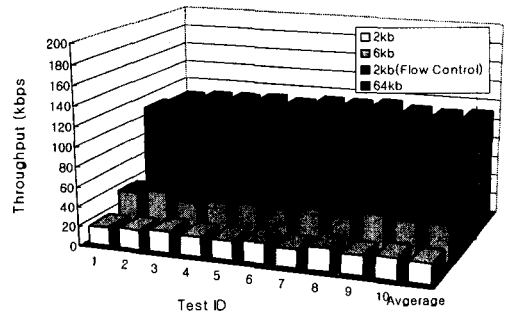


그림 4. 전송률 비교

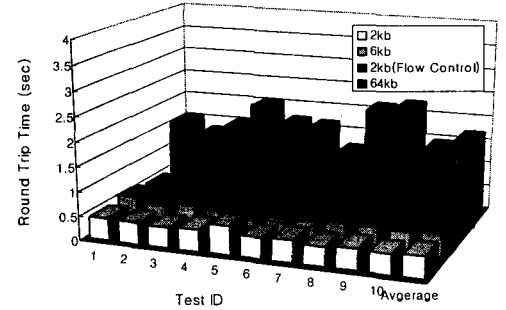


그림 5. 종단간 패킷 왕복 시간 비교

제안된 TCP 흐름 제어 방법은 실제 시스템으로 구현되었다. 수신자가 제한된 메모리를 가지고 있음에도 불구하고 제안된 흐름 제어 방법이 무선 환경에서의 효율적인 TCP 흐름 정책으로 TCP 전송 성능 향상과 종단간 패킷 왕복 시간 감소를 가져온다는 것을 실험을 통해 증명하였다. 향후 연구 과제로는 수신자에서 측정되는 무선 대역폭과 패킷 왕복 시간이 초기 연결 설정 단계에서 정확하지 않은 것을 개선하는 방법에 대한 연구가 있다.

### 참고문헌

- [1] L. Garber, "Will 3G really be the next big wireless technology?," *IEEE Computer*, Vol. 35, No. 1, pp. 26-32, Jan, 2002.
- [2] C. Barakat, E. Altman, W. Dabbous, "On TCP Performance in a Heterogeneous Network: A Survey," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 38, No. 1, pp. 40-46, Jan, 2000.
- [3] V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control," In *Proceedings of ACM SIGCOMM*, pp. 314-329, 1998.
- [4] Xiaoming Zhou, Xichen Liu, John S. Baras, "Flow Control at Satellite Gateways," *Technical Reports in the Center for Satellite and Hybrid Communication (CSHCN) at the University of Maryland*, CSHCN TR 2002-19, 2002.
- [6] Brian L. Tierney, "TCP Tuning Guide for Distributed Applications on Wide Area Networks," *Usenix login: Journal*, Vol. 26, No. 1, pp. 33-39, Feb, 2001.
- [7] V. Jacobson, C. Leres, S. McCanne, tcpdump, <http://www.tcpdump.org>, 1989.
- [8] S. Ostermann, tcptrace, <http://www.tcptrace.org>, 1994

### 4. 결론

본 논문에서는 무선 환경에서 제한된 메모리를 가진 수신자에 의한 TCP 흐름 제어 방법을 제안하였다. 제안된 흐름 제어 방법은 수신자에서 수행되며 송신자에게 전달하는 Advertised 윈도우의 크기를 종단 무선 네트워크의 대역폭으로 제한함으로써 수행된다. 수신자는 무선 네트워크의 대역폭과 패킷 왕복 시간을 측정하며 최적의 버퍼 크기를 동적 계산한다. 또한, 수신자의 한정된 버퍼 크기로 인해 송신자의 전송률이 제한 받지 않도록 실제 수신자의 버퍼 크기보다 큰 Advertised 윈도우를 송신자에게 전달할 수 있도록 하고, 무선 환경의 특성을 고려한 효율적인 Advertised 윈도우 조정으로 TCP 전송 성능을 높이고 종단간 패킷 왕복 시간을 줄이도록 한다.