

효율적인 비디오 스트리밍을 위한 일시적인 확장성을 이용한 품질 적응 기법

(Quality Adaptation with Temporal Scalability for Efficient Video Streaming)

이 선 현 [†] 정 광 수 ^{**}
(Sunhun Lee) (Kwangsoo Chung)

요약 인터넷을 통한 비디오 스트리밍 응용에서 TCP 친화적인 전송률 조절기법은 네트워크의 안정성을 향상시키고 프로토콜간의 형평성을 향상시킨다는 장점을 가진다. 하지만, 네트워크의 안정성 및 프로토콜간의 형평성 향상이 사용자에게 제공되는 스트리밍 서비스 품질의 향상을 의미하진 않는다. 비디오 스트리밍에서 네트워크의 안정성 향상과 동시에 사용자에게 제공되는 서비스 품질의 향상을 위해서는 네트워크 상태를 기반으로, 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 적응적으로 변화시키는 기법이 적용되어야 한다. 본 논문에서는 현재 네트워크의 상태를 기반으로 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절하는 새로운 품질 적응 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 기법은 현재 네트워크 상태에 적합한 TCP 친화적인 전송률을 계산하고, 이를 기반으로 전송되는 비디오 스트림의 프레임율을 조절함으로써 네트워크 상태에 적응적으로 전송률 및 서비스 품질을 조절하게 된다. 실험 결과를 통해서 제안하는 기법이 네트워크의 안정성을 향상시키고 동시에 네트워크 상태 적응적인 품질 변화를 통해 사용자에게 끊임없이 부드러운 스트리밍 서비스를 제공할 수 있음을 확인할 수 있었다.

키워드 : 비디오 스트리밍, 품질 적응 기법, 전송률 조절기법

Abstract In video streaming applications over the Internet, TCP-friendly rate control schemes are useful for improving network stability and inter-protocol fairness. However it does not always guarantee a smooth quality for video streaming. To simultaneously satisfy both the network and application requirements, video streaming applications should be quality-adaptive. In this paper, we propose a new quality adaptation mechanism to adjust the quality of congestion controlled video stream by controlling the frame rate. Based on the current network condition, it controls the frame rate and sending rate of video stream. Through the simulation, we prove that our adaptation mechanism appropriately adjusts the quality of video stream while improving network stability.

Key words : Video streaming, Quality adaptation, Rate control

1. 서론

오늘날 인터넷에서 오디오나 비디오 데이터를 포함하는 스트리밍 응용의 사용이 증가하고 있다. WWW(World Wide Web)이나 FTP(File Transfer Protocol)와 같은 기존 인터넷의 주요 트래픽들은 데이터의 신뢰적인 전송을 중요시하여 전송계층 프로토콜로 TCP

(Transmission Control Protocol)를 사용하였으나 VoD(Video on Demand)등의 비디오 스트리밍과 같은 멀티미디어 트래픽들은 데이터의 신뢰적인 전달보다는 지연에 민감한 실시간성을 가지며 어느 정도의 패킷 손실을 허용하는 특성을 가진다. 따라서 이러한 멀티미디어 응용들은 신뢰적인 데이터 전송에 필요한 재전송으로 인해 발생하는 추가적인 지연을 피하기 위해 전송 프로토콜로 주로 UDP(User Datagram Protocol)를 사용해 왔다. 인터넷의 주요 전송프로토콜인 TCP의 경우, 혼잡 제어 메커니즘을 통해 네트워크 혼잡상황이 심해질 경우, 자체적으로 전송률을 감소시키게 되지만, 혼잡제어 메커니즘이 없는 UDP를 전송 프로토콜로 사용할 경우, 네트워크의 가용 대역폭을 점유하는 특징을 가지므로,

· 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음

[†] 학생회원 : 광운대학교 전자통신공학과
sunlee@adams.kw.ac.kr

^{**} 정회원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수
kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2006년 12월 1일
심사완료 : 2007년 3월 19일

네트워크 혼잡상황을 심화시키고 경쟁하는 TCP기반 트래픽의 성능을 급격히 저하시키는 원인이 된다[1].

혼잡제어 메커니즘이 없는, 기존 멀티미디어 전송프로토콜의 단점을 개선하기 위해 1990년대 후반부터 TCP와 친화적으로 전송률을 조절하는 멀티미디어 전송기법에 관한 연구가 활발하게 수행되어 왔다[2-5]. 동일한 네트워크 환경에서 TCP 기반의 트래픽과 non-TCP 기반의 트래픽이 대역폭을 경쟁할 경우, 경쟁 TCP 트래픽이 점유하는 평균 대역폭 이하를 사용하도록 전송률을 조절하는 것을 TCP 친화적(TCP-Friendly)이라 정의할 수 있다[1]. 이러한 TCP 친화적인 전송률 조절 기법은 RTT(Round-Trip-Time)나 패킷 손실률과 같은 네트워크 상태 정보를 기반으로 전송률을 조절하며, 따라서 네트워크의 안정성 향상과 동시에 경쟁하는 TCP 트래픽과의 형평성을 향상시킨다.

멀티미디어 스트림 전송기법에서 혼잡제어를 수행하는 기존의 TCP 친화적인 전송률 조절 기법들은 네트워크 관점의 요구사항만을 고려하므로, 패킷 손실을 줄여 네트워크 안정성을 향상시키고 TCP 트래픽과의 형평성을 향상시킨다는 장점을 가지지만, 스트리밍 응용의 기본적인 요구사항인, 서비스되는 비디오 스트림의 품질에 대한 고려가 부족하다는 한계를 갖는다. 네트워크의 안정성과 다른 트래픽과의 형평성 향상이라는 네트워크 관점의 요구사항과 사용자에게 제공되는 서비스 품질의 향상이라는 사용자 관점의 요구사항을 동시에 고려하기 위해서는 네트워크 상태에 기반한 품질 적응 기법(Quality Adaptation) 적용이 필요하다[6]. 네트워크 상태 기반 품질 적응 기법은 요청된 비디오 스트림의 데이터율과 현재 네트워크의 가용 대역폭 사이의 차이를 완충시키기 위한 기법으로, 일차적으로 TCP 친화적인 방법으로 전송률을 조절하며 이렇게 결정된 전송률을 기반으로 사용자에게 제공되는 비디오 스트림의 품질을 결정하는 기법을 의미한다.

본 논문에서는 인코딩된 비디오 스트림에 대한 스트리밍 서비스를 제공하기 위해, 현재의 네트워크 상태를 기반으로 TCP 친화적인 방법으로 전송률을 조절하는 새로운 품질 적응 기법에 대해서 제안한다. 제안하는 기법은 먼저 네트워크 상태 정보를 이용하여 TCP 친화적인 전송률을 계산하고 이를 기반으로 인코딩된 비디오 스트림의 품질을 결정함으로써 네트워크의 안정성 및 TCP 친화성을 향상시킨다. 또한 네트워크 상태뿐만 아니라 클라이언트에 존재하는 버퍼 상태를 예측하여 비디오 스트림의 서비스 품질을 조절함으로써 사용자에게 끊임없이, 좋은 품질의 스트리밍 서비스를 가능한 오랫동안 제공하게 된다.

본 논문의 2장에서는 스트리밍 전송기법과 관련하여

기존의 관련 연구들과 그 한계를 기술하였고, 3장에서는 새롭게 제안하고자하는 네트워크 상태 변화에 적응하는 비디오 스트림 품질 적응 기법에 대해 상세히 기술하였다. 4장에서는 시뮬레이터를 이용하여 제안하는 기법의 성능 향상을 검증하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺었다.

2. 관련 연구

인터넷 환경에서의 효율적인 비디오 스트림 전송을 위해 기존의 여러 가지 기법들이 제안이 되었다. 본 장에서는 기존에 제안된 비디오 스트림 전송 기법들을 크게 두 가지로 분류하여 각각에 대하여 기술하고, 기존 연구들이 가지는 문제점에 대하여 설명하도록 한다.

2.1 TCP 친화적인 전송률 조절 기법

혼잡제어 메커니즘을 가지지 않는 UDP를 전송프로토콜로 사용하는 비디오 스트리밍 응용에서 네트워크 혼잡상황에 의한 패킷 손실과 전송 지연은 스트리밍 서비스 품질을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 혼잡제어 메커니즘을 적용한 멀티미디어 전송프로토콜에 대한 연구가 진행되었으며, 비디오 스트림의 전송률을 네트워크의 가용 대역폭에 적합하도록 조절함으로써 혼잡상황 발생을 감소시키게 된다[7].

혼잡제어 메커니즘을 적용하여 네트워크 혼잡상황을 예방하고 패킷 손실을 감소시키고자하는 목적을 가졌던, 네트워크 관점의 전송기법들은 단순히 혼잡제어 메커니즘의 적용에서 만족하지 않고, 인터넷의 주요 트래픽인 TCP와의 친화성까지 고려하는 것으로 발전하게 된다. 이러한 연구의 결과로, TCP와 유사한 혼잡제어 메커니즘을 수행하면서 동시에 비디오 스트림 전송에 적합하도록 전송률의 변화를 줄인, RAP나 SQRT, TEAR와 같은 기법들이 제안되게 된다[2-4]. RAP는 TCP와 유사한 혼잡제어 메커니즘을 사용하지만 ACK 기반의 윈도우 조절방식이 아닌 전송률 조절방식을 사용하여 전송률의 변화를 감소시키게 된다. SQRT는 TCP의 AIMD(Additive Increase and Multiplicative Decrease) 기법의 파라미터 값 변경을 통해, 비디오 전송에 적합하도록 전송률의 변화를 줄이게 된다. TEAR는 TCP의 혼잡제어 메커니즘을 수신단에서 수행하여 네트워크 상태에 적합한 전송률을 송신단에 알려줌으로써 TCP 친화적으로 전송률을 조절하는 것으로, 윈도우기반 방식과 전송률기반 방식이 혼합된 형태의 전송 기법이다.

TCP 친화적인 전송률 조절 기법의 대표적인 예는 Padhye가 제안한 TCP 전송률 모델링 공식을 이용하는 TFRC(TCP-Friendly Rate Control) 기법이다. Padhye는 [8]에서, 식 (1)과 같이, 세그먼트 크기 S , 패킷 손실률 p , 중단간 지연 t_{RTT} , 재전송 타임아웃 t_{RTO} 을 이용한

여 TCP 커넥션의 평균 전송률(X)을 계산하는 모델링 공식을 제안하였으며, TFRC 기법은 이러한 Padhye의 공식을 이용하여 비디오 스트림의 전송률을 TCP 친화적으로 조절하게 된다[5].

$$X = \frac{S}{t_{RTT} \sqrt{\frac{2p}{3}} + t_{RTO} (3\sqrt{\frac{3p}{8}}) \times p(1+32p^2)} \quad (1)$$

수신단에서 송신단으로 피드백되는 패킷 손실률, 종단 간 지연, 재전송 타임아웃을 이용하여 TCP 커넥션의 평균 전송률을 계산하는 Padhye의 공식은 동일한 네트워크 환경에서 경쟁하는 TCP 커넥션의 평균 전송률을 비교적 정확하게 추정할 수 있으며, 이러한 장점으로 인해 이후에 제안된 TCP 친화적인 전송률 조절 기법들에서 빈번히 사용되어 왔다[9].

기존의 네트워크 관점으로 접근한 비디오 전송 기법들은 혼잡제어 메커니즘 적용을 통해 패킷 손실률 줄여 혼잡상황을 줄이고, 경쟁하는 TCP 트래픽과 친화적으로 동작하며, 전송률의 변화를 줄여 스트리밍 서비스에 적합하다는 장점을 가진다. 하지만, 최선형(Best-Effort)의 서비스를 제공하는 인터넷 환경에서, 네트워크 정보를 미리 알 수 없으며, 여전히 전송률의 변화가 크게 발생할 수 있다는 문제점을 가진다. 또한 단순히 네트워크 관점에서의 혼잡제어 메커니즘 적용이나 TCP 친화적인 전송률 조절 기법이 실제 서비스되는 비디오 스트림의 품질 향상을 보장하지 않는다는 한계를 가진다[6]. 인터넷을 통한 비디오 스트리밍 응용에서 서비스 품질의 향상을 위해서는 네트워크 상태 변화에 따른 품질 적응 기법 적용이 필요하며 이와 관련한 연구들을 다음의 2.2절에서 설명하도록 한다.

2.2 네트워크 상태기반 품질 적응 기법

인터넷을 통한 비디오 스트리밍에서 네트워크의 안정성을 향상시키면서 사용자에게 제공되는 서비스 품질의 향상을 위해 품질 적응 기법이 제안이 되었다. 품질 적응 기법은 혼잡제어 메커니즘에 의해 수시로 변화하는 네트워크의 가용 대역폭에 적합하도록, 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 결정하는 동시에 높은 품질의 서비스를 가능한 오랫동안 제공하는 것을 목적으로 가진다. 이러한 네트워크 상태 기반 품질 적응 기법은 오래전부터 연구되었던 주제로서, 이와 관련하여 여러 연구들이 수행되었다[10-21].

인코딩된 비디오 스트림의 품질을 변화시키는 기법들은 몇 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 네트워크 상태에 적합한 전송률을 가지는 데이터 전송을 위해, 이미 인코딩된 비디오 스트림을 디코딩 후, 양자화 파라미터를 수정하여 다시 인코딩하여 전송하는 방법으로, 디코딩과 인코딩을 다시 수행하는 과정에서 CPU 부하가 크

고 다수의 클라이언트에 대한 서비스가 어렵다는 문제를 갖는다[10-12]. 또 다른 방법은 여러 버전으로 인코딩된 스트림들을 준비한 상태에서, 네트워크 가용 대역폭의 변화에 따라 적절한 데이터율을 가지는 스트림을 선택하여 전송하는 방법이다.

계층적인(Hierarchical) 인코딩을 사용하는 방법에서 서버는 계층적으로 인코딩된 비디오 스트림을 갖는다 [13-16]. 네트워크 대역폭에 여유가 있을 경우, 서버는 비디오 스트림의 더 높은 레이어까지 전송을 하며, 네트워크 대역폭이 줄어들 경우, 현재 활성화된 레이어를 제거하여 전송함으로써 네트워크 상태변화에 적응적으로 전송률을 조절하게 된다. 계층적인 인코딩에서 상위 레이어의 데이터는 하위 레이어의 데이터가 수신될 경우에만 디코딩이 될 수 있다. 일반적으로 계층적인 인코딩을 사용하는 방식은 다수의 클라이언트에 서비스를 제공하기 위한 프락시 모델에 적합하고, 다수의 인코딩 버전 사이에서 스위칭하는 방법에 비해 적은 데이터 공간을 필요로 하므로 대부분의 품질 적응 기법들은 계층적으로 인코딩된 비디오 스트림을 기반으로 한다. 이러한 계층적인 인코딩을 사용하는 품질 적응 기법은 최소한의 비디오 스트림 품질을 보장하는 기본 레이어(Base-Layer) 데이터의 클라이언트측 버퍼 underflow를 예방하는 동시에 적절한 상위 레이어(Enhancement-Layer) 데이터의 추가 및 제거를 통해 사용자에게 제공되는 비디오 스트림 품질의 최대화를 목적으로 한다.

Rejaie는 [17,18]에서 계층적으로 인코딩된 비디오 스트림을 TCP의 혼잡제어 메커니즘인 AIMD 기법에 의해 결정된 전송률로 전송하는 품질 적응 기법을 제안하였다. 상대적으로 오랜 시간의 전송률 변화는 계층적으로 인코딩된 비디오 스트림의 레이어 조절에 의해 처리하며, AIMD 기법의 순간적인 전송률 변화는 클라이언트 버퍼링을 통해 처리하게 된다. 즉, 현재 클라이언트의 버퍼링된 데이터의 양이 네트워크 혼잡에 의한 백오프(Back-Off) 이후에도 현재의 활성화된 레이어와 추가될 레이어를 계속 서비스할 수 있을 정도로 충분하다면, 그리고 현재의 네트워크 가용 대역폭이 활성화된 레이어와 추가될 레이어의 소비율보다 크다면, 새로운 레이어를 추가로 활성화하여 전송하게 된다. 하지만 버퍼링된 데이터의 양이 현재 활성화된 레이어를 서비스할 수 없다면, 가장 상위의 레이어가 비활성화되어 제거된다. 식 (2)에서는 Rejaie의 품질 적응 기법에서의 레이어의 추가 또는 제거 조건을 나타내고 있다. R 은 현재의 전송률, n_a 는 현재 활성화되어 전송되는 레이어의 수, C 는 각 레이어별 대역폭 요구량, buf_i 는 레이어 i 의 버퍼링된 데이터양을 나타내며, a 는 대역폭의 선형 증가율을, T 는 네트워크 종단간 지연인 RTT를 의미한다. 식

(2)의 두 가지 조건을 모두 만족할 경우, 서버는 계층적으로 인코딩된 비디오 스트림의 다음 상위 레이어를 활성화하여 클라이언트에 전송하게 된다.

$$R \geq (n_a + 1)C \tag{2}$$

$$\sum_{i=0}^{n_a-1} buf_i \geq \frac{((n_a + 1)C - \frac{R}{2})^2 \times T}{2\alpha}$$

Rejaie의 품질 적응 기법에서는 네트워크 상태기반 레이어 조절 메커니즘에 추가적으로 활성화된 레이어들 사이에서의 대역폭 할당 메커니즘을 제안하고 있다. 활성화된 레이어간의 대역폭 할당 메커니즘은 현재 클라이언트의 버퍼링된 데이터양을 기반으로 각 레이어별로 대역폭을 할당하는 방법으로, 네트워크의 가용 대역폭이 줄어들 경우, 상위 레이어의 비활성화를 통해 제공되는 서비스 품질이 감소하는 것을 최대한 예방하게 된다. 계층적인 인코딩을 사용하는 비디오 스트림에서 하위 레이어의 데이터 성분은 상위 레이어의 데이터를 디코딩하기 위한 필수 데이터 성분이 되므로 레이어별 대역폭 할당 메커니즘은 다음과 같이 정리할 수 있다. 먼저, 하위 레이어의 데이터 성분이 상위 레이어에 비해 중요할 뿐만 아니라, 버퍼링의 효율성 증대를 위해서 하위 레이어에 좀 더 많은 대역폭을 할당해야 한다. 그리고 각 레이어에 할당하는 대역폭은 AIMD에 의한 전송률의 백오프 이후에, 현재의 활성화된 레이어를 계속적으로 유지할 수 있을 만큼의 양으로 한정된다. 이와 같은 원칙을 바탕으로 Rejaie는, 혼잡제어 메커니즘인 AIMD 기법을 위한 최적의 대역폭 할당 조건을 그림 1로 나타내었다[18].

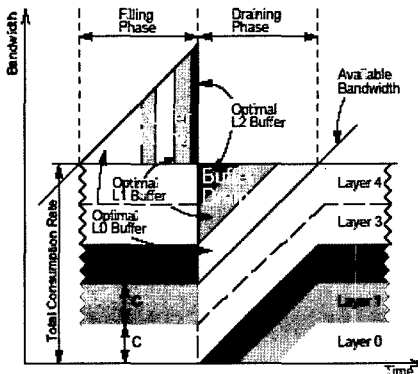


그림 1 레이어별 대역폭 할당

Rejaie의 품질 적응 기법이 제안된 이후에도 여러 가지 관련 연구들이 수행되었다. Nick은 [19]에서 Rejaie의 품질 적응 기법을 확장하여 혼잡제어 메커니즘으로 AIMD 기법대신, TCP 친화적인 전송 프로토콜인 SQRT

를 사용하여 품질 결정에 필요한 버퍼 리소스를 감소시켰으며, SQRT 사용에 따른 적절한 대역폭 할당 및 관리 메커니즘을 제안하였다. Naoki는 기존의 TCP 트래픽과 네트워크 대역폭을 공평하게 사용하는 MPEG-4 (Moving Picture Experts Group) 비디오 스트림 전송 기법을 제안하였다 [20]. 2.1절에 설명된 TFRC를 이용하여 TCP 친화적인 전송률을 계산하고, 계산된 전송률에 적합한 비디오 스트림 전송을 위해 비디오 스트림의 품질을 결정하는 기법을 소개하였으며, 계층적인 인코딩의 한 종류인 FGS(Fine Granular Scalability) 코딩된 비디오 스트림을 사용하였다.

인터넷 환경에서 효율적인 비디오 스트리밍을 위해서는 네트워크 상태를 기반으로 하는 TCP 친화적인 전송률 조절 기법만으로는 한계가 있다. 네트워크의 안정성 향상이 사용자에게 서비스되는 비디오 스트림의 품질 향상을 보장하지는 않기 때문이며, 이러한 한계를 극복하기 위해 TCP 친화적인 전송률에 맞추어 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 결정하는 품질 적응 기법들이 제안이 되었고, 이러한 품질 적응 기법들은 계층적인 인코딩 방식을 기반으로 하였다. 기존의 품질 적응 기법들은 이미 인코딩된 비디오 스트림의 재인코딩 과정없이, 네트워크의 안정성을 향상시키면서 동시에, 사용자에게 끊임없이 부드러운 서비스를 제공할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만, 현실에서 이러한 계층적인 인코딩 기능을 갖춘 인코더가 거의 없기 때문에, 실질적으로 계층적인 인코딩 방식은 스트리밍 응용에 적용되지 않고 있다. 따라서 보다 현실적인 접근 방법으로서, 기존의 계층적으로 인코딩된 비디오 스트림을 기반으로 하는 품질 적응 기법이 아닌, MPEG 압축표준에서 일반적으로 소개되어 있는 압축된 비디오 스트림의 시간적 확장성 (Temporal Scalability)을 사용한 품질 적응 기법이 필요하다 할 수 있다. 다음의 3절에서는 본 논문에서 제안하는 시간적 확장성을 이용한 비디오 스트림 품질 적응 기법에 대해서 설명하도록 한다.

3. Temporal Scalability를 이용한 새로운 품질 적응 기법

본 장에서는 2장에서 설명한 기존의 네트워크 상태기반 적응적인 품질 적응 기법들과는 다른 관점에서 비디오 스트림의 시간적 확장성(Temporal Scalability), 즉 프레임율 조절을 통한 새로운 품질 적응 기법에 대해 기술한다. 제안하는 기법은 현재 네트워크 상태를 기반으로 TCP 친화적인 전송률을 계산하고, 계산된 전송률에 맞추어 인코딩된 비디오 스트림을 전송하기 위해 프레임율을 조절함으로써 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 변화시키게 된다. 또한 사용자에게 가능한 오랜

시간동안 높은 품질의 서비스를 제공하기 위해 클라이언트의 버퍼 상태 예측을 통해 품질 적응 기법을 보완함으로써 사용자에게 끊임없이 부드러운 스트리밍 서비스를 제공하게 된다.

3.1 전체 구조

본 논문에서 제안하는 네트워크 상태 기반 품질 적응 기법에 대한 종단간(end-to-end) 구조를 그림 2에 나타내었다. 사용자로부터 서비스 요청된 비디오 스트림은 서버측에 MPEG계열의 압축 기술을 통해 일정 프레임률을 갖도록 인코딩 되어있다. 전송프로토콜이 가지는 혼잡제어 메커니즘은 현재 네트워크 상태를 기반으로 TCP 친화적인 전송률을 계산하며, 계산된 전송률에 적합한 양의 데이터를 클라이언트에 전송하게 된다. TCP 친화적인 전송률에 맞추어 활성(Active)화되어 있는 데이터 프레임들은 하나의 전송세션으로 클라이언트에 전달되며, 클라이언트측에서 각 프레임들은 해당 타입별 버퍼에 버퍼링되고, 최종적으로 디코더에 의해서 소비된다.

제안하는 기법에서 인코딩된 비디오 스트림은 I, P, B 프레임의 세 가지 타입으로 구성된다. 프레임은 비디오 스트림의 기본적인 구성단위로서, I 프레임 사이에 존재하는 프레임들은 하나의 GOP(Group of Picture)를 구성하며, 이러한 GOP는 두 개의 I 프레임 사이에 존재하는 P 프레임의 수와, 두 개의 P 프레임 사이에 존재하는 B 프레임의 수를 파라미터로 갖는다. 각 프레임 타입별로 각기 다른 데이터 크기를 가지지만, 본 논문에서는 제안하는 품질 적응 기법의 알고리즘 전개를 위해 같은 크기를 가지는 것으로 가정하였다.

비디오 스트림을 전송하고 혼잡제어를 수행하는 메커니즘은 [22]에서 제안된 RTP(Real-time Transport Protocol) 기반의 TCP 친화적인 전송률 조절 기법인 TF-RTP(TCP Friendly RTP)를 사용하였으며 관련 내용은 3.2절에서 간략히 설명하도록 한다. 네트워크 상태 정보는 제어 프로토콜인 RTCP(Real-time Transport

Control Protocol)을 사용하여 서버측에 통보된다. 주기적으로 피드백되는 RTT와 패킷 손실률을 이용하여 서버는 현재 네트워크 상태에 기반한 TCP 친화적인 전송률을 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 TCP 친화적인 전송률은 품질 적응 모듈에 전달된다. 품질 적응 모듈에서는 통보받은 전송률과 예측한 클라이언트 버퍼 상태를 기반으로, 하나의 GOP 내에서 전송할 프레임의 수를 결정하고 각 활성화된 프레임에 대하여 적절한 대역폭을 할당한다. 클라이언트의 버퍼 상태는 다음 주기에서의 전송률과 각 프레임별 대역폭 할당을 미리 알고 있으므로 예측가능하며 상세한 알고리즘은 3.3절에서 기술하도록 한다.

품질 적응 기법은 인코딩된 비디오 스트림의 데이터율이 현재 네트워크의 가용대역폭보다 크거나 작을 경우에 동작하게 된다. 서버는 네트워크 상태를 기반으로 계산된 TCP 친화적인 전송률에 적합하도록 GOP내에서의 활성 프레임 수를 증가하거나 감소시키면서 품질 및 전송률을 조절하게 된다.

본 논문에서 제안하고자 하는 품질 적응 기법을 설명하기 위해 몇 가지 정의를 그림 3에 나타내었다. Originally encoded 비디오 스트림은 서버에 인코딩되어 저장되어 있는 비디오 스트림을 의미하며, Adapted 비디오 스트

Common definition:

B_K : number of bytes of K -frame, where $K \in \{I, P, B\}$

Originally encoded video stream:

NF_K : number of K -frame

Number of frames in a GOP: $NF_{GOP} = NF_I + NF_P + NF_B$

Number of bytes in a GOP: $B_{GOP} = NF_I * B_I + NF_P * B_P + NF_B * B_B$

Encoded frame rate per 1 sec is FR_{GOP}

Adapted video stream:

α, β, γ : numbers of active I, P, and B-frames

Number of frames in a GOP: $NF_{Active} = \alpha + \beta + \gamma$

Number of bytes in a GOP: $B_{Active} = \alpha * B_I + \beta * B_P + \gamma * B_B$

Active frame rate per 1 sec is FR_{Active}

그림 3 비디오 스트림의 속성 정의

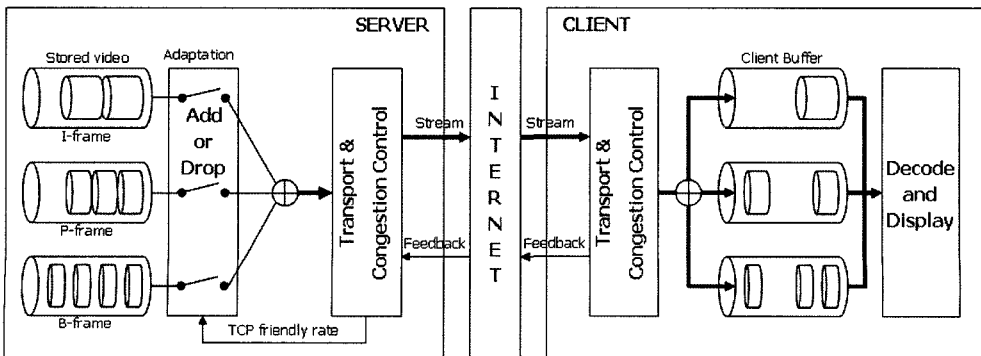


그림 2 종단간 구조

림은 품질 적응 기법이 적용되어 실제 클라이언트에 전송되는 비디오 스트림을 의미한다. 제안하는 품질 적응 기법의 설명을 위해 각각의 비디오 스트림에서 프레임의 수와 데이터 크기를 정의하였으며, 이때 Adapted 비디오 스트림의 활성 프레임의 수는 Originally encoded 비디오 스트림의 프레임 수보다 작거나 같게 된다 ($\alpha \leq NF_p, \beta \leq NF_p, \gamma \leq NF_p$).

3.2 RTP 기반의 TCP 친화적인 전송률 조절

인터넷 환경에서 비디오와 같은 멀티미디어 데이터를 전송하기 위한 전송프로토콜로 IETF(Internet Engineering Task Force)에 의해 표준화된 RTP가 있으며, 이러한 RTP는 멀티미디어 스트리밍 응용의 실시간성을 만족하기 위하여 주로 UDP를 기반으로 동작한다. 네트워크의 안정성과 TCP 트래픽과의 친화성을 향상시키기 위한 비디오 전송기법에 관한 연구가 수행되면서 RTP 기반의 TCP 친화적인 전송률 조절 기법에 관한 연구도 수행되었으며, 대표적으로 LDA(Loss Delay based Adaptation)나 SRTP(Smart RTP)가 제안되었다[23,24]. 두 가지 전송기법 모두 TCP 친화적인 전송률 조절을 위해 식 (1)에서 설명한 Padhye의 모델링 공식을 사용한다. 하지만 비디오 스트림의 전송률을 계산된 TCP 친화적인 전송률로 조절하는 과정에서 전송률의 변화가 크게 발생하는 문제점을 가지며, 이를 보완하기 위해 추가적인 저역통과 필터링기법을 사용한다. 또한 네트워크 상태를 반영하는 RTT와 패킷 손실률을 너무 높게 측정하므로 상대적으로 TCP 친화적인 전송률을 정확하게 계산하지 못하는 문제점을 가진다.

기존 RTP 기반의 TCP 친화적인 전송프로토콜의 문제점을 개선하기 위해 [22]에서 TF-RTP를 제안하였다. TF-RTP는 RTT, RTO, 그리고 패킷 손실률의 세 가지 파라미터 값의 산출방법을 보완하여 TCP 친화적인 전송률 계산에 대한 정확성을 높였다. 10Mbps 대역폭을 갖는 네트워크 환경에서, TCP 트래픽과 대역폭 경쟁을 시켰을 경우의 평균 전송률을 표 1에 나타내었다. 성능 평가를 통해서 TF-RTP가 경쟁하는 TCP 트래픽의 전송률을 보다 정확하게 계산하며 이를 통해 추가적인 필터링 기법의 적용없이, TCP 친화적이면서 전송률의 변화를 줄이는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안하는 품질 적응 기법은 일차적으로 네트워크의 안정성을 향상시키고 TCP 트래픽과 친화적으로 동작하는 혼잡제

어 메커니즘을 요구하며, 이러한 요구사항을 만족시키기 위해서 전송 프로토콜로 TF-RTP를 사용하게 된다.

3.3 클라이언트 버퍼 상태 예측

비디오 스트리밍 서비스에서 지터(Jitter) 문제를 보완하고 끊임없는 서비스를 제공하기 위해서 일반적으로 클라이언트에서는 버퍼를 사용한다. 품질 적응 기법에서는 이와 같은 목적과 동시에, 사용자에게 가능한 오랫동안 높은 품질의 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서 클라이언트의 버퍼 상태에 대한 정보가 필요하다. 버퍼 상태에 관한 정보는 추가적인 제어 메시지를 이용하여 서버측에 전달하는 것이 일반적이지만, 이러한 방법은 제어 메시지에 따른 오버헤드 및 과거의 버퍼 상태에 대한 정보를 전달한다는 단점을 가지므로, 제안하는 품질 적응 기법에서는 서버측에서 클라이언트의 현재 버퍼 상태를 예측하는 기법을 적용한다.

임의의 시간, t 에서 측정된 TCP 친화적인 전송률을 $X(t)$ 라고 할 때, 서버는 비디오 스트림을 구성하는 I, P, B 프레임의 주어진 전송률에 맞추어 전송한다. 네트워크 상태가 혼잡하여 가용 대역폭이 인코딩된 비디오 스트림의 전체 프레임의 수를 수용할 수 없을 경우, 품질 적응 기법은 TCP 친화적인 전송률에 맞추어 하나의 GOP내에서 활성 프레임의 수를 결정하고, 각 프레임별로 가용 대역폭을 할당한다. 이러한 품질 적응 기법은 하나의 GOP 단위로 수행된다. 그림 3에서 정의한 것과 같이, Originally encoded 비디오 스트림의 전체 프레임의 전송하는데 필요한 대역폭을 기대(Expected) 대역폭이라고 하고, 품질 적응 기법이 적용된 Adapted 비디오 스트림에 할당되어야 하는 TCP 친화적인 전송률을 실제(Actual) 대역폭이라 할 때, 각각의 프레임 타입별로 할당되어야 하는 대역폭은 그림 4와 같이 정리할 수 있다.

Originally encoded 비디오 스트림의 경우, 현재의 가용 대역폭이 인코딩된 비디오 스트림의 전체 프레임의 전송할 수 있으므로, 각 프레임 타입에 할당되는 대역폭(EXI, EXP, EXB)의 전체 합으로 기대 전송률이 계산될 수 있다. Adapted 비디오 스트림의 경우, 현재의 가용 대역폭은 기대 전송률보다 작거나 작은 값을 가지므로 계산된 TCP 친화적인 전송률에 적합한 활성 프레임의 수(α, β, γ)를 선택하게 된다. 현재 네트워크의 전체 가용 대역폭은 선택된 활성 프레임들의 데이터 크기에 비례적으로 할당되며, 하나의 GOP에 할당되는 가용 대

표 1 평균 전송률 비교

	TF-RTP			
	vs. 1 TCP	vs. 2 TCP	vs. 5 TCP	vs. 9 TCP
경쟁 TCP 커넥션 수				
평균 TCP 커넥션 전송률	4.78 Mbps	3.2 Mbps	1.71 Mbps	1.02 Mbps
평균 TF-RTP 전송률	4.32 Mbps	3.1 Mbps	1.63 Mbps	0.97 Mbps

Encoded video stream:	Adapted video stream:
Expected bandwidth, $EX_{GOP} = EX_I + EX_P + EX_B$	Actual bandwidth, $X_{GOP} = X_I + X_P + X_B$
$EX_{GOP} = \frac{EncodingRate}{FR_{GOP} / NF_{GOP}}$	$X_{GOP} = \frac{X(t)}{FR_{Active} / NF_{Active}}$
$EX_I = \frac{NF_I \times B_I}{B_{GOP}} \times EX_{GOP}$	$X_I = \frac{\alpha \times B_I}{B_{Active}} \times X_{GOP}$
$EX_P = \frac{NF_P \times B_P}{B_{GOP}} \times EX_{GOP}$	$X_P = \frac{\beta \times B_P}{B_{Active}} \times X_{GOP}$
$EX_B = \frac{NF_B \times B_B}{B_{GOP}} \times EX_{GOP}$	$X_B = \frac{\gamma \times B_B}{B_{Active}} \times X_{GOP}$

그림 4 가용 대역폭 할당

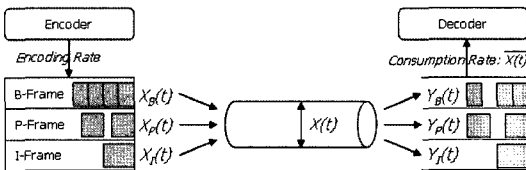


그림 5 프레임별 대역폭 할당과 버퍼링

역폭, X_{GOP} 는 각 프레임 타입에 할당되는 대역폭(X_I, X_P, X_B)의 합과 같다.

그림 5는 제안하는 품질 적응 기법에서 각 프레임 타입별 대역폭 할당과 클라이언트측에서의 데이터 버퍼링을 나타낸다. 네트워크 가용 대역폭을 통해 전송된 활성 프레임들은 클라이언트 버퍼에 쌓이며 임의의 시점, t 에서의 전체 버퍼링된 데이터양(Y_T)은 식 (3)과 같이, 이전 시간($t-1$)에 버퍼링된 데이터양과 단위시간동안 네트워크로부터 전송된 데이터양을 더하고, 단위시간동안 디코더에 의해 소비된 데이터양을 뺀 값으로 계산된다. 마찬가지로 각 프레임 타입별 버퍼링된 데이터양(Y_I, Y_P, Y_B)은 식 (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$Y_T(t) = Y_T(t-1) + \left(\int_{t-1}^t X(u) du - \int_{t-1}^t \overline{X(u)} du \right) \quad (3)$$

$$Y_I(t) = Y_I(t-1) + \left(\int_{t-1}^t X_I(u) du - \int_{t-1}^t \overline{X_I(u)} du \right) \quad (4)$$

$$Y_P(t) = Y_P(t-1) + \left(\int_{t-1}^t X_P(u) du - \int_{t-1}^t \overline{X_P(u)} du \right)$$

$$Y_B(t) = Y_B(t-1) + \left(\int_{t-1}^t X_B(u) du - \int_{t-1}^t \overline{X_B(u)} du \right)$$

본 논문에서 제안하는 품질 적응 기법에서는 서버에서 클라이언트의 버퍼 상태를 예측하게 된다. 따라서 식 (4)에서, 단위시간동안 전송된 데이터양과 소비된 데이터양을 계산하는 부분을 단위시간동안 전송되는 GOP 개수(FR_{Active}/NF_{Active})에 관한 식으로 치환하여 식 (5)와 같이 정리할 수 있다.

$$Y_I(t) = Y_I(t-1) + \{X_I(t) - \alpha \times B_I\} \times \frac{FR_{Active}}{NF_{Active}} \quad (5)$$

$$Y_I(t) = Y_I(t-1) + \{X_I(t) - \alpha \times B_I\} \times \frac{FR_{Active}}{NF_{Active}}$$

$$Y_P(t) = Y_P(t-1) + \{X_P(t) - \beta \times B_P\} \times \frac{FR_{Active}}{NF_{Active}}$$

$$Y_B(t) = Y_B(t-1) + \{X_B(t) - \gamma \times B_B\} \times \frac{FR_{Active}}{NF_{Active}}$$

식 (5)로부터 예측된, 각 프레임 타입별 버퍼링된 데이터양을 기반으로 각 프레임 타입별 버퍼링된 프레임 수($\Delta_I, \Delta_P, \Delta_B$)를 식 (6)과 같이 계산할 수 있다. 그리고 식 (6)으로부터 클라이언트 버퍼에 버퍼링된 GOP의 수(Δ_{GOP})를 식 (7)과 같이 계산할 수 있다. 즉, 프레임 타입별로 버퍼링된 프레임 수를 하나의 GOP내에서 현재 활성화된 프레임 수인 α, β, γ 로 나누어 버퍼링된 GOP의 개수를 예측할 수 있으며, 이는 I, P, B 프레임들이 하나의 GOP를 구성하며 하나의 GOP내에서 각각의 프레임들이 서로 의존성을 갖기 때문이다.

$$\Delta_I(t) = \frac{Y_I(t)}{B_I} \quad (6)$$

$$\Delta_P(t) = \frac{Y_P(t)}{B_P}$$

$$\Delta_B(t) = \frac{Y_B(t)}{B_B}$$

$$\Delta_{GOP}(t) \approx \frac{\Delta_I(t)}{\alpha} \approx \frac{\Delta_P(t)}{\beta} \approx \frac{\Delta_B(t)}{\gamma} \quad (7)$$

3.4 클라이언트 버퍼의 Underflow와 Overflow 예방 조건

클라이언트 버퍼는 데이터 전송간의 지터를 완화시키고 사용자에게 끊임없는 재생 서비스를 제공하는 장점을 가지므로 비디오 스트리밍 응용에서 필수적으로 사용된다. 클라이언트의 버퍼에 버퍼링된 데이터가 없다는 것은 디코더에 의해 재생할 수 있는 데이터가 없다는 것으로, 결과적으로 재생이 중단되는 것과 같은 심각한 스트리밍 품질 저하를 유발하게 된다. 따라서 이러한 버퍼의 underflow나 overflow는 사용자에게 제공되는 서비스 품질의 향상을 위해 반드시 방지해야하는 요소가 된다.

3.3절에서 예측한 버퍼링된 GOP 수(Δ_{GOP})를 기반으로 버퍼의 underflow나 overflow 예방 조건을 정리할 수 있다. 단위시간동안 네트워크를 통해 전송되는 GOP 수를 θ 라고 하고, 단위시간동안 디코더에 의해 소비되는 GOP 수를 ϕ 라고 할 때, 전송되는 GOP 수와 버퍼링된 GOP 수의 합($\Delta + \theta$)이 소비되는 GOP 수보다 클 경우, 버퍼 underflow는 예방할 수 있다. 마찬가지로 버퍼링되어 있는 GOP의 수가 클라이언트 버퍼 크기보다 작을 경우, 버퍼 overflow는 예방된다. 서비스 품질에 심각한 영향을 끼치는 버퍼의 underflow나 overflow 발생 가

능성을 낮추기 위해, 제안하는 기법에서는 최소, 최대 버퍼링 레벨인 두 기준치(Minimum and Maximum Thresholds)를 사용한다. 서버에서 단위시간동안 전송되는 GOP 수와 소비되는 GOP 수를 얻는 방법을 식 (8)에서 나타내었으며, 최소 기준치(Δ_{MIN})와 최대 기준치(Δ_{MAX})를 이용하여 버퍼의 underflow와 overflow를 예방하는 조건을 그림 6에 나타내었다.

$$\phi = \frac{FR_{Active}}{NF_{Active}}, \theta = \frac{X(t)}{X_{GOP}} \quad (8)$$

3.5 네트워크 상태기반 품질 적응 기법

앞선 3.3절과 3.4절의 내용을 정리해서 이번 절에서는 본 논문에서 제안하는 네트워크 상태 기반 품질 적응 기법에 대해 설명하도록 한다. 네트워크의 가용 대역폭이 현재 활성 프레임들의 소비율보다 높을 경우, 서버는 하나의 프레임을 추가로 활성화하여 클라이언트에 전송한다. 하지만 네트워크 가용 대역폭의 변화는 예측할 수 없으므로 이러한 방법의 경우, 서비스 품질의 변화가 빈번히 발생할 수 있다는 문제점을 가진다. 따라서 좀 더 안전한 방법으로, 현재의 가용 대역폭이 현재 활성 프레임에 하나의 프레임을 추가했을 때의 전체 소비율보다 높을 경우에만 새로운 프레임을 추가로 활성화시킨다. 새롭게 추가되는 활성 프레임은 현재 활성화되어 있는 프레임을 근거로 결정된다. 즉, GOP 내에서 모든 P 프레임이 활성화되어 있지 않을 경우, 다음 추가되는 프레임은 다음 P 프레임으로 결정되며, 모든 P 프레임이 이미 활성화되어 있는 경우, B 프레임이 추가 활성화 된다. 현재의 가용 대역폭이 하나의 프레임을 추가했을 때의 전체 소비율보다 작을 경우에는 현재의 활성 프레임을 유지하며, 남은 대역폭은 현재 활성 프레임의 데이터들을 버퍼링하는데 소비된다. 새로운 활성 프레임을 추가하기 위한 조건은 조건 1과 같이 정리할 수 있다.

Condition 1:

$$(X^{n\alpha} - X^{n-1\alpha}) \geq \frac{X_i}{j} \text{ where, } i \in \{I, P, B\}, j \in \{\alpha, \beta, \gamma\}$$

클라이언트 버퍼 상태에 대한 고려없이, 조건 1의 가용 대역폭에 의한 활성 프레임 추가 조건만으로는 부족

한 부분이 존재한다. 현재 활성 프레임들을 전송하고 남은 잉여 대역폭들은 활성 프레임들의 데이터 전송과 버퍼링에 소비된다. 이러한 버퍼링 기간이 길어질 경우, 버퍼의 overflow가 발생할 가능성이 있다. 버퍼의 overflow를 예방하기 위해서 조건 2와 같이, 버퍼의 overflow가 예상될 경우, 서버는 하나의 프레임을 추가로 활성화시킴으로써 버퍼의 overflow를 예방하고 제공되는 서비스 품질을 높여주게 된다. 즉, 프레임율을 높여줌으로써 단위시간당 소비되는 프레임 수가 증가하게 되며, 결과적으로 클라이언트 버퍼의 점유도가 낮아짐으로써 버퍼의 overflow를 예방할 수 있게 된다.

Condition 2: $\Delta_{GOP} \geq \Delta_{MAX}$

현재 활성 프레임의 전체 소비율이 가용 대역폭, 즉 계산된 TCP 친화적인 전송률보다 높을 경우, 활성 프레임의 수를 감소시켜야 한다. 하지만, 가능한 오랫동안 높은 품질의 서비스를 제공하는 것이 품질 적응 기법의 목적이므로 이를 위해 가능한 느리게 활성 프레임의 수를 감소시켜야 한다. 조건 3을 만족하여 클라이언트 버퍼의 underflow가 예상될 경우, 서버는 현재 활성 프레임의 수를 감소시켜 서비스 품질을 낮추게 된다. 현재의 전송률은 유지하면서, 전송되는 활성 프레임의 수를 감소시키므로, 단위시간동안 전송되는 GOP의 수는 증가하는 동시에 소비되는 프레임 수가 감소하고, 결과적으로 버퍼의 underflow를 예방할 수 있다. 활성 프레임의 감소로 인해 서비스 품질 저하는 발생하지만, 네트워크의 상태 변화에 적응적으로 대처할 수 있으며, underflow의 예방으로 끊임없는 서비스를 제공할 수 있다.

Condition 3: $\Delta_{GOP} \leq \Delta_{MIN}$

위의 세 가지 조건을 만족하지 않는 경우, 서버는 현재의 활성 프레임 수를 그대로 유지한다. 전송률은 전송률 조절 주기마다 계산된 TCP 친화적인 전송률로 조절되며, 서버는 계산된 가용 대역폭을 그림 4와 같이 활성 프레임 타입별로 공평하게 분배하여 클라이언트측에 전송한다.

본 논문에서 제안하는 네트워크 상태 기반 품질 적응

Condition for preventing underflow:
 $(\text{Number of consumed GOPs} + \Delta_{MIN})$
 $\leq (\text{Number of transmitted GOPs} + \text{Number of prefetched GOPs})$
 $\Leftrightarrow (\phi + \Delta_{MIN}) \leq (\theta + \Delta_{GOP})$

Condition for preventing overflow:
 $\text{Number of prefetched GOPs} \leq \Delta_{MAX}$
 $\Leftrightarrow \Delta_{GOP} \leq \Delta_{MAX}$

그림 6 버퍼 underflow와 overflow 예방조건

기법의 메커니즘을 그림 7에 나타내었다. 품질 적응 기법은 TCP 친화적인 전송률의 변화와 클라이언트 버퍼 상태 변화를 기반으로 동작하게 된다. 클라이언트는 RTT, RTO, 패킷 손실률의 네트워크 상태 정보를 주기적으로 RTCP 메시지를 통해 서버측에 알려주며, 서버는 이러한 상태 정보를 이용하여 가용 대역폭, 즉 TCP 친화적인 전송률을 계산한다. 클라이언트 버퍼의 underflow나 overflow 예상을 위한 최소, 최대 문턱치는 각각 1초 동안 소비되는 GOP의 수와 최대 버퍼링 GOP 수에서 최소 문턱치를 뺀 수로 설정하였다.

우선적으로 앞서 기술한 조건 2와 3을 이용하여 버퍼의 underflow나 overflow 발생 가능성을 검사한다. 버퍼의 underflow가 예상되는 경우, 활성 프레임의 수를 감소하여 underflow를 발생을 예방하며, overflow가 예상되는 경우, 활성 프레임의 수를 증가하여 overflow를 예방하게 된다. 다음으로 클라이언트로부터 전달된 네트워크 상태 정보를 바탕으로 네트워크 상태를 혼잡상태나 안정상태로 판단한다. 혼잡상태로 판단될 경우, 새로운 TCP 친화적인 전송률로 전송률을 조절하며 이러한 가용 대역폭을 현재의 활성 프레임에 분배한다. 안정상태로 판단될 경우, 서버는 경쟁 트래픽과의 대역폭 경쟁을 위해 전송률을 RINC만큼 증가시키게 된다. 전송률 증가분, RINC는 같은 네트워크 조건에서 경쟁하는 TCP 트래픽의 전송률 증가분을 초과하지 않는 범위에서 계산된다[22]. 네트워크 안정상태에서는, 추가적으로 조건 1을 검사하여 가용 대역폭에 여유가 있을 경우, 활성 프레임의 수를 증가시키므로써 서비스되는 비디오 품질을 향상시키게 된다. 모든 과정을 처리한 후, 서버는 다음 주기에서의 클라이언트 버퍼 상태 예측의 정확성을 위해 갱신된 프레임률을 기반으로 클라이언트 버퍼 상태를 다시 예측하게 된다.

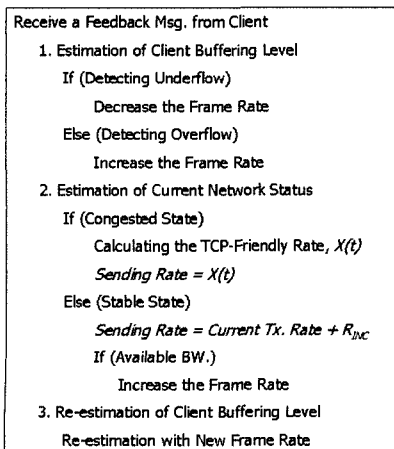


그림 7 품질 적응 기법

4. 실험 및 성능 평가

본 논문에서 새롭게 제안하는 네트워크 상태 기반 품질 적응 기법의 성능 평가를 위해 LBNL(Lawrence Berkely National Laboratory)의 ns-2(network simulator)를 사용하여 다양한 실험을 수행하였다[25].

4.1 실험 환경

그림 8은 제안하는 품질 적응 기법의 성능 검증을 위한 네트워크 환경 구성을 보여준다. 혼잡상황을 발생시키기 위해, 경쟁 트래픽으로 TCP 트래픽을 유입하였으며 전체 150초 동안 실험을 수행하였다. 일반적으로 비디오 스트리밍 응용에서는 끊임없는 서비스를 제공하기 위해 비디오 재생을 시작하기 전에 초기 버퍼링을 수행하며, 실험에서는 전체 버퍼의 50%를 초기 버퍼링 레벨로 가정하였다. 시뮬레이션 시작 후, 30초 동안은 품질 적응 기법을 적용한 세션만을 동작시켜 네트워크 전체 대역폭을 점유하도록 하였다. 30초 이후부터는 TCP 트래픽을 유입하여 네트워크 대역폭을 경쟁하도록 하였다. 서버로 네트워크 상태 정보 전달을 위해서 클라이언트는 1초마다 한번씩 RTCP 제어 메시지를 전달하도록 하였다.

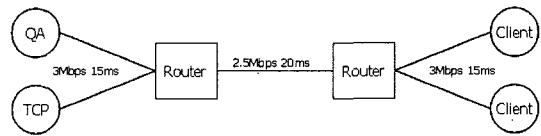


그림 8 네트워크 환경

품질 적응 기법의 성능 검증을 위해 사용하는 비디오 스트림의 특성을 표 2에 기술하였다. 비디오 압축 기술을 통해 인코딩된 비디오 스트림은 초당 25 프레임률로, 1.4 Mbps의 데이터율을 갖는 것으로 가정하였으며 각각 다른 크기의 I, P, B 프레임으로 구성된다.

표 2 비디오 스트림의 특성

GOP 순열	I-B-P-B-B-P-B-B-P		
프레임률	25 fps		
인코딩 데이터율	1.4 Mbps		
프레임 타입	I frame	P frame	B frame
GOP당 프레임 수	1	3	6
프레임 크기 (bytes)	25 K	10 K	2.5 K

4.2 TCP 친화적인 전송률 조절 성능 검증

네트워크 상태 기반 품질 적응 기법의 일차적인 목적은 혼잡제어 메커니즘 적용을 통해 전송률을 조절함으로써 경쟁하는 TCP 트래픽과 대역폭을 공평하게 사용하면서 네트워크의 안정성을 향상시키는데 있다. 제안하

는 품질 적응 기법에서는 이러한 전송률 조절 기법으로 [22]에서 제안된 RTP 기반의 TCP 친화적인 전송률 조절 기법인, TF-RTP를 사용한다.

그림 9(a)는 TCP 트래픽과 경쟁하는 네트워크 혼잡 상황에서 품질 적응 기법의 혼잡제어 메커니즘이 현재의 네트워크 상태를 기반으로 적절한 TCP 친화적인 전송률을 계산하고 이를 이용하여 비디오 스트림의 전송률을 조절하는 것을 보여준다. 경쟁 TCP 트래픽이 유입되기 전에는, 서버는 압축된 데이터율인 1.4 Mbps의 전송률을 유지한다. 경쟁 TCP 트래픽이 유입된 후에는 네트워크 상태를 기반으로 TCP 친화적인 전송률을 계산하며, 계산된 전송률이 압축된 데이터율보다 낮을 경우, 품질 적응 기법을 적용하여 활성 프레임의 수를 결정하게 된다. 평균적으로 경쟁 TCP 트래픽은 약 1.55 Mbps의 전송률을 가지며, 품질 적응 기법은 약 1.25 Mbps의 전송률을 보인다. 그림 9(b)는 같은 실험 환경에서의 패킷 손실의 발생 분포를 나타내고 있다. 제안하는 품질 적응 기법은 현재 네트워크 상태를 기반으로 활성 프레임 수를 결정하여 비디오 스트림의 전송률을 조절하게 된다. 따라서 품질 적응 기법이 적용되지 않은 경우에 비해 네트워크 혼잡상황 발생을 억제시킴으로써 네트워크의 안정성을 향상시키게 된다. 수치상으로 네트워크 상태 기반 품질 적응 기법이 적용되지 않은 경우에 비교하여 약 23%의 패킷 손실 발생을 줄이게 된다. 그림 9의 실험 결과를 통해서 제안하는 기법의 전송 모듈이 네트워크의 안정성을 향상시키고 TCP 친화적으로 전송률을 조절하는 것을 확인할 수 있었다.

4.3 품질 적응 기법 성능 검증

인코딩되어 있는 비디오 스트림의 활성 프레임 결정, 즉 프레임률의 조절은 사용자에게 제공되는 서비스 품질을 결정하는 중요한 요인이 된다. 본 논문에서 제안하는 품질 적응 기법은 네트워크의 안정성의 향상과 사용

자에게 제공되는 서비스 품질의 향상을 위해 현재 네트워크의 상태와 클라이언트 버퍼 상태 예측을 통해 서비스되는 프레임률을 결정한다. 서버에서 수행하는 클라이언트 버퍼 상태 예측 기법은 서비스하는 프레임률을 결정하는 중요한 기준이 되므로, 그 정확성을 검증할 필요가 있다.

그림 10은 서버에서 수행하는 클라이언트 버퍼 상태 예측 기법의 정확성에 대한 검증 결과를 보여준다. 서버에서는 3.3 절에서 유도한 식 (7)을 통해 클라이언트의 버퍼 상태, 즉 버퍼링되어 있는 GOP의 수를 예측하게 된다. 그림 10의 결과는 클라이언트에서 측정된 버퍼 상태(Real)와 서버에서 예측한 버퍼 상태(Estimation)가 거의 일치하는 것을 확인시켜 준다. 일반적으로 비디오 스트리밍에서는 사용되는 초기 버퍼링으로 인해, 약 80초까지는 버퍼의 underflow 위험없이 시작할 시점의 비디오 품질을 유지하게 된다. 또한 85초부터 90초, 115초부터 120초 구간에서 발생하는 버퍼의 underflow를 적절하게 예측하는 것을 확인할 수 있다. 그림 10의 결과를 통해 제안하는 품질 적응 기법에 적용된 버퍼 상태

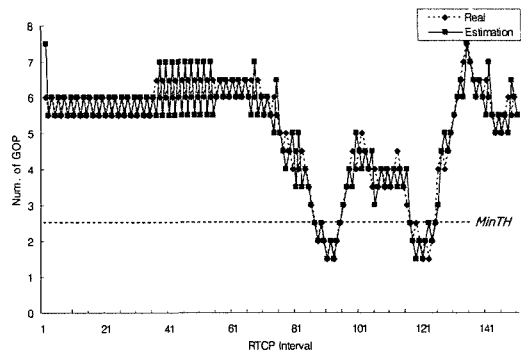
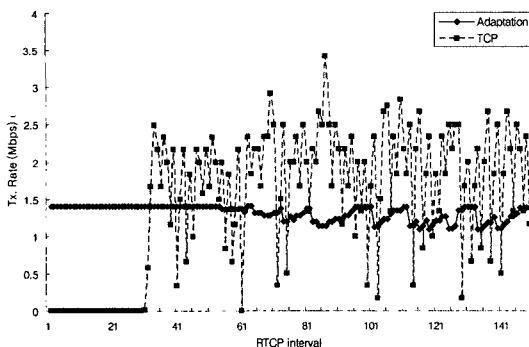
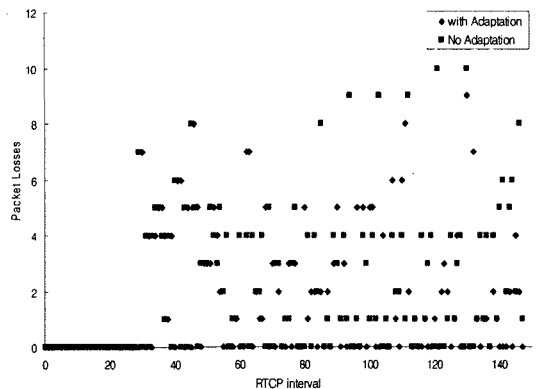


그림 10 클라이언트 버퍼 상태 예측



(a) TCP 친화적인 전송률 조절



(b) 패킷 손실 발생

그림 9 네트워크 안정성 향상 성능 검증

예측 기법이 제어 메시지 사용의 오버헤드없이 정확하게 현재 클라이언트의 버퍼 상태를 예측할 수 있음을 확인할 수 있다.

네트워크 상태와 클라이언트 버퍼 상태 예측을 기반으로, 품질 적응 기법은 네트워크를 통해 사용자에게 전송되는 활성 프레임의 수를 결정한다. 그림 11의 결과를 통해 제안하는 품질 적응 기법이 적절하게 GOP 내의 활성 프레임의 수를 결정하는 것을 확인할 수 있다. 그림 10의 결과에서 클라이언트 버퍼 상태 예측 기법은 85초대와 115초대 구간에서 버퍼의 underflow를 예측하였다. 그림 11의 결과에서는 이를 반영하여, 해당 시간대에서 GOP 내의 활성 프레임의 수가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 즉, 버퍼의 underflow를 예상하여 이를 예방하기 위해 서버에서는 전송되는 프레임수를 감소시키게 되며, 결과적으로 GOP 내의 활성 프레임의 수를 감소시키게 된다. 비디오 스트림을 구성하는 I, P, B 프레임들 중에서, 상대적으로 데이터 중요도가 낮은 B 프레임을 우선적으로 비활성화하며, B 프레임이 모두 비활성화된 상태에서는 다음 P 프레임을 제거하게 된다. 하지만, 네트워크 상태가 좋아져서 가용 대역폭의 여유가 생길 경우, 중요도가 높은 프레임부터 활성화하여 클라이언트에 전송하게 된다. 이와 같은 기법을 통해 제안하는 품질 적응 기법은 네트워크 상태와 클라이언트 버퍼 상태를 기반으로 전송되는 프레임수를 결정하게 되며 프레임률의 감소는 느리게, 프레임률의 증가는 빠르게 시도하면서 사용자에게 최대한 높은 품질의 서비스를 제공하게 된다. 프레임률 결정을 위한 3가지 조건을 모두 만족하지 않는 경우, 서버는 프레임률의 변화없이, 계산된 TCP 친화적인 전송률 조절만을 수행하게 된다.

3.3절에서 네트워크의 가용 대역폭은 하나의 GOP를 구성하는 I, P, B 프레임들에 공평하게 할당된다고 설명하였다. 비디오 응용에서, 기본 처리 단위는 하나의 프레임이며 독립적으로 전송되는 단위 또한 하나의 프레

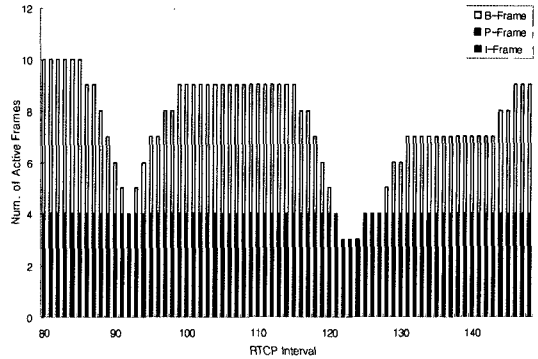
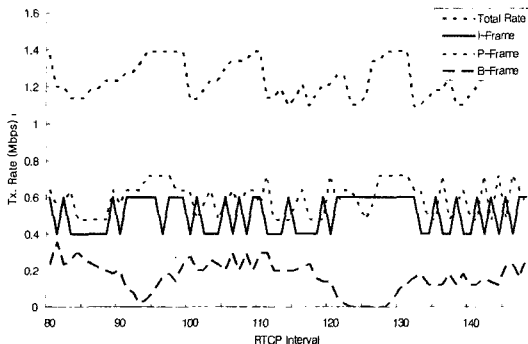


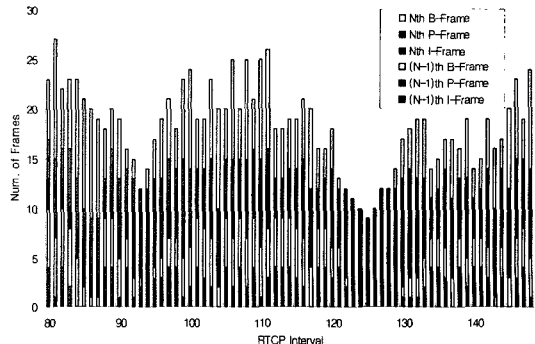
그림 11 활성 프레임 수의 변화

임이므로 실질적으로 임의의 시간에서 네트워크 가용 대역폭의 할당은 프레임 타입별 중요도에 따라 차이가 생길 수 있다. 하지만 긴 시간 구간에서 각 프레임 타입에 할당되는 대역폭은 평균적으로 공평하게 분배된다. 본 논문에서 제안하는 품질 적응 기법의 성능 검증을 위해 각 프레임 타입에 할당되는 가용 대역폭과 전송, 수신되는 프레임들을 분석한 결과를 그림 12에 나타내었다.

각 프레임 타입별 가용 대역폭의 할당을 그림 12(a)에 나타내었다. I 프레임은 P 프레임과 B 프레임을 디코딩하기 위한 최소 품질을 보장하는 데이터 성분으로 품질 적응 기법의 대상에서 제외하였으며, 그로인해 평균 전송률이 일정하게 유지된다. 하지만, P 프레임과 B 프레임의 경우 TCP 친화적인 전송률 조절이나 버퍼 상태 예측에 의한 활성 프레임 수의 변화에 따라 변화하는 것을 확인할 수 있으며, 특히 B 프레임의 경우, 데이터의 중요도가 상대적으로 P 프레임에 비해 낮기 때문에 P 프레임에 비해 전송률 변화폭이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그림 12(b)에서는 각 프레임 타입별 가용 대역폭 할당에 따라 전송되고 수신되는 프레임

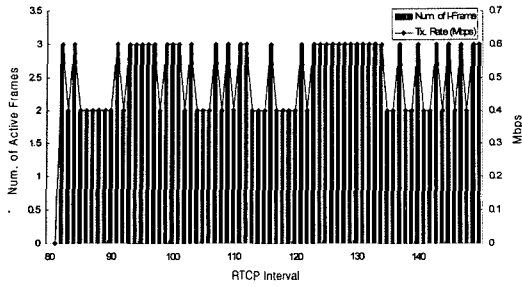


(a) 프레임 타입별 가용 대역폭 할당

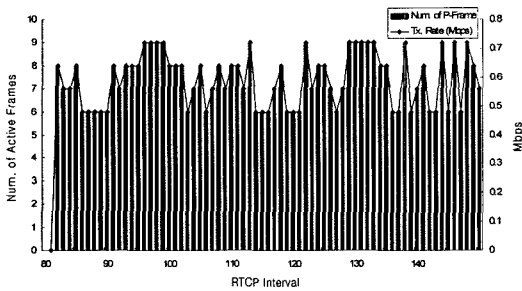


(b) 프레임 타입별 전송 및 수신 분석

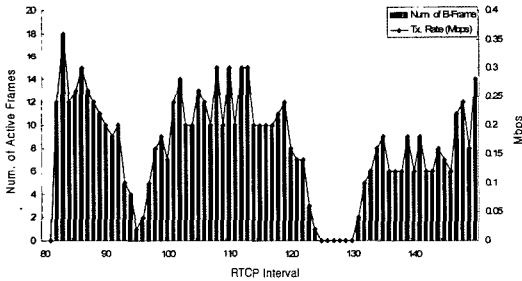
그림 12 프레임 타입별 대역폭 할당 및 전송



(a) I 프레임



(b) P 프레임



(c) B 프레임

그림 13 프레임 타입별 대역폭 할당 및 전송 개수

들을 분석한 결과를 보여준다. 그래프에서 하단부분은 이전 주기에 전송하기 시작해서 현재 주기에 전송이 완료된 GOP를 구성하는 프레임들을 나타내었으며, 상단 부분은 현재 주기에 전송이 시작된 GOP를 구성하는 프레임들을 나타내었다. 가용대역폭이 하나의 GOP를 구성하는 프레임들을 전송할 수 없을 경우, 상대적인 데이터 중요도에 따라 I 프레임이 우선적으로 전송 시도되며 P, B 프레임 순서로 전송되는 것을 확인할 수 있다.

그림 12의 결과를 프레임 타입별로 분리하여 그림 13에 상세히 나타내었다. 그림 13은 각 프레임 타입별로 할당되는 대역폭의 크기와 할당받은 대역폭을 기준으로 해당 시간에 전송하는 각 프레임의 개수를 나타낸 것으로 B 프레임의 경우, 버퍼의 underflow가 예상되는 시점에서 대역폭 할당 및 전송하는 프레임 수가 줄어드는

것을 확인할 수 있다. 그림 12와 그림 13의 결과를 통해서 본 논문에서 제안하는 품질 적응 기법이 활성화된 프레임 사이에서 가용 대역폭을 적절하게 분배하고, 활성화된 프레임들을 클라이언트에게 성공적으로 전송하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

인터넷 환경에서 비디오 스트리밍을 위해서는 네트워크 관점의 안정성 향상뿐만 아니라 사용자에게 제공되는 서비스 품질을 고려하여 네트워크 상태 기반 품질 적응 기법 적용이 필요하다. 기존의 품질 적응 기법은 비디오 스트림의 계층적인 인코딩 속성을 이용하여 서비스 품질을 결정하는데 비해, 본 논문에서는 계층적인 인코딩 방법의 단점을 개선하기 위해 비디오 스트림이 가지는 시간적 확장성, 즉 프레임률 변화를 통한 품질 적응 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 현재 네트워크 상태를 기반으로 TCP 친화적인 전송률을 계산하고 클라이언트 버퍼 상태를 예측하여, 이를 기반으로 서비스되는 비디오 스트림의 활성 프레임의 수를 변화시킴으로써, 사용자에게 제공되는 스트리밍 서비스의 품질을 적응적으로 조절하게 된다.

실험을 통해 제안하는 품질 적응 기법이 네트워크의 안정성을 향상시킴과 동시에 사용자에게 가능한 높은 품질의 비디오 스트리밍 서비스를 끊임없이 제공할 수 있음을 확인하였다. 향후 연구 목표로서, 점차 그 중요성이 커지고 있는 무선 네트워크 환경에서 효율적인 비디오 스트리밍을 위한 품질 적응 기법에 대한 연구를 수행할 계획이다.

참고 문헌

- [1] S. Floyd and K. Fall, "Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 7, pp. 458 - 472, 1999.
- [2] R. Rejaie, M. Handley, and D. Estrin, "RAP: An end-to-end rate based congestion control mechanism for real-time streams in the Internet," *IEEE INFOCOMM*, 1999.
- [3] D. Bansal and H. Balakrishnan, "Binomial congestion control algorithms," *IEEE INFOCOM*, 2001.
- [4] I. Rhee, V. Ozdemir, and Y. Yi, "TEAR: TCP emulation at receivers - flow control for multimedia streaming," Technical Report, NCSU, 2000.
- [5] S. Floyd, M. Handley, J. Padhye, and J. Widmer, "Equation-based congestion control for unicast applications," *ACM SIGCOMM*, 2000.
- [6] T. Kim and M. H. Ammar, "Optimal quality adaptation for MPEG-4 fine-grained scalable

- video," IEEE INFOCOM, 2003.
- [7] D. Wu, Y. T. Hou, and Y. Q. Zhang, "Transporting real-time video over the Internet: Challenges and approaches," IEEE Conference, Vol. 88, pp. 1855 - 1877, 2000.
- [8] J. Padhye, J. Kurose, D. Towsley, and R. Koodli, "A model based TCP-friendly rate control protocol," NOSSDAV, 1999.
- [9] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, and J. Kurose, "Modeling TCP throughput: A simple model and its empirical validation," ACM SIGCOMM, 1998.
- [10] J. Bolot and T. Turletti, "A rate control mechanism for packet video in the internet," IEEE INFOCOM, pp. 1216 - 1223, 1994.
- [11] A. Ortega and M. Khansari, "Rate control for video coding over variable bit rate channels with applications to wireless transmission," IEEE Image Processing, 1995.
- [12] W. Tan and A. Zakhor, "Error resilient packet video for the internet," IEEE Image Processing, 1998.
- [13] J. Lee, T. Kim, and S. Ko, "Motion prediction based on temporal layering for layered video coding," ITC-CSCC, Vol. 1, pp. 245 - 248, 1998.
- [14] S. McCanne, "Scalable compression and transmission of internet multicast video," Ph.D. thesis, University of California Berkeley, UCB/CSD-96-928, 1996.
- [15] S. McCanne and M. Vetterli, "Joint source/channel coding for multicast packet video," IEEE Image Processing, pp. 776 - 785, 1995.
- [16] M. Vishwanath and P. Chou, "An efficient algorithm for hierarchical compression of video," IEEE Image Processing, pp. 275-279, 1994.
- [17] R. Rejaie, M. Handley, and D. Estrin, "Quality adaptation for unicast audio and video," ACM SIGCOMM, 1999.
- [18] R. Rejaie, M. Handley, and D. Estrin, "Layered quality adaptation for Internet video streaming. IEEE Journal on Selected Areas of Communications, 2000.
- [19] N. Feamster, D. Bansal, and H. Balakrishnan, "On the interactions between layered quality adaptation and congestion control for streaming video," Packet Video Workshop, 2001.
- [20] N. Wakamiya, M. Miyabayashi, M. Murata, and H. Miyahara, "MPEG-4 video transfer with TCP-friendly rate control," IFIP/IEEE MMNS, 2001.
- [21] T. Kim and M. H. Ammar, "Optimal quality adaptation for scalable encoded video," IEEE Journal on Selected Areas of Communications, 2005.
- [22] S. Lee and K. Chung, "TCP-friendly rate control scheme based on RTP," ICOIN, 2006.
- [23] D. Sisalem and H. Schulzrinne, "The loss-delay based adjustment algorithm: A TCP-friendly adaptation scheme," NOSSDAV, 1998.
- [24] B. Song, K. Chung, and Y. Shin, "SRTP: TCP-friendly congestion control for multimedia streaming," ICOIN, 2002.
- [25] The network simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nanam/ns/>

이 선 현

정보과학회논문지 : 정보통신
제 34 권 제 2 호 참조

정 광 수

정보과학회논문지 : 정보통신
제 34 권 제 2 호 참조