

논문 2006-01-10

위성 인터넷에서 웹 트래픽의 성능 향상을 위한 동적 응답 패킷 생성 기법

(A Dynamic ACK Generation Scheme to Improve Web Traffic Performance over Satellite Internet)

박 현 규, 이 지 현, 임 경 식*, 정 우 영

(Hyun-Gyu Park, Ji-Hyun Lee, Kyung-Shik Lim, Woo-Young Jung)

Abstract : The long propagation delay over satellite internet causes degradation of TCP performance in slow start phase. Especially, web traffic performance is greatly reduced by low throughput in slow start phase. To improve web traffic performance, we propose the Dynamic ACK Generation Scheme which generates ACKs and considers sender RTO in PEP (Performance Enhancing Proxy). The Normal ACK generation mechanism improves TCP throughput, and also decreases sender RTO. if PEP stops generating ACKs, TCP performance will be reduced by frequent RTO expiration. To solve this problem, our scheme adjusts RTO using ACK generation interval. And it supports retransmission mechanism for loss recovery in PEP. The results of the performance analysis provide a good evidence to demonstrate the efficiency of our mechanisms over satellite internet.

Keywords : 응답 패킷 생성, 슬로우 스타트, 위성 인터넷, 웹 트래픽, TCP

1. 서 론

인터넷의 확장과 함께 소형 휴대용 컴퓨터의 급속한 발전으로 인프라 네트워크가 구성되지 않은 지역에서도 인터넷 서비스를 제공 받을 수 있는 데이터 전송 기술이 요구되고 있다. 이러한 요구를 만족하는 위성 인터넷 환경은 유선 통신망이 구축되지 않은 지역에서도 고속의 전송 서비스를 제공할 수 있다. 그러나 위성 인터넷 환경은 유선망과 달리 전송 링크의 특성으로 높은 전송 시간을 가짐으로써, 범용 TCP를 적용하는 경우 초기 슬로우 스타트 구간의 성능이 급격히 감소한다 [1,2]. 이러한 환경에서 인터넷 서비스를 제공하는 경우 TCP의 초기 전송을 저하로 인하여 웹 트래

픽의 급격한 성능 저하가 발생한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 다양한 연구들이 진행되었

다. 기존의 연구들은 크게 TCP의 초기 혼잡 윈도우를 조절하는 기법과 게이트웨이에서 응답 패킷을 생성하는 기법으로 나누어진다. 먼저, 초기 혼잡 윈도우를 조절하는 대표적인 기법은 Increasing Initial Window 기법[3,4]과 TCP Fast Start 기법[5]이 있으며, 게이트웨이에서 응답 패킷을 생성하는 대표적인 기법은 ACK Spoofing 기법[6,7]이 있다.

Increasing Initial Window 기법은 슬로우 스타트 구간의 초기 혼잡 윈도우의 크기를 조절하는 기법으로, MSS (Maximum Segment size)에 따라 초기 혼잡 윈도우를 2~4의 값으로 설정한다. 이와 같이 초기 윈도우의 크기를 조절하여 혼잡 윈도우의 증가 속도를 높임으로써 초기 전송율을 향상시킨다. 그러나 이 기법은 송신단의 TCP를 수정해야 하는 단점과 망의 혼잡이 발생한 경우 혼잡을 심화시키는 단점이 존재한다. 그리고 TCP Fast start 기법은 이전 연결의 전송량을 저장하여 새로운 연결 생성 시 이를 바탕으로 초기 혼잡 윈도우

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 10. 31., 채택확정 : 2006. 11. 17.

박현규, 이지현, 임경식 : 경북대학교 컴퓨터학과

정우영 : 대구경북과학기술연구원 IT연구부

※ 본 논문은 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구 센터(ITRC) 육성사업(ITAC1090060300350001000100100)의 지원에 의해 수행되었음

의 크기를 결정하는 기법이다. 이 기법은 초기의 높은 전송 윈도우를 가짐으로써 전송율을 향상시키는 장점이 존재하지만, 이전 연결과 동일한 경로에서만 적용 가능하며, 송신단의 TCP를 수정해야 하는 단점이 존재한다.

ACK Spoofing 기법은 TCP의 연결을 분리하지 않고 송수신단 사이에 위치한 게이트웨이에서 송신단의 데이터 패킷에 대해 응답 패킷을 생성하여 전송하는 기법이다. 이 기법은 게이트웨이의 응답 패킷 생성을 통해 송수신단 사이의 RTT에 영향을 받지 않고 송신단의 전송율을 향상시킨다. 그러나 응답 패킷의 생성으로 인하여 중단간 연결이 분리되어 게이트웨이에서 모든 데이터 패킷들에 대한 성공적 전달을 보장하여야한다. 이를 위해 게이트웨이에서 데이터 패킷들을 저장함으로써 부하가 증가하는 문제점을 가진다. 또한 생성된 응답 패킷들의 낮은 RTT로 인하여 송신단의 RTO가 감소함으로써, 응답 패킷의 생성을 중단하는 경우 송신단의 RTO가 만료되어 혼잡 제어가 발생한다. 그에 따라 송신단은 급격한 성능 저하가 발생하거나 연결이 끊어지는 문제점을 가진다.

본 논문에서는 이러한 기존의 연구들 중 응답 패킷을 생성하는 연구에 초점을 맞추어 기존 연구의 문제점인 게이트웨이의 부하 증가와 송신단의 RTO 감소로 인한 혼잡 제어 문제를 개선하며 웹 트래픽의 성능을 향상 시키는 동적 응답 패킷 생성 기법을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 본 논문에서 제안하는 동적 응답 패킷 생성 기법에 대해 기술하고, 3장에서는 시뮬레이션을 통해 동적 응답 패킷 생성 기법의 성능을 측정하고 분석한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺고, 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 동적 응답 패킷 생성 기법

본 논문에서는 전송 지연이 큰 위성 인터넷 환경의 웹 트래픽 성능이 저하되는 문제점을 해결하기 위하여 초기 슬로우 스타트 구간 동안 PEP (Performance Enhancing Proxy)에서 송신단의 RTO를 고려하며 빠르게 응답 패킷을 생성하는 동적 응답 패킷 생성 기법을 제안한다. 제안된 기법은 송수신단 사이에 위치한 PEP에서 패킷 시퀀스 정보를 유지하여 망에 적합한 RTO를 예측하고, 예측된 결과에 따라 응답 패킷의 생성 시간을 조절한다. 이를 통해 송신단의 혼잡 윈도우를 빠르게 증가시킴으로써 초기 전송율을 향상시키고, 슬로우

스타트 종료 시점에서 송신단이 망에 적합한 RTO를 가짐으로써 송신단의 혼잡 제어 없이 응답 패킷 생성으로 인해 분리되었던 중단간 연결을 복구한다. 그림 1은 제안된 기법의 네트워크 모델을 나타낸다. 송신단과 PEP는 낮은 지연을 가진 링크로 연결되며, PEP와 수신단은 높은 전송 지연을 가진 링크로 연결된다. 이러한 네트워크 모델의 PEP에서 동적 응답 생성 기법을 적용한다.

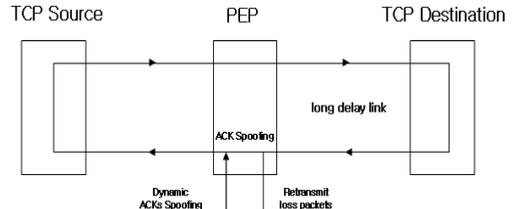


그림 1. 동적 응답 패킷 생성 기법의 네트워크 모델

Fig. 1. Network model of dynamic ACK generation scheme

1. 응답 패킷 생성을 위한 TCP 동작 분석

본 논문에서는 초기 전송율과 송신단 RTO를 고려하여 응답 패킷의 생성 시간을 조절함으로써 송신단의 재전송 타이머 만료 없이 초기 전송율을 향상시킨다. 이를 위하여 응답 패킷에 따른 TCP의 RTO (Retransmit Timeout) 특성을 분석하고 그에 따른 최적의 응답 패킷 생성 함수를 결정한다.

송수신단 사이에 위치한 PEP에서 응답 패킷을 생성하는 경우, 송신단은 짧은 RTT의 생성된 응답 패킷들로 인하여 네트워크의 큰 전송 지연에 영향을 받지 않으며, 높은 전송율을 나타낸다. 그러나 생성한 응답 패킷의 낮은 RTT로 인하여 송신단의 RTO가 감소하며, TCP의 중단간 연결이 분리된다. 그에 따라 PEP에서 응답 패킷을 생성하지 않는 경우, 저하된 RTO보다 높은 송수신단의 RTT로 인하여 송신단의 혼잡제어가 발생하며 성능이 급격히 저하되거나 연결이 종료되는 문제점을 가진다. 또한 분리된 TCP 중단간 연결로 인하여 PEP에서 모든 데이터 패킷의 성공적 전달을 보장하여야하므로 TCP의 연결이 증가할수록 PEP의 부하가 급격히 증가한다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위하여 초기 슬로우 스타트 구간에서만 응답 패킷을 생성하여 초기 전송율을 높이며, TCP RTO의 특성을 분석하여 송신단이 망에 적합한

RTO를 가지도록 응답 패킷의 생성을 조절하는 동적 응답 패킷 생성 기법을 제안한다.

먼저, 송신단이 망에 적합한 RTO를 가지기 위하여 TCP의 RTO 특성을 분석한다. TCP의 재전송 타이머인 RTO는 측정된 RTT의 누적치인 SRTT (Smoothed RTT)와 RTT의 편차의 합으로 결정된다. 식 (1),(2)는 TCP의 RTO 도출식과 SRTT의 계산 과정을 나타낸다. SRTT는 식(2)와 같이 측정된 RTT인 MRTT (Measured RTT)를 누적된 SRTT에 일정한 비율로 반영한다. 이러한 SRTT 계산식을 정리하여 SRTT를 MRTT들의 식으로 표현할 수 있다. 이를 통하여 동일한 SRTT를 가지는 다양한 MRTT들의 집합이 존재함을 알 수 있으며, MRTT를 조절함으로써 원하는 송신단의 SRTT를 도출할 수 있음을 증명할 수 있다.

$$RTO = SRTT + 4 \times RTTdev \tag{1}$$

$$SRTT = \alpha \times SRTT + (1 - \alpha) \times RTT \tag{2}$$

이러한 SRTT 도출식을 기반으로 본 논문에서 제시하는 응답 패킷 생성 함수를 적용하고, 그에 따른 SRTT와 MRTT의 상관관계를 도출한다. 식 (3)은 본 논문에서 제시하는 응답 패킷 생성 함수의 기본식으로써, 응답 패킷의 생성 시간인 \overline{delay} 는 패킷 번호 k 에 따라 기울기 k 에 비례하여 증가하는 특성을 가진다. 이러한 식(3)을 이용하여 응답 패킷의 생성 시 RTT를 패킷 생성 시간과 송신단과 PEP 사이 RTT의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\overline{delay} = A \times k \tag{3}$$

$$RTT_k = \overline{delay} + PEP = A \times k + PEP \tag{4}$$

이와 같이 결정된 패킷 생성시의 RTT 도출식 식(4)와 SRTT 도출식 식(2)를 정리하여 송신단의 SRTT를 응답 패킷 생성식으로 표현할 수 있다. 식(5),(6)은 SRTT 도출식과 RTT 도출식의 정리 과정을 나타낸다.

$$SRTT = \frac{A \times SRTT - C_1 \times SRTT}{C_2 - C_3 \times RTTPEP} / C_1 \tag{5}$$

$$A = ((SRTTn - C_1 \times SRTT) / (C_2 - C_3 \times RTTPEP)) / C_1 \tag{6}$$

$$where C_1 = \alpha - 1, C_2 = 1 - \alpha, C_3 = \alpha \times (1 - \alpha) \tag{7}$$

식 (6)은 초기 SRTT와 목표 SRTT를 기반으로 목표 SRTT를 가지는 응답 패킷 생성 함수의 기울기를 도출하는 식이다. 본 논문에서는 이러한 과정을 통하여 도출한 생성 함수 기울기 도출식 식(6)을 이용하여 망의 상태에 따른 생성 함수의 기울기를 결정하고 그에 따라 응답 패킷을 생성한다. 이를 통해 초기 전송율을 향상시키며, 송신단의 RTO 만료 없이 중단간 연결을 복구한다.

2. 동적 응답 패킷 생성 동작 과정

본 논문에서는 1절에서 도출한 생성 함수식을 기반으로 초기 생성 함수 결정 과정과 망의 변화에 따른 생성 함수 조절 과정을 통하여 망에 적합한 생성 함수의 기울기를 결정하고 응답 패킷을 생성한다.

첫째, 초기 생성 함수 결정 과정은 PEP에서 연결 설정 구간의 송수신단 RTT를 측정하여 초기 기울기를 결정하는 과정이다. 먼저, PEP는 TCP 연결의 패킷 시퀀스 정보를 유지하여 연결 설정 구간의 RTT를 측정한다. 망의 혼잡이 발생하지 않는 경우, 범용 TCP의 SRTT는 초기 RTT의 근사값을 가진다. 이러한 특성을 이용하여 본 논문에서는 연결 설정 구간 동안 측정된 RTT를 슬로우 스타트 구간의 종료 시점 SRTT로 설정하고, 이를 만족하는 초기 생성 함수의 기울기를 결정한다. 식 (7)은 기울기 도출식을 이용하여 초기 연결 설정 구간의 RTT를 적용한 식이다. 초기 연결 설정 과정의 SRTT1은 초기 RTT와 동일한 값을 가지며, 목표 SRTT은 초기 RTT와 동일하게 설정한다. 이러한 과정으로 도출된 생성 함수에 따라 응답 패킷을 생성하고 이를 전송한다 ($init$ 는 초기 생성 함수의 기울기를 나타내며, n 은 초기 슬로우 스타트 구간의 응답 패킷 수를 나타낸다).

$$A_{init} = ((RTT_1 - C_1 \times RTT_1) / (C_2 - C_3 \times RTTPEP)) / C_1 \tag{7}$$

$$where C_1 = \alpha - 1, C_2 = 1 - \alpha, C_3 = \alpha \times (1 - \alpha) \tag{8}$$

그림 2와 3은 혼잡이 발생하지 않은 환경에서 범용 TCP와 기법을 적용한 TCP의 RTT 및

SRTT 변화를 나타낸다. 범용 TCP는 혼잡이 발생하지 않는 경우 동일한 RTT로 패킷을 전송하며 그에 따라 SRTT도 RTT와 동일함을 알 수 있다. 또한, 제안한 기법을 적용한 경우, 초기의 낮은 RTT의 응답 패킷을 생성하여 송신단으로 전달하며, 그에 따라 SRTT가 급격히 감소함을 알 수 있다. 그러나 응답 패킷 종료 시점에 가까워질수록 응답 패킷의 생성 시간을 증가하여 범용 TCP와 동일한 SRTT를 가지도록 동작한다. 제안된 기법은 초기에 낮은 RTT로 초기 응답 패킷을 전송함으로써 혼잡 윈도우를 빠르게 확대시키며, 기법의 종료 시점에서 높은 RTT의 응답 패킷을 전송함으로써 망에 적합한 RTO를 가지도록 한다.

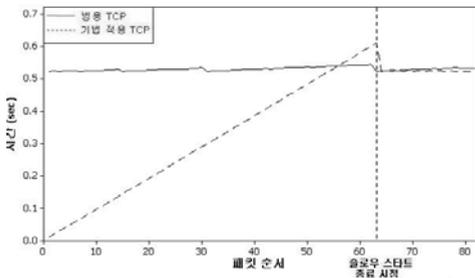


그림 2. 혼잡이 없는 환경의 RTT
Fig. 2. RTT of non-congested networks

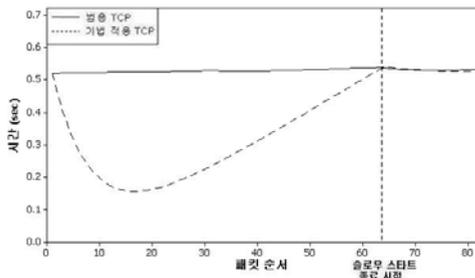


그림 3. 혼잡이 없는 환경의 SRTT
Fig. 3. SRTT of non-congested networks

둘째, 생성 함수 조절 과정은 수신단의 응답 패킷으로부터 망의 상태를 추정하고 그에 따라 생성 함수의 기울기를 조절하는 과정이다. 혼잡 등으로 인하여 망의 상태가 변화하는 경우 망에 적합한 송신단의 RTO도 변화하므로 초기 생성 함수 결정 과정에서 도출된 기울기도 변화하여야 한다. 이를 위하여 변화된 망에 적합한 RTO를 다시 도출하고, 그에 따라 새로운 생성 함수의 기울기를 도출하고 응답 패킷 생성 시간을 조절한다.

먼저, 변화된 망에 적합한 RTO를 도출하기 위하여 수신단에서 전송한 응답 패킷들의 간격을 측정하고 이를 이용하여 변화된 SRTT를 계산한다. 제안된 기법은 식(4)와 같이 응답 패킷을 일정한 간격으로 전송하므로 데이터 패킷들과 그에 따른 수신단의 응답 패킷들도 일정한 간격으로 전송된다. 이와 같은 특성을 이용하여 PEP는 수신단에서 전송한 응답 패킷의 간격과 슬로우 스타트 구간 동안 수신될 응답 패킷의 수를 이용하여 SRTT를 예측할 수 있다. 이를 기반으로 변화된 망에 적합한 새로운 생성 함수의 기울기를 결정한다.

식(8),(9),(10)은 슬로우 스타트 구간의 종료 시점 RTT 도출 과정이다. PEP에서 패킷 시퀀스 정보를 유지하여 응답 패킷들의 시간차 Δt 를 측정한다 (t_{new} 는 새로 수신한 응답 패킷의 수신 시간이며, t_{prev} 는 이전에 수신한 응답 패킷의 수신 시간이다). 이와 같이 측정된 Δt 로부터 식 (9)과 같이 남은 시간 간격 횟수를 곱하여 종료 시점의 응답 패킷 도착 시점 t_{rcv} 를 계산한다 ($t_{interval}$ 은 남은 시간 간격 횟수이다). 저장된 패킷 전송 시간 t_{send} 와 계산된 패킷의 도착 시점 t_{rcv} 로부터 종료 시점의 RTT인 t_{end} 를 도출하고, 이를 송신단의 SRTT로 설정하여 생성 함수를 재설정한다.

$$t_{now} - t_{prev} \quad (8)$$

$$t_{rcv} = t_{interval} \quad (9)$$

$$t_{end} = t_{rcv} + t_{send} \quad (10)$$

식 (11)은 도출된 t_{end} 에 따른 생성 함수 재설정식을 나타내며, 이는 2.1절에서 도출한 식 (6)을 이용하여 변화된 SRTT 적용한 도출식을 나타낸다. 식 (11)을 이용하여 변화된 SRTT에 맞는 생성 함수의 기울기를 도출하고 그에 따라 응답 패킷을 전송한다 (t_{mod} 는 변경된 생성 함수의 기울기를 나타내며, n 은 PEP에서 생성 가능한 남은 응답 패킷 수를 나타내며 n_{now} 는 현재 송신단의 SRTT를 나타낸다).

$$Am_{\alpha} = ((RTT_{end} - C1 \times SRTT_{low}) / (C2 - C3 \times RTT_{PEP}) / C4, \quad (11)$$

where $C1 = \alpha n - 1$, $C2 = 1 - \alpha$, $C3 = \frac{1}{\alpha}$, $C4 = \frac{1}{\alpha}$

이와 같은 생성 함수 조정 과정을 통하여 망의 상태를 예측하고 그에 따라 응답 패킷 생성 함수를 조절한다. 이를 통하여 송신단이 변화된 망에 적합한 RTO를 가짐으로써 슬로우 스타트 구간 이후 송신단의 혼잡 제어 없이 중단간 연결을 복구할 수 있다. 그림 4는 혼잡이 발생한 환경에서 범용 TCP와 기법을 적용한 TCP의 RTT 및 SRTT 변화를 나타낸다. 본 논문에서 제안한 기법은 연결 설정 구간의 RTT를 이용하여 기법의 종료 시점의 송신단 SRTT를 예측하고 그에 따라 응답 패킷을 생성한다. 그러나 그림 4와 같이 망의 혼잡이 발생하는 경우 송수신단 사이의 RTT가 증가하여 망에 적합한 RTO가 초기 예측보다 높은 값을 가지게 된다. 또한 응답 패킷 생성으로 인하여 전송량이 증가하므로 혼잡은 심화된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 수신단의 응답 패킷 간격으로부터 망에 적합한 RTO를 예측하고, 그에 따라 생성 함수를 조절하여 응답 패킷을 전송한다. 이를 통해 그림 5와 같이 송신단은 혼잡한 망 환경에 적합하도록 높은 SRTT를 가지며, 그에 따라 혼잡 제어 없이 중단간 연결을 복구한다.

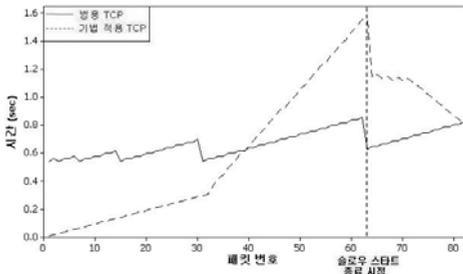


그림 4. 혼잡이 발생하는 환경의 RTT
Fig. 4. RTT of congested networks

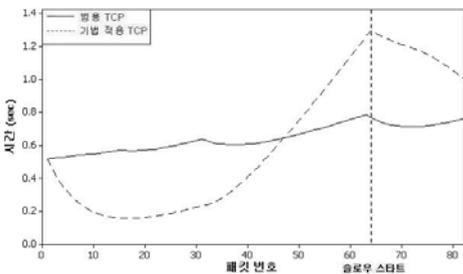


그림 5. 혼잡이 발생하는 환경의 SRTT
Fig. 5. SRTT of congested networks

3. 추가적 고려사항

제안된 기법은 PEP에서 응답 패킷의 생성을 조절하여 초기 전송율을 향상시키고 송신단의 혼잡 제어 없이 중단간 연결을 복구하는 기법이다. 이를 수행하기 위하여 추가적으로 위성 링크의 손실 패킷 복구 기능과 수신단 응답 패킷의 제거 기능을 수행하여야한다.

첫째, 손실 패킷 복구 과정은 PEP에서 초기 슬로우 스타트 구간 동안 위성 링크에서 손실된 패킷들을 재전송하여 복구하는 기능이다. 위성 링크의 패킷 손실 시, 송신단은 PEP에서 생성한 응답 패킷으로 인하여 패킷 손실을 인지하지 못하므로 PEP에서 재전송을 통하여 이를 복구한다. 둘째, 응답 패킷 제거 과정은 수신단의 응답 패킷이 송신단의 RTO에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 PEP에서 수신단의 응답 패킷들을 제거하는 기능이다. 이와 같은 두 가지 기능을 통하여 응답 패킷 생성으로 인한 문제점들을 송신단의 혼잡 제어 없이 해결한다.

3.1 위성 링크의 손실 패킷 복구 기능

PEP의 응답 패킷 생성 시, 데이터 패킷의 전송 과정에서 패킷들이 손실되면 송신단은 생성한 응답 패킷으로 인하여 패킷 손실을 인식할 수 없다. 또한 이로 인하여 송신단은 수신단의 수신 윈도우 크기를 초과하는 패킷들을 전송할 수 있으며, 수신단의 버퍼 초과 시, 버퍼 오버 플로우에 의하여 64 KB 수신 윈도우 이후의 패킷들은 손실된다. 따라서 PEP는 응답 패킷을 생성한 데이터 패킷의 성공적 전달을 보장하여야 하며, 이를 위해 위성 링크에서 손실된 패킷과 버퍼 오버 플로우에 의해 손실된 패킷들을 함께 복구하는 기능을 수행한다.

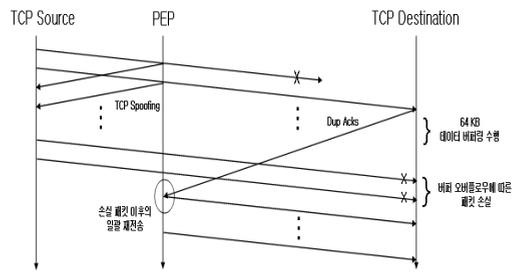


그림 6. 손실된 패킷 복구 과정
Fig. 6. Packet recovery procedure

그림 6은 PEP의 재전송을 통한 빠른 패킷 손실 복구 과정이다. PEP는 데이터 패킷들의 성공적 전달을 보장하기 위하여 PEP에서 패킷 시퀀스 흐름 정보와 데이터 패킷들을 저장한다. 수신단에서 전송한 중복 응답 패킷들을 통하여 위성 링크의 패킷 손실을 인식하고, 손실된 패킷 이후 저장된 모든 패킷들을 일괄 재전송한다. PEP는 이와 같이 손실된 패킷들을 일괄 재전송함으로써 송신단의 혼잡 제어 없이 손실된 패킷들을 빠르게 복구한다.

3.2 수신단의 응답 패킷 제거 기능

본 논문에서는 초기 전송율을 높이고, 송신단이 망에 적합한 RTO를 가지기 위하여 응답 패킷 생성 시간을 조절하며 패킷들을 전송한다. 이 때, 응답 패킷 생성 시간이 송수신단 사이의 RTT보다 커지는 경우, 수신단의 응답 패킷이 송신단으로 먼저 전달된다. 생성한 응답 패킷이 전달되지 못하는 경우, 송신단의 SRTT가 목표보다 낮게 설정되는 문제점을 가진다. 이를 방지하기 위하여 초기 슬로우 스타트 구간 동안 수신단이 생성한 응답 패킷을 제거하여 PEP의 응답 패킷들만 송신단으로 전달되도록 한다. 이를 통하여 송신단은 PEP에서 생성한 응답 패킷들에 의하여 높은 초기 전송율과 망에 적합한 RTO를 가진다.

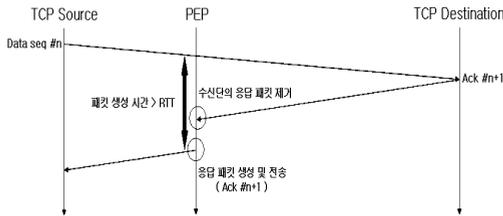


그림 7. 수신단의 응답 패킷 제거 과정
Fig. 7. TCP ACK elimination procedure

그림 7은 PEP의 수신단 응답 패킷의 제거 과정을 나타낸다. PEP는 수신단의 패킷 시퀀스 흐름들 분석하여 응답 패킷의 생성 전에 동일한 수신단의 응답 패킷을 수신한 경우, 이를 제거하여 송신단의 RTO에 영향을 미치지 않도록 한다.

III. 성능 측정 및 결과 분석

본 장에서는 제안된 동적 응답 패킷 생성 기법의 시뮬레이션 환경을 설명하고, GEO 위성 망 환경을 구성하여 제안한 기법의 웹 트래픽 성능 향

상 정도를 확인한다. 더불어 패킷 시퀀스 번호의 흐름을 통하여 초기 전송율의 증가를 확인하고 송신단의 혼잡 제어 없이 망에 적합한 RTO를 가지는 것을 확인한다.

1. 시뮬레이션 환경

위성 망 환경에서 동적 응답 패킷 생성 기법의 동작 과정을 확인하고 웹 트래픽의 성능을 측정하기 위하여 OPNET 10.0a[9]를 사용하였다. 시뮬레이션 환경은 위성 망 환경의 하나인 GEO 위성 망 환경을 구성하고, 웹 트래픽의 성능을 측정하였다. 그림 8은 시뮬레이션 환경의 구조를 나타낸다. 시뮬레이션 환경은 높은 전송 지연을 가진 위성 망과 낮은 전송 지연을 가진 고속 유선망 구간으로 나누어져 있으며 수신단의 응답 채널도 위성 망을 사용하였다. 그리고 수신단의 지연 응답과 윈도우 확장 옵션을 적용하지 않는 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다.

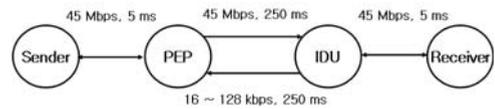


그림 8. 시뮬레이션 환경
Fig. 8. Simulation Environment

전송 지연이 큰 위성 망 환경에서 범용 TCP와 동적 응답 패킷 생성 기법의 성능을 비교하기 위하여 대표적인 웹 트래픽 생성 모델[10]을 적용하여 웹 트래픽의 응답 시간을 측정하였다. 웹 트래픽 생성 모델은 웹 페이지의 요청 간격, 요청 페이지의 오브젝트 수, 페이지 당 오브젝트의 수의 값 등의 특성으로 정의 되며, 표 1은 대표적인 웹 트래픽 특성 값을 나타낸다. 성능 측정 시 적용한 웹 트래픽은 평균 4개의 오브젝트로 구성된 웹 페이지를 평균 50초의 간격으로 요청하며, 각각의 오브젝트들은 평균 12KB의 크기를 가진다.

표 1. 웹 트래픽 생성 모델

Table 1. Web traffic generation model

Process	Description	Parameters
Object size	요청 오브젝트의 크기	mean: 12 KB Pareto
Object per page	웹 페이지 당 오브젝트의 개수	mean: 4 files Pareto
Think time	연속적 페이지의 검색 시간 간격	mean: 50sec Pareto

2. 성능 측정 및 결과 분석

제안된 기법의 동작 과정을 검증하고 성능을 분석하기 위하여 범용 TCP와 기법이 적용된 TCP의 패킷 시퀀스를 분석한다. 그림 9는 비트 에러율이 없는 환경에서 전송 시간에 따른 패킷 시퀀스 번호 흐름을 나타낸다. 그림 9와 같이 상향 링크의 대역폭이 128 kbps로, 혼잡이 발생하지 않는 환경에서 범용 TCP는 초기 슬로우 스타트 구간 동안 ACK Clocking 기능으로 RTT마다 혼잡 윈도우를 2배로 증가한다. 또한 큰 전송 지연으로 인하여 RTT만큼의 유휴 시간 후에 데이터 패킷의 전송이 집중된다. 그러나 제안된 기법을 적용한 TCP는 PEP의 응답 패킷 생성을 통하여 RTT만큼의 유휴 시간을 가지지 않고 연속적으로 분산되어 데이터 패킷을 전송한다. 이는 일정한 간격으로 응답 패킷을 생성하는 응답 패킷 생성함수의 특성으로 데이터 패킷을 전송하기 때문이다. 이와 같이 송신단이 데이터 패킷을 분산하여 전송함으로써 상향 링크와 하향 링크의 부하를 분산시켜 망의 혼잡을 완화할 수 있다.

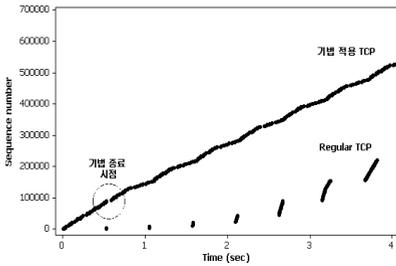


그림 9. 상향 링크 128 kbps 환경의 패킷 시퀀스
Fig. 9. Packet sequence when uplink = 128 kbps

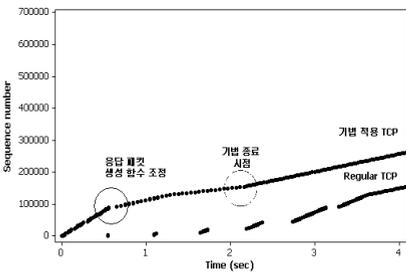


그림 10. 상향 링크 16 kbps 환경의 패킷 시퀀스
Fig. 10. Packet sequence when uplink = 16 kbps

그림 10은 상향 링크의 혼잡이 발생하는 환경에서 범용 TCP와 기법을 적용한 TCP의 패킷 시퀀스 번호 흐름을 나타낸다. 기법이 적용된 TCP는 응답 패킷을 과정에서 수신단의 응답 패킷 간격을 통하여 망의 상태를 측정하고 그에 따라 그림과 같이 생성 함수를 조절한다. 이를 통해 슬로우 스타트 종료 시점에서 송신단의 혼잡 제어 없이 중단간 연결을 복구할 수 있다. 그림 11은 상향 링크 대역폭과 비트 에러율에 따른 웹 페이지의 응답 시간을 나타낸다. 동적 응답 패킷 생성 기법을 적용한 경우 범용 TCP에 비해 웹 페이지의 응답 시간이 최대 43% 감소함을 확인 할 수 있다. 이는 PEP의 응답 패킷 생성에 따른 초기 전송율을 증가로 인하여 웹 트래픽의 성능이 향상되었기 때문이다. 또한 비트 에러율에 따른 응답 시간의 변화에서 범용 TCP에 비해 제안한 기법을 적용한 경우 응답 시간의 변화가 낮은 것을 알 수 있다.

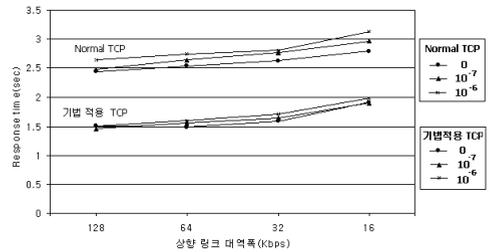


그림 11. 상향 링크와 비트 에러율에 따른 응답 시간
Fig. 11. Response time depend on uplink and bit error rate

범용 TCP는 비트 에러율이 높은 환경에서 패킷 손실에 의한 잦은 혼잡 제어로 성능이 저하되지만, 제안된 기법은 송신단의 혼잡 제어 없이 손실된 패킷을 PEP에서 일괄 복구함으로써 성능 저하를 최소화한다. 그에 따라 제안된 기법을 적용한 경우 비트 에러율에 따른 낮은 성능 저하를 확인할 수 있다. 최종적으로 동적 응답 패킷을 적용한 경우, 비트 에러율이 낮고 망의 혼잡이 발생하지 않는 환경에서 최대 43%의 성능 향상을 확인하였고, 망의 혼잡이 발생하고 비트 에러율이 10⁻⁶인 환경에서도 최대 34%의 성능 향상을 확인할 수 있다. 이를 통해 초기 슬로우 스타트 구간 동안 응답 패킷을 생성하여 전송함으로써 초기 전송율을 향상시키는 것을 확인할 수 있으며, 패킷 시퀀스 분석을 통하여 송신단의 혼잡 제어 없이 중단간

연결이 복구됨을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 위성 인터넷 환경에서 웹 트래픽의 성능이 저하되는 문제점을 초기 슬로우 스타트 구간 동안 PEP의 응답 패킷 생성을 통해 해결하는 동적 응답 패킷 생성 기법을 제안한다. 제안된 기법은 PEP에서 패킷 시퀀스 정보를 유지하여 망에 적합한 RTO를 예측하고 예측된 결과에 따라 응답 패킷을 전송한다. 이를 통하여 초기 전송율을 향상시키며, 기법의 종료 시점에서 송신단의 혼잡 제어 없이 중단간 연결을 복구한다. 또한 PEP의 손실된 패킷의 일괄 재전송을 통하여 빠른 패킷 손실 복구를 수행한다.

시뮬레이션을 통하여 동적 응답 패킷 생성 기법의 웹 트래픽 성능 향상 정도를 확인한 결과 비트 에러율이 낮고 혼잡이 발생하지 않는 환경에서 최대 43% 웹 트래픽의 성능이 향상 되었으며, 또한 비트 에러율이 높으며 혼잡이 발생하는 환경에서도 최소 34%의 성능이 향상되었다. 이러한 결과를 통하여 제안된 기법을 적용함으로써 전송 지연이 큰 망 환경에서 응답 패킷 생성을 통하여 초기 전송율이 증가되고, 웹 트래픽의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

향후 연구 과제로는 다양한 망 환경에서 본 논문에서 제안한 기법의 적용 가능성에 대한 연구와 초기 슬로우 스타트 구간 이후의 혼잡 제어 구간에서 기법의 적용 가능성에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] I. F. Akyildiz, G. Morabito and S. palazzo, "Research Issues for transport protocols in satellite IP networks," IEEE Personal Communications, Vol. 8, Issue 3, pp. 44-48, 2001.

[2] C. Partidge and T. J. Shepard, "TCP/IP Performance over Satellite Links," IEEE Network, Vol. 11, Issue 5, pp. 44-49, 1997.

[3] M. Allman, S. Floyd, and C. Partridge, "Increasing TCP's initial window," RFC 3390, IETF, 2002.

[4] M. Allman, V. Paxson and W. Stevens, "

TCP congestion control," RFC 2581, IETF, 1999.

[5] V. Padmanabhan and R. Katz, "TCP Fast Start: A Technique for Speeding up Web Transfers," Proceedings of IEEE GLOBECOM'98, pp. 41-46, 1998.

[6] I. F. Akyildiz, G. Morabito and S. Palazzo, "TCP-Peach: A New Congestion Control Scheme for Satellite IP Networks," IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 9, Issue 3, pp. 307-321, 2001.

[7] H. Balakrishnan, V.N. Padmanabhan, S. Sechan, R. H. Katz, "A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links," IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 5, Issue 6, pp. 756-769, 1997.

[8] X. Chang, "Network simulation with OPNET," Simulation Conference Proceedings, Vol. 1, pp. 307-314, 1999.

[9] A. Feldmann, A. Gilbert, P. Huang and W. Willinger, "Dynamics of IP Traffic: A study of the role of variability and the impact control," Proceedings of the conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication, pp. 301-313, 1999.

저 자 소 개

박 현 규

2005년 경북대 컴퓨터과학과 학사. 현재, 경북대 컴퓨터과학과 석사과정. 관심분야: 컴퓨터통신, 홈 네트워크, 무선인터넷.

Email: hgapr@ccmc.knu.ac.kr

이 지 현

1997년 경북대 응용생명과학부 학사. 2005년 경북대 정보통신학과 석사. 현재, 경북대 컴퓨터과학과 박사과정. 관심분야: 컴퓨터통신, 모바일이동통신, 무선 인터넷.

Email: hyuny@ccmc.knu.ac.kr

임 경 식

1982년 경북대 전자공학과 학사. 1985년 한국과학기술원 전산학과 석사. 1994년 University of Florida 전산학과 박사. 1995년 한국전자통신연구원 책임연구원, 실장. 현재, 경북대 전자전기컴퓨터학부 부교수. 관심분야: 이동컴퓨팅, 무선인터넷, 홈 네트워크, 컴퓨터통신.

Email: kslim@knu.ac.kr

정 우 영

1984년 서울대 전자공학과 공학사. 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사. 1991년 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사. 1999년 삼성전자 수석연구원. 2003년 코어세스 연구소장. 2004년 송실대학교 객원교수. 현재, 대구경북과학기술연구원 책임연구원. 관심분야: UWB, 실내정밀측위, Sensor networks.

Email: wyjung@dgist.ac.kr