

논문 2015-52-3-4

DVB-RCS 네트워크에서 Cross-layer 및 네트워크 코딩 기반 PEP 연구

(A Study on PEP based on Cross-layer and Network Coding
in DVB-RCS Networks)

이 규 환*, 정 현 기*, 김 재 현**

(Kyu-Hwan Lee, Hyun-Ki Jung, and Jae-Hyun Kim [©])

요 약

본 논문에서는 DVB-RCS 네트워크에서 cross-layer와 네트워크 코딩 기반 PEP 기술을 제안한다. 제안한 PEP 기술에서는 TCP와 링크 단 간 위성 자원 할당 정보 교환을 제공할 수 있는 cross-layer 정보 교환 기법을 제안하고, 할당된 위성 자원 정보와 NC-R (Network-Coded Redundancy) 패킷 전송률에 의한 TCP 혼잡제어윈도우 튜닝 기법을 제안한다. 시뮬레이션 결과 제안한 PEP 기술을 사용하면 TCP에서 사용가능 한 자원을 조사하기 위한 지연 없이 바로 최대 이용 가능한 TCP 혼잡제어 윈도우 값을 사용할 수 있는 것을 살펴 볼 수 있었다. 또한 제안한 PEP 기법에서는 TCP 혼잡제어윈도우 튜닝 기법과 NC-R 패킷 전송을 통하여 패킷 손실이 발생할 수 있는 이동형 단말 환경에서도 불필요한 위성 자원 사용 없이 TCP 데이터 처리율을 향상 할 수 있는 것을 볼 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose PEP based on cross-layer and network coding in digital video broadcasting-return channel via satellite (DVB-RCS) networks. In particular, we propose not only a scheme of cross-layer information exchange for interaction between TCP and the resource allocation (RA) scheme in the link layer but also a tuning algorithm for the TCP contention window (CWND) by using information on the RA in the link layer and the redundancy rate for network-coded packets. The simulation results show that TCP CWND can be adjusted by RA information in the proposed protocol. Furthermore, through the transmission of network-coded packets and the proposed CWND tuning algorithm, TCP throughput is enhanced in lossy environment due to user mobility without the unnecessary resource overhead.

Keywords : Cross-layer, Performance enhancing proxy, 네트워크 코딩, 위성 통신

* 학생회원, 아주대학교 무선인터넷 연구실
(Ajou University)

** 평생회원, 아주대학교 무선인터넷 연구실
(Ajou University)

[©] Corresponding Author(E-mail: jkim@ajou.ac.kr)

※ 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2013R1A2A1A01016423).

※ 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2014R1A2A2A01002321)

Received ; December 3, 2014 Revised ; December 16, 2014

Accepted ; February 27, 2015

I. 서 론

위성통신은 지역적인 제한 없이 광범위한 지역에 통신 서비스를 제공할 수 있기 때문에 지상 기반 망을 사용하기 힘든 산악지역이나 선박 및 항공기 통신에 유용하게 사용되고 있다^[1]. 하지만 위성 통신에서 매우 긴 전파 지연 시간과 위성 링크에서의 패킷 손실로 인하여 TCP (Transmission Control Protocol)의 성능이 현저하게 저하될 수 있다. 그러므로 위성 통신에서 TCP의 성

능을 향상하기 위한 PEP (Performance Enhancing Proxy)에 대한 많은 연구들이 수행되었다^[2~3]. PEP는 네트워크 종단 간 성능을 향상하기 위한 네트워크 에이전트로써 일반적으로 TCP 연결 분할 방식을 사용한다. TCP 연결 분할 방식에서는 위성 링크와 지상망의 유선 링크를 분할하여 위성 링크에는 위성링크에 최적화된 TCP를 적용하여 위성 통신에서 TCP성능을 향상할 수 있다. 하지만 하위 계층에서 자원 할당, 버퍼 크기 정보 등이 최적화된 TCP에서 고려되지 않는다면, 위성 링크에 최적화된 TCP가 적용된다 할지라도 TCP 성능 향상이 미미할 수 있다^[4].

그러므로 위성 통신에서 각 계층 간 상호작용을 통하여 TCP의 성능을 향상하기 위한 cross-layer 디자인 연구들이 수행되었다^[5~8]. Park의 연구에서는 물리계층에서 ACM(Adaptive Coding & Modulation)에 대한 정보를 TCP에서 활용하는 기법을 제안하였다^[5]. Peng의 연구에서는 TCP와 링크 계층에서 정보 교환을 통하여 queue의 overflow가 발생하지 않는 TCP 분할 연결 기법을 제안하였다^[6]. Luglio,와 Alins의 연구에서는 하위 계층에서의 버퍼 크기를 고려하여 TCP 혼잡제어윈도우의 튜닝 기법이 제안되었다^[7~8]. 하지만 기존 연구에서는 DVB-RCS (Digital Video Broadcasting-Return Channel via Satellite) 네트워크에서 할당된 자원 정보를 TCP에서 활용하는 cross-layer 디자인은 고려되지 않았다. 최근에는 위성 단말에서 위성 기지국으로 전송하는 데이터도 많으므로 이에 대한 고려가 필요하다^[4].

위성 통신에서는 ACM이 적용되지만, 이동형 위성 단말은 shadowing등에 의한 채널 단절에 의해서 패킷 손실이 발생할 수 있다. 이를 위해 TCP에서 네트워크 코딩된 추가 (NC-R: Network-Coded Redundancy) 패킷을 전송하여 패킷 손실을 완화할 수 있다^[9~10]. 그러므로 본 논문에서는 DVB-RCS 네트워크에서 cross-layer 및 네트워크 코딩 기반 PEP 연구를 수행한다. 제안한 PEP에서는 정확한 TCP 혼잡제어윈도우 튜닝을 위하여 링크 계층에서 자원 할당 정보와 NC-R 패킷 전송률을 활용하고, cross-layer 정보를 교환하기 위한 cross-layer 정보 교환 기법을 제안한다. 또한, 제안한 PEP에서는 이동형 위성 단말을 위해 패킷 손실률에 따른 NC-R 패킷 전송을 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구에 대하여 살펴본다. III장에서는 제안하는 프로토콜

을 기술하고 IV장에서는 제안하는 프로토콜의 성능을 평가해 보고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. DVB-RCS 시스템

DVB-RCS는 양방향 위성 통신 시스템을 위한 표준으로, 위성 단말에서 위성 기지국으로 데이터를 전송하는 채널인 역방향 채널에 대한 상세 표준이다^[11~12]. 그림 1에서 보는 것과 같이 DVB-RCS 네트워크는 위성 단말과 위성 기지국, 위성 네트워크 제어 센터로 구성이 되고 위성 단말들은 DAMA (Demand Assignment Multiple Access) 프로토콜을 이용하여 역방향 채널의 자원을 시간·주파수축으로 공유하여 사용한다. 위성 단말들은 자신들이 필요한 위성 자원을 위성 네트워크 제어 센터에 요청하고, 위성 제어 센터는 순방향 채널의 TBTP(Terminal Burst Time Plan)에 자원 할당 정보를 포함하여 위성 단말들에게 알려준다. DVB-RCS 표준에서는 다음과 같은 고정된 채널 할당과 동적 채널 할당을 제공한다^[11~12].

- (1) CRA (Continuous Rate Assignment): 고정된 채널 할당으로 위성 단말 초기화 시 위성 네트워크 제어 센터에게 할당 받는다.
- (2) RBDC (Rate-Based Dynamic Capacity): 위성 단말이 필요한 데이터 전송률을 측정하여 그에 따라 위성 네트워크 제어 센터에게 위성 자원을 요청하여 할당 받는다.
- (3) VBDC (Volume-Based Dynamic Capacity): 위성 단말이 버퍼에 쌓여있는 데이터를 기반으로 위성 자원을 요청하여 할당 받는다.

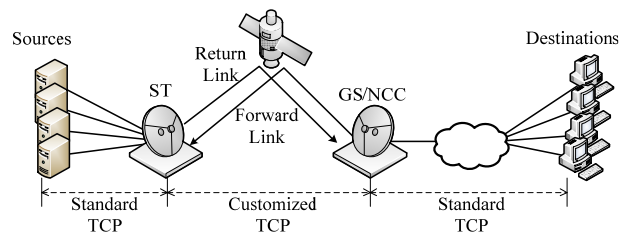


그림 1. 제안 기법의 네트워크 모델.
Fig. 1. Network model of the proposed protocol.

2. 네트워크 코딩을 활용한 신뢰성 전송

NC-R 패킷의 전송은 TCP에서 데이터 전송 신뢰성을 향상할 수 있다^[9~10]. NC-R 패킷 전송에서는 k 개의 네이티브 패킷들과 k 개의 네이티브 패킷들을 네트워크 코딩해서 생성된 h 개의 NC-R 패킷들이 전송된다. 그러므로 전송된 패킷 중 일부가 손실된다 할지라도, 네이티브 패킷과 NC-R 패킷 포함해서 k 개 이상만 수신하게 되면 본래의 k 개의 네이티브 패킷들을 복원할 수 있다^[10]. 예를 들어 $k=5, h=2$ 일 때, 전송 중 2개의 네이티브 패킷이 손실되었다고 할 때, 수신 단에서는 3개의 네이티브 패킷들과 2개의 NC-R 패킷들로 본래 5개의 패킷을 복원할 수 있다.

III. 제안하는 프로토콜

본 논문에서의 네트워크 모델은 그림 1과 같다. 네트워크 모델은 다수의 소스노드와 목적노드, 위성 단말 (ST: Satellite Terminal), 위성 기지국 (GS: Ground Station) 그리고 위성 네트워크 제어 센터 (NCC: Network Control Center)로 구성된다. 네트워크 모델에는 N 개의 TCP 세션이 있다고 가정한다. 소스노드와 목적노드들은 각각 위성 단말과 위성 기지국에 유선으로 연결되어 있고, 위성 단말과 위성 기지국은 위성 링크로 연결되어 있다. 위성 단말과 위성 기지국에는 PEP가 탑재 되어 있다. 네트워크 모델에서는 위성 네트워크 제어 센터는 위성 기지국에 포함되어 있다. PEP에서는 TCP 연결 분할 방식을 사용하고, 위성 링크에는 customized TCP가 적용된다. 위성 단말의 링크 계층에서는 RBDC를 이용하여 자원할당을 받는다고 가정한다. 본 논문에서는 이동형 위성 단말 사용 시, NC-R 패킷 전송을 사용한다. 하지만 위성 단말 간 자원 할당 공정성 (fairness)을 고려하여 NC-R 패킷 전송을 위한 추가적인 자원할당은 하지 않는다.

1. 제안하는 Cross-layer 정보 교환 기법

본 논문에서는 TCP와 링크 계층 간에 cross-layer 정보 교환을 수행한다. TCP에서는 요청하는 자원 할당 정보를 링크 계층에게 보내주고, 실제로 할당된 자원 정보를 링크 계층에서 수신한다. 본 논문에서 cross-layer 정보 교환은 그림 2와 같이 수행된다. TCP 초기화 시, 위성 기지국의 PEP는 TCP SYN 메시지를

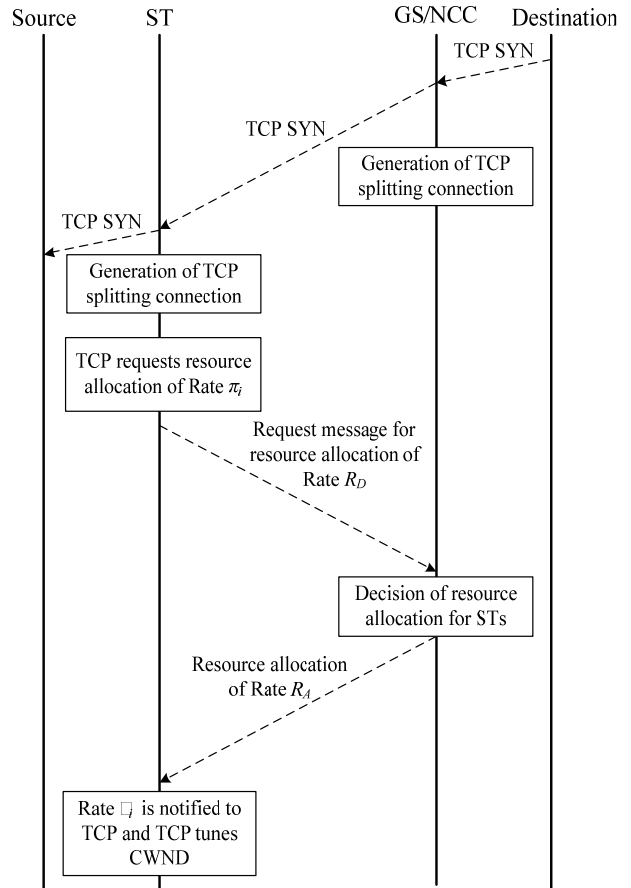


그림 2. Cross-layer 정보 교환 과정.

Fig. 2. Procedure of cross-layer information exchange.

중간에 가로채어, TCP 연결 분할을 수행한다. 또한 위성 단말의 PEP에서도 같은 방식으로 TCP 연결 분할을 수행한다. 위성 단말에서 customized TCP 세션 i 는 π_i 전송률의 자원할당을 링크 계층의 DAMA agent에 요청한다. 각 TCP 세션으로부터 자원 요청을 받은 DAMA agent는 R_D 전송률의 자원할당을 위성 네트워크 제어 센터에 요청한다. π_i 와 R_D 는 다음과 같다.

$$\pi_i = \frac{W_{\max,0}}{RTT_0} \quad (1)$$

$$R_D = (1 + \alpha) \sum_{i=1}^N \pi_i \quad (2)$$

$W_{\max,0}$, RTT_0 , 그리고 α 는 각각 최대 TCP 혼잡 제어 윈도우의 기본 값과 목표로 하는 왕복 시간 (RTT : Round Trip Time) 값, 그리고 프로토콜 오버헤드 비율이다^[13]. RTT_0 는 사용자의 서비스 등급에 따라 QoS

(Quality of Service)를 제공하기 위하여 그 값이 달라질 수 있다. 각 위성 단말로부터 자원할당 요청을 받은 위성 네트워크 센터는 채널 상태와 위성 단말의 수 등을 고려해서 최종적으로 위성 단말에게 R_A 전송률의 자원을 할당하고, 그에 대한 정보는 TBTP를 통하여 위성 단말에게 전달된다. R_A 값을 수신한 위성단말의 링크계층에서는 각각의 TCP 세션에게 ϕ_i 의 전송률을 할당한다. ϕ_i 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\phi_i = \frac{\pi_i}{\sum_{i=1}^N \pi_i} R_A \quad (3)$$

ϕ_i 의 정보는 링크 계층에서 TCP에게 전달되고, TCP는 ϕ_i 를 활용하여 TCP 혼잡제어윈도우 튜닝을 수행한다.

2. 제안하는 TCP 혼잡제어윈도우 튜닝

본 논문에서는 TCP 혼잡제어윈도우 튜닝에 링크 계층에서의 자원할당 정보와 NC-R 패킷 전송으로 인한 오버헤드를 고려한다. 그러므로 본 연구에서의 TCP 세션 i 의 TCP 혼잡제어윈도우 (W)는 다음과 같다.

$$W = \left\lfloor \frac{RTT_C \times \phi_i}{(1 + \alpha + \beta)L_S} \right\rfloor \quad (4)$$

RTT_C 는 현재 RTT값을 의미하고, L_S 는 TCP 세그먼트 크기이다. β 는 NC-R 패킷 전송으로 인한 오버헤드 비율을 의미한다. α 와 β 는 다음과 같이 계산한다.

$$\frac{L_O}{L_S} \quad (5)$$

$$\frac{h}{k} \quad (6)$$

L_O 는 TCP 세그먼트 한 개당 추가되는 TCP/IP 헤더 같은 프로토콜 오버헤드이다. 패킷 손실률이 p 일 때 한 개의 패킷을 전송하기 위해 필요한 전송 수는 $1/(1-p)$ 이다^[9]. 그러므로 k 와 h 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$k = \left\lfloor \frac{RTT_C \times \phi_i}{(1 + \alpha)L_S} \right\rfloor - h \quad (7)$$

$$h = \left\lceil p \left\lfloor \frac{RTT_C \times \phi_i}{(1 + \alpha)L_S} \right\rfloor \right\rceil \quad (8)$$

[.]와 [.]는 올림함수와 내림함수이다. 본 논문에서는 위성 단말의 p 에 대한 정보는 주기적으로 TBTP 통하여 위성 네트워크 제어 센터가 전송해준다고 가정한다.

제안하는 프로토콜에서는 TCP에서 전송률이 NC-R 패킷 전송에 의해서 감소된다. 그러므로 임계값 δ 이상의 패킷손실률에 대해서만 NC-R 패킷 전송을 수행한다.

IV. 성능분석

본 장에서는 제안한 프로토콜의 성능을 분석해 본다. 제안한 프로토콜의 성능 분석을 위하여 event driven 시뮬레이터를 MATLAB을 사용하여 구현하였고, 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다^[13-16].

그림 3은 패킷 손실이 없는 환경에서 제안한 프로토콜을 사용했을 때 TCP 혼잡제어윈도우 값과 TCP Reno, TCP Hybla가 사용되었을 경우의 TCP 혼잡제어윈도우 값의 변화를 시뮬레이션 수행시간에 따라 비교한 것을 보여준다^[13-14]. 그림 3을 살펴보면 TCP Reno와 TCP Hybla는 최대 TCP 혼잡제어윈도우에 다다르기까지 slow start와 congestion avoidance기법을 사용하여 많은 시간이 소비 되는 것을 볼 수 있다. 이는 short-lived TCP 세션의 성능에 부정적인 요인으로 작

표 1. 시뮬레이션 파라미터.
Table 1. Simulation parameter.

| 파라미터 | 값 | |
|------------------------|-----------|-------|
| 헤더크기 (TCP/IP) | 40bytes | |
| 헤더크기 (링크단) | 10bytes | |
| 패킷 크기 (TCP) | 1024bytes | |
| RTT (위성링크) | 500ms | |
| RTT (유선링크) | 100ms | |
| RTT_0 | 서비스 등급 A | 100ms |
| | 서비스 등급 B | 300ms |
| | 서비스 등급 C | 500ms |
| Superframe size (위성링크) | 500ms | |
| α | 5% | |
| δ | 10^{-3} | |

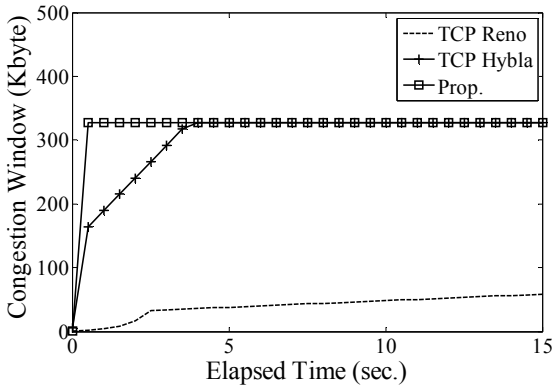


그림 3. DVB-RCS 네트워크에서 TCP 혼잡제어윈도우.
Fig. 3. TCP CWND in DVB-RCS networks.

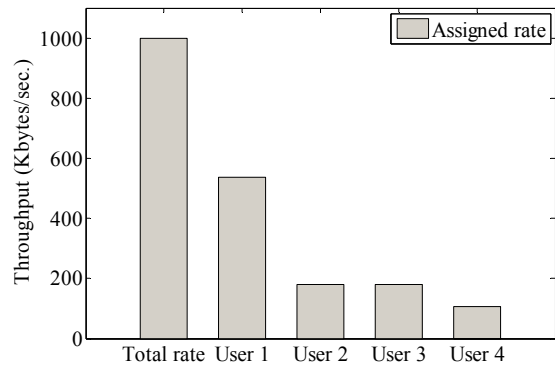


그림 5. DVB-RCS 네트워크에서 서비스 등급에 따라 할당 받는 자원.

Fig. 5. Assigned rate according to the service rank in DVB-RCS networks.

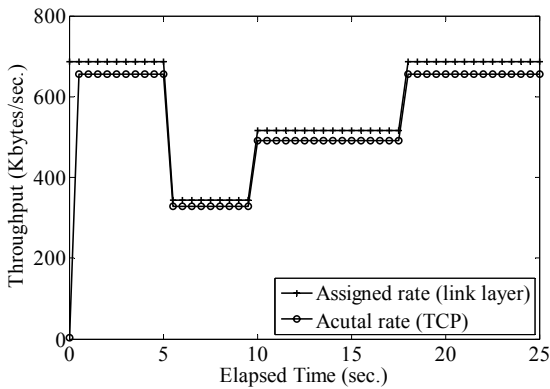


그림 4. TCP 세션 i 에 대한 DVB-RCS 네트워크에서 TCP 데이터 처리율.

Fig. 4. TCP throughput for TCP session i in DVB-RCS Networks.

용할 수 있다. 하지만 제안하는 프로토콜은 위성자원 할당 정보를 바로 사용하기 때문에 사용가능한 TCP 혼잡제어윈도우를 slot start와 congestion avoidance 기법에 의해서 조사할 필요 없이 TCP에서 바로 최대 이용가능한 TCP 혼잡제어윈도우 값을 사용할 수 있다.

그림 4는 패킷 손실이 없는 환경에서 TCP 세션 i 에 게 할당된 자원 양 ϕ_i 과 실제 TCP에서 데이터 전송 처리율을 나타낸다. 시뮬레이션에서는 할당된 자원 양 ϕ_i 이 시뮬레이션 시간에 따라 동적으로 변화한다고 가정하였다. 그림 4에서 보는 것과 같이 제안한 프로토콜에서는 프로토콜의 오버헤드 때문에 할당된 자원보다는 조금 낮은 TCP 데이터 전송 처리율을 보이지만 이용할 수 있는 자원을 최대한으로 사용하는 것을 살펴 볼 수 있다.

그림 5는 사용자의 서비스 등급에 따라 할당 받는 자원 양을 나타낸 그래프이다. 시뮬레이션에서는 사용자

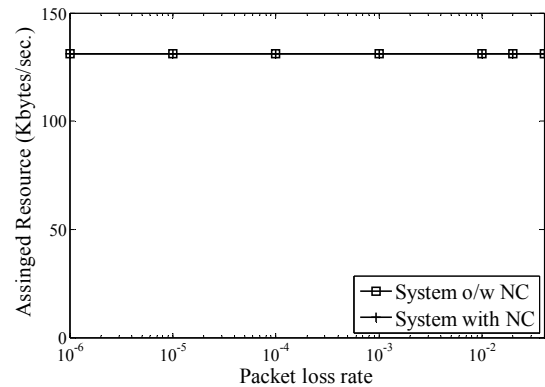


그림 6. DVB-RCS 네트워크에서 패킷 손실에 따른 할당 받은 자원량.

Fig. 6. Assigned rate according to the packet loss in DVB-RCS networks.

1은 등급 A, 사용자 2와 3은 등급 B, 그리고 사용자 4는 등급 C의 서비스를 사용하고 각각 한 개의 TCP 세션을 사용하고 있다고 가정한다. 그리고 위성 단말이 할당 받은 자원은 1Mbytes/sec.로 가정했다. 그림에서 보는 것과 같이 서비스 등급이 높은 사용자의 TCP 세션에 가장 많은 자원이 할당 되어 서비스 등급에 따른 QoS를 보장해 주는 것을 살펴볼 수 있다.

그림 6과 7은 각각 위성 링크에서 패킷 손실률에 따른 자원 할당량과 TCP 데이터 처리율을 나타낸다. 시뮬레이션에서는 패킷 손실률을 보상하기 위해 NC-R 패킷 전송이 사용되었고, TCP 세션에 할당된 ϕ_i 는 136.5Kbytes/sec.로 가정하였다. 시뮬레이션에서 임계값 δ 는 TCP 데이터 처리율 성능이 패킷 손실률이 10^{-3} 이

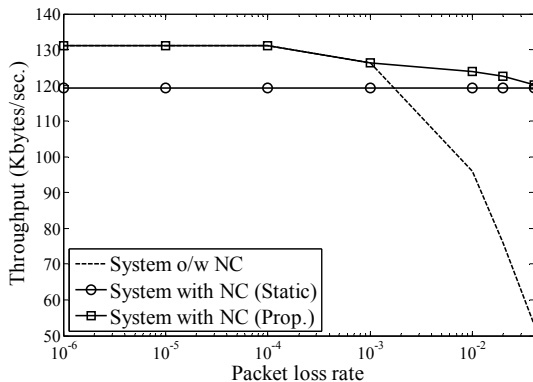


그림 7. DVB-RCS 네트워크에서 NC-R 패킷 전송 사용 시 TCP 데이터 처리율.

Fig. 7. TCP throughput with the transmission of NC-R packets in DVB-RCS networks.

상일 때부터 급격하게 저하되므로 10^{-3} 으로 설정했다. 그림 6에서 보는 것과 같이 제안하는 프로토콜에서는 위성 단말 간 자원 할당 공평성을 고려하여 NC-R 패킷 전송을 위한 추가적인 자원할당은 하지 않기 때문에 패킷 손실률에 따른 자원할당 양은 NC-R 패킷 전송을 사용해도 변하지 않는다. 그림 7에서는 제안하는 프로토콜과 NC-R 패킷 전송이 사용되지 않는 기존 TCP와 고정된 수의 NC-R 패킷 전송이 사용될 때 TCP 데이터 처리율을 비교하였다. 고정된 수의 NC-R 패킷 전송에서 사용된 β 값은 10%이다. 결과에서 보는 것과 같이 패킷 손실이 발생하는 환경에서는 NC-R 패킷 전송을 적용했을 경우 NC-R 패킷 전송이 손실된 패킷을 복구해 주기 때문에 TCP 데이터 처리율이 향상되는 것을 살펴볼 수 있다. 하지만 고정된 수의 NC-R 패킷 전송을 사용하면 패킷 손실이 발생하지 않는 환경에서도 NC-R 패킷을 전송하기 때문에 불필요한 오버헤드가 발생한다. 하지만 제안한 프로토콜에서는 위성 링크의 패킷 손실에 따라 전송하는 NC-R 패킷 수를 조절하기 때문에 불필요한 오버헤드 없이 할당된 자원 내에서 패킷 손실을 복구하면서 최대한의 TCP 데이터 처리율을 보장하는 것을 살펴볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 DVB-RCS 네트워크에서 cross-layer 및 네트워크 코딩 기반 PEP 기술을 제안하였다. 또한, 성능 분석을 통하여 DVB-RCS 시스템에서 제안한

PEP 기술의 성능을 평가하였다. 성능 분석 결과 제안한 PEP 기술은 사용가능한 위성 자원을 최대한 사용하는 것을 살펴 볼 수 있었고, 패킷 손실이 발생 할 수 있는 이동형 단말이 존재하는 경우에도 불필요한 오버헤드 없이 할당된 자원 내에서 패킷 손실을 복구하면서 최대한의 TCP 데이터 처리율을 보장하는 것을 살펴 볼 수 있었다. 그러므로 본 논문에서 제안한 PEP 기법은 DVB-RCS 네트워크에서 TCP의 성능을 향상할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] M. P. Anastasopoulos, T. Taleb, P. G. Cottis, and M. S. Obaidat, "Feedback Suppression in Multicast Satellite Networks Using Game Theory," *IEEE Systems Journal*, vol. 6, no. 4, pp. 657 - 666, 2012.
- [2] C. Caini, R. Firrincieli, and D. Lacamera, "PEPsal: A Performance Enhancing Proxy for TCP Satellite Connections," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 22, no. 8, pp. B - 9 - B - 16, 2007.
- [3] P. Davern, N. Nashid, C. J. Sreenan, and A. Zahran, "HTTPEP: a HTTP Performance Enhancing Proxy for Satellite Systems," *International Journal of Next Generation Computing (IJNGC)*, vol. 2, 2011.
- [4] M. Luglio, C. Roseti, and F. Zampognaro, "Performance Evaluation of TCP-based Applications over DVB-RCS DAMA Schemes," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, vol. 27, no. 3, pp. 163 - 191, 2009.
- [5] P. ManKyu and O. DeockGil, "Cross-layer design for improving TCP PEP performance in DVB-RCS2 networks," in *Proc. IEEE ICTC*, 2013, pp. 846-847.
- [6] F. Peng, L. Wu, and V. C. M. Leung, "Cross-layer Enhancement of TCP Split-connections over Satellites Links," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, vol. 24, no. 5, pp. 405 - 418, 2006.
- [7] M. Luglio, F. Zampognaro, T. Morell, and F. Vieira, "Joint DAMATCP Protocol Optimization Through Multiple Cross Layer Interactions in DVB RCS Scenario," in *Proc. IEEE IWSSC 2007*, Sep. 2007.
- [8] "XPLIT: A Cross-layer Architecture for TCP Services over DVBS2/ETSI QoS BSM," *Computer*

- Networks, vol. 56, no. 1, pp. 412 - 434, 2012.
- [9] J. K. Sundararajan, D. Shah, M. Medard, S. Jakubczak, M. Mitzenmacher, and J. Barros, "Network Coding Meets TCP: Theory and Implementation," Proceedings of the IEEE, vol. PP, no. 99, pp. 1 - 23, 2011.
- [10] 이규환, 김재현 "위성 통신에서 신뢰성 향상을 위한 랜덤 선형 네트워크 코딩 기술," 한국통신학회논문지, 제 38권 B호, pp.700-706, 2013년 9월.
- [11] "Digital Video Broadcasting (DVB);Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2);Part 2: Lower Layers for Satellite standard," ETSI EN 301 545-2, pp. 1 - 195, 2012.
- [12] D. K. Petraki, M. P. Anastasopoulos, and P. G. Cottis, "Dynamic resource allocation for DVB-RCS networks," International Journal of Satellite Communications and Networking, vol. 26, no. 3, pp. 189 - 210, 2008.
- [13] C. Caini and R. Firrincieli, "TCP Hybla: a TCP enhancement for heterogeneous networks," International Journal of Satellite Communications and Networking, vol. 22, no. 5, pp. 547 - 566, 2004.
- [14] M. Allman, V. Paxson, and W. Stevens, "TCP Congestion Control," RFC 2581, 1999.
- [15] "Digital Video Broadcasting (DVB);Generic Stream Encapsulation (GSE) Protocol," ETSI TS 102 606, pp. 1 - 25, 2007.
- [16] A. Munari, G. Acar, C. Kissling, M. Berioli, and H. P. Lexow, "Multiple access in DVB-RCS2 user uplinks," International Journal of Satellite Communications and Networking, pp. 1 - 18, 2013.

저 자 소 개



이 규 환(학생회원)
2007년 아주대학교 전자공학부
졸업
2007년~현재 아주대학교 전자공
학과 석/박사 통합과정
<주관심분야 : 네트워크 코딩, 위
성통신, WLAN, 무선망 QoS,
Ad-hoc, Mesh network 등>



정 현 기(학생회원)
2013년 아주대학교 전자공학부
졸업
2013년~현재 아주대학교
전자공학과 석사과정
<주관심분야 : 위성 통신, WAN/
위 성통신 가속기 등>



김 재 현(평생회원)
1987년~1996년 한양대학교 전산
과 학사 및 석/박사 졸업
1997년~1998년 미국 UCLA 전기
전자과 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 기술네
트워크, 위성시스템 등>