

랜덤 선형 네트워크 코딩을 이용한 위성 통신 성능 향상 연구

이규환^o, 김재현

아주대학교 전자공학과

A Study on Random Linear Network Coding to Improve the Performance of the Satellite Communication

Kyu-Hwan Lee^o and Jae-Hyun Kim

Department of Electronics Engineering, Ajou University

{lovejiyoon7 and jkim}@ajou.ac.kr

요 약

본 논문에서는 위성 통신 성능 향상을 위한 랜덤 선형 네트워크 코딩 적용 기술을 제안한다. 제안하는 프로토콜에서는 네트워크 코딩된 여분의 패킷을 전송하여 만약 데이터 패킷이 무선 채널 에러에 의해 손실되었다 할지라도 복구 할 수 있다. 시뮬레이션 결과, 제안하는 프로토콜은 여분의 네트워크 코딩 된 패킷 전송으로 TCP 발신자에 보고되는 패킷 손실률을 감소시켜 기존 TCP 기술보다 처리율 측면에서 우수한 성능을 나타내는 것을 살펴 볼 수 있었다.

1. 서론

위성 통신은 하나의 위성이 중계할 수 있는 통신 범위가 광범위하고 동시에 넓은 지역에 있는 다수의 가입자에게 방송을 할 수 있기 때문에 군사적으로나 상업적으로 많이 이용되고 있다. 하지만 일반적으로 통신에 사용되는 위성은 정지위성으로 매우 긴 전송 지연 시간을 가지고 있고, 패킷 손실률도 크기 때문에 위성 네트워크에서는 기존의 전송 제어 프로토콜의 성능이 크게 저하될 수 있다. 그러므로 위성 네트워크에서 전송 제어 프로토콜의 성능을 향상하기 위하여 많은 PEP (Performance Enhancement Proxy) 연구들이 수행되었다 [1]-[2]. PEP는 네트워크 에이전트로 종단 간 통신의 성능을 향상하기 위해 사용되며 일반적으로 기지국이나 위성 모뎀에 적용된다. 하지만 기존연구에서는 패킷 손실을 보상할 수는 없기 때문에 성능향상에 한계가 있다.

네트워크 코딩은 무선 환경에서 멀티캐스트뿐만 아니라 유니캐스트 응용에도 기존의 라우팅 방식을 사용했을 경우보다 더 나은 네트워크 처리량을 제공할 뿐 아니라 통신의 신뢰성을 제공 있다. 그러므로 네트워크 코딩을 전송 제어 프로토콜에 적용한 TCP/NC 프로토콜을 이용하면 패킷 전송 신뢰성을 향상할 수 있기 때문에 위성네트워크에서 전송 제어 프로토콜의 성능이 저하되는 문제점을 해결하기

위한 하나의 방책 될 수 있다 [3]. TCP/NC 프로토콜은 랜덤 선형 네트워크를 이용하여 전송 제어 프로토콜로 보고되는 패킷 손실을 감추고, 여분의 네트워크 코딩된 패킷을 전송하여 패킷 손실을 보상하기 때문에 전송 제어 프로토콜의 성능을 크게 향상할 수 있다. TCP/NC에서는 발생한 패킷 손실은 좀더 긴 패킷 왕복 시간으로 변환되기 때문에 패킷 왕복 시간으로 전송률을 제어하는 TCP-Vegas 프로토콜과 함께 사용하는 것이 적합하다 [4]. 하지만 일반적으로 많이 사용되는 TCP-Reno 프로토콜은 네트워크 혼잡 발생 시 ACK 패킷을 이용하여 전송률을 제어하기 때문에 TCP/NC를 사용하게 된다면 매체접근제어 계층에서 버퍼 오버 플로우가 발생 할 수 있다.

그러므로 본 논문에서는 위성네트워크에서 긴 전송지연과 높은 패킷 손실을 극복하여 패킷 전달 신뢰성을 향상하고 기존의 전송 제어 프로토콜과 호환되어 동작하는 네트워크 코딩이 적용된 PEP 기술을 제안한다.

2. 제안하는 프로토콜

본 장에서는 제안하는 프로토콜의 시스템 모델과 동작 과정에 대하여 살펴본다. 본 논문에서는 제안하는 프로토콜을 NC-PEP (Network-Coded PEP)라고 명칭 한다.

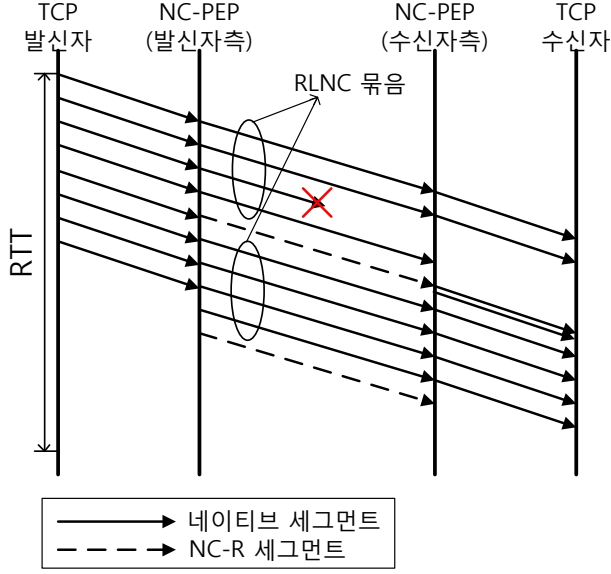


그림 1. 제안하는 프로토콜의 동작과정

본 논문에서 시스템 모델은 TCP 발신자와 수신자, 그리고 2 개의 NC-PEP 로 구성되어 있다. TCP 발신자와 수신자는 일반적으로 사용하는 TCP Reno 프로토콜을 사용하며, NC-PEP 에 유선 링크로 연결되어 있다. NC-PEP 들은 위성링크로 연결되어 있는 구조이다. 본 연구에서 관련된 용어는 다음과 같다.

1) 네이티브 세그먼트: 가공되지 않은 순수한 TCP 세그먼트를 의미한다.

2) 여분의 네트워크 코딩 (Network-coded redundancy(NC-R)) 세그먼트: 랜덤 선형 네트워크 코딩을 이용하여 네이티브 세그먼트로부터 생성한 세그먼트이다. NC-PEP 에서 위성 링크에서 신뢰성을 향상하기 위하여 추가적으로 전송하는 세그먼트이다.

3) B and R : NC-PEP 에서 B 는 랜덤 선형 네트워크 코딩 묶음의 크기이다. R 은 랜덤 선형 네트워크 코딩 묶음으로부터 생성하는 NC-R 세그먼트의 수이다. 그러므로 한 라운드에 R 개의 NC-R 세그먼트가 B 개의 네이티브 세그먼트로부터 수식 1 과 같이 생성이 된다. X_k 와 Y_l 는 각각 네이티브와 NC-R 세그먼트를 의미하고, C 는 계수행렬이다. 이때 $1 \leq k \leq B$, $1 \leq l \leq R$ 이다. 계수행렬 C 에서 $\alpha_{i,j}$ 는 q 크기의 유한필드 F_q 에서 추출된다[5]. 이때 $1 \leq i \leq R$, $1 \leq j \leq B$ 이다. 계수행렬의 행벡터는 각각의 NC-R 세그먼트의 계수집합을 의미하고 NC-R 세그먼트의 헤더의 형태로 수신 측 NC-PEP 에 전달된다.

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_R \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_B \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} \alpha_{1,1} & \dots & \alpha_{1,B} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{R,1} & \dots & \alpha_{R,B} \end{bmatrix} \quad (1)$$

NC-PEP 의 동작과정은 그림 2 와 같다. 그림 2 에서 화살표는 네이티브 세그먼트의 전송을 의미하고, 점선 화살표는 NC-R 세그먼트의 전송을 의미한다. 자세한 동작과정은 다음과 같다.

1) 발신 측 NC-PEP: 발신 측 NC-PEP 에서는 네이티브 세그먼트를 수신 측 NC-PEP 에 전달하고, NC-R 세그먼트의 생성 및 전송을 위하여 인코딩 대기행렬에 저장한다. 인코딩 대기행렬에 B 만큼의 네이티브 세그먼트가 축적되면, 발신 측 NC-PEP 는 NC-R 세그먼트를 생성하여 수신 측 NC-PEP 에 전송한다. NC-R 세그먼트는 (1)에 의해서 생성된다.

2) 수신 측 NC-PEP: 수신 측 NC-PEP 에서는 네이티브 세그먼트를 TCP 발신자에게 전달하고, RLNC 를 이용한 손실 된 네이티브 세그먼트의 복구를 위하여 디코딩 대기행렬에 세그먼트를 저장한다. 네이티브 세그먼트가 위성링크에서 손실되면 NC-PEP 는 NC-R 세그먼트의 수신을 기다렸다가 (2)에 의해서 손실 된 세그먼트를 복구한다. Y_n 은 수신 측 NC-PEP 에서 수신한 네이티브와 NC-R 세그먼트이다. 이때 $1 \leq n \leq V, B \leq V \leq B+R$ 이다. 계수행렬 C_R 은 네이티브 세그먼트의 순서번호와 NC-R 세그먼트에 coefficient set 을 통하여 구축이 가능하고, 수신 측 NC-PEP 에서는 계수행렬 C_R 의 역행렬을 Gauss-Jordan elimination 을 이용하여 계산할 수 있다. 예를 들면, B 가 5 이고 R 이 2 일 때, 네이티브 세그먼트 중에 2 번째와 5 번째 네이티브 세그먼트가 손실되고 NC-R 세그먼트에 의해서 복구된다고 할 때, 수신 측 NC-PEP 에서 수식은 (3)과 같다. NC-R 세그먼트를 통한 패킷 복구 과정에서, 손실 된 세그먼트 뒤에 성공적으로 수신한 네이티브 세그먼트들은 패킷 순서 뒤바뀐 현상을 해결하기 위하여 대기행렬에 저장만하고 TCP 수신자에게는 전달하지 않는다. 만약 손실된 세그먼트들이 NC-PEP 에서 NC-R 세그먼트를 통하여 복구가 불가능하게 되면 TCP 수신자에게 전송하지 않은 대기행렬의 네이티브 세그먼트들을 TCP 의 세그먼트 빠른 재전송과 빠른 복구 알고리즘의 동작을 위하여 TCP 수신자에게 전송된다.

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_B \end{bmatrix} = C_R^{-1} \begin{bmatrix} Z_1 \\ \vdots \\ Z_U \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{bmatrix} = C_R^{-1} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_3 \\ Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix}, \quad C_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \alpha_{1,1} & \alpha_{1,2} & \alpha_{1,3} & \alpha_{1,4} & \alpha_{1,5} \\ \alpha_{2,1} & \alpha_{2,2} & \alpha_{2,3} & \alpha_{2,4} & \alpha_{2,5} \end{bmatrix} \quad (3)$$

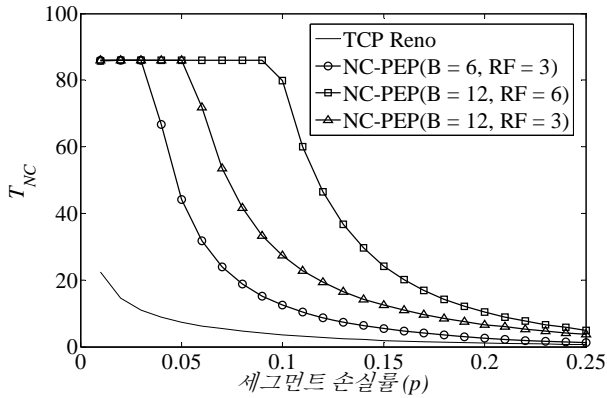


그림 2. NC-PEP 를 적용한 위성 네트워크에서 평균 TCP 처리율

3. 성능분석

본 논문에서는 TCP 세그먼트 크기를 1500bytes 로 가정하고 TCP timeout 값을 1.5 초로 가정하였다[6]. 위성 링크의 전송률은 100Mbps 로 가정했다. 그림 2 는 NC-PEP 를 적용하였을 경우에 TCP 처리율을 나타낸다. RF 는 B/R 을 의미한다. 그림 2 에서 보는 것과 같이 NC-PEP 가 기존의 TCP 기법보다 TCP 처리율을 증가할 수 있는 것을 살펴 볼 수 있다. 한 NC-PEP 적용 시 최적의 TCP 처리율을 달성하려면 최대한 큰 B 를 선택하고 세그먼트 손실률에 따라 RF 를 선택하는 것이 중요하다는 것을 살펴 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 위성 통신의 성능을 향상하기 위한 네트워크 코딩 적용 기술을 제안했다. 제안한 NC-PEP 는 NC-R 세그먼트의 전송으로 위성 통신에서 패킷 전달 신뢰성을 향상하여 기존 TCP 보다 TCP 처리율 성능이 향상하는 것을 살펴 볼 수 있었다. 그러므로 본 논문에서 제안한 NC-PEP 는 위성 통신의 성능을 향상 할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

※ 이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0010967)

※ 본 논문은 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab)으로부터 지원받아 수행됨 (2011-0030866)

5. 참고 문헌

[1] I. F. Akyildiz, G. Morabito, and S. Palazzo, "TCP-Peach: a new congestion control scheme for satellite IP networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 9, pp. 307-321, 2001.

[2] M. Ivanovich, P. Bickerdike, and J. Li, "On TCP performance enhancing proxies in a wireless environment," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, pp. 76-83, 2008.

[3] 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, pp. 1-23, 2011.

[4] L. S. Brakmo and L. L. Peterson, "TCP Vegas: end to end congestion avoidance on a global Internet," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, pp. 1465-1480, 1995.

[5] T. Ho, M. Medard, R. Koetter, D. R. Karger, M. Effros, S. Jun, and B. Leong, "A Random Linear Network Coding Approach to Multicast," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 52, pp. 4413-4430, 2006.

[6] M. Allman, V. Paxson and W. Stevens, "TCP Congestion Control," *RFC 2581*, 1999.