

대역폭 절감을 고려한 다중 경로 전송

최선오⁰ 변상선 유혁
고려대학교 컴퓨터학과
{sochoi⁰, ssbyun, hxy}@os.korea.ac.kr

Multi Path Transmission for Reducing Bandwidth Consumption

Sunoh Choi⁰, Sangseon Byun, Chuck Yoo
Department of Computer Science and Engineering, Korea University

요 약

현재의 인터넷은 고품질의 스트리밍 서비스와 늘어나는 가입자를 모두 수용할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Multi Path와 Multiple Description Coding (MDC) 를 사용하는 스트리밍 기법이 제안되었다. 그러나 MDC는 전체 네트워크에서 추가적인 대역폭 요구가 발생한다. 이 논문에서는 소스 노드에서 MDC 인코딩을 하는 것이 아니라 혼잡이 예상되는 지점에서 MDC로 트랜스코딩을 함으로써 대역폭이 낭비되는 문제를 해결한다.

1. 서론

인터넷의 발전에 따라 AOD, VOD, 화상회의와 같은 스트리밍 서비스 또한 많은 수요를 보여주고 있다. 그러나 높은 서비스 품질에 비하여 현재 인터넷의 가용 대역폭이 부족하여 현재의 single path routing 방식으로는 늘어나는 서비스 요구를 감당할 수 없다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 Multi Path를 이용하는 스트리밍 방식이 제안되었다. Multi Path를 사용하면 각 경로의 대역폭을 합하여 원본 스트림을 전송하기에 충분한 대역폭을 제공할 수 있게 된다. 그러나 패킷 손실이 있는 네트워크에서는 하나 이상의 경로의 스트림이 손상되면 원본 스트림으로 디코딩할 수 없는 단점이 있다.

이 문제를 해결하기 위하여 Multiple Description Coding (MDC)와 Multi Path를 함께 이용하는 기법이 제안되었다. MDC는 원본 스트림을 기본 프레임과 추가정보를 포함하는 몇 개의 스트림으로 인코딩하고 MDC로 인코딩된 스트림들을 디코딩하여 원본 스트림을 복원한다. MDC의 중요한 특징은 패킷 손실이 있는 네트워크에서 하나 이상의 스트림이 손실될지라도 수신측에서 디코딩할 수 있다는 것이다.

그러나 MDC는 기본 프레임 뿐만 아니라 추가정보를 필요로 하므로 약 20%의 추가 대역폭을 요구한다. 따라서 송신 노드에서 MDC를 사용하여 트랜스코딩 하는 것은 전체 네트워크에서 대역폭을 낭비하는 문제가 발생한다. 이 논문에서는 그러한 문제를 완화시키기 위한 기법을 제안한다. 즉, 소스노드에서 MDC로 인코딩하지 않고 혼잡이 예상되는 지점에 위치한 서버 또는 peer가 MDC로 트랜스코딩을 수행하는 것이다. 이 논문의 나머지는 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 다중 경로 전송과

MDC에 대하여 간략히 소개하고 대역폭 절감을 고려한 다중 경로 전송 기법을 제안한다. 그리고 3장에서는 소스 노드에서 인코딩한 것과 혼잡 지점에서 트랜스코딩한 결과를 비교하는 시뮬레이션을 수행하였다. 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 연구계획을 보여준다.

2. 대역폭 절약을 위한 다중 경로 전송

2.1 Multi Path Transmission

혼잡한 노드를 지나게 될 때 패킷들이 손실되게 된다. 이러한 패킷의 손실은 멀티미디어 스트리밍의 품질 저하 또는 재생 불가 문제를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 path diversity를 사용할 수 있다. 즉, 송신자와 수신자 간에 하나의 경로만을 사용하는 것이 아니라 여러 개의 독립적인 경로를 통해 분산 스트리밍을 하는 것이다[1].

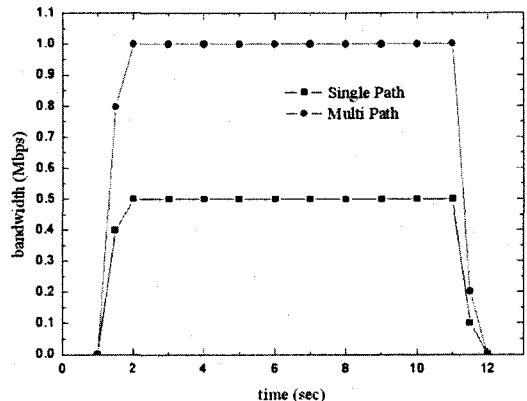


그림 1. Single Path와 Multi Path를 사용한 결과

본 연구는 산업자원부의 성장동력사업 지원으로 수행되었음.
(과제번호 10016756)

그림 1은 NS2를 이용한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 스트리밍을 위하여 1Mbps의 대역폭이 필요하다고 가정하고, 송신자와 수신자간에 500Kbps의 대역폭을 가지는 두 개의 경로가 있다고 가정할 때, single path를 사용할 경우에는 패킷이 손실되게 된다. 그러나 두 개의 경로를 사용하게 될 때에는 1Mbps의 대역폭을 확보할 수 있게 된다.

2.2 Multiple Description Coding (MDC)

MDC는 원본 스트리밍을 몇 개의 스트리밍으로 트랜스코딩하는 것이다[2]. MDC로 코딩된 각각의 스트리밍은 독립적으로 디코딩할 수 있다. 따라서 여러 스트리밍 중 하나 이상의 스트리밍이 손상되었을 경우에도 수신 노드에서 수신한 스트리밍을 디코딩할 수 있게 된다. 그리고 정상적으로 수신되는 스트리밍의 수가 많을수록 품질은 더 좋아진다.

패킷의 크기가 1250 byte 라고 하면 MDC로 트랜스코딩을 할 때 헤더를 위하여 250 byte 가 추가로 필요로 된다. 스트리밍 bit rate 가 R 이고 GOF duration 이 G 이며 패킷 크기가 P 일 때 트랜스코딩을 한 후 스트리밍의 수를 M 이라고 하면

$$M = GR / P$$

가 된다. stream bit rate(R)이 160 Kbps 이고 패킷 크기(P)가 1250 byte 이고 GOF duration(G)가 1 second 일 때 트랜스코딩을 한 후 스트리밍의 수(M)은 16 이 된다. 이 스트리밍의 수가 필요한 multi path의 수를 의미하는 것은 아니다. Multi path의 수가 2 라면 하나의 경로에 8 개의 스트리밍이 분배된다.

2.3 대역폭 절감을 고려한 다중 경로 전송 기법

기존의 연구에서는 송신노드에서 Multi Path와 MDC를 사용하여 원본 스트리밍을 트랜스코딩 하였다. 그러나 MDC를 사용할 경우에는 약 20%의 대역폭을 추가로 필요로 하게 되므로 송신노드에서 트랜스코딩을 하는 것은 전체 네트워크에서 대역폭을 낭비하는 결과를 가져오게 된다[3]. 따라서 이 논문에서는 혼잡이 예상되는 노드에서 트랜스코딩을 하는 것을 제안한다. 이것은 송신노드와 혼잡이 발생하는 혼잡 노드 사이의 구간에서의 대역폭 낭비를 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

예를 들어 원본 토폴로지가 그림 2의 (a)와 같다면 노드 1에서 Multi Path를 사용할 경우 그림 2의 (b)와 같이 1-2-3-7 과 1-5-6-7 의 두 개의 경로를 사용하게 된다. 그리고 노드 4에서 트랜스코딩을 할 경우에는 그림 2의 (c)와 같이 1-4 구간에는 원본 스트리밍이 지나가게 되고 트랜스코딩된 스트리밍은 4-3-7 과 4-6-7 의 2개의 경로를 사용하여 보내게 된다.

원본 스트리밍이 1000Kbps의 대역폭을 필요로 한다고 하면 MDC로 트랜스코딩된 스트리밍은 대략 1200Kbps의 대역폭을 필요로 하게 된다. 그리고 2개의 multi path를 사용한다고 하면 하나의 경로로 지나가는 스트리밍은

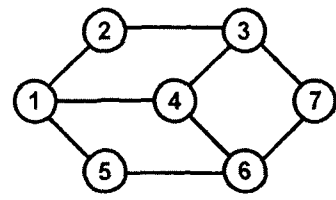
600Kbps의 대역폭을 필요로 한다. 그림 2의 (b)의 전체 네트워크에서 필요로 되는 대역폭의 총량을 Bs 라고 하면 총 6개의 링크가 사용되므로

$$Bs = 600 \times 6 = 3600 \text{ (Kbps)}$$

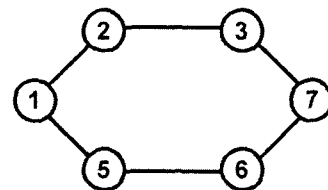
의 대역폭이 필요로 된다. 그리고 그림 2의 (c)의 전체 네트워크에서 요구되는 대역폭의 총량을 Bc 라고 하면 1000Kbps 의 대역폭을 필요로 하는 1-4 링크와 600Kbps 의 대역폭을 필요로 하는 4개의 링크가 있으므로

$$Bc = 1000 + 600 \times 4 = 3400 \text{ (Kbps)}$$

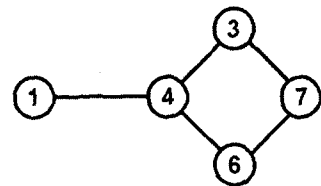
의 대역폭이 필요로 된다. 따라서 (b)와 (c)는 200Kbps의 대역폭 차이를 나타내게 되는데, 이것은 (b)와 (c)에서 트랜스코딩을 하는 노드가 하나의 홉의 차이가 나기 때문이며, 트랜스코딩 하는 노드의 홉 수의 차이가 클수록 전체 네트워크에서 낭비되는 대역폭의 차이는 더 커질 것이다.



(a) 원본 토폴로지



(b) 노드 1에서 multi path를 사용하는 경우



(c) 노드 4에서 multi path를 사용하는 경우

그림 2. 원본 토폴로지와 노드 1과 4에서 각각 multi path를 사용하는 경우

송신 노드에서 수신 노드까지의 링크의 길이가 n 이라고 하고 수신 노드에서 혼잡 노드까지의 링크의 길이를

k 라고 하면 송신 노드에서 혼잡 노드까지의 링크의 길이는 n-k 가 된다. 그리고 원본 스트림이 필요로 하는 대역폭이 t 라고 하고 MDC로 트랜스코딩 하였을 때 추가로 필요로 되는 대역폭이 20% 라고 하고 2개의 Multi Path를 사용한다고 하면 이 경우에 송신 노드에서 트랜스코딩을 할 때 필요로 되는 전체 네트워크에서의 대역폭의 총량을 Bs 라고 하면 2n 개의 링크가 필요하므로

$$B_s = (1.2 \times t) / 2 \times (2 \times n) = 1.2tn$$

이 되고 혼잡 노드에서 트랜스코딩을 할 때 전체 네트워크에서 필요로 되는 대역폭의 총량을 Bc 라고 하면 n-k 개의 단일 링크와 2k개의 링크가 필요하므로

$$B_c = (1.0 \times t) \times (n - k) + (1.20 \times t) / 2 \times (2 \times k) = tn + 1.2tk$$

가 된다. 두 개의 네트워크에서 요구되는 대역폭의 차이는

$$\Delta B = 0.2t(n - k)$$

가 된다. 따라서 송신 노드와 수신 노드 간의 길이(n)가 길고 혼잡 노드와 수신 노드 사이의 길이(k)가 짧을수록 전체 네트워크에서 필요로 되는 대역폭의 차이가 커지게 된다.

그리고 Bc 에 대한 Bs 의 비율은

$$B_c / B_s = (n + 1.2k) / 1.2n$$

이고 n의 값이 커짐에 따라

$$B_c / B_s \approx 5 / 6$$

이 된다. 송신 노드에서 트랜스코딩을 할 때에 비하여 혼잡 노드에서 트랜스코딩을 할 때 전체 네트워크에서 요구되는 대역폭 양은 20% 정도 감소하게 된다. 따라서 가능한 한 혼잡이 예상되는 노드에 가까운 지점에서 트랜스코딩을 하는 것은 전체 네트워크에서 사용되는 대역폭을 절약하는 효과를 가져 온다.

3. 시뮬레이션

트랜스코딩을 하는 노드의 위치에 따른 전체 네트워크에서 사용되는 대역폭의 양을 비교하는 시뮬레이션을 수행하였다. 이 시뮬레이션에서 stream bit rate는 1Mbps 이고 각 링크의 대역폭은 600Kbps라고 가정하였다. 그리고 multi path 는 shortest edge disjoint multi path를 구하였다.

이것의 결과는 그림 3와 같다. 토폴로지 생성기에 의하여 각각 노드가 2000, 4000, 6000, 8000, 10000개인 네트워크 토폴로지를 생성하고 소스 노드와 목적지 노드를 임의로 선택하고 소스 노드에서 트랜스코딩을 할 때

와 혼잡 노드에서 트랜스코딩을 할 때 필요로 되는 대역폭의 양을 비교하였다. 각 토폴로지 당 20번씩 임의의 소스 노드와 목적지 노드를 선택하여 대역폭을 계산하였다.

시뮬레이션에 의하면 노드의 개수가 2000개인 토폴로지에서는 소스 노드에서 트랜스코딩을 할 때는 7140Kbps의 대역폭이 필요로 되었고 혼잡 노드에서 트랜스코딩을 할 때는 6550Kbps의 대역폭이 필요로 되었다. 따라서 평균적으로 소스 노드에서 트랜스코딩을 하는 것보다 혼잡 노드에서 트랜스코딩 하는 것이 대역폭을 약 10% 가량 절약하는 효과를 보여주었다. 그러나 이것은 이상적인 네트워크 토폴로지에서 계산된 20%의 대역폭 절약 효과와는 차이를 보이게 된다. 이것은 실제적인 네트워크 토폴로지에서는 혼잡 노드와 목적지 노드 사이의 multi path가 더 많은 링크를 거치기 때문이다. 따라서 혼잡노드에서 트랜스코딩을 할 때 필요한 multi path 전체의 대역폭 양이 소스노드에서 트랜스코딩을 할 때의 multi path 대역폭 양보다 크다면 소스노드와 혼잡노드 사이의 경로 상에 있는 다른 노드에서 트랜스코딩을 할 수 있도록 구현하여 시뮬레이션을 수행하였다. 따라서 대역폭의 양이 더 작은 노드를 찾지 못하는 최악의 경우에는 소스노드에서 트랜스코딩을 하는 대역폭의 양과 같게 된다.

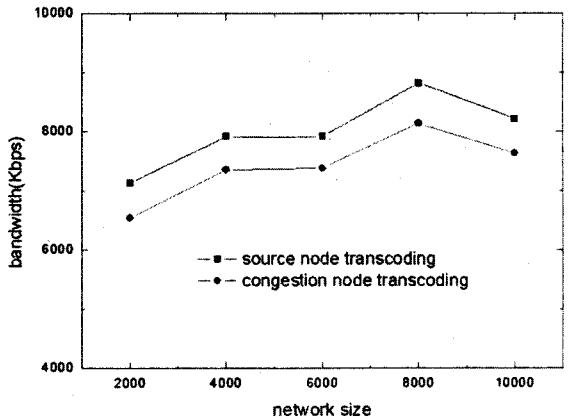


그림 3. 네트워크 크기에 따른 송신 노드에서 트랜스코딩 할 때와 혼잡 노드에서 트랜스코딩 할 때 전체 네트워크에서 사용되는 대역폭의 양

4. 결론 및 향후 연구계획

Multi Path와 MDC를 사용하여 스트리밍 서비스를 위한 대역폭 부족 문제를 해결할 수 있다. 이 논문에서는 송신 노드에서 트랜스코딩을 할 때 전체 네트워크에서 대역폭이 낭비되는 것을 모델링을 통하여 살펴볼 수 있었고 그러한 문제를 해결하기 위하여 가능한 한 혼잡 노드에 가까운 지점에서 트랜스코딩을 할 것을 제안하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 대역폭 절약의 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

이 논문에서는 트랜스코딩을 하는 노드를 소스 노드와 혼잡 노드 사이의 경로 상에 있는 노드를 사용하였다. 그러나 전체 네트워크에서 적절한 노드를 선택하여 이를 core node라 부르고 이 core node에서 트랜스코딩을 할 수 있도록 하는 것은 더 많은 대역폭을 절약할 수 있을 뿐만 아니라 지연 구간이나 전체 대역폭의 양 등 추가적인 조건을 만족시키는 multi path를 구할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

- [1] Jiancong Chen, Gary Chan, Victor O. K. Li, "Multipath Routing for Video Delivery Over Bandwidth-Limited Networks", *IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS*, VOL. 22, NO. 10, DECEMBER 2004
- [2] V. Padmanabhan, H. Wang, P. Chou, "Resilient Peer-to-Peer Streaming", *IEEE International Conference on Network Protocols*, 2003.
- [3] John G. Apostolopoulos, "Error-Resilient Video Compression via Multiple State Streams", *International Workshop on Very Low Bitrate Video Coding, Kyoto, Japan*, October 1999