

---

# 비디오 스트리밍을 위한 적응적 전송 미들웨어의 구현

김영주\*

## Implementation of Adaptive Transmission Middleware for Video Streaming

Young-Ju Kim\*

---

이 논문은 2000년도 신라대학교 교내연구비의 지원을 받아 연구되었음

---

### 요 약

본 논문은 패킷 기반 네트워크의 유동적인 환경 변화와 전송하는 비디오 데이터의 특성을 함께 고려하여 비디오 데이터를 스트리밍하는 적응적 전송 미들웨어를 구현하고 성능을 평가하였다. 적응적 전송 미들웨어는 SR-RTP 기반의 스트리밍 모듈과 TFRC 기반의 전송률 제어 모듈로 구성되며, SR-RTP 기반의 스트리밍 모듈은 패킷 손실에 의해 손실된 비디오 데이터 중에서 중요도가 높은 데이터만을 선별적으로 재전송하여 패킷 재전송에 따른 전송 지연의 부담을 줄임과 동시에 패킷 손실에 따른 에러를 크게 감소시킨다. TFRC 기반의 전송률 제어 모듈은 TCP 기반의 데이터 전송과 정당하게 네트워크의 전송 대역폭을 공유하면서 최적의 전송 대역폭을 산출하여 전송률을 제어함으로써 유동적으로 변하는 전송 대역폭에 적응적으로 비디오 데이터의 전송률을 제어한다. 외부 인터넷 환경에서 적응적 전송 미들웨어를 적용하여 비디오 스트리밍을 실험하고 패킷 손실에 대한 복구 성능과 스트리밍 지터 정도를 측정하여 분석한 결과, 적응적 전송 미들웨어를 적용하지 않은 경우와 비교하여 상대적으로 높은 스트리밍 성능을 보였다.

### ABSTRACT

This paper proposed and implemented the adaptive transmission middleware for video streaming, which is able to support the adaptive transmission of video data to the fluctuating changes of network environment in the packet-based network and the properties of transmitted video data. The adaptive transmission middleware is made up SR-RTP-based transfer module and TFRC(TCP Friendly Rate Control)-based transfer-rate control module. The SR-RTP-based transfer module supports RTP-based real-time transfer of video data and packet retransmission scheme retransmitting the high-priority packets selectively in the damaged video data to reduce the error induced by the packet loss. Sharing the transmission bandwidth of network with the TCP-based data transfer, the TFRC-based transfer-rate control module controls the transfer rate of video data according to the most allowable transmission bandwidth in the network, so that the transfer rate is controlled adaptively to the fluctuating changes of transmission bandwidth. This paper, for the experiment, applied the adaptive transmission middleware to video streaming in the external Internet environment, and analyzed the effective frame transfer rate and the degree of the streaming jitter to evaluate the performance of packet-loss recovery and adaptive transfer rate control. In the external Internet environment where the packet-loss rate is high a bit, the relatively high streaming performance was showed compared with the case that didn't apply the adaptive transmission middleware.

### 키워드

비디오 스트리밍, 적응적 전송 미들웨어, 패킷 손실, 전송률 제어, 선택적 재전송

## 1. 서 론

인터넷과 같은 패킷 기반 네트워크는 최선(最先:Best-Effort) 전송 특성으로 인해 데이터 전송의 양단간의 연결 상태를 일정하게 유지하지 못한다. 즉 패킷 기반 네트워크에서는 사용 가능한 대역폭이나 패킷 손실률 등의 네트워크 상태가 시간 흐름에 따라 유동적으로 변하고 이로 인해 최대의 전송 성능을 요구하기보다는 일정한 전송률을 요구하는 멀티미디어 스트리밍 응용의 경우에 일정한 성능을 지원하기 어렵다[1,2]. 따라서, 패킷 기반 네트워크에서 비디오 데이터를 실시간으로 전송하는데 있어 일정한 성능을 유지하기 위해서는 다음의 문제점을 적절히 고려하여야 한다[2,3].

- (1) 패킷 손실 처리 - 패킷 손실은 실시간 전송을 요구하는 멀티미디어 데이터의 재생에 심각한 영향을 미치며, 특히 데이터간의 연관성이 높은 압축된 비디오 데이터에서는 손실된 데이터가 후속 데이터의 재생에 영향을 미쳐 에러가 누적되는 문제점을 유발한다.
- (2) 전송 대역폭 변동 처리 - 사용 가능한 전송 대역폭이 시간에 따라 변화함에 따라 비디오 스트리밍 서버의 데이터 전송률도 그에 맞추어 조정되어야 한다.
- (3) 전송 지연 변동 처리 - 패킷의 전송 지연이 시간에 따라 변동되고 전송되는 패킷의 순서가 일정하지 않음에 따라 비디오 데이터의 일정한 재생률 요구 조건을 충족시킬 수 없다.

본 논문은 그림 1과 같이 구성되는 비디오 스트리밍 서버에서 패킷 기반 네트워크의 유동적인 환경 변화와 전송하는 데이터의 특성을 함께 고려하여 적응적으로 비디오 데이터를 스트리밍하는 RTP(Real-time Transfer Protocol) 기반의 전송 미들웨어를 구현하고 성능을 평가한다.

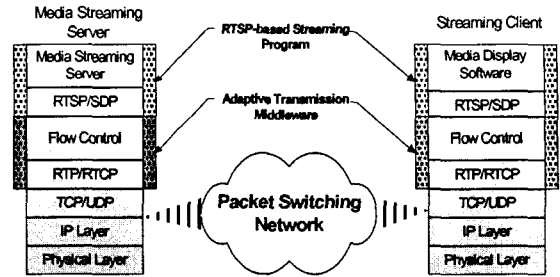


그림 1. RTP와 RTSP 기반 비디오 스트리밍 서버의 구성도

Fig. 1 Structure of Video Streaming Server based on RTP & RTSP

본 논문에서 구현하는 적응적 전송 미들웨어(Adaptive Transmission Middleware)는 패킷 기반 네트워크의 유동적인 상태 변화에 적응적으로 비디오 데이터를 전송하는 중간 계층의 프로그램으로서 선택적 재전송(Selective Retransmission) 기반의 RTP/RTCP 전송 모듈과 TCP-Friendly 혼잡 제어 알고리즘 기반의 전송률 제어 모듈로 구성된다. RTP/RTCP 전송 모듈은 미국 MIT 대학에서 제안한 SR-RTP(Selective Reliability- RTP)[2]를 바탕으로 패킷 손실에 의해 손상된 비디오 데이터 중 중요도가 높은 데이터만을 선택적으로 재전송 함으로써 패킷 손실에 따른 에러를 크게 감소시키고 동시에 재전송에 따른 전송 지연의 부담을 줄이도록 확장된 RTP 기반의 전송 모듈이다. 전송률 제어 모듈은 TFRC(TCP-Friendly Rate Control) 혼잡 제어 기법[5,6]을 바탕으로 시간에 따라 유동적으로 변하는 전송 대역폭에 적응적으로 비디오 데이터의 전송률을 제어한다.

본 논문의 구성을 살펴보면, 2장에서는 관련된 연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 구현한 미들웨어의 구성 및 구현 원리 등을 구체적으로 서술한다. 그리고 4장에서는 구현된 전송 미들웨어에 대한 성능 평가 결과를 제시한 다음, 5장에서 결론으로 마무리한다.

## II. 관련 연구

**2.1 SR-RTP(Selective Reliability-RTP) 프로토콜**  
프레임 기반 비디오 압축 표준(H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 등)은 프레임간의 종속성이 존재하며[11], 이는 비디오 스트리밍에서 패킷 손실에 의한 에러를 더욱 가중시킨다. 만약 비디오 스트리밍



비디오 스트리밍 서버가 RTP 기반 전송 모드를 이용하여 패킷을 전송하면 클라이언트에서는 수신되는 패킷들의 순서 번호(sequence number)를 비교하여 패킷 손실 정보를 축적한다. 그리고 서버가 주기적으로 SR(Sender Report) 패킷을 클라이언트에게 전송하면 그에 대한 응답으로 클라이언트는 SR 패킷간에 발생한 패킷 손실의 누적 회수 ( $N_{loss}$ )와 SR 패킷 타임스탬프(LSR) 그리고 SR 패킷 처리 지연 시간(DLSR) 등의 정보를 담은 RR(Receiver Report) 패킷을 서버에 전송한다. 서버는 RR 패킷을 수신하면 패킷 수신시간( $t_{RR}$ )을 측정한다. 다음, 다음의 식 (1)과 (2)를 이용하여 패킷 손실률과 RTT를 산출한다.

$$p = \frac{N_{loss}}{N_{total}} \quad (1)$$

$$M = t_{RR} - LSR - DLSR \quad (2)$$

여기서,  $p$ 는 패킷 손실률,  $M$ 은 RTT(Round Trip Time)을, 그리고  $N_{total}$ 은 서버에서 SR 패킷간에 전송한 총 패킷 수를 나타낸다. 서버는 산출된 RTT 값에 식 (3)의 "Smooth RTT" 알고리즘[7,8]을 적용하여 RTT 값의 평탄화를 수행한다.

$$R < (-\alpha)R + (1 - \alpha)M \quad (3)$$

여기서,  $R$ 은 평탄화된 RTT을 의미하고,  $\alpha$ 는 평탄화 계수로서 권장 값인 0.9를 적용한다. 그리고, 서버는 일반적인 TCP 알고리즘은 적용하여 식 (4)과 같이 RTO(Retransmission Time-Out)  $t_{RTO}$  값을 계산한다.

$$t_{RTO} = R + 4 * RTT_{var} \quad (4)$$

여기서,  $RTT_{var}$ 은 평탄화된 RTT의 표준편차 값이다. 마지막으로 서버는 식 (1)~(4)에서 산출된 각 파라미터를 이용하여 최종적으로 식 (5)을 이용하여 평탄화된 TCP 처리율을 산출하고, 이전의 전송률과 비교하여 다음의 전송률을 결정한다.

$$T = \frac{s}{R\sqrt{\frac{2b}{3}} + t_{RTO}(3\sqrt{\frac{3b}{8}})p(1 + 32p^2)} \quad (5)$$

여기서,  $T$ 는 평탄화된 TCP 처리율을,  $s$ 는 패킷

크기(평균 패킷 크기)를 의미한다.

### III. 적응적 전송 미들웨어 구현

#### 3.1. 적응적 전송 미들웨어 구성

본 논문에서 구현한 적응적 전송 미들웨어와 이를 이용한 RTSP[11] 기반 비디오 스트리밍 시스템의 구성은 그림 4와 같다. 비디오 스트리밍을 위해서는 RTSP 서버와 클라이언트 사이에 TCP 연결과 UDP 연결을 생성하여 제어 데이터 및 비디오 데이터를 전송한다. TCP 연결은 클라이언트가 서버에게 비디오 스트리밍을 요구하거나 스트리밍 과정을 제어하기 위해 RTSP 및 SDP 메시지를 전송하는 것을 지원하며, 이러한 제어 메시지는 신뢰성 있는 데이터 전송을 요구한다. UDP 연결은 비디오 스트리밍을 위해 SR-RTP/ RTCP 패킷 전송을 지원하며, 하나의 비디오 스트리밍을 위해 RTP 연결 및 RTCP 연결을 각각 지원하는 두 개의 UDP 연결이 요구된다.

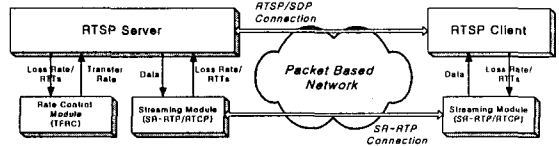


그림 4. 적응적 전송 미들웨어 구성  
Fig. 4 Adaptive Transmission Middleware Structure

#### 3.2 프로그램 모듈 설계 및 구현

본 논문은 적응적 전송 미들웨어를 구성하는 SR-RTP 기반 스트리밍 모듈과 TFRC 기반 전송률 제어 모듈을 구현하고, 독일의 Darmstadt University of Technology에서 구현한 Komssys (KOM Streaming System)[1]을 적응적 전송 미들웨어에 맞게 포팅하여 RTSP 기반 비디오 스트리밍 시스템을 구현하였다.

그림 5는 본 논문에서 적응적 전송 미들웨어와 RTSP 스트리밍 서버를 구현하기 위해 작성한 클래스 및 상속 관계를 개괄적으로 보여주는 것으로 전체 구현의 일부분만을 제시하였으며, 하나의 RTSP 세션의 생성 및 비디오 스트리밍 과정을 쉽게 파악할 수 있도록 나타내었다. 본 논문에서는 적응적 전송 미들웨어에 해당하는 SR-RTP 스트리밍 모듈

및 TFRC 전송률 제어 모듈에 대해서만 살펴본다.

(1) SR-RTP 스트리밍 모듈

SR-RTP 스트리밍 모듈은 파일시스템으로부터 비디오 데이터를 읽은 다음에 네트워크로 전송하는 기능을 수행한다. 이러한 스트리밍 과정은 두 개의 쓰레드, 즉 'SR\_RTP' 객체와 'SR\_RTCP' 객체에 의해 RTSP 통신 부분과 병행적으로 수행된다. 그리고 RTP 스트리밍 동작은 클라이언트에서 전송되는 RTSP 메시지에 의해 제어된다.

'SR\_RTP' 객체는 'MNRTPFileStreamer' 객체를 통해 파일시스템에 접근하여 비디오 데이터를 읽어 오고, RTP 패킷을 준비하여 네트워크로 전송하는 부분으로 구성된다. 'SR\_RTCP' 객체는 별도의 UDP 연결을 통해 SR 패킷을 준비하여 전송하고 클라이언트로부터 전송되는 RR 패킷을 받아 처리하는 부분으로 구성된다. 'SR\_RTCP' 객체는 수신된 RR 패킷으로부터 패킷 재전송 요구 정보와 전송률 제어와 관련된 정보를 추출하여 'MNRTPFileStreamer' 객체에 보내면 'MNRTP FileStreamer' 객체는 패킷 재전송 요구 정보를 'SR\_RTP' 객체에 보내어 손실된 패킷을 재전송하도록 하고, 패킷손실률 및 RTT 정보를 'MNRateController' 객체에 보내어 전송률 제어 정보를 산출하도록 하도록 한다.

(2) TFRC 전송률 제어 모듈

TFRC 전송률 제어는 'SR\_RTCP' 객체를 통해 수신된 RR 패킷의 패킷손실률 및 RTT 정보를 전달받아 평탄화된 TCP 처리율을 산출하고 이전의 전송률과 비교하여 다음의 전송률을 제어하는 정보를 생성한 다음, 비디오 스트리밍의 전송률을 제어하도록 한다. 현재 TFRC 전송률 제어 과정을 수행하는 'MNRateController' 객체는 RR 패킷이 수신될 때마다 호출되어 전송률 제어 정보를 산출하여 반환하도록 구현되어 있으나, 향후에는 전송률 제어 기능을 강화하는 관점에서 별도의 쓰레드로 구현하여 개별적으로 전송률 제어와 관련된 정보를 수집하여 전송률 제어 정보를 생성할 수 있도록 변경되어야 하며, 다양한 형태의 혼잡 제어 기법에 기반한 전송률 제어 기법이 지원되어야 한다.

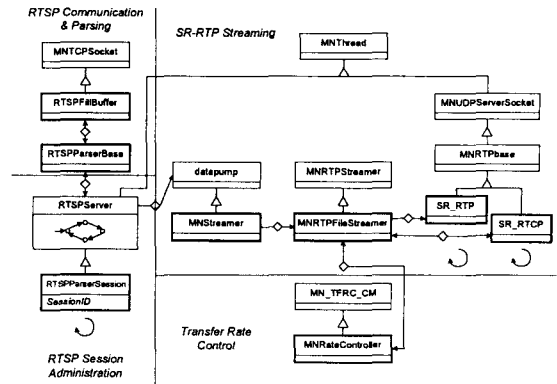


그림 5. 적응적 전송 미들웨어 구현을 위한 클래스 구성  
Fig. 5 Class Structure for Implementation of Adaptive Transmission Middleware

IV. 실험 및 성능 분석

4.1 실험 환경 및 방법

본 논문은 구현한 적응적 전송 미들웨어의 성능을 평가하기 위해 실제 인터넷 환경에서의 MPEG-1 비디오 스트리밍에 적용하여 실험하였다. 성능 평가를 위한 실험 환경은 간단하게 그림 6과 같이 구성하였으며, 실험 조건은 표 1과 같다.

스트리밍 실험에 사용된 비디오 데이터는 축구 경기 비디오를 MPEG-1 포맷으로 약 15분간 코딩한 데이터로서 요구대역폭이 0.83Mbps로 다른 유형의 비디오에 대한 MPEG-1 코딩보다는 다소 높게 나타났다. 이는 MPEG-1 비디오 트래픽을 분석하여 모델링한 관련 연구[12]에서 지적한 것과 같이 비디오 내의 객체 움직임이 크게 나타남으로써 움직임 예측 및 보상을 위한 데이터가 커져 P-frame 및 B-frame의 크기가 다른 유형의 비디오와 비교하여 상대적으로 커짐으로써 요구대역폭이 높게 요구되었던 것이다. 그리고 스트리밍 실험 방법은 표 1에서 제시된 것과 같이 4 가지 모드로 실험을 수행하였으며, 전송률 제어를 적용하지 않는 실험 모드에서는 비디오 데이터의 요구대역폭에 근거하여 전송률을 설정하고 비디오 데이터를 스트리밍하였다.

4.2 성능 분석 결과

그림 6과 표 1에서 제시한 실험 환경에서 비디오 데이터의 스트리밍 실험을 각 모드별로 3번 이

상 반복 수행하고 실험 결과를 평균하여 비교, 분석하였다. 본 논문은 실험 결과로서 TFRC 전송률 제어 모듈의 성능을 평가하기 위해 패킷 손실률(Packet Loss Rate)과 평균 처리율(Mean Throughput)을 측정하였으며, SR-RTP 스트리밍 모듈의 오류 복구 성능을 평가하기 위해 유효 프레임 전송률(Effective Frame Transfer Rate)을 측정하였는데, 유효 프레임을 결정하기 위한 PSNR 임계값(threshold value)으로는 25dB로 설정하고 복원 후에 PSNR 값이 25dB이상 나오는 프레임만을 유효 프레임으로 측정하였다.

그림 7은 4 가지 실험 모드에 대한 패킷 손실률을 측정하여 비교한 것이다. 실험 결과를 통해 TFRC 전송률 제어 기법을 적용하는 경우가 혼잡 상태에서 패킷 전송률을 제어함으로써 패킷손실률이 크게 줄어드는 것을 알 수 있으며, 재전송을 요구하는 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 다소 패킷 손실률이 높아지는데 이는 패킷 재전송에 의해 요구대역폭이 높아짐으로 야기되는 결과이다.

그림 8은 4 가지 실험 모드에 대해 평균 처리율을 비교한 것으로 TFRC 기법을 적용하는 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하면 TFRC 제어 기법을 적용하는 경우 평균 처리율이 약 15% 정도 증가하였다. 이는 비디오 데이터의 요구 대역폭이 평균 전송률 보다 작고 전송 대역폭의 변동이 비교적 적은 상황에서 실험을 수행하였기 때문에 평균 처리율이 크게 차이가 나지 않음을 의미한다.

그림 9는 4 가지 실험 모드에서 유효 프레임 전송률을 비교한 것이다. I-frame 재전송을 지원하는 SR-RTP 스트리밍 모듈을 적용하는 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 유효 프레임 전송률을 약 30% 가량 높아졌는데, 이는 손실된 I-frame 만을 재전송함으로써 사용자가 받아들이는 서비스 품질을 크게 향상시킬 수 있음을 의미한다. 그리고 TFRC 전송률 제어 기법을 적용하는 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 약 200% 이상 높아짐을 보이는데, 이는 전송률 제어 여부에 의한 패킷손실률 크기에 의해 야기된 차이로서 오류 복구를 위해서는 전송률 제어가 전제되어야 함을 의미한다.

그러나, 전체적인 실험 결과에서 평균 전송대역폭에 대비한 유효 프레임 전송률이 전체 프레임 전송률(30 fps)에 비해 다소 떨어지는데, 이는 실험에 적용한 비디오 데이터에서 P-frame 및 B-frame의 크기가 다른 유형의 비디오 데이터와 비교하여 비교적 큰 편으로 P(또는 B)-frame에서 패킷 손실이 발생할 확률이 높으며, 또한 I-frame에서의 패킷 손실만을 재전송하고 P(또는 B)- frame에서의 패킷

손실을 복구하지 않음으로써 유효 프레임 전송률이 낮아지게 된다. 따라서 전송 대역폭에서 재전송에 할당될 대역폭에 여유가 있을 때에는 P-frame에서의 패킷 손실에 대해서 재전송을 수행함으로써 유효 프레임 전송률을 향상시킬 수 있을 것이다.

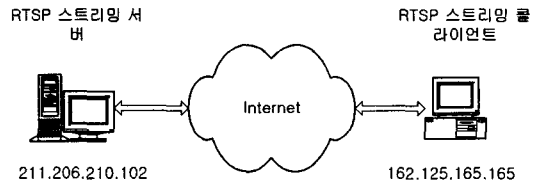


그림 6. 비디오 스트리밍을 위한 실험 환경  
Fig. 6 Experiment Environment for Video Streaming

표 1. 적응적 전송 미들웨어의 성능 평가를 위한 실험 조건

Table 1. Experiment Conditions for Performance Evaluation of Adaptive Transmission Middleware

실험 시스템 환경	
네트워크 : 인터넷	실험 시간대: AM 2:00~4:00 평균 전송률: 950~1120 Kbps 평균 대역폭 변동폭: 약 170 Kbps
실험 시스템	서버: Intel Pentium II 1.13GHz 2 CPU Linux 서버 클라이언트: Intel Pentium II 333MHz Linux System
스트리밍 비디오 데이터	
비디오 유형	축구 경기 비디오
MPEG-1 코딩 규격	GOP pattern: IBBPBBPBBPBB(12 frames) Quantizer Scales: 10(I), 14(P), 18(B) Encoder Input: 384x288 pixels with 12 bit color Encoding Time: 15 min Mean Bit Rate: 0.83 Mbps
스트리밍 실험 방법	
모드 1	RTP without I-frame retransmission + No TFRC
모드 2	SR-RTP with I-frame retransmission + No TFRC
모드 3	RTP without I-frame retransmission + TFRC
모드 4	SR-RTP with I-frame retransmission + TFRC

### V. 결 론

패킷 기반 네트워크는 최선(最先:Best-Effort) 전송 특성으로 인해 사용 가능한 대역폭, 패킷 전송 지연 그리고 패킷 손실률 등의 네트워크 상태가 시간 흐름에 따라 유동적으로 변함에 따라 일정한 전송률을 요구하는 비디오 스트리밍 응용의 경우에 일정한 성능을 지원할 수 없다. 이에 본 논문은 패킷 기반 네트워크의 유동적인 환경 변화와 전송하는 미디어 데이터의 특성을 함께 고려하여 비디오 데이터를 전송하는 적응적 전송 미들웨어를 구현하고 성능을 평가하였다.

본 논문에서 구현한 적응적 전송 미들웨어는 SR-RTP 기반의 스트리밍 모듈과 TFRC 기반의 전송률 제어 모듈로 구성되며, SR-RTP 기반의 스트리밍 모듈은 RTP 기반의 실시간 데이터 전송을 지원하면서 패킷 손실에 의해 손실된 미디어 데이터 중에서 중요도가 높은 데이터만을 선별적으로 재전송하여 패킷 재전송에 따른 전송 지연의 부담을 줄임과 동시에 패킷 손실에 따른 에러를 크게 감소시킨다. TFRC 기반의 전송률 제어 모듈은 TCP 기반의 데이터 전송과 정당하게 네트워크의 전송 대역폭을 공유하면서 최적의 전송 대역폭을 산출하여 전송률을 제어함으로써 시간에 따라 유동적으로 변하는 전송 대역폭에 적응적으로 미디어 데이터의 전송률을 제어한다.

본 논문은 외부 인터넷 환경에서 적응적 전송 미들웨어를 적용하여 비디오 스트리밍을 실험하고 패킷 손실에 대한 복구 성능과 적응적 전송률 제어를 평가할 수 있는 스트리밍 지터 정도를 측정하여 분석하였다. 전반적인 성능은 패킷 손실이 높은 외부 인터넷 환경에서는 스트리밍 성능이 떨어졌지만 적응적 전송 미들웨어를 적용하지 않은 경우와 비교하여 상대적으로 높은 스트리밍 성능을 보였다.

향후에는 스트리밍 성능 향상의 관점에서 패킷 손실 복구를 위해 FEC(Forward Error Correction) 코딩과 같은 채널 코딩 기법을 같이 고려한 전송 기법과 최신의 TCP-Friendly 혼잡 제어 기법을 적용한 전송률 제어 기법을 지원할 수 있도록 확장할 것이다.

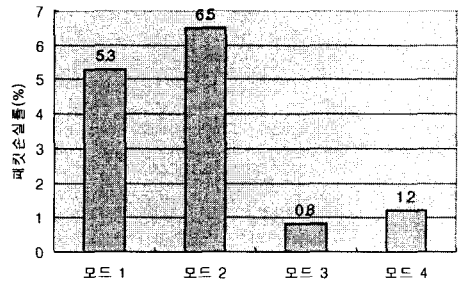


그림 7. 실험 모드별 패킷손실률 비교  
Fig. 7 Comparison of Packet Loss Rate between Experiment Modes

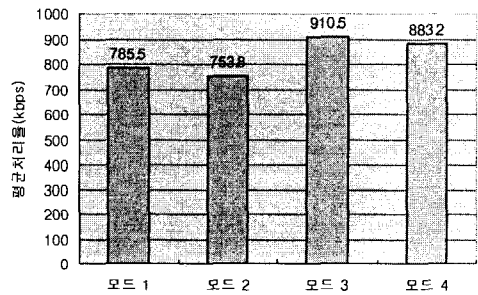


그림 8. 실험 모드별 평균 처리율 비교  
Fig. 8 Comparison of Mean Throughput between Experiment Modes

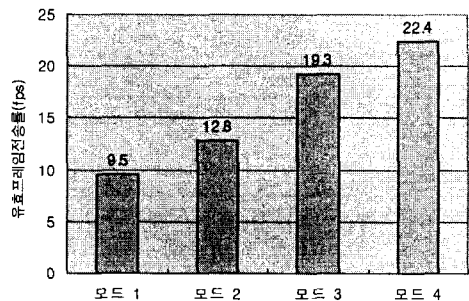


그림 9. 실험 모드별 유효 프레임 전송률 비교  
Fig. 9 Comparison of Effective Frame Transfer Rate between Experiment Modes

### 참고문헌

- [1] M. Zink, C. Griwodz and R. Steinmetz, "KOM Player - A Platform for Experimental VoD Research," Proc. of the 6th IEEE Symposium on Computers and Communications(ISCC'01), 2001.
- [2] N. Feamster and H. Balakrishnan, "Packet Loss Recovery for Streaming Video," Proc of 12th International Packet Video Workshop, 2002.
- [3] B. W. Wah, X. Su and D. Lin, "A survey of error-concealment schemes for real-time audio and video transmissions over the internet," Proc. of Int. Symposium on Multimedia Software Engineering, pp.17-24, 2000.
- [4] D. Clark and D. Tannenhouse, "Architectural Consideration for a New Generation of Protocols," Proc. of ACM SIGCOMM, pp.200~208, 1990.
- [5] S. Floyd, "TCP and Explicit Congestion Notification," ACM Computer Comm. Review, 24(5), October 1994.
- [6] S. Floyd, M. Handley, J. Padhye, and J. Windmer, "Equation-Based Congestion Control for Unicast Application," Proc. of ACM SIGCOMM '00, pp.43~54, 2000.
- [7] M. Allman and V. Paxson, "TCP Congestion Control," RFC 2581, IETF, 1999.
- [8] W. R. Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols, Addison-Wesley, 1994.
- [9] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," RFC 1889, IETF, 1996.
- [10] H. Schulzrinne, A. Rao and R. Lanphier, "Real Time Streaming Protocol(RTSP)," RFC 2326, IETF, 1998.
- [11] R. Koenen, "Overview of the MPEG-4 standard," Technical report, ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11, 1999.
- [12] O. Rose, "Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modelling in ATM systems," TR-101, University of Wuerzburg, Institute of Computer Science, Germany, 1995.

### 저자소개

#### 김영주(Young-Ju Kim)



1988.2 부산대학교 계산통계학과 (학사)  
1990.2 부산대학교 계산통계학과 (석사)  
1990~1995 (주)큐닉스컴퓨터 응용시스템연구소  
1999.8 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)  
2000.3~현재 신라대학교 컴퓨터공학과 조교수  
※관심분야: 멀티미디어 통신, 내장형 시스템, 퍼지 제어 등