

논문 2016-11-53-3

위성통신에서 에러 복구 방법과 TCP Hybla를 결합한 Hybrid TCP PEP 기법

(Hybrid TCP PEP Scheme, Mixture of Error Recovery Method and the TCP Hybla in Satellite Communications)

이 승 용*, 김 종 무*, 오 지 훈*, 김 재 현**

(Seunglyong Lee[Ⓢ], Jong-Mu Kim, Ji-Hoon Oh, and Jae-Hyun Kim)

요 약

위성통신에서는 긴 전송 지연 시간과 지상망 대비 상대적으로 높은 데이터의 손실로 전송 속도가 저하된다. 본 논문에서는 XOR 코딩 기법과 전송 지연시간에 의한 전송성능 감소를 줄인 Hybla TCP의 장점들을 결합한 연결 분할 방식의 Hybrid TCP PEP 기법을 제안한다. 테스트베드를 구축하여 전송속도를 실험한 결과, 제안한 기법을 적용 시 채널의 에러율이 높은 환경에서 파일 전송속도가 10% 이상 향상되었다. 따라서, XOR 코딩 기법과 TCP Hybla를 결합한 Hybrid TCP를 연결 분할 방식 PEP에 적용 시 위성 통신에서 전송 속도 향상에 크게 기여할 것으로 보인다.

Abstract

In satellite communication, transmission performance is degraded due to long propagation delay and relatively high data loss compared to terrestrial network. In this paper, We propose Hybrid TCP PEP scheme with XOR coding and Hybla TCP, which reduces the transmission performance degradation due to the transmission delay time. Experimental results show that the proposed method improves the file transfer rate by more than 10% in the environment with high channel error rate. Therefore, Hybrid TCP, which is a mixture of XOR coding method and TCP Hybla, is considered to contribute to the improvement of transmission speed in satellite communication when applied to connection split PEP.

Keywords : Satellite communication, XOR coding, TCP instant recovery, TCP Hybla, split PEP

I. 서 론

위성통신은 넓은 지역에 다수의 가입자에게 통신 서비스를 제공할 수 있어 상업적으로나 군사적으로 많이 이용되고 있다^[1].

군사적인 측면에서 지상네트워크가 제한되는 한국의 동부 산악지역에서 통신망 제공이 용이하고 수복된 지역에 대한 신속한 통신망 구성이 가능한 장점으로 주요

통신망으로 운용되고 있어 위성통신의 전송 효율성 향상은 필수적인 발전 과제이다^[2,3].

하지만, 위성통신은 긴 전송 지연시간과 상대적으로 높은 데이터 에러율로 신뢰성 있는 통신을 제공하기 위해 사용되는 TCP(transmission control protocol)의 전송효율은 급격히 낮아진다. 위성통신에서 TCP의 전송 속도 저하요인은 데이터가 손실될 경우 긴 전송 지연시간으로 데이터 재전송 시간이 증가하기 때문이다. 아울러, TCP의 혼잡제어 방식은 무선 채널에서의 에러에 의한 패킷 손실을 네트워크의 혼잡으로 간주하므로 데이터의 손실이 발생하면 전송 윈도우의 크기를 줄이기 때문에 전송속도가 저하된다. TCP의 전송 속도 저하에 대한 문제점을 해소하기 위해 그동안 많은 연구가 진행되었다^[4].

* 정회원, 아주대학교 NCW학과 (Department of NCW, Ajou University)

** 평생회원, 아주대학교 전자공학과 (Department of Electronic Engineering, Ajou University)

ⓈCorresponding Author (E-mail : winstar99@ajou.ac.kr)

Received ; July 25, 2016

Revised ; October 26, 2016

Accepted ; November 2, 2016

긴 전송 지연 시간으로 인한 성능감소를 극복하기 위한 방법 중의 하나로 TCP Hybla가 개발되었다^[5]. TCP Hybla는 RTT(round trip time)와 독립적으로 CWND (congestion windows)를 조절하는 방법을 사용하여 긴 전송 지연시간에 따른 속도저하를 상당부분 해소하였다. 하지만, TCP Hybla는 데이터 전송 시 손실이 발생할 경우 에러 정정 기능이 없어 재전송에 따른 성능이 저하되는 문제점이 있다^[6].

에러에 의해 손실된 데이터를 정정하는 방법에 대해서 많은 연구가 진행되어 왔다. Muhammad의 연구에서는 데이터링크 계층과 네트워크계층의 사이에서 network coding 방법의 적용을 연구하였다^[7]. Lee의 연구에서는 전송계층에서 랜덤 선형 블록코딩을 적용하고 코딩을 해야 할 패킷의 크기 변화에 따른 처리를 향상 정도를 연구하였다^[8]. 이러한 연구는 수식에 의한 이론적 접근 방식이거나 전송계층이 아닌 네트워크 계층에서 작동하여 TCP와 상호작용이 제한되었다. 최근 IETF(Internet engineering task force)는 전송계층에서 다양한 TCP와 상호작용이 가능하고 실 체계(Linux 환경)에 적용이 가능한 TCP IR(instant recovery)이라는 에러복구 기법을 제안하였다^[9]. TCP IR은 전송 데이터그램을 XOR한 중복 세그먼트를 전송하여 에러를 정정하는 방법이다. 하지만, TCP IR과 같은 향상된 기법을 위성통신에 적용하기 위해서는 지상망의 기존 체계들도 동시에 변경해야 하므로 위성통신망에 적용하기 어려운 문제점이 있다. 이러한 문제점에 대한 대안으로 최근 위성통신 분야에서는 PEP(performance enhancing proxy)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. PEP는 경로 상에 존재하는 링크나 네트워크에 대해 독립적인 기법을 적용함으로써 전체적인 통신 서비스의 품질과 데이터 전송량을 향상시키는 기법이다^[10]. 이 중 지상망과 위성망을 분리하여 기존 체계의 변경 없이 성능향상 방법을 적용할 수 있는 방식을 연결 분할 방식 PEP라 한다. 연결 분할 방식 PEP는 지상망과 위성망을 분리하여 게이트웨이에서 에이전시 역할을 수행함으로써 분할된 망 구조 내에 성능향상 기법을 적용할 수 있는 지상망의 수정 없이 성능을 향상할 수 있다는 장점이 있다^[11].

본 연구에서는 긴 전송지연시간을 극복할 수 있는 TCP Hybla와 TCP Hybla의 단점인 에러 정정 능력을 가진 기법인 TCP IR을 결합한 Hybrid TCP 방식을 위성통신의 연결 분할 방식 PEP에 적용할 것을 제안한다. 제안한 방법을 테스트베드를 구축하여 성능 평가한 결과 패킷 에러율이 높은 환경에서 10-40%의 전송속도

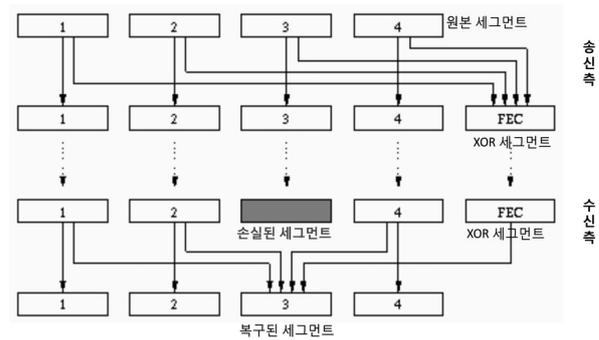


그림 1. XOR 코딩에 의한 에러 복구 과정
Fig. 1. error recovery procedure of XOR coding.

향상이 있는 것으로 나타났다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대하여 살펴본다. 3장에서는 제안한 기법의 구조를 설명한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능 향상 평가를 위한 테스트베드 구성과 전송성능 평가 결과를 제시한다. 5장에서는 결론과 연구방향을 제시한다.

II. 관련 연구

1. TCP Hybla

TCP Hybla는 위성통신이나 긴 전송 지연시간을 가진 지상망에서 전송속도의 저하를 극복하기 위해서 제안된 TCP의 한 종류이다^[5]. TCP Hybla는 실제의 RTT가 아닌 참조 RTT (linux의 경우 최초 25ms)를 사용하여 CWND를 조절하는 방법을 사용한다.

Reno와 같이 범용적으로 사용되고 있는 TCP들은 RTT에 큰 영향을 받는다. 송신 측은 ACK (acknowledgement)를 받은 후 CWND를 증가하게 되므로 RTT가 크면 CWND를 증가하는 시간이 길어져 최대 전송속도에 도달하는 시간이 지연된다. ACK를 받지 못했을 때는 RTO(retransmission time out)를 기반으로 재전송을 하거나 3개의 중복된 ACK를 받았을 때 빠른 재전송을 한다. RTO를 설정할 때 해당 채널의 RTT를 이용하므로 위성과 같은 지연시간이 긴 네트워크는 RTO 값이 증가하고 재전송 시간도 증가 된다.

전송 대역폭은 수식 (1)과 같이 임의의 시간 t의 윈도우 사이즈 $W(t)$ 를 RTT로 나눈 값으로 계산된다. TCP Hybla는 수식 (2)와 같이 실제의 RTT가 아닌 참조 RTT_0 를 이용하여 RTT와 독립적으로 CWND를 설정한다.

$$B(t) = \frac{W(t)}{RTT} \quad (1)$$

참조 RTT를 이용하여 CWND 결정하는 방법은 수식 (3)과 같다. Hybla는 실제 RTT를 참조 RTT_0 로 나눈 RTT의 변화량 ρ 를 계산한다. 그리고, 수식 (2)와 같이 ρ 값에 의해 window 값을 증감하므로 실제 RTT와는 독립적으로 CWND를 조절하여 목표 대역폭에 신속하게 도달할 수 있다.

$$\rho = \frac{RTT}{RTT_0} \quad (2)$$

$$W_{i+1} = \begin{cases} W_i + 2^{\rho-1} SS & SS \\ W_i + \frac{\rho^2}{W_i} CA & CA \end{cases} \quad (3)$$

이와 같이 Hybla는 전송 지연시간이 긴 환경에서 전송속도의 목표치에 빠르게 도달하여 전송 속도를 증가시키는 큰 장점이 있으며 RTT가 긴 지상망이나 위성망에서 많이 사용되고 있다. 하지만 Hybla는 에러 발생 시 재전송을 하는 방법 외에 에러에 대한 정정 기능이 없어 에러율이 높은 환경에서는 전송속도가 급격히 저하되는 단점이 있다^[6].

2. XOR 코딩에 의한 에러 복구 기법

Reno와 같이 일반적으로 사용되는 TCP는 에러 정정 기능이 없다. 수신자가 에러에 대응하는 유일한 방법은 TCP 헤더의 검사 합(checksum)을 점검하여 오류가 있을 시 세그먼트를 폐기하고, 정상적으로 데이터가 수신될 때까지 송신자에게 재전송을 하도록 하는 과정을 반복하는 것이다. 이러한 재전송 과정에서 최소 1회 이상의 RTT에 해당하는 지연시간이 발생한다. 이러한 재전송 소요시간에 의한 전송 성능 저하를 방지하기 위해 에러 정정 기법들이 연구되었다^[7~8].

IETF에서 대규모의 웹 서버에 접속하는 연결을 분석한 결과, 0.1% 이하의 적은 손실만 발생해도 웹 지연시간이 평균 5배가 느려지고, 손실을 겪은 세그먼트 중의 77%는 RTO가 경과 후 재전송 되는 것으로 분석되었다. 이와 같이 적은 데이터 손실에도 전송 성능이 크게 저하되므로 에러 복구 기법은 전송 속도 향상에 매우 중요하다. 이를 개선하기 위한 방법으로 IETF는 XOR 코딩 기법으로 적은 손실을 신속히 복구할 수 있는 에러 복구 방법인 TCP IR을 제안하였다^[8]. TCP IR은 전송계층에서 세그먼트를 XOR 코딩한 중복 세그먼트를 전송하고 손실된 세그먼트를 XOR 코딩된 세그먼트를 이용하여 신속하게 복구하는 방법이다. XOR 코딩에 의한 에러 복구 개념은 그림 1과 같다. 에러 발생 시 재전송의 소요를 줄여 네트워크의 전송 속도를 향상시킨다.

IETF가 제안한 TCP IR은 기존 TCP의 변경 없이 실 체계에서 적용이 가능한 전송계층 최초의 에러 복구 기법으로 평가된다. 전송계층에서 XOR 코딩 방법이 효율적인 이유는 데이터링크 계층에서 복구가 된 세그먼트를 수신하여 정상적으로 수신된 데이터를 이용하여 복구를 하므로 많은 연산이 필요한 에러 복구 방법을 적용하지 않아도 충분히 전송 성능 향상을 얻을 수 있기 때문이다. 손실된 세그먼트에 대한 복구가 성공 시 CWND를 감소시켜 추가적인 전송오류 발생 가능성을 낮춘다. TCP IR 적용 시 지상망의 단 기간의 연결에서 약 28%의 지연시간이 감소되고 웹페이지 다운로드 시간은 15% 단축되는 성능향상이 있는 것으로 연구되었다.

3. 연결 분할 방식 PEP

PEP는 네트워크에 통신 전송 성능을 향상시키기 위해 독립적인 프로토콜이나 기법을 사용하는 방법으로 WAN (wide area network) 게이트웨이 기지국이나 위성 모뎀에 적용한다. 실제 적용이 되고 있는 기술로는 응용 계층에서는 데이터 압축과 캐싱을 사용한다. 전송계층에서는 TCP 최적화나 TCP/IP 헤더 압축 기술을 사용한다. 네트워크 계층에서는 IP라우팅 기법 등을 사용한다^[10].

이러한 PEP 기법 중 중단 간 연결을 여러 구간으로 나누어 각 구간에 프로토콜이나 기법을 사용하는 연결 분할 방식을 split PEP라 한다. split PEP는 그림 2와 같이 구성된다. 클라이언트와 서버는 PEP 에이전트 (위성 게이트웨이)에 유선으로 연결되어 있고, PEP 게이트웨이는 위성 링크로 연결되어 있다. 이와 같이 분할된 구조로 연결되어 지상 client와 server는 각 PEP 에이

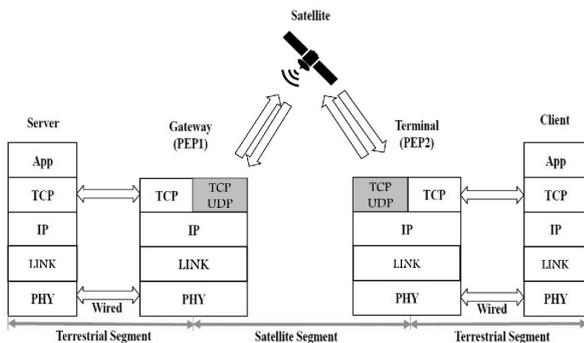


그림 2. 연결 분할 방식의 PEP 스택 구조
Fig. 2. Stack of Split PEP.

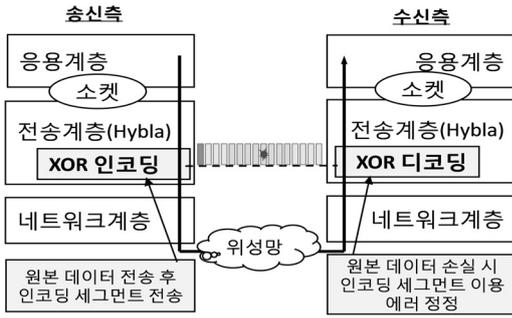


그림 3. 제안하는 프로토콜 스택 구조
Fig. 3. Stack of proposed protocol.

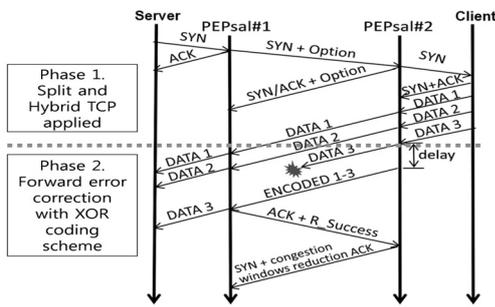


그림 4. H-TCP PEP 정보교환 과정
Fig. 4. H-TCP PEP information exchange.

전트와 standard TCP를 사용하고, PEP 에이전트 간에는 customized TCP를 사용한다. 위성망과 지상망을 분리하여 관리함으로써 PEP 에이전트는 중단 시스템과 사용자의 어플리케이션을 별도 수정하지 않고 독립적인 프로토콜의 적용이 가능하다^[11].

III. 제안하는 프로토콜

1. Hybrid TCP

본 연구에서는 긴 전송지연시간을 극복할 수 있는 Hybla

표 1. 송신측 XOR 코딩 알고리즘
Table1. Sender side XOR coding algorithm.

Sender side coding block 생성	
$Xor_coding_block[i] = 0;$	
for ($j = 0, j < 16 ; j ++$)	
for ($i = 0, i < data_length ; i ++$) {	
$Xor_coding_block[i] ^= sending_block[i];$	
$Xor_range = segment_no + data_length; }$	
Send_message (sending_block[i]);	
if ($j = 15$) then {	
Send_masage ($Xor_coding_block[i];$	
break; }	
endif	

표 2. 수신측 XOR 디코딩 알고리즘
Table2. Receiver side XOR decoding algorithm.

Receiver side decoding block 생성	
$Xor_decoding_block[i] = 0;$	
for ($j = 0, j < 16 ; j ++$)	
for ($i = 0, i < data_length ; i ++$) {	
$Xor_decoding_block [i] ^=$	
receiving_block [i];	
if ($current_segment_no >$	
before_segment_no + data_length)	
then {	
lost_segment_no =++ 1 ;	
before_segment_no += data_length); }	
if ($j = 15 \ \&\& \ lost_segment = 1$) then {	
$Xor_decoding_block[i] ^=$	
$Xor_coding_block[i];$	
lost_segment = $Xor_decoding_block[i]; }$	
else {	
Selective_ACK (lost_segment_no);	
drop ($xor_coding_block [i];$ }	

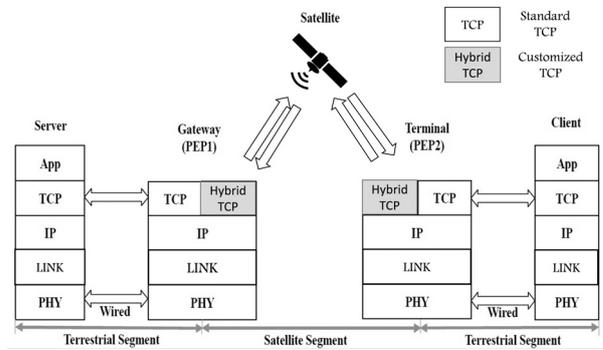


그림 5. H-TCP PEP 성능평가 시스템 구조
Fig. 5. stack of system of H-TCP PEP evaluation.

TCP와 에러율이 높은 환경에서 손실을 정정할 수 있는 XOR 코딩 기법의 장점을 결합한 hybrid 방식의 프로토콜(H-TCP)을 제안한다.

제안하는 프로토콜(H-TCP)의 시스템 구조는 그림 3과 같다. 송신측은 데이터 전송이 요구될 경우 소켓을 생성하여 전송계층과 데이터링크 계층을 거쳐 송신측에 데이터를 전송한다. 송수신측에 위치한 Hybla TCP는 수식 (2)와 (3)에 의해서 윈도우 증감 값을 결정하고 ACK 수신 여부에 따라 CWND를 증감하면서 데이터를 전송한다.

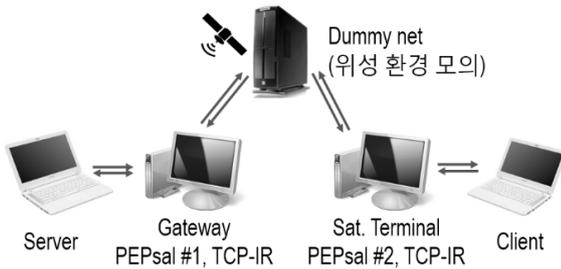


그림 6. H-TCP PEP 테스트베드 구성
Fig. 6. H-TCP PEP test-bed Architecture.

실제 RTT가 아닌 참조 RTT_0 (25ms)를 이용하여 송신 윈도우를 결정함으로써 위성의 지연시간과 무관하게 전송 윈도우의 크기를 증가시킬 수 있다. 이를 통해 위성의 긴 전송시간에도 최대 전송 속도의 조기에 도달할 수 있다.

송신측의 TCP Hybla에 의해 생성된 세그먼트는 네트워크 계층으로 보내기 전에 표 1의 알고리즘에 의해서 누적 XOR한 코딩블록을 생성한다. 시퀀스 번호는 첫 번째 전송블록의 시퀀스 번호로 하고 옵션필드를 이용하여 인코딩된 시퀀스 번호의 범위를 같이 전송하여 수신측이 디코딩할 범위를 통지한다.

수신측은 표 2의 알고리즘과 같이 수신된 블록을 XOR한 디코딩 블록을 생성한다. 최종 수신된 세그먼트까지 디코딩 블록을 생성한 다음 수신된 시퀀스 번호를 확인하여 에러가 발생하지 않았으면 코딩 블록을 버린다. 단일 에러 발생 시 수신 블록들을 누적 XOR한 XOR디코딩 블록과 최종 수신된 코딩 블록에 의해서 에러를 정정한다.

XOR 코딩 방법은 수신된 시퀀스 번호에 의해서 손실된 세그먼트를 판단하고 XOR 디코딩 시 복구해야할 대상 세그먼트를 판단한다. 2개 이상의 에러가 동시에 발생하면 손실이 발생한 세그먼트의 시퀀스 번호를 송신측에 통지하여 재전송 받도록 하고 수신된 코딩블록은 폐기한다. XOR 코딩기법을 적용함으로써 수신측에서 에러 발생 시 재전송 없이 즉각적인 복구가 가능하여 재전송에 따른 지연 시간을 감소할 수 있다.

Hybla와 XOR 코딩 기법의 장점을 결합한 Hybrid TCP는 위성과 같이 전송 지연시간이 길고 에러율이 높은 환경에서 전송지연 시간과 에러에 따른 손실을 크게 감소시킬 수 있다.

2. H-TCP의 Split PEP에 적용

H-TCP를 Split PEP에 적용 시 정보교환 과정은 그

표 3. 테스트베드 파라미터
Table3. Test-bed parameter.

세그먼트 크기 (TCP)	1448bytes
RTT	600ms
Bandwidth	10Mbps
파일전송 크기	10Mbytes

림 4와 같다. 최초 연결 설정 시 TCP option field를 이용하여 XOR코딩 기법의 적용 여부를 결정한다. 송신측의 단말은 송신 측에 위치한 PEPsal#1에 syn 세그먼트를 보낸다. 송신 측의 syn 세그먼트를 받은 PEPsal#1은 수신된 데이터를 버퍼에 보관하고 송신 측에 ACK를 보냄과 동시에 수신 측 PEPsal#2에 syn과 XOR 코딩을 적용하겠다는 옵션을 TCP option field에 포함하여 보낸다. 수신 측에 위치한 PEPsal#2은 수신한 데이터를 수신 버퍼에 보관 후 수신측 단말에 syn을 보냄과 동시에 송신 측 PEPsal#1에 syn과 XOR 코딩된 세그먼트를 수신하겠다는 것을 TCP option field에 포함하여 보낸다. 연결이 확립되면 원본 세그먼트들을 전송하고 원본 세그먼트 전송 후 XOR코딩한 세그먼트를 전송한다. 수신 측은 정상적으로 데이터가 수신 시 코딩된 세그먼트를 폐기하고, 손실이 발생하면 XOR 코딩된 패킷을 이용하여 손실을 복구한다. 수신 측은 손실된 패킷을 복구하기 위해 수신된 세그먼트를 큐(Queue)에 보관한다. 큐에 보관된 패킷은 상위계층에서 사용되더라도 에러 복구가 종료될 때까지 보관한다. XOR된 세그먼트는 코딩한 시퀀스 번호의 범위를 같이 전송하고 복구가 실패하면 손실된 시퀀스 번호를 송신 측에 알림으로서 손실된 세그먼트가 재전송 되도록 한다.

IV. 성능 평가

1. 테스트베드 구성

제안하는 프로토콜의 성능을 검증하기 위한 성능평가 시스템 구조와 위성네트워크 참조망은 그림 5~6과 같이 구성하였다. split PEP에서 중단 간의 전송 성능평가를 위한 클라이언트와 서버는 Linux(ubuntu v.14.04)를 설치하였다. 게이트웨이와 위성 터미널에는 Linux (ubuntu v.14.04)에 XOR 코딩 기법을 적용한kernel(v3.10)을 설치하였다^[12].

XOR 코딩 기법을 적용하기 위해서 tcp.c, tcp.input.c, tcp_ipv4.c, tcp_output.c, tcp_timer.c, tcp_minisocks.c, inet_diag.c, sysctl_net_ipv4.c, inet_connection_sock.h,

request_sock.h, tcp.h 파일을 변경하여 적용하였다.

위성구간을 모의하기 위해 freeBSD(unix) OS를 설치하고 Dummysnet를 이용하여 무선채널의 손실과 지연을 구현하였다. Dummysnet은 대역폭의 제한, 무선 위성구간의 지연시간과 손실을 모의하였다^[13]. split PEP의 역할은 Linux의 공개 소스인 PEPsal를 이용하였다^[14]. 또한, 지상링크에 해당하는 Client와 Server는 범용적으로 사용되는 TCP인 Reno를 적용하였다.

처리율과 전송 속도의 성능을 평가하기 위한 도구는 종단의 클라이언트와 서버에 Linux 오픈소스의 성능평가 도구인 iperf3를 이용하여 10Mbytes의 파일을 전송하는데 소요되는 시간으로 평가하였다^[15].

2. 성능평가 결과

성능평가에서는 테스트베드 실험 파라미터를 표 3과 같이 TCP 세그먼트의 크기를 1448bytes, 위성링크의 대역폭은 10Mbps, 지연시간은 600ms로 설정하였다. 손실률에 따른 처리율과 10Mbytes 파일의 전송이 완료되는데 소요되는 시간을 성능지표로 하여 평가를 한다.

성능평가 비교는 TCP Hybla와 본 논문에서 제안하는 기법인 H-TCP, 그리고 split PEP 구조에서 TCP Hybla와 제안하는 기법인 H-TCP를 비교하였다.

H-TCP와 TCP Hybla TCP의 전송망의 손실률에 따른 평균 전송 속도의 대역폭은 그림 7과 같다. 에러 정정에 의한 성능향상과 중복 세그먼트 전송에 따른 성능저하 간 trade off가 발생하여 평균 전송 속도의 대역폭은 큰 차이가 없었다. H-TCP가 중복 세그먼트를 보내므로 전송 오버헤드가 증가하나 손실 발생 시 에러 정정에 의한 처리율 향상과 trade off 되어 큰 성능 차이가 발생하지 않았다.

그림 8은 TCP Hybla와 H-TCP, split PEP에서 TCP Hybla와 H-TCP를 적용한 경우 10Mbytes의 파일을 전송하는데 소요되는 시간을 평가한 결과이다. 제안한 기법이 패킷 손실률이 10^{-4} 이상에서 파일 전송 속도가 향상됨을 알 수 있다. 그림 9는 TCP Hybla와 H-TCP의 성능평가 결과를 나타낸다. 패킷 손실률이 0.001(\approx BER 9×10^{-8}) - 0.01(\approx BER 8×10^{-7})의 구간에서 제안한 H-TCP PEP 전송 속도가 높아지는 것으로 나타났다. 평균 37%의 파일 전송 속도 향상이 있었다. 그림 10은 split PEP를 적용하지 않고 H-TCP를 적용한 경우와 split PEP 환경에서 H-TCP를 적용한 경우의 전송 속도를 비교한 것이다. 패킷 손실률이 0.0005(\approx BER 4×10^{-8}) - 0.05(\approx BER 4×10^{-6})의 구간에서 split PEP를

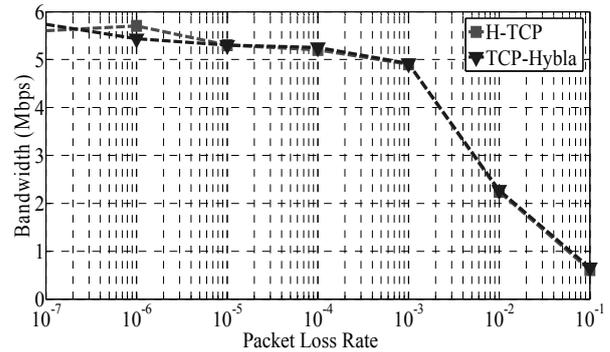


그림 7. H-TCP 및 TCP Hybla 대역폭 비교
Fig. 7. Bandwidth comparison between H-TCP and Hybla.

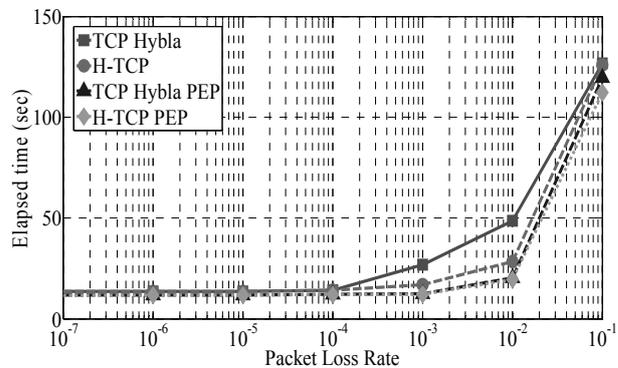


그림 8. 전송 속도 비교
Fig. 8. Throughput comparison.

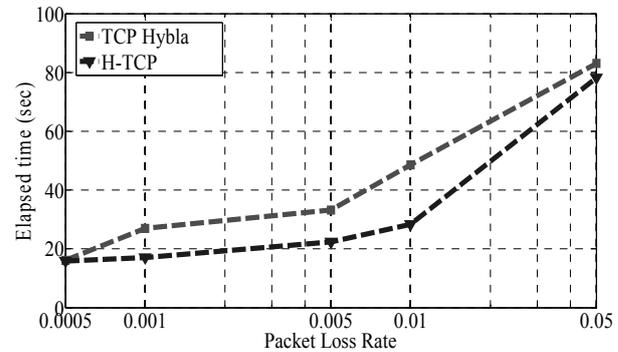


그림 9. TCP Hybla와 H-TCP 전송 속도 비교
Fig. 9. Elapsed time comparison between TCP Hybla and H-TCP.

적용했을 때가 평균 26%의 전송 속도 향상이 있었다. 그림 11은 H-TCP PEP와 기존 TCP Hybla만 적용 시 전송 속도를 비교하였다. H-TCP PEP가 TCP Hybla보다 0.0005(\approx BER 4×10^{-8}) - 0.005(\approx BER 4×10^{-7})의 구간에서 평균 48% 전송 속도 향상이 있었다. 성능평가 결과 위성환경에서는 split PEP를 적용할때가 그렇지 않을 때 보다 성능 향상의 폭이 큰 것으로 나타났다. 제안한 H-TCP PEP가 코딩 기법과 split PEP를 미적용

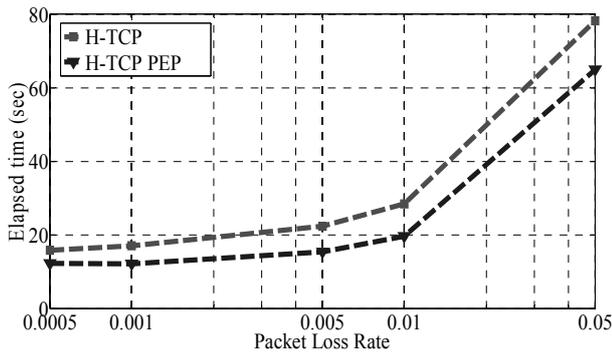


그림 10. H-TCP와 H-TCP PEP 전송 속도 비교
Fig. 10. Elapsed time comparison between H-TCP and H-TCP PEP.

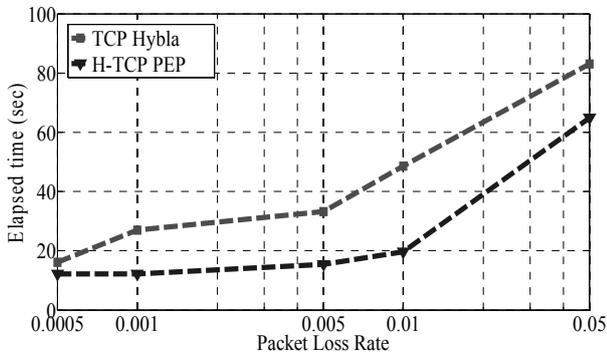


그림 11. H-TCP PEP와 TCP Hybla 전송 속도 비교
Fig. 11. Elapsed time comparison between H-TCP PEP and TCP Hybla.

했을 때 보다 손실률이 높은 구간 ($BER3 \times 10^{-8}$ - $BER4 \times 10^{-6}$)에서 평균 40% 이상의 전송 속도 향상이 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 TCP Hybla에 XOR 에러 코딩 기법을 복합한 H-TCP를 제안하고, split PEP에 적용하여 위성 통신 환경에서 전송 속도 향상 정도를 평가 하였다. 위성 통신의 전송 성능 향상을 위한 기존의 연구는 수학적 연산이나 시뮬레이션 상에서 성능을 평가하는 제약이 있는 반면 본 연구에서는 실제 위성시스템과 유사하게 테스트베드를 구성하여 성능을 평가함으로써 실제 적용이 가능한 환경에서 평가를 하였다는 의미가 있다. 성능 평가 결과 제안한 프로토콜은 손실률이 높은 위성 통신에서 세그먼트 손실을 복구하면서 최대한의 TCP 데이터 전송을 보장을 검증하였다. 또한 split PEP라는 위성 환경에 적합한 향상된 기술들의 접목이 가능함을 알 수 있었다.

추후 연구에서는 손실률에 따라 XOR의 코딩 대상 세그먼트의 수를 가변적으로 적용하는 연구와 손실 발생 시 해당 TCP의 CWND를 감소하지 않도록 하는 방안에 대한 연구를 진행할 예정이다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 데이터 손실률이 높은 실제 위성통신 환경에 적용하여 가용 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] B. R. Elbert, "Introduction to Satellite Communication third edition", Artech House, pp. 1-19, 2008.
- [2] B. Jeon and J. Jeong, "Blocking artifacts reduction in image compression with block boundary discontinuity criterion," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech., Vol. 8, no. 3, pp. 345-357, June 1998.
- [3] W. G. Jeon and Y. S. Cho, "An equalization technique for OFDM and MC-CDMA in a multipath fading channels," in Proc. of IEEE Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 2529-2532, Munich, Germany, May 1997.
- [4] J. H. Choi et al., "Modified TCP Congestion Control Algorithm to Improve Network Efficiency", Journal of Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 40, no. 8, pp. 331-339, Aug. 2003.
- [5] C. Caini, R. Firrincieli, "TCP Hybla: a TCP enhancement for heterogeneous networks." International journal of satellite communications and networking vol. 22, pp. 547-566, Aug. 2004.
- [6] Nathnael G. W., K. H. Lee, Y. J. Choi, and J. H. Kim, "Testbed and Discussion for PEP in Satellite Communications," in Proc. ICEIC 2015, pp. 28-31, Singapore, Jan. 2015.
- [7] M. Muhammad, B. Matteo, d. C.. Tomaso "A simulation study of network coding enhanced PEP for TCP flows in GEO satellite networks" Communications (ICC), 2014 IEEE International Conference, pp. 3588-3593, Sydney, Australia, Jun. 2014.
- [8] K. H. Lee, J. H. Kim, "Random Linear Network Coding to Improve Reliability in the Satellite Communication", Journal of The Korean Institute Of Communication Sciences, vol. 38(9), pp. 700-706, Sep. 2013.
- [9] T. Flach, N. Dukkipati, Y. Cheng and B. Raghavan, "TCP Instant Recovery: Incorporating Forward Error Correction in TCP" IETF TCP Maintenance Working Group Internet-Draft, pp 1-15, July 15, 2013.

- [10] M. K. Park, M. S. Shin, D. G. Oh, J. H. Kim, "Technology Trends in PEP for Broad-Band Internet Service via Satellite Networks" Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 30, No. 3, pp. 64-73, ETRI, June. 2015.
- [11] C. Caini, R. Firrincieli, D. Lacamera DEIS/ARCES, "PEPsal: A Performance Enhancing Proxy for TCP Satellite Connections", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 22, pp. B-9-B-16, Aug. 2007.
- [12] TCP-IR patch available <https://github.com/tflach>
- [13] DummyNet, available at: <http://info.iet.unipi.it/~luigi/dummynet/>
- [14] PEPsal source code, available at: <http://www.sourceforge.net/projects/pepsal/>
- [15] Iperf3, available at : <https://iperf.fr/iperf-download.php>

 저 자 소 개



이 승 용(정회원)

1983년 육군사관학교 병기공학과 학사 졸업.

2007년 동국대학교 안보행정학과 석사 졸업.

2014년 아주대학교 NCW학과 박사 수료.

<주관심분야: 위성 통신, 컴퓨터, 신호처리, 네트워크, 모델링 & 시뮬레이션>



김 종 무(정회원)

2015년 연세대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업.

2015년~현재 아주대학교 전자공학과 석사과정.

<주관심분야: 위성 통신, WAN/위성통신 가속기, Performance Enhancing Proxy 등>



오 지 훈(정회원)

2016년 아주대학교 전자공학과 학사 졸업.

2016년~현재 아주대학교 전자공학과 석사과정.

<주관심분야: 위성통신, WAN가속기, Ad-hoc network, Performance Enhancing Proxy 등>



김 재 현(평생회원)

1987년~1996년 한양대학교 전산과 학사 및 석/박사 졸업

1997년~1998년 미국 UCLA 전기전자과 박사 후 연수

1998년~2003년 Bell Labs, NJ, USA, 연구원

2003년~현재 아주대학교 전자공학부 교수
 <주관심분야: QoE/QoS, 무선 MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15, B5G 통신 시스템, 국방 기술네트워크, 위성시스템 등>