비디오 품질 향상을 위한 네트워크 적응적인 SVC 스트리밍 프로토콜

(A Network Adaptive SVC Streaming Protocol for Improving Video Quality)

김 종 현 † 구 자 헌 † 정 광 수 ††
(Jonghyun Kim) (Jahon Koo) (Kwangsue Chung)

요 약 비디오 스트리밍을 위한 QoS 메커니즘은 다양한 사용자 환경과 스트리밍 응용 프로그램의 특성에 대한 고려가 부족하다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 비디오 부호화의 공간적, 시간적, 품질적 확장성을 제공하는 SVC(Scalable Video Coding)를 이용한 비디오 스트리밍 프로토콜에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 이러한 프로토콜들은 혼잡 제어 메커니즘을 가지고 있지 않아 네트워크 혼잡 상황을 심화 시키며, 다른 트래픽과의 공정성(Fairness)을 저하시키는 문제점을 가지고 있다. 또한 SVC 기반의 스트리밍 프로토콜은 단순히 네트워크의 가용대역폭 내에서 최대의 비트율을 가지는 비트스트림을 선택하여 전송함으로써 SVC로 인코딩된 영상의 특성을 간과하는 문제점을 갖는다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 네트워크 상태와 SVC 비트스트림의 특성을 모두 고려한 T-NASS(TCP-Friendly Network Adaptive SVC Streaming) 프로토콜을 제안하였다. T-NASS 프로토콜은 TCP 친화적인 전송률을 계산하고, 패킷 손실률과 ECN(Explicit Congestion Notification) 패킷의 수신율을 근거로 네트워크 상태를 인지하여 최적의 SVC 비트스트림을 선택한다. T-NASS 프로토콜의 성능 평가를 위해 ns-2(Network Simulator) 시뮬레이터를 이용하여 TCP 친화적인 전송 특성과 네트워크 상태를 인지하여 최적의 비트스트림을 선택하는 것을 확인하였고 이를 통해 전송된 비디오 영상의 품질이 향상되었음을 확인하였다.

키워드 : 스케일러블 비디오 코딩, 미디어 스트리밍, TFRC

Abstract The existing QoS mechanisms for video streaming are short of the consideration for various user environments and the characteristic of streaming applying programs. In order to overwhelm this problem, studies on the video streaming protocols exploiting scalable video coding (SVC), which provide spatial, temporal, and qualitative scalability in video coding, are progressing actively. However, these protocols also have the problem to deepen network congestion situation, and to lower fairness between other traffics, as they are not equipped with congestion control mechanisms.

SVC based streaming protocols also have the problem to overlook the property of videos encoded in SVC, as the protocols transmit the streaming simply by extracting the bitstream which has the maximum bit rate within available bandwidth of a network.

To solve these problems, this study suggests TCP-friendly network adaptive SVC streaming (T-NASS) protocol which considers both network status and SVC bitstream property. T-NASS protocol extracts the optimal SVC bitstream by calculating TCP-friendly transmission rate, and by perceiving the network status on the basis of packet loss rate and explicit congestion notification (ECN).

· 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업과 지식경제부의 전략기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임

† 학생회원 : 광운대학교 전자통신공학과
jongkim@cclab.kw.ac.kr
jhkoo@cclab.kw.ac.kr
†† 종신회원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수
kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2009년 2월 16일
심사완료 : 2010년 6월 12일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제5호(2010.10)

Through the performance estimation using an ns-2 network simulator, this study identified T-NASS protocol extracts the optimal bitstream as it uses TCP-friendly transmission property and perceives the network status, and also identified the video image quality transmitted through T-NASS protocol is improved.

Key words : SVC, TFRC, Media streaming

1. 서 론

현재 인터넷을 기반으로 IPTV, 사용자 제작 콘텐츠(User Created Contents) 등의 다양한 응용서비스 이용의 증가로 인하여 네트워크에 멀티미디어 트래픽이 크게 증가하고 있다. 그리고 국내·외에서 유무선 통합 및 방송통신 융합 서비스가 요구되면서, 현재 다양한 네트워크 기술 및 새로운 응용 서비스 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

이러한 다양한 네트워크 환경에서 멀티미디어 서비스의 생성, 전송 및 소비에 대한 QoS(Quality of Service)를 제공하기 위해 혼잡제어 메커니즘 등 QoS 보장 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존 연구들의 경우 멀티미디어 스트리밍 서비스를 위해 사용자 측면에서의 접속 망(Access Network)이나 단말(Terminal) 특성에 대한 고려가 부족하다는 문제점을 가지고 있다.

최근 이러한 문제를 고려하여, 네트워크 관점에서 스트리밍 서비스의 성능 향상과 비디오 부호화의 확장성(Scalability)을 제공하기 위하여 ISO/IEC MPEG과 ITU-T VCEG의 JVT에서는 MCTF(Montion Compensated Temporal Filtering)와 H.264를 확장한 SVC(Scalable Video Coding)을 표준화 하고 있다[2].

SVC는 다양한 사용자 환경에서 원활한 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서 사용자 환경에 적합하도록 공간적(Spatial), 시간적(Temporal), 품질적(Quality)측면에서 서비스 품질 및 비트율을 조절할 수 있는 확장성을 제공한다. 이러한 SVC의 목적은 한번의 부호화 과정으로 다양한 확장성을 제공하는 비트스트림 콘텐츠를 생성하여, 다양한 접속 네트워크 및 이기종 단말에서 QoS가 보장되는 비디오 스트리밍 서비스를 사용자에게 제공한다. 이와 같은 서비스가 효율적으로 제공되기 위해서는 원본 비디오 영상으로부터 네트워크 환경과 사용자 단말에 상태를 인지하여 현재 상태에 적합한 비트율를 갖는 비트스트림을 선택하여 전송하는 방법에 대한 연구를 수행 할 필요가 있다[3,4].

본 논문에서는 SVC 기반의 스트리밍 시스템에서 네트워크 상태를 인지하여 비트스트림을 선택하는 새로운 기법을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 알고리즘에 대한 성능 분석을 하였다. 본 논문에서 제안하는 T-NASS 프로토콜은 네트워크 상태 인지를 통해 TCP 친화적인 전송률을 계산하여 네트워크의 패킷 손실률과 라우터에서의 혼잡 상황을 고려한 비트스트림 선택기법 제어함으로써 네트워크 상태에 적응적인 최적의 비트스트림이 선택 될 수 있도록 하였다. 또한 사용자 관점에서 끊김 없는 부드러운 비디오 재생이 가능하도록 성능을 향상시켰다.

본 논문의 2장에서는 SVC의 기본적인 개념을 설명하고, 기존 스트리밍 전송기법과 관련하여 TCP 친화적인 전송률 조절 기법을 기술하였다. 3장에서는 네트워크 상태 변화에 적응하는 새로운 비디오 스트림 품질 조절 기법에 대해 기술하였다. 4장에서는 시뮬레이터 및 구현 플랫폼을 이용하여 제안하는 T-NASS 기법의 성능을 평가하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺었다.

2. 관련연구

2.1 표준 스트리밍 프로토콜

IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 실시간 응용 데이터 전송을 위한 전송 계층 프로토콜인 RTP/RTCP(Real-Time Transport Protocol/Real-Time Transport Control Protocol)를 표준화하였다[5,6]. RTP는 오디오, 비디오 및 시뮬레이션 데이터와 같은 실시간 데이터를 멀티캐스트 또는 유니캐스트 네트워크를 이용해서 전송하는 응용 서비스에 알맞은 종단 네트워크간 전송 기능을 제공한다. RTP 데이터 전송 기능은 제어 프로토콜에 의해 확장되는데, RTCP라 불리는 제어 프로토콜은 데이터의 전달 상황을 감시하며 최소한의 제어 기능과 매체 식별 기능을 제공한다. RTP와 RTCP는 하위의 전송 및 네트워크 계층에 무관하게 설계되었지만 UDP(User Datagram Protocol)를 기반으로 한다.

RTCP는 기본적으로 세션의 모든 참가자들에게 송신자 보고(SR: Sender Report)와 수신자 보고(RR: Receiver Report)를 주기적으로 보내어 네트워크 상태 정보에 대한 피드백 기능을 제공하고, RTP 소스의 식별자를 주기적으로 수송한다. 이 두 가지 기능은 모든 참가자들이 RTCP 패킷을 송신할 것을 요구한다. 따라서 RTP가 많은 수의 참가자를 수용할 수 있기 위해서는 그 송신 비율이 제어되어야 한다. 송신자 보고나 수신자 보고는 대역폭 제약이 허용하는 한 자주 보내서 송수신 통계치의 정밀도를 최대화시켜야 한다[7].

2.2 스케일러블 비디오 코딩(SVC)

SVC는 H.264와 비슷한 부호화 효율을 가지면서 공간적, 시간적, 품질적 확장성을 지원하는 부호화 방식이다. SVC를 이용하여 한번 부호화된 비트스트림은 두 개 혹은 그 이상의 의존적인 계층으로 구성될 수 있다. 이와 같은 경우 비트스트림은 하나의 기본계층(Base layer)과 다수의 상위계층(Enhancement layer)들로 구성된다. 여기서 기본계층 및 연속되는 상위계층의 정보가 함께 이용되어 보다 개선된 비디오 비트스트림을 만든다. 그 예로 품질적 확장성은 하나의 비트스트림으로부터 동일한 공간 및 시간 차원(Dimension)을 갖지만 각각 다른 품질을 갖는 비트스트림들을 만들어 낼 수 있다. 일반적으로 기본계층은 기본 품질을 제공하고, 연속된 상위 계층은 이전 계층들로 만들어진 비디오보다 높은 품질을 갖도록 부호화한다. 공간적, 시간적 확장성도 동일한 원리를 적용하여 확장성을 지원한다.

공간적인 확장성은 상·하향 표본화를 통해 여러 해상도를 가지는 영상들을 계층적으로 구성하여 제공한다. 우선 하위계층의 크기가 작은 영상을 부호화한 후, 상위계층은 부호화된 하위계층의 정보를 이용함으로써 부호화 효율을 높인다. 시간적 확장성은 계층적 B 화면(Hierarchical B Picture) 기법을 이용한다. 이는 매 프레임마다 구별된 시간적 레벨을 지정함으로써 다양한 프레임 율을 제공한다. 마지막으로 화질 확장성은 CGS(Coarse Grain Scalability)와 FGS(Fine Grain Scalability)에 의해 구현된다. CGS는 계층 기반인 측면에서 공간적 확장성과 동일한 방식이지만, 계층 간에 동일한 해상도를 가지는 반면, 양자화(QP: Quantization Parameter) 값을 다르게 할당하여 상위 계층일수록 높은 화질을 제공한다. FGS는 Bit-plane 부호화 기법과 유사한 Cyclic 부호화 기법과 2-scan 부호화 기법으로 만들어지며, CGS보다 세밀한 비트양 및 화질 차이를 제공할 수 있다. 그림 1은 SVC가 지원하는 시간, 공간, 화질 측면의 복합적인 확장성의 예를 보여준다.

2.3 네트워크 관점 스트리밍 프로토콜의 문제점

UDP는 별도의 접속 절차나 ACK 패킷의 수신과 무관하게 송신측에서 데이터를 전송하기 때문에 손실된 패킷에 대한 재전송 지연과 급격한 전송률 감소현상이 없는 장점으로 비디오 스트리밍 프로토콜로 널리 사용되고 있다. 하지만 혼잡 제어 메커니즘이 없는 UDP는 네트워크 혼잡 상황을 유발하며 전송 채널 상태가 좋아짐에 따라 전송률을 높일 경우 동일 채널 내에 있는 다른 트래픽의 채널 점유율을 감소시켜 네트워크 자원을 불공정하게 사용하는 문제점을 갖는다.

이러한 문제를 해결하기 위해 혼잡 제어 메커니즘을 적용한 스트리밍 프로토콜에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 대표적으로 1998년에 제안된 Padhye의 TCP 전송률 모델링 공식을 사용하여 전송률을 조절하는 스트리밍 프로토콜이 있다[8-12].

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

Padhye가 전개한 TCP 전송률 모델링 공식은 식 (1)과 같다. t_{RTT}는 RTT(Round Trip Time)를, S는 패킷 크기, p는 패킷 손실률, t_{RTO}는 RTO(Retransmission Time-Out)를 의미한다. Padhye의 공식은 TCP 친화적인 전송률을 계산할 수 있다는 장점으로 인해 멀티미디어 스트리밍을 위한 TFRC(TCP-Friendly RateControl)나 MSTFP(Multimedia Streaming TCP-Friendly Transport Protocol), SRTP(Smart-RTP), TF-RTP(TCP-Friendly RTP)등의 스트리밍 프로토콜에서 사용되었다.

하지만 Padhye의 공식을 사용하는 스트리밍 프로토

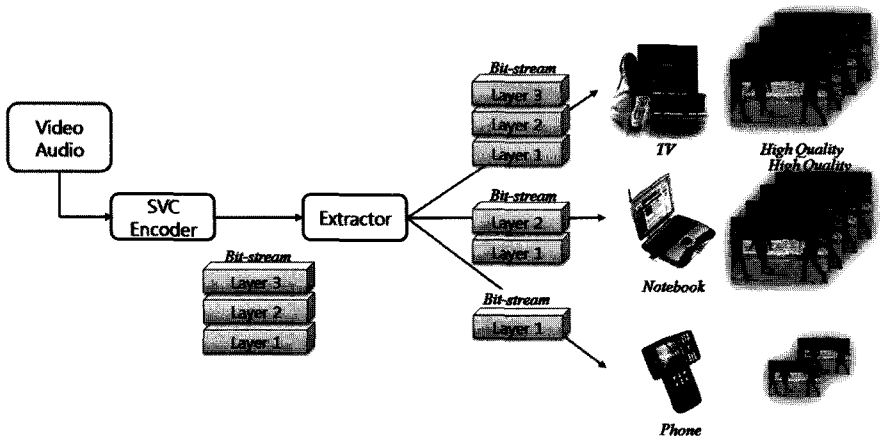

그림 1 SVC 서비스 구조

콜은 부정확한 파라미터 값으로 인해 실제 TCP의 평균 전송률에 비해 작은 값으로 계산되며, 전송률의 변화가 크게 발생한다는 문제점을 갖는다[13-17].

2.4 기존 SVC 비트스트림 선택 기법의 문제점

SVC 인코더는 원본 영상을 다양한 확장성을 갖는 비트스트림으로 부호화 한다. 이러한 SVC 비트스트림의 확장성을 이용한 대표적인 혼잡제어 전송률 조절 기법인 Nguyen의 SVS(Scalable Video Streaming) 방법의 SVC 비트스트림 선택 기법은 현재 네트워크 가용 대역폭을 넘지 않는 범위에서 최대 비트율을 갖는 비트스트림을 선택한다[18]. 하지만 비트율과 영상 품질의 비례관계는 하나의 공간적, 시간적, 품질적 확장성에서 고려할 경우에만 성립한다. 3가지 확장성을 모두 고려하는 결합형 확장성(Combined Scalability)일 경우에는 비트스트림의 비트율이 증가함에 따라 영상의 품질이 증가하지 않을 수 있다.

그림 2는 ISO/IEC MPEG(Moving Pictures Experts Group)과 ITU-T VCEG(Video Coding Experts Group)의 JVT(Joint Video Team)에서 수행하고 있는 SVC (Scalable Video Coding) 프로젝트의 참조 소프트웨어인 JSVM 9.14 환경에서 결합형 확장성을 고려하여 인코딩된 비트스트림의 비트율과 영상 품질 간의 관계를 나타낸 것이다. 시간적 확장성이 최대가 되는 107.1Kbps, 154.2Kbps, 187Kbps, 228.4Kbps의 비트율을 갖는 비트스트림에서 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 값이 크게 증가하였으며, 이는 시간적, 공간적, 품질적 확장성을 모두 고려하여 인코딩된 비트스트림 비트율은 영상의 품질과 항상 비례하지 않음을 확인할 수 있다. 즉, 기존 연구와 같이 네트워크 가용 대역폭 내에서 최대의 비트율을 갖는 비트스트림을 선택하는 것은 영상 품질을 저하시키는 원인이 된다. 또한 영상의 품질이 자주 변하거나 영상의 사이즈가 자주 변하는 것은 사용자 체감 품질을 감소시키는 중요한 원인이다.

3. T-NASS 프로토콜 알고리즘

3.1 T-NASS 프로토콜 개요

기존 스트리밍 프로토콜 연구는 단일한 접속 네트워크와 단일한 사용자 단말의 제한적인 관점에서 성능 향상을 추구하였기 때문에 다양한 사용자 환경에 대한 고려가 부족하다. 본 절에서는 2장에서 설명한 스트리밍 프로토콜들의 문제점과 기존 SVC 비트스트림 선택 기법의 문제점을 개선하기 위해 T-NASS(TCP-Friendly Network Adaptive SVC Streaming) 프로토콜을 제안한다.

새롭게 제안된 T-NASS 프로토콜은 네트워크 관점에서 TCP 친화적인 전송률을 계산하여 네트워크 자원을 공평하게 사용하도록 하였으며, 패킷 손실률 및 라우터의 혼잡 상황과 같은 네트워크 특성과 비디오 영상 특성을 함께 고려하여 최적의 비트스트림을 선택함으로써 전송되는 비디오의 품질을 향상 시켰다.

그림 3은 T-NASS 프로토콜의 전체 구조를 나타낸 것이다. SVC 형태로 인코딩된 비디오 영상은 SE(Server Entity)의 스트리밍 서버를 통해서 CE(Client Entity)로 전송된다. T-NASS 프로토콜은 기본적으로 표준 스트리밍 프로토콜인 RTP/RTCP 모델을 사용한다. 제어 프로토콜인 RTCP는 패킷 손실률과 RTT등의 네트워크 상태 정보를 주기적으로 ME(Management Entity)내에 있는 MM(Monitoring Module)에게 보고한다.

T-NASS 프로토콜은 기존의 TCP 친화적인 전송률 조절 기법의 문제점을 개선하기 위해 MM의 정보를 기반으로 ADM(Adaptive Decision Module)을 통해 전송률을 결정하고, 결정된 전송률을 기반으로 비트스트림을 선택한다. ADM은 부정확한 기존의 TCP 친화적인 전송률 산출 방식의 문제점을 해결하기 위해 이벤트 기반

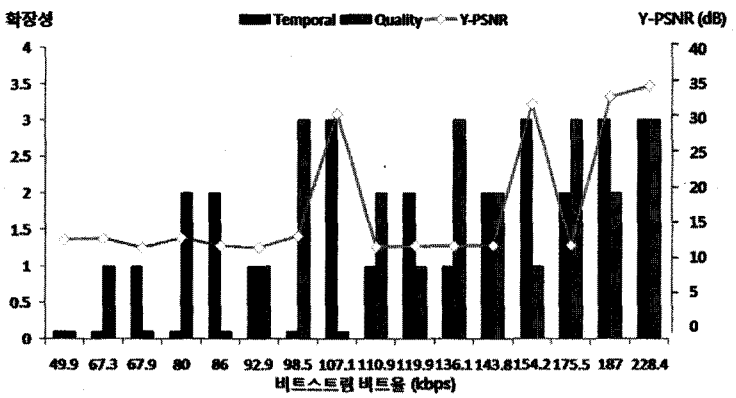

그림 2 비트율과 영상 품질 비교

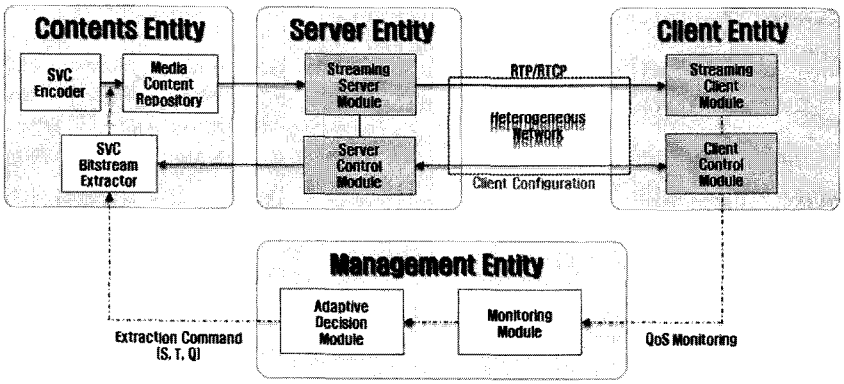

그림 3 T-NASS 프로토콜 구조

의 패킷 손실률 계산 기법을 적용하며, 전송률 변화를 줄이기 위하여 저대역 필터링된 RTT를 계산한다. 또한 ADM은 라우터에서의 혼잡 상황을 나타내는 ECN이 표기된 패킷의 수신율과 패킷 손실률의 변화량을 계산하고, 이를 BEMT(Bitstream Extraction Mapping Table)에 적용하여 네트워크 상태에 적합한 비트스트림을 선택한다.

3.2 네트워크 상태 판단 알고리즘

T-NASS 프로토콜은 패킷 손실률과 RTT를 이용하여 TCP 친화적인 전송률을 계산하며, 이를 기준으로 선택될 비트율의 상한치를 결정한다. 2.3절에서 언급한 것과 같이 Padhye의 공식을 사용하는 기존 스트리밍 프로토콜은 패킷 수 기반의 패킷 손실률을 사용하여 전송률을 결정한다. 패킷 수 기반의 패킷 손실률은 상대적으로 큰 값으로 결정되므로 실제 TCP의 평균 전송률에 비해 작은 값으로 TCP 친화적인 전송률을 계산하게 되며, 연속적인 패킷 손실이 발생할 경우 전송률 변화에 큰 영향을 끼치게 된다.

이러한 문제를 개선하기 위해 T-NASS 프로토콜은 이벤트 기반의 패킷 손실률 계산 방법을 제안하였다. 하나의 RTCP 주기 내에서 발생하는 패킷 손실은 연속적인 패킷 손실로 간주하여, 하나의 패킷 손실 이벤트로 처리하는 방법으로써 패킷 수 기반의 패킷 손실률 계산 방법에 비해 패킷 손실률이 작고, 손실률의 변화도 감소한다. 이와 같은 방법은 비디오 스트림의 전송률을 안정하게 변화시킬 수 있으며, 경쟁하는 TCP와의 형평성을 향상시킬 수 있는 장점을 갖는다.

$$Packet\ Loss\ Ratio = \frac{Number\ of\ Loss\ Event}{Number\ of\ Packet\ Sent} \qquad (2)$$

식 (2)는 T-NASS 프로토콜에서 제안하는 이벤트 기반의 패킷 손실률 계산 방법으로 전체 전달된 패킷의 수와 손실 이벤트가 발생한 수에 대한 비율로 나타낼 수 있다.

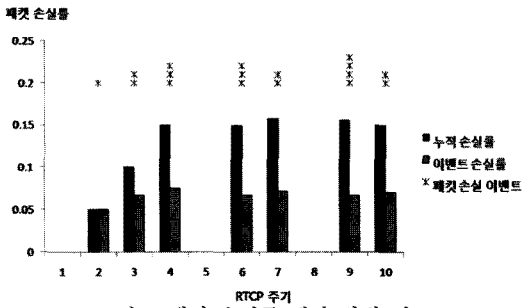

그림 4 패킷 손실률 계산 방법 비교

그림 4와 같이 기존의 패킷 수 기반의 패킷 손실률 계산 방법과 패킷 이벤트 기반의 패킷 손실률 계산 방법에 따른 패킷 손실률 p의 변화를 확인 할 수 있다. RTCP 패킷 전달 주기 동안 10개의 데이터 패킷이 전송된다는 가정에서, 임의의 패킷 손실 발생을 'x'로 표시하였으며, 각각의 패킷 손실률 계산 방법에 따라 패킷 손실률의 변화를 결과로 나타내었다. 결과를 통해 확인할 수 있듯이 이벤트 기반의 패킷 손실률 계산 방법은 기존의 패킷 수 기반의 패킷 손실률 계산에 비해 작은 값을 가지며 패킷 손실률의 변화도 크게 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이러한 이벤트 기반의 패킷 손실률을 Padhye의 공식에 적용할 경우, 경쟁하는 TCP와의 형평성이 향상되는 동시에 전송률의 변화폭이 줄어드는 긍정적인 효과를 기대할 수 있다.

그리고, T-NASS 프로토콜은 전송률 계산에 사용되는 RTT의 변화폭이 크지 않도록 식 (3)과 같은 저대역 필터링을 사용하여 SRTT(Smoothed RTT)를 이용한다. 식 (3)에서 α는 기존의 TCP에서 사용된 가중치와 동일하게 0.8로 설정한다. 한 번의 저대역 필터링 적용은 하나의 RTCP 구간 안에서는 변화 정도가 작지만, 각 RTCP 구간마다의 RTT는 비교적 크게 변화할 가능성이 있으므로 RTT의 변화 정도를 줄이기 위해 각

RTCP 주기마다 보고된 RTT에 대해 다시 한 번 저대역 필터링을 적용시킨다. 즉, 수신단과 송신단은 RTT 정보를 각각 필터링하여 RTT의 변화를 최소화 시키게 된다.

$$T_{SRTT} = (\alpha \times T_{CurrentRTT}) + (1-\alpha) \times T_{SRTT} \quad (3)$$

3.3 비트스트림 선택 알고리즘

비트스트림의 품질은 비트율에 항상 비례하지 않기 때문에 높은 비트율을 갖는 비트스트림의 품질이 낮은 비트율을 갖는 비트스트림의 품질보다 떨어질 수 있다. 이를 해결하기 위해 T-NASS 프로토콜은 네트워크의 상태뿐만 아니라 비트스트림의 특성을 고려한 비트스트림 선택기법을 제안한다.

제안하는 비트스트림 선택 기법은 네트워크 측면에서 패킷 손실률과 전송 경로에 설치된 라우터에서 발생하는 혼잡 상황을 고려한다. 패킷 손실률 측정은 보다 정확한 패킷 손실 측정을 위해 패킷 수 기반의 패킷 손실률 계산 방법을 사용하며, 패킷 손실률의 변화폭을 줄이기 위해서 패킷 손실률의 증가·감소율을 계산한다. 하나의 RTCP 패킷 전달 주기에서 발생되는 패킷 손실률은 식 (2)와 같이 계산하고, 이전 주기에서 발생된 패킷 손실률과의 차이를 이용하여 식 (4)와 같이 계산한다.

$$PLR_{Trend}(T_{RTCP}) = PLR(T_{RTCP}-1) - PLR(T_{RTCP}) \quad (4)$$

T-NASS 프로토콜은 종단간 송·수신되는 패킷을 이용하여 네트워크 상태를 반영 할 뿐만 아니라, 코어 네트워크의 혼잡 상황도 고려하여 비트스트림을 선택한다. 앞서 제안한 하나의 RTCP 주기 내에서 모든 손실 상황을 하나의 이벤트로 간주한 것은 평균적인 네트워크 상황을 반영한 것이다. 평균적인 네트워크 상황을 반영한 전송률 결정은 비트스트림의 변화 횟수를 줄여 사용자 체감품질은 향상시킬 수 있지만, 네트워크 상황을 실시간으로 반영할 수 없는 단점을 갖는다. 이에 본 논문에서는 네트워크 장비에서 제공하는 ECN기능을 사용하여 코어 네트워크의 혼잡 상황을 실시간으로 반영할 수 있도록 하였다. ECN은 불필요한 패킷 손실을 막기 위해 송신자에게 혼잡 상황을 알려주며, RED(Random Early Detection), Fuzzy-RED, Weighted-RED와 같은 큐 관리 기법을 이용하여 혼잡 상황을 IP헤더에 기록한다. T-NASS 프로토콜은 일정 주기 동안 수신된 패킷 중, ECN 필드가 기록된 패킷의 수를 측정하여 비트스트림 선택에 중요한 정보로 활용한다.

ECN 필드가 기록된 패킷을 이용하여 ECN 수신 확률을 산출하는 공식은 식 (5)와 같다. ECN 수신 확률은 RTCP 패킷 전달 주기 동안 전체 전달된 패킷의 수와 ECN 필드가 기록된 패킷의 수에 대한 비율로 계산하며, ECN 수신 확률의 증가·감소율은 식 (6)과 같이 이전 RTCP 패킷 전달 주기의 ECN 수신 확률에서 현재 RTCP 패킷 전달 주기의 차이를 계산한다.

$$R_{ECN}(T_{RTCP}) = \frac{N_{ECN}(T_{RTCP})}{N_{RTCP}} \quad (5)$$

$$R_{Trend}(T_{RTCP}) = R_{ECN}(T_{RTCP}-1) - R_{ECN}(T_{RTCP}) \quad (6)$$

현재의 ECN 증가·감소 상태는 R_{Trend} 값에 따라 양의 값을 가지면 혼잡 상태가 줄어드는 구간이고, 음의 값을 가지면 혼잡 상태가 증가하는 구간을 나타낸다. 또한 $|R_{Trend}|$ 값에 따라서 혼잡 구간의 변화폭을 나타낸다. 즉, 큰 $|R_{Trend}|$ 값은 혼잡 상황의 변화 경향이 큰 것을 나타내며, 이와 반대로 작은 값을 가지면 혼잡 상황의 변화가 작은 경향을 나타낸다. T-NASS 프로토콜에서는 앞서 언급한 패킷 손실의 변화 경향과 ECN 수신율의 변화 경향을 이용하여 비트스트림을 선택한다.

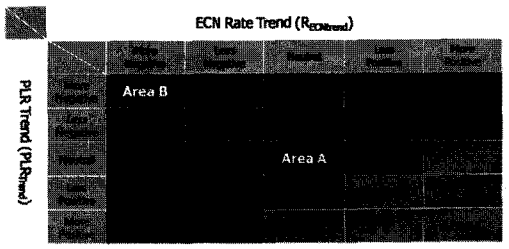

그림 5 네트워크 상태 영역 테이블

그림 5는 3가지 영역으로 구분된 네트워크 상태의 변화 경향에 대한 특성을 나타낸 네트워크 상태 영역 테이블이다. 각 영역은 현재 패킷 손실률과 라우터에서의 혼잡 상황의 변화 경향에 따라 작은 변화 경향을 갖는 Area A와 네트워크의 변화 경향이 큰 Area B, Area C로 구분하였다. 네트워크 상태 영역 테이블은 패킷 손실률과 ECN 수신 확률의 변화 경향을 5가지 레벨로 구분한다. 네트워크의 변화 상태는 각 파라미터의 변화 경향이 증가하는 영역과 감소하는 영역으로 정의하고, 각 영역에서 변화 정도가 큰 영역과 변화 정도가 작은 영역으로 정의한다.

네트워크 상태의 변화 경향에 대한 특성을 구분하기 위해 패킷 손실률의 변화 경향과 ECN 수신 확률의 변화 경향을 정량적으로 수치화 하여 그림 6과 같이 표현하였다. 네트워크 상태의 변화 경향은 네트워크가 혼잡 상황으로 진입하는 구간에서는 낮은 수치로 나타내었고, 네트워크가 안정적인 상태로 진입하는 구간에서는 높은 수치로 나타내었다. 각 영역에서는 변화 경향에 대한 수치를 이용하여 네트워크 상태를 식 (7)과 같이 정량적인 스코어로 나타낸다.

네트워크 변화 경향에 대한 레벨은 식 (7)에서 결정된 스코어를 기반으로 결정된다. 각 영역은 식 (8)과 같

PLR Trend \ ECN Rate Trend	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
2	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	8
4	5	6	7	8	9
5	6	7	8	9	10

PLR Trend \ ECN Rate Trend	1	2	3	4	5
1	4	3	2	1	0
2	3	2	1	0	1
3	2	1	0	1	
4	1	0	1		
5	0	1			

그림 6 네트워크 파라미터 변화 경향에 대한 레벨 및 영역 정의

이 각 영역의 스코어로부터 Neutral 영역까지의 차이를 이용하여 계산한다.

$$index(R_{ECN}, PLR_{Trend}) = Level(R_{ECN}[i]) + Level(PLR_{Trend}[j]) \quad (7)$$

$$AreaLevel(R_{ECN}, PLR_{Trend}) = |6 - index(R_{ECN}, PLR_{Trend})| \quad (8)$$

AreaLevel은 그림 6과 같이 대칭적으로 구분되며, 각 값이 (0~1)로 예측되는 경우에는 Area A로 결정되며 (2~4)로 예측되는 경우에 혼잡 경향이 증가하는 경우에는 Area B로 결정하고, 혼잡 경향이 감소하는 경우에는 Area C로 결정된다. Area A에서는 혼잡 구간의 증가·감소 경향이 작은 구간이므로 SVC로 인코딩된 영상의 비트율이 작게 변하는 범위에서 확장성을 조절한다. Area B와 Area C는 혼잡 구간의 증가·감소 경향이 큰 구간이므로 영상의 비트율 차이가 큰 확장성을 조절해야한다[19].

3.4 전송률 및 비디오 품질 조절 알고리즘

네트워크 혼잡 구간은 3가지 영역으로 구분된다. Area A 영역은 패킷 손실률과 ECN 수신율의 변화 정도가 낮은 영역이다. 따라서 Area A 영역은 비트율 변화폭이 작은 시간적 확장성을 주로 조절하여 비트스트림을 선택하고, 네트워크 상태의 변화 정도가 심한 Area B와 Area C 영역은 비트율의 변화폭이 큰 공간적, 품질적 확장성을 조절하여 비트스트림을 선택한다.

그림 7은 네트워크 상태가 Area A로 판단되는 경우에 수행되는 비트스트림 선택 알고리즘의 비트율 조절 동작 순서를 보여주고 있다. T-NASS 프로토콜은 사용자 체감 품질과 프레임율의 관계를 정량화 한 이론인 Expo-algorithm Function[20]을 기반으로 확장성을 조절하는 알고리즘을 제안하였다. Area A일 경우, 현재 전송되고 있는 영상의 프레임율을 검사하여 기준 프레임 율(Reference Frame Rate)보다 낮으면 시간적 확장성을 조절하고, 기준 프레임율보다 높으면 품질적 확장성과 시간적 확장성을 선택적으로 조절하여 비트스트림을 선택한다. 이는 높은 프레임율 보다 낮은 프레임 율에서 프레임율을 조절함에 따라 사용자가 느끼는 체감 품질의 변화 폭이 현저히 높기 때문이다. T-NASS 프로토콜은 1080Kbps의 비트율을 갖는 비트스트림이 전송되는 상황에서 비트스트림을 선택할 경우 시간적 확장성이 기준 프레임율보다 작기 때문에 1152Kbps의 비트율을 갖는 비트스트림을 선택한다. 또한 네트워크 상태가 좋아져 산출된 전송률이 증가하는 경우, 현재 전송되는 비트스트림의 시간적 확장성이 기준 프레임율 이상이기 때문에 품질적 확장성이 향상된 1220Kbps의 비트율을 갖는 비트스트림을 선택한다.

네트워크 상태가 Area B와 Area C로 결정될 때는 그림 8과 같이 비트스트림 선택 경로를 나타낸다. Area B와 Area C는 네트워크 상태가 급격히 변하는 구간이므로 다음 전송될 비트스트림의 비트율을 크게 변화 시켜야한다. 따라서 T-NASS 프로토콜은 공간적, 품질적

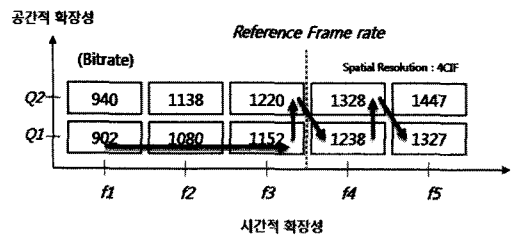

그림 7 사용자 품질 인식 기반의 비트스트림 선택

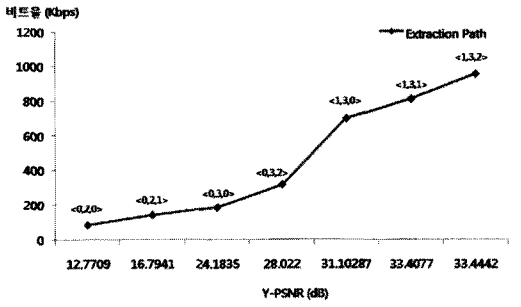

그림 8 율-왜곡 기반의 비트스트림 선택 경로

확장성에 따라 비트율이 크게 변하는 SVC의 특징을 이용하여 비트율과 확장성에 따라 선택될 비트스트림의 경로를 정의해놓고 현재 네트워크 상황에 가장 적합한 비트스트림을 선택한다.

4. 실험 및 성능 평가

본 장에서는 새로 제안한 T-NASS(TCP-Friendly Network Adaptive SVC Streaming) 프로토콜의 성능 평가를 위해 LBNL(Lawrence Berkely National Laboratory)의 ns-2(network simulator)를 사용하여 그림 9와 같은 환경에서 다양한 실험을 수행하였다[21]. 혼잡 상황을 발생시키기 위해, 경쟁 트래픽으로 TCP 트래픽을 유입하였으며 전체 120초 동안 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 시작 후, 30초 동안은 품질 적응 기법을 적용한 세션만을 동작시켜 네트워크 전체 대역폭을 점유하도록 하였다. 30초 이후부터는 TCP 트래픽을 유입하여 네트워크 대역폭을 경쟁하도록 하였으며 네트워크 상태 정보 전달을 위해서 클라이언트는 1초마다 한번씩 RTCP 제어 메시지를 서버로 전달하도록 하였다.

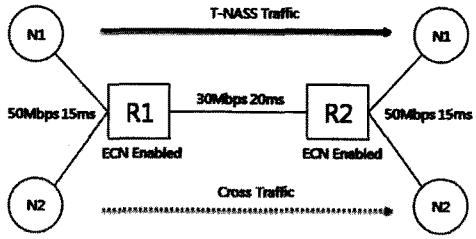

그림 9 실험 환경

4.1 네트워크 관점의 성능 비교

T-NASS 프로토콜은 네트워크 관점에서 패킷 손실 발생과 종단간 지연의 변화량을 감소시킨다. 그림 10과 그림 11은 기존 표준 스트리밍 프로토콜인 RTP와 T-NASS 프로토콜을 이용하여 비디오 스트림을 전송하는 상황에서 종단간 지연과 패킷 손실률의 발생 분포를 비교한 실험이다.

UDP를 사용하는 RTP는 RTCP 패킷 전송 주기 동안의 종단간 지연과 패킷 손실률의 변화폭이 크며, 특히 패킷 손실률은 전체적으로 높게 측정되어 TCP 친화적인 전송률을 결정할 때 전송률을 감소시키는 원인이 되었다. 하지만 T-NASS 프로토콜은 종단간 지연에 2차 저역필터 사용과 이벤트 기반의 패킷 손실률 측정 방법으로 인하여 종단간 지연의 변화폭을 줄이며 패킷 손실 발생이 크게 감소하였다. 이러한 결과를 통해 T-NASS 프로토콜이 네트워크의 안정성을 향상시킴을 확인할 수 있었다.

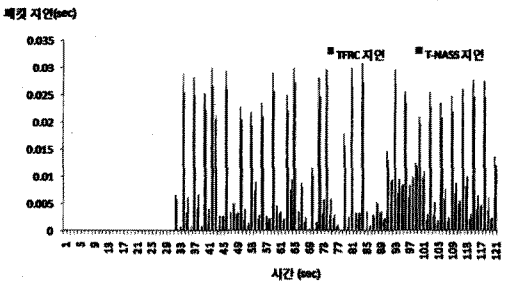

그림 10 종단간 지연에 대한 성능 평가

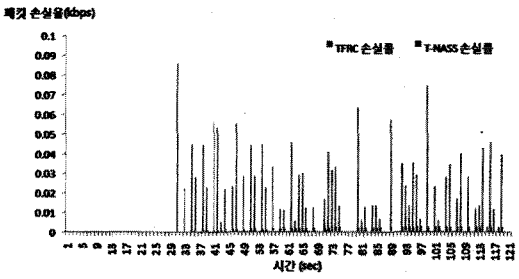

그림 11 패킷 손실률 성능 평가

그림 12는 하나의 TCP 트래픽과 TCP 친화적인 전송률 조절 기법을 적용한 T-NASS 프로토콜을 사용한 트래픽을 경쟁 시켰을 때의 실험 결과를 나타낸다. T-NASS 프로토콜이 적용된 트래픽은 3.3.절에서 설명한 이벤트 기반의 패킷 손실률 계산 기법과 2차 저역필터를 사용한 RTT 계산 기법을 적용하였다. 기존의 TCP 친화적인 전송률 조절 기법은 전체적으로 낮은 전송률을 나타내며, 짧은 구간 사이에서 전송률 변화가 크다. 반면 T-NASS 프로토콜의 트래픽은 높은 링크 사용률을 가지며, 변화 폭도 비교적 낮은 범위에서 존재한다. 결과를 통해 보다 안정적으로 높은 비트율을 갖는 비트스트림을 선택하는 것을 확인 하였다. 하지만 전송률의 변화는 여전히 존재하며, 이산적인 비트율을 갖는 비트스트림의 선택에 있어 적합하지 않다.

4.2 비디오 영상 품질 관점의 성능 비교

T-NASS 프로토콜은 3.4절에서 서술한 것과 같이 네트워크 상태와 비디오 영상의 품질 간의 관계를 레벨로 나타낸다. 다양한 확장성과 비트율을 갖는 비트스트림을 선택할 때 네트워크 상태를 그대로 반영한다면 선택되는 비트스트림의 급격한 품질 차이가 발생할 뿐만 아니라 품질이 달라지면서 사용자가 느끼는 체감 품질은 현저히 떨어지게 된다.

RTCP 전송 주기 동안 수신자 보고로부터 얻은 패킷 손실률과 코어 네트워크의 라우터에서 ECN 필드가 표기된 패킷의 변화 경향은 그림 13과 같이 나타난다. 전

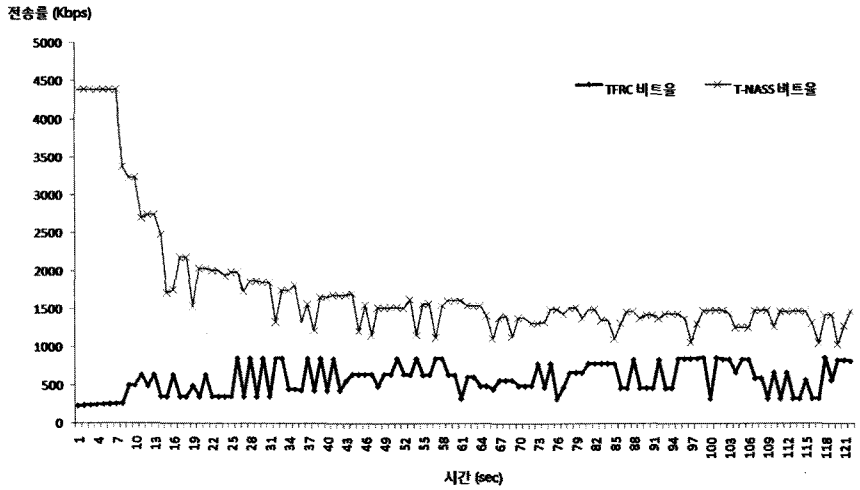

그림 12 TCP 친화적인 전송률 변화

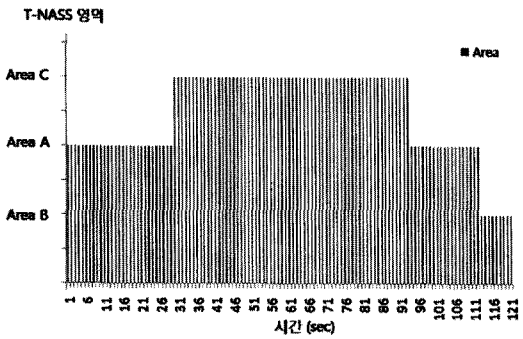

그림 13 네트워크 상태 영역 결정

체적으로 네트워크의 변화 경향은 네트워크 상태가 비교적 안정적인 Area A가 주로 나타났으며 다른 트래픽이 유입되는 30초 이후 구간에서는 Area B와 Area C 사이에서 단계적으로 상태가 변하는 것을 확인할 수 있다.

네트워크의 안정성을 향상 시키는 T-NASS 프로토콜의 비트스트림 선택 결과는 그림 14와 같이 나타난다. 비교 대상은 TCP 친화적인 전송률 내에서 최대의 비트율을 갖는 비트스트림을 선택하는 기법을 사용한 경우와 T-NASS 프로토콜의 비트스트림 선택 기법을 적용한 경우, 선택된 비트스트림의 비트율을 나타내었다. T-NASS 프로토콜은 네트워크 상태 정보를 통해서 영

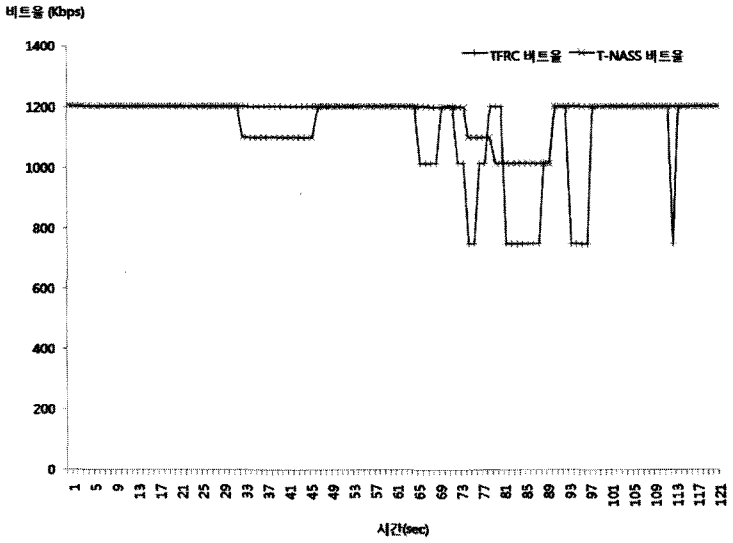

그림 14 선택된 비트스트림의 비트율 변화

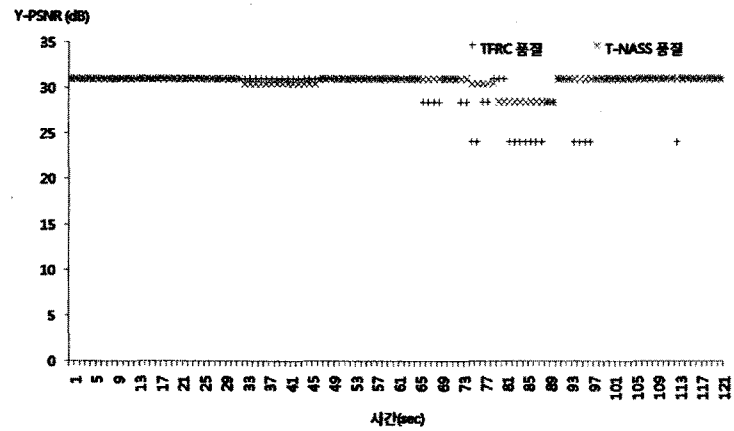

그림 15 선택된 비트스트림의 품질 변화

역을 결정하며 각 영역에서 비트스트림의 특성에 맞는 최적의 비트스트림을 선택하기 때문에 비트율의 변화폭이 적으며, 비트율의 변화가 단계적으로 이루어진다. 또한 비트스트림의 선택 빈도수를 크게 줄여 사용자가 느끼는 체감 품질의 향상뿐만 아니라 네트워크 안정성에 있어서 보다 큰 성능 향상을 보였다. 따라서, 본 논문에서 제안한 T-NASS 프로토콜은 기존 TRFC를 기반으로 제안되었던 MSTFP, SRTP, TF-RTP 방법 보다 안정된 전송률 특성을 제공하여 영상의 비트율 변화를 줄여 줄 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법으로 선택된 비트스트림의 영상 품질을 비교한 결과는 그림 15와 같다. T-NASS 프로토콜은 부분적으로 선택한 비트스트림의 영상 품질이 기존 프로토콜보다 품질이 떨어지는 것을 볼 수 있지만 사용자 품질에 크게 영향을 미치는 수준이 아니며, 대역폭 차이에 비해 품질 열화 정도가 작은 것을 확인할 수 있다. 또한 30초 이후 구간에서 경쟁 트래픽으로 저하된 네트워크 상태에도 불구하고 영상품질이 좋은 비트스트림을 선택할 수 있는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 통해 제안하는 T-NASS 프로토콜이 같은 비트율을 갖는 비트스트림 중에서 더 높은 품질을 갖는 비트스트림을 선택하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 T-NASS 프로토콜은 기존 SVC 코딩 기법을 이용한 전송률 조절 기법인 SVS[18]보다 동일 네트워크 환경에서 좀 더 높은 품질을 제공할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서 제안한 T-NASS 프로토콜은 TCP 친화적인 전송률을 기반으로 네트워크 상황을 인지하여 네트워크 상황에 최적의 SVC 비트스트림을 선택한다. TCP 친화적인 전송률 산출은 패킷 이벤트 기반의 패킷 손실률 계산 방법을 통해 패킷 손실률의 변화폭을 크게 감소시키고 링크 사용률을 향상 시켰으며, RTT에 2차 저대역 필터를 사용하여 전송률의 변화폭을 감소시켰다. 또한 패킷 손실률의 변화 경향과 ECN이 표시된 패킷의 수신율 변화 경향을 정량화하여 네트워크 상태에 따라 다른 비트스트림 선택 기법을 제안하였다. 비트스트림의 선택은 SVC 부호화 기법의 확장성에 따른 비트율의 변화 특성을 이용하여 네트워크 상태 변화가 작을 경우에는 비트율의 변화량이 작은 시간적 확장성을, 네트워크 상태 변화가 클 경우에는 비트율의 변화량이 큰 공간적, 품질적 확장성을 조절 할 수 있도록 설계 하였다.

NS-2 시뮬레이터를 이용하여 네트워크 상태를 반영한 T-NASS 프로토콜의 성능을 검증하고, 기존의 방식과 비교하기 위해 선택된 비트스트림의 비트율 및 영상 품질, TCP 친화적인 전송률에 대해 비교 분석 하였다. 실험 결과를 통해서 T-NASS 프로토콜은 기존 TCP 친화적인 전송률 보다 안정적인 전송률을 보였으며, 링크 사용률 측면에서 약 40% 이상의 성능 향상을 확인할 수 있었다. 또한 빈번하게 비트스트림을 선택하는 문제도 개선하여 낮은 빈도수로 비트스트림을 선택하며, 낮은 비트율을 갖는 비트스트림을 선택한 상황에서도 높은 영상 품질을 유지하는 것을 확인하였다.

향후 연구과제로는 본 논문에서 제안한 T-NASS 프로토콜과 비트스트림 선택 방식을 실 환경에 적용하여 성능을 확인 및 평가해 보아야 할 것이다. 특히 유·무선 상황에서 채널 특성을 고려한 비트스트림 선택 기법과 새로운 광대역 접속 망에 대해서도 적응력 있는 비트스트림 기술에 대한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

[1] Y. Xiao, X. Du, J. Zhang, F. Hu and S. Guizani,

"Internet Protocol Television (IPTV): The Killer Application for the Next-Generation Internet," *IEEE Communications Magazine*, November 2007.
[2] J. Reichel, H. Schwarz and M. Wien, "Working Draft 3 of ISO/IEC 14496-10: 2005/AMD1 Scalable Video Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6 Document N7310*, July 2005.
[3] J. Ohm, "Introduction to SVC Extention of Advanced Video Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Document N7315*, July 2005.
[4] MPEG requirements group, "Applications and Requirements for Scalable Video Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Document N6880*, January 2005.
[5] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley and J. Kurpose, "Modeling TCP Throughput: A Simple Model and Its Empirical Validation," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, September 1998.
[6] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," *IETF RFC 1889*, January 1996.
[7] D. Wu, Y. Hou and Y. Zhang, "Transporting Real-Time Video Over the Internet: Challenges and Approaches," *Proceedings of the IEEE*, December 2000.
[8] R. Rejaie, M. Handley and D. Estrin, "RAP: An End-to-End Rate Based Congestion Control Mechanism for Real-Time Streams in the Internet," *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, March 1999.
[9] D. Bansal and H. Balakrishnan, "Binomial Congestion Control Algorithms," *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, April 2001.
[10] I. Rhee, V. Ozdemir and Y. Yi, "TEAR: TCP Emulation at Receivers - flow Control for Multimedia streaming," *NCSU Technical Report*, 2000.
[11] J. Padhye, J. Kurose, D. Towsley and R. Koodli, "A Model Based TCP-Friendly Rate Control Protocol," *Proceedings of the NOSSDAV*, June 1999.
[12] S. Floyd, M. Handley, J. Padhye and J. Widmer, "Equation-Based Congestion Control for Unicast Applications," *Proceedings of the conference on ATAPCC*, September 2000.
[13] D. Sisalem and H. Schulzrinne, "The Loss-Delay Based Adjustment Algorithm: A TCP-Friendly Adaptation Scheme," *Proceedings of the NOSSDAV*, July 1998.
[14] B. Song, K. Chung and Y. Shin, "SRTP: TCP-Friendly Congestion Control for Multimedia Streaming," *Proceedings of the ICOIN*, February 2002.
[15] S. Lee and K. Chung, "TCP-Friendly Rate Control Scheme Based on RTP," *Proceedings of the ICOIN*, January 2006.
[16] J. Widmer, R. Denda, and M. Mauve, "A Survey on TCP-Friendly Congestion Control," *IEEE Network*, May 2001.
[17] S. Floyd, M. Handley, J. Padhye and J. Widmer, "Equation-Based Congestion Control for Unicast Applications," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, August 2000.
[18] D. Nguyen, and J. Ostermann, "Congestion Control for Scalable Video Streaming Using the Scalability Extension of H.264/AVC," *IEEE Journal of Selected Topic in Signal Processing*, August 2007.
[19] Z. Lu, W. Lin, B. Seng, S. Kato, S. Yao, E. Ong, and X. Yang, "Measuring the Negative Impact of Frame Dropping on Perceptual Visual Quality," *Human Vision and Electronic Imaging X*, January 2005.
[20] P. Antoniou, V. Vassiliou and A. Pitsillides, "ADVIS : A Novel Adaptive Algorithm for Video Streaming Over the Internet," *Proceedings of the IEEE PIMRC*, September 2007.
[21] The Network Simulator ns-2, http://www.isi.edu/nasnam/ns/

김 종 현
2007년 광운대학교 전자통신공학과 학사
2009년 광운대학교 전자통신공학과 석사
2009년~현재 텔코웨어(주) IP솔루션 2팀 연구원. 관심분야는 비디오 스트리밍, 인터넷 QoS, IPTV, 핸드오버

구 자 헌
1999년 광운대학교 전자통신공학과 학사
2001년 광운대학교 전자통신공학과 석사
2003년~2008년 ㈜이노와이어리스 정보통신연구소 과장. 2001년~현재 광운대학교 전자통신공학과 박사과정. 관심분야는 인터넷 QoS, 유.무선 비디오 스트리밍, 광대역 무선인터넷 기술

정 광 수
정보과학회논문지 : 정보통신
제 37 권 제 1 호 참조