

## 비대칭 망에서 세그먼트 크기 조정을 통한

### 상향 링크의 혼잡 제어

박현규<sup>o</sup> 제정광 안준철 임경식

경북대학교 컴퓨터학과

{hgpark<sup>o</sup>, jkje, jcahn}@ccmc.knu.ac.kr kslim@knu.ac.kr

#### Uplink Congestion Control over Asymmetric Networks Using Segment Size Control

Hyungyu Park<sup>o</sup> Jungkwang Je Joonchul Ahn Kyungshik Lim

Dept. of Computer Science, Kyungpook National University

#### 요 약

상향 링크와 하향 링크의 대역폭이 다른 비대칭 망 환경에서 범용 TCP를 사용하는 경우, 상향 링크의 혼잡으로 인해 TCP의 성능이 저하되는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 하향 링크에서 데이터 세그먼트의 크기를 조정하여 상향 링크의 혼잡을 완화시키는 방법을 제안한다. 이 방법은 단대단 의미구조를 유지하면서 망의 상태에 따라 세그먼트의 크기를 최적으로 조절하여 응답 패킷을 최소한으로 생성하도록 하는 특징을 가지고 있다. 특히, 조정된 크기를 갖는 세그먼트가 전송 도중에 오류가 발생하는 경우에 빠른 복구를 위해 SACK를 사용한다. 또한, 혼잡 제어 구간에서는 세그먼트의 크기를 조절하지 않도록 하여 줄어드는 응답 패킷의 수로 인한 성능 감소를 방지한다.

#### 1. 서 론

현재 일반적으로 서비스 되고 있는 망의 형태는 상향 링크와 하향 링크의 대역폭이 다른 비대칭 망이다. 이러한 비대칭 망 환경에 범용 TCP를 적용하는 경우, 상향 링크의 혼잡으로 인해 TCP의 성능 저하가 발생하게 된다[1]. 이와 같은 TCP의 성능 저하 문제를 해결하기 위해 기존의 다양한 연구들이 수행되었다.

기존의 연구는 크게 상향 링크에서 응답 패킷의 조정을 통한 연구와 하향 링크에서 데이터 패킷의 조정을 통한 연구로 나눌 수 있다[2,3]. 상향 링크에서의 연구들로는 AF, ACC 등이 존재하며, 하향 링크의 연구들로는 Sender Pacing, Split TCP 등이 존재한다. 본 논문에서는 하향 링크의 데이터 패킷의 세그먼트 크기를 조정하여 상향 링크의 혼잡을 완화하는 방법에 초점을 맞추어, 기존의 연구들의 문제점을 개선하여 TCP의 성능을 향상시키는, 세그먼트 크기 조정 기법을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 비대칭 망의 상향 링크 혼잡 완화에 관련된 기존 연구들에 대해 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 세그먼트 크기 조정 기법에 대해 설명하고, 4장에서는 시뮬레이션을 통해 망의 상태에 따른 최적의 세그먼트 조정 계수를 결정한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고, 향후 연구 방향을 제시한다.

#### 2. 관련 연구

비대칭 망에서 상향 링크의 혼잡을 해결하기 위한 연구는 크게 상향 링크에서의 연구와 하향 링크에서의 연구로 나누어진다. 이 중, 본 논문에서 제안하는 기법이 초점을 맞추고 있는 하향 링크에서의 혼잡 제어에 관한 대표적인 연구인 Sender

Pacing과 Split TCP 기법에 대해서 설명한다[2,4].

Sender Pacing 기법은 데이터 패킷의 간격을 조절하여 상향 링크의 혼잡을 완화하는 방법이다. 불규칙적인 응답 패킷으로 인해 순간적으로 발생하는 대량의 데이터 패킷들을 일정 간격으로 나누어 전송함으로써 상향 링크의 혼잡을 완화하는 방법이다. 일반적으로 응답 필터링 기법 등과 함께 사용되어 상향 링크의 혼잡을 완화한다. 하지만 데이터 패킷을 일정 간격을 두고 전송함으로써 다른 기법들에 비해 처리량이 저하되는 문제점이 생기며, 각 패킷의 전송 간격을 계산해야 하기 때문에 송신 측의 부하가 커지는 문제점이 생긴다. 또한, 송신 측의 TCP를 수정해야 한다는 단점이 존재한다.

Split TCP 기법은 비대칭 망과 그렇지 않은 망 사이에서 TCP 연결을 분리하여 각각의 망 특성에 맞는 TCP를 적용하는 방법이다. 송신 측과 수신 측 사이의, 비대칭 구간의 시작점에 위치하고 있는 게이트웨이에서 TCP의 연결을 분리하여 대칭 망 구간에서는 범용 TCP를 적용하고, 비대칭 망 구간에서는 거대 세그먼트를 사용하는 TCP를 적용한다. 비대칭 망 구간에서 세그먼트의 크기를 증가시켜 데이터 패킷의 수를 줄임으로써 응답 패킷의 양을 줄여 상향 링크의 혼잡을 완화한다. 이 기법은 송신 측과 수신 측의 TCP의 수정 없이 상향 링크의 혼잡을 완화할 수 있다는 장점과 게이트웨이에서 응답 패킷을 생성하여 전송함으로써 혼잡 윈도우의 느린 증가 문제를 해결할 수 있다는 장점이 존재하지만, 단대단 의미 구조가 깨어짐으로 인해 발생하는 문제점과 게이트웨이에서 TCP 프로세싱을 두 번 수행해야 한다는 문제점이 있다.

#### 3. 세그먼트 크기 조정 기법

세그먼트 크기 조정 기법은 단대단 의미구조를 깨지 않고, 세그먼트의 크기를 조정하여 상향 링크의 혼잡을 제어하는 기법이다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 송신 측과 수신 측 사이에 위치한 게이트웨이에서 세그먼트 크기 조정 기능을 수행할

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10562-0)와 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원으로 수행되었음.



그림 1. 비대칭 망 구성

으로써 송수신 측의 TCP 수정 없이 상향 링크의 혼잡을 제어할 수 있다.

### 3.1 세그먼트 크기 조정

세그먼트 크기 조정 기법은 미리 설정된 세그먼트 조정 계수 (이하 K)에 따라 연속된 데이터 패킷들을 하나의 세그먼트로 조립하여 수신 측으로 전송하는 방법이다. 세그먼트 조정 계수란 세그먼트의 크기를 결정하는 값으로써 하나의 세그먼트를 조립하기 위해 사용되는 데이터 패킷의 수를 의미한다.

세그먼트의 크기를 조정하기 위해 게이트웨이에서 연속된 데이터 패킷을 버퍼링 한다. K개의 패킷이 모두 버퍼링 되거나 타이머가 만료되면 버퍼링 된 패킷들을 조립한다. (타이머를 사용하여 K개의 패킷을 무한히 기다리는 것을 방지한다.) 이와 같이 세그먼트 크기를 조정하여 전송함으로써 수신 측에서 생성되는 응답 패킷의 양을 감소시켜 상향 링크의 혼잡을 완화한다.

그림 2는 K값이 3으로 설정된 환경에서의 세그먼트 크기 조정 과정이다. 연속된 3개의 데이터 패킷이 도착하면 그림 2의 Sender 측에 표시되어 있는 (1) 부분과 같이 데이터 패킷들을 하나의 세그먼트로 조립한 뒤 망의 MTU에 맞도록 IP 단편화 기능을 사용하여 전송한다. 이 경우, 송신 측에서 보낸 3개의 데이터 패킷에 대해 하나의 응답 패킷만 생성된다. 게이트웨이에서 타이머의 동작 과정을 살펴보면, 그림 2의 (2)와 같이 데이터 패킷을 수신하면 타이머를 설정한다. 일정 시간 후 타이머가 완료되면 현재까지 버퍼링 된 2개의 패킷을 하나의 세그먼트로 조립하여 전송한다. 이와 같은 과정으로 세그먼트 크기 조정을 수행한다.

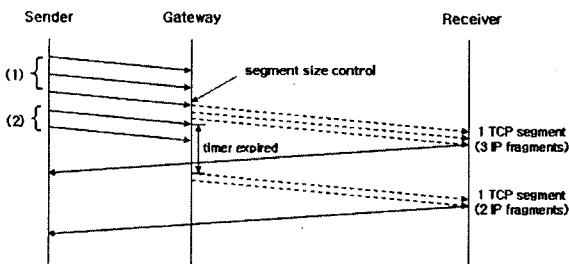


그림 2. 세그먼트 크기 조정 과정 (K = 3)

### 3.2 패킷 손실 복구

크기가 조정된 세그먼트는 망의 MTU에 맞도록 IP 단편화 기능을 사용하여 전송된다. 이를 통해 생성된 IP 패킷들 중 일부 패킷에 오류가 발생한 경우, 수신 측에서는 패킷들을 재조립할 수 없기 때문에 정상적으로 수신한 나머지 패킷들도 버리게 된다. 수신 측에서 SACK[5]를 지원하지 않는 경우 송신 측에서는 연속된 세그먼트들의 손실을 인식할 수 없기 때문에 세그먼트들을 순차적으로 복구해야 한다. 그에 따라 복구 시간이 늦어지거나 송신 측의 전송 타이머가 만료되는 문제점이 발생한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 패킷 시퀀스 정보의 유지를 통해 손실된 세그먼트들을 게이트웨이에서 SACK 옵션으로 일괄 복구할 수 있도록 하여 손실 패킷의 복구

시간을 줄인다.

그림 3은 패킷 손실 복구 과정을 나타낸다. 게이트웨이에서 생성한 IP 패킷들 중 일부가 손실된 경우 수신 측에서는 함께 생성된 패킷들을 모두 버린다. 중복 응답 패킷이 발생하면 패킷 시퀀스 정보를 통해 손실된 세그먼트들에 대한 SACK 생성하여 전송한다. 이로써 송신 측은 손실된 패킷들을 일괄 복구한다. 하지만 송신 측에서 SACK 옵션을 지원하지 않는 경우 게이트웨이의 SACK 옵션 사용을 통한 복구 시간의 감소 효과는 얻을 수 없다.

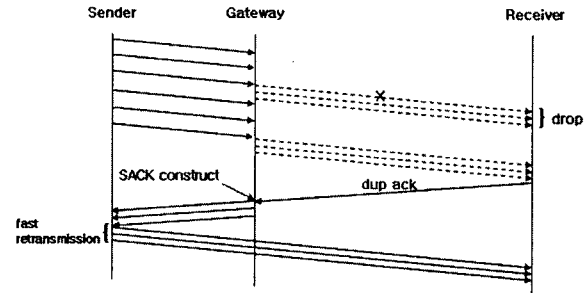


그림 3. 패킷 손실 복구 과정

### 3.3 혼잡 제어 구간 예측

세그먼트의 크기를 조정하여 생성되는 응답 패킷의 양을 줄이면 송신 측의 혼잡 제어 구간에서 혼잡 윈도우가 느리게 증가하는 문제점이 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 패킷 시퀀스 정보를 통해 혼잡 제어 구간을 예측함으로써 문제를 해결한다.

송신 측의 혼잡 제어 구간은 패킷 시퀀스 정보를 통해 혼잡 제어 구간의 발생을 예측하여 이후 일정 구간을 혼잡 제어 구간이라 인식한다. 혼잡 제어 구간의 발생은 다음 세 가지 경우로 예측할 수 있다. 첫 번째 초기 연결 설정이 이루어진 경우와 두 번째 수신 측의 중복 응답 패킷으로 인해 빠른 재전송이 수행되는 경우, 마지막으로 송신 측의 전송 타이머가 만료되어 데이터 패킷을 재전송하는 경우이다. 초기 연결 설정 구간은 게이트웨이에서 SYN 패킷의 이동을 감지하여 확인할 수 있다. 그리고 송신 측 타이머의 만료와 중복 응답 패킷으로 인한 혼잡 제어 구간의 발생은 중복 데이터 패킷의 수신을 통해 예측할 수 있다.

이와 같이 혼잡 제어 구간을 예측하여 세그먼트 조정 기법을 적용하지 않음으로써 혼잡 제어 구간에서 혼잡 윈도우가 느리게 증가하는 문제점을 해결한다.

### 4. 시뮬레이션으로 최적의 세그먼트 조정 계수 도출

본 논문에서는 네트워크 시뮬레이터인 OPNET 10.0a를 사용하여 비대칭 망의 하나인 DVBS(Digital Video Broadcast Satellite) 망 환경을 구축하였다. 그림 4는 시뮬레이션에 사용된 DVBS 망 환경을 나타낸다. 시뮬레이션 환경은 높은 비대칭률과 높은 RTT를 가진 DVBS 망과 높은 대역폭을 가진 유선

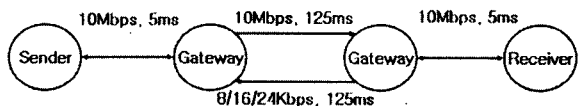


그림 4. 시뮬레이션 환경

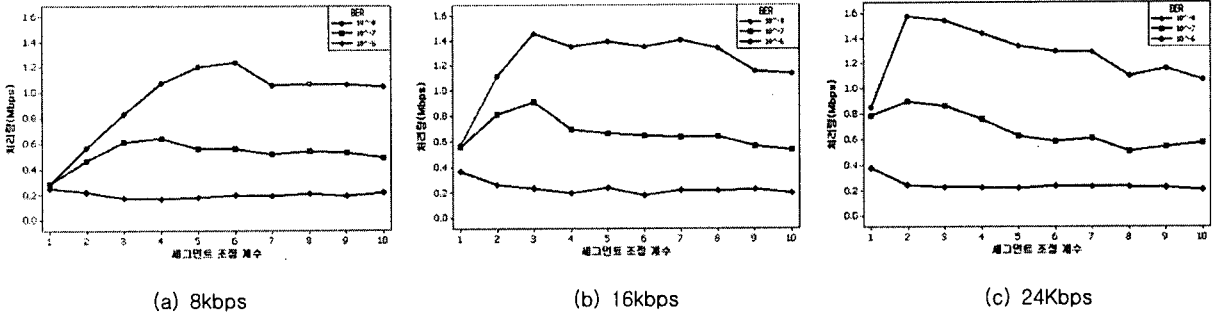


그림 5. 세그먼트 조정 계수와 상황 링크 대역폭에 따른 처리량

망 구간으로 나누어져 있으며 응답 채널도 DVBS 망을 사용하였다. 그리고 수신 측에서 지연 응답과 SACK를 지원하지 않는다는 가정 하에 시뮬레이션 하였다.

그림 5는 세그먼트 조정 계수와 상황 링크 대역폭 변화에 따른 처리량의 변화를 나타낸다. 상황 링크의 대역폭에 따라 최대 처리량을 보이는 세그먼트 조정 계수 값이 존재한다. 상황 링크의 대역폭이 증가할수록 최적의 세그먼트 조정 계수 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 대역폭이 증가할수록 적은 양의 응답 패킷 감소로 상황 링크의 혼잡을 완화할 수 있기 때문이다. 비트 에러율이  $10^{-6}$  이하인 경우에는 세그먼트 조정 계수가 증가할수록 성능이 저하된다. 이는 비트 에러율이 높은 경우에는 상황 링크의 혼잡으로 인한 성능 저하 요인보다 패킷 손실로 인한 성능 저하 요인이 더 크게 작용하기 때문이다. 또한 비트 에러가 높은 환경에서 세그먼트 크기의 증가는 세그먼트의 손실율을 증가시키기 때문에 세그먼트 조정 계수가 증가할수록 성능이 저하된다. 비트 에러율이  $10^{-7}$  이상인 경우는 상황 링크의 혼잡으로 인한 성능 저하 요인이 더 크게 작용하므로 세그먼트 크기 조정 기법을 적용함으로써 성능이 향상된다. 그에 따라 상황 링크에 따른 최적의 세그먼트 조정 계수를 구할 수 있다.

표 1은 시뮬레이션을 통하여 도출한 상황링크와 비트 에러율에 따른 최적의 세그먼트 조정 계수이다. 비트 에러율이  $10^{-6}$  이하인 환경에서는 세그먼트의 크기를 조정하지 않는 것이 효율적이고 비트 에러율이  $10^{-7}$  이상인 환경에서는 상황 링크에 따라 도출된 세그먼트 조정 계수를 적용함으로써 최대 340%의 성능 증가를 얻을 수 있다.

표 1. 상황 링크와 비트 에러율에 따른 최적의 세그먼트 조정 계수

상황 링크 대역폭 비트 에러율	8	16	24
$10^{-7}$ 이상	4 / 6	3	2
$10^{-6}$ 이하	1	1	1

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서 제안하는 세그먼트 크기 조정 기법은 하향 링크에서 세그먼트 크기의 조정을 통해 상황 링크의 혼잡을 완화한다. 또한 패킷 시퀀스 정보의 유지를 통해 SACK 옵션을 생성하고, 혼잡 제어 구간을 예측한다. 이를 통하여 비대칭 망에서

의 TCP 성능을 향상시킨다.

시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있듯이, 본 논문에서 제안하는 기법과 함께 망 상태에 따른 최적의 세그먼트 조정 계수를 적용할 경우, 적용하지 않을 때에 비해 최대 340%의 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

향후 과제로는 본 논문에서 도출한 상황 링크에 따른 최적의 세그먼트 크기 계수 값을 이용하여 상황 링크의 혼잡 변화에 따른 세그먼트 조정 계수의 동적인 변화에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] H. Balakrishnan and V.N. Padmanabhan, "How Network Asymmetry Affects TCP," IEEE Communications Magazine, Vol. 39, Issue 4, pp. 60-67, April 2001.
- [2] H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, G. Fairhurst and M. Sooriyabandara, "TCP Performance Implications of Network Path Asymmetry," RFC 3449, December 2002.
- [3] L. Yu, Y. Minhua and Z. Huimin, "The Improvement of TCP Performance in Bandwidth Asymmetric Network," 14th IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2003, Vol. 1, pp. 482-486, September 2003.
- [4] T. Hasegawa, T. Hasegawa and M. Lagreze, "A Mechanism for TCP Performance Enhancement over Asymmetrical Environment," Proceedings of the 8th IEEE International Symposium on Computers and Communication, pp. 1135-1140, 30 June-3 July 2003.
- [5] M. Mathis, J. Mahdavi, S. Floyd and A. Romanow, "TCP Selective Acknowledgment Options," RFC 2018, October 1996.