

프로그레시브 멀티미디어 스트리밍 서비스를 위한 초기 버퍼링 시간 결정 기법

(Initial Buffering-Time Decision Scheme for Progressive Multimedia Streaming Service)

서 광 덕[†] 정 순 흥^{**}

(Kwang-deok Seo) (Soon-heung Jung)

요약 프로그레시브 스트리밍의 가장 큰 특징은 TCP를 통해 전송된 미디어 데이터가 수신 단말기로 다운로드됨과 동시에 미디어의 재생이 실행되는 것이다. 프로그레시브 스트리밍에서는 TCP의 순서번호(sequence number)나 검사합(checksum) 기능 등을 통하여 손실된 패킷을 검출하여 재전송을 통해 복원이 가능하다. 그러나, 재전송에 소요되는 시간 동안 재생될 수 있는 충분한 량의 미디어 데이터가 수신 단말기 버퍼에 남아 있어야만 미디어의 끊김 없는 서비스가 가능하다. 본 논문에서는 이러한 끊김 없는 서비스가 가능하도록 수신 단말기의 버퍼 고갈 확률을 고려하여 실시간으로 초기 버퍼링 시간을 결정하는 방법을 제안하고 실험을 통해 제안된 방법의 효과를 검증한다.

키워드 : 프로그레시브 스트리밍, 초기 버퍼링 시간 결정, 채널 모델링, 재전송

Abstract The most noticeable aspect of progressive streaming is the media playback during its download

· 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음 [2005-S-103-02, 융합융합 환경에서의 유비쿼터스 콘텐츠 서비스 (UCA) 기술]

· 이 논문은 2007 한국컴퓨터종합학술대회에서 '프로그레시브 멀티미디어 스트리밍 서비스를 위한 초기 버퍼링 시간 결정 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 정 회 원 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
kdseo@yonsei.ac.kr

^{**} 정 회 원 : ETRI 방송미디어연구그룹
zeroone@etri.re.kr

논문접수 : 2007년 10월 2일
심사완료 : 2007년 12월 28일

Copyright © 2008 한국정보과학회: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 작품의 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: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제2호(2008.4)

through TCP to avoid a lengthy wait for a content to finish downloading. By employing TCP, it is usually possible to detect lost packets by using the checksum and sequence numbering functions of TCP. Thereafter, we can recover the lost packets by the retransmission function of TCP. However, there must remain enough amount of media data in the recipient buffer in order to guarantee seamless media playback even during retransmission. In this paper, we propose an efficient algorithm for determining the initial buffering time before start of playback to guarantee seamless playback during retransmission considering the probability of client buffer underflow. The effectiveness of the proposed algorithm will be proved through extensive simulation results.

Key words : progressive streaming, initial buffering-time decision, channel modeling, retransmission

1. 서론

프로그레시브 스트리밍 서비스는 전송 프로토콜로써 TCP를 이용한다는 측면에서 다운로드와 유사하지만, 다운로드 되는 도중에 수신된 미디어 데이터를 재생한다는 측면에서는 실시간 스트리밍과 유사한 개념의 서비스 기술이다. 실시간 스트리밍의 경우 손실된 패킷을 재전송 받을 수 있는 환경이 되지 못하는 실시간 특성으로 인하여 채널 오류에 의한 패킷 손실이 미디어 데이터 손실로 그대로 이어질 수밖에 없다. 그러나, 프로그레시브 스트리밍의 경우에는 손실된 패킷을 TCP의 순서번호(sequence number)나 검사합(checksum) 기능 등을 통하여 검출할 수 있고, 재전송을 통해 손실된 패킷을 복원할 수 있다[1]. 다만, 이러한 재전송 서비스 환경에서 가장 중요한 요구사항은 재전송을 통해 손실된 패킷을 수신하기까지 걸리는 시간 동안 사용자에게 끊김 없이 기존의 서비스를 제공할 수 있는 충분한 량의 데이터가 클라이언트 버퍼에 남아 있어야 한다는 것이다. 즉, 패킷 손실에 의한 패킷 재전송 환경에서 만족스러운 서비스를 제공하기 위한 충분한 량의 데이터를 수신 버퍼에 확보하기 위해 기다려야 하는 초기 버퍼링 시간을 정하는 문제가 프로그레시브 스트리밍에서 해결되어야 할 중요한 문제이다. 기본적인 해결책은 클라이언트에 대용량의 버퍼를 설치하여 오랜 시간동안 미디어 데이터를 버퍼링한 후에 미디어 재생을 시작하는 것이다. 이 방법은 초기에 안정적인 미디어 재생이 가능하지만, 버퍼링 시간의 증가로 인한 초기 재생시간 지연으로 대기시간(latency)이 크게 증가하는 문제점이 있다 [2]. 따라서, 네트워크 혼잡으로 유실된 패킷을 TCP 재전송(retransmission)을 통해 다시 전달할 경우, 최소의 버퍼링 시간을 통해 끊김없는 고품질의 서비스를 제공

할 수 있는 안정적인 버퍼 동작 구조를 설계하는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 미디어에 대해 가변적인 재생 속도를 적용함으로써, 네트워크 상황에 적응적으로 대처할 수 있고, 또한 사용자가 요구하는 초기 서비스 대기시간을 만족시킬 수 있는 초기 버퍼링 시간 결정 기법을 제안한다. 본 연구의 목적과 관련성을 보이는 기존의 연구 결과들이 제시되어 있지만[2,3], 기존의 연구 결과들은 실시간 스트리밍 또는 화상통화 서비스를 목적으로 고안되었다. 즉, 비디오와 오디오 데이터가 각각 독립적인 세션으로 서비스가 되는 환경이다. 본 논문의 프로그레시브 스트리밍 서비스에서는 비디오와 오디오가 하나의 콘텐츠 파일에 통합되어 저장 되어 있고, 하나의 세션에서 멀티미디어 스트리밍 서비스가 이루어지는 환경이다. 이러한 측면에서, 프로그레시브 스트리밍에 적합한 새로운 초기 버퍼링 시간 결정 기법을 제안하는 것은 중요한 의미가 있다.

2. 프로그레시브 스트리밍에 적합한 파일포맷 구조

프로그레시브 스트리밍처럼 비디오, 오디오 데이터가 각각 1개의 스트림으로 구성되는 경우 초기 서비스 지연 시간을 최소화할 수 있는 방법은 그림 1에 보이듯이 MP4 파일의 mdat 부분을 액세스 유닛에 해당하는 비디오 프레임과 이 비디오 프레임 구간에 해당되는 오디오 프레임을 하나로 묶어서 이웃하도록 파일에 저장하는 것이다. 이렇게 할 경우 버퍼고갈이 발생했을 때 버퍼가 목표량까지 찰 때까지 기다린 후 다시 재생하기까지 걸리는 시간을 최소화 할 수 있다.



그림 1 프로그레시브 스트리밍에 적합한 MP4 파일포맷 구조

3. 프로그레시브 스트리밍 패킷 전송 시나리오

그림 1의 구조를 갖는 MP4 파일포맷 기반의 프로그레시브 스트리밍의 패킷 전송 구조는 그림 2와 같다. 본 논문에서는 분석의 복잡도를 최소화하기 위하여 각 패킷의 길이가 모두 동일하다고 가정한다. 비디오 화면간 시간 간격(frame interval)은 t_f 로 표시되고 이 기간 동안 전송되는 패킷의 개수를 패킷 전송률 R_p 로 표시한다. 하나의 패킷이 전송을 위해 패킷화 되는데 걸리는

시간을 t_p 로 표시한다면 $R_p = t_i/t_p$ 로 나타낼 수 있다. 그림 2에서 t_T 는 네트워크를 통한 전송에 걸리는 시간을 의미하고, 재생을 위해 버퍼에서 기다려야 하는 버퍼링 크기는 B_i 로 표시되며 그림 2의 경우 $B_i = 4$ 패킷이다. 한편, 첫 번째 패킷이 버퍼에 도착한 후 재생이 시작되기까지 버퍼에서 기다리는 시간 T_{buff} 는 다음과 같이 계산된다.

$$T_{buff} = B_i \cdot t_i \tag{1}$$

이상의 서비스 시나리오에서 발생하는 총 서비스 지연 시간 D_i 는 다음과 같다.

$$D_i = t_p + t_T + T_{buff} \tag{2}$$

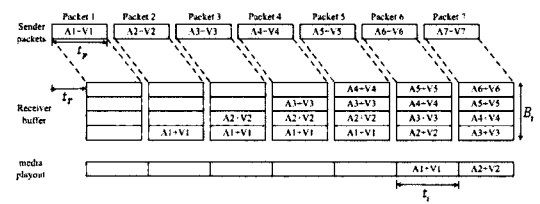


그림 2 프로그레시브 스트리밍 패킷 전송 시나리오

4. TCP 재전송에 따른 버퍼고갈 분석

TCP 기반의 패킷 전송 시스템에서 패킷이 전송 도중 유실된다면, 패킷 재전송이 발생하게 된다. 만약 연속적으로 손실된 패킷의 개수가 차지하는 시간적인 크기가 클라이언트 버퍼에 쌓여 있는 패킷으로 재생 가능한 시간보다 크게 될 경우 버퍼고갈이 발생하게 되고 미디어 재생이 중단된다[4]. 이 경우 비디오 재생을 멈추고 가장 최근에 재생된 비디오를 화면에 고정적으로 표시하면서 버퍼가 B_i 만큼 찰 때까지 기다리는 것이 일반적인 대처방법이다.

프로그레시브 스트리밍에서는 버퍼의 크기를 일정 수준까지 크게 설정할 수 있기 때문에 패킷 한 두개가 유실되는 환경에서는 버퍼고갈이 거의 발생하지 않는다. 그러나 무선 환경에서 빈번한 연속 패킷 손실 (burst packet error)이 발생하면 버퍼고갈의 가능성이 커진다.

그림 3은 연속 패킷 손실의 길이 T_B 가 왕복전송시간 (round trip time) t_{RTT} 를 갖는 패킷 재전송 성능에 미치는 영향을 설명한다.

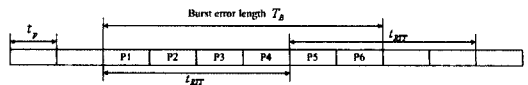


그림 3 연속 패킷 손실의 길이가 패킷 재전송 성능에 미치는 영향

그림 3에서 t_{RTT} 는 네트워크의 특성에 따라 정해지는 값이다. 그림 3에서 패킷 P1이 연속 패킷 손실 T_B 에 의해 손실될 경우 T_B 의 크기가 $T_B \leq t_{RTT}$ ($=4t_p$)이면, P1에 대한 1회의 재전송에 의해 패킷 전송이 성공할 수 있다. 예를 들어, 그림 3에서는 P5를 전송할 시점에 P1을 재전송하게 되는데, $T_B = 3t_p$ 인 경우에는 재전송 시점에서 이미 네트워크에서의 연속 패킷 손실은 종료되어 있으므로 1회의 재전송으로 패킷 전달이 가능하다. 그러나, 만약, $T_B > t_{RTT}$ 인 경우에는 P1의 첫 번째 재전송 시점에도 연속 패킷 손실은 여전히 발생하고 있으므로 P1 패킷은 또 다시 손실이 된다.

패킷 손실에 의한 재전송 발생시 버퍼에 충분한 패킷량이 남아 있다면 버퍼고갈을 방지할 수 있는데, 주어진 t_{RTT} 와 T_B 에 대해 다음의 관계가 성립된다면 연속 패킷 손실에 의한 버퍼고갈을 방지할 수 있다.

$$T_{buff} > \left[\frac{T_B}{t_{RTT}} \right] \cdot t_{RTT} + t_{RTT} \quad (3)$$

식 (3)에서 연산자 $\lceil x \rceil$ 는 x 를 넘지 않는 가장 큰 정수를 의미한다. 식 (3)에 의하면 그림 3의 상황에서 버퍼고갈을 방지할 수 있는 최소 버퍼링 크기는 8개의 패킷이 된다.

한편 식 (3)을 만족시키는 T_{buff} 를 이용할 경우 전체 서비스 지연 시간이 길어진다. 연속 패킷 손실이 단 한번도 발생하지 않는 경우에 식 (3)의 기준을 적용하는 것은 서비스 시간 지연 측면에서 큰 손실이다. 따라서 연속 패킷 손실이 발생하는 확률을 고려하여, 식 (3)보다 작은 값의 지연이 발생하도록 설계하는 것이 바람직하다. 버퍼가 B_i 만큼 완전히 채워져 있는 상태에서 버퍼고갈이 발생하지 않는 최대의 T_B 값 T_B^{max} 는 다음과 같이 유도된다.

$$T_B^{max} = T_{buff} - t_{RTT} \quad (4)$$

따라서, 식 (4)에 의해 연속 패킷 오류가 존재하는 경우 패킷고갈이 발생할 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P(\text{underflow} | \text{burst}) = P(T_B > T_B^{max}) \quad (5)$$

만약 연속 패킷 손실의 길이 (burst error length)에 대한 확률분포를 안다면 식 (5)에 의해 버퍼고갈 확률을 도출해 낼 수 있고, 이 버퍼고갈 확률을 만족시키는 적합한 크기의 버퍼 지연시간을 도출해 낼 수 있다.

5. 적응적 재생을 위한 지연시간 모델링

본 논문에서는 연속 패킷 손실이 발생할 경우 동시에 미디어 재생 속도를 늦추어 버퍼고갈 상황을 최대한 회피하도록 한다. 이처럼 재생 속도를 늦출 경우 추가적인

지연이 발생하게 되는데 그림 4는 추가 지연시간 ΔD 에 관한 모델링을 보여준다. ΔD 는 식 (2)의 총 서비스 지연 시간 D_t 에 추가적으로 발생하게 되는 지연시간을 의미한다.

연속 패킷 손실이 발생하는 동안에는 더 이상의 패킷이 도착하지 않고 버퍼 충만도는 감소하게 된다. 이러한 상황을 최대한 회피하기 위하여 미디어 재생 속도를 늦추게 되는데, 비디오 재생 간격을 원래의 t_i 값 보다 크게 할 경우 각 패킷마다 추가적으로 발생하는 지연은 $\Delta D = (s-1) \cdot t_i$ ($s \geq 1$)가 된다. 여기서, s 는 슬로우 팩터 (slow factor)로서 $s=1$ 인 경우 재생 속도에 변화가 없는 노멀 모드(normal mode) 동작이며, $s > 1$ 인 경우 재생 속도가 느려지는 슬로우 모드 동작이 된다. 한편, T_B

동안 재생되는 패킷의 개수는 $s \cdot t_i$ 이므로 연속 패킷 손실로 인한 지연 ΔD_B 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta D_B = \frac{T_B}{s \cdot t_i} \cdot (s-1)t_i = \frac{s-1}{s} \cdot T_B \quad (6)$$

연속 패킷 손실이 발생하는 동안에는 패킷이 도착하

지 않으므로 버퍼 충만도는 $B_i - \frac{T_B}{s \cdot t_i}$ 로 감소하게 된다.

연속 패킷 손실이 끝났더라도 감소된 버퍼 충만도를 B_i 까지 보충하기 위하여 여전히 재생 속도를 늦추게 되는데, B_i 만큼 채우는데 걸리는 시간을 T_S 로 표시한다. 연속 패킷 손실이 끝난 시점부터 도착하는 패킷의 개수는 T_B 동안 재생된 패킷의 개수와 T_S 동안 재생된 패킷의 개수의 총합과 같아져야 하는 관계를 통해 다음과 같이 T_S 를 유도할 수 있다.

$$\frac{T_S}{t_p} = \frac{T_B}{s \cdot t_i} + \frac{T_S}{s \cdot t_i} \quad (7)$$

식 (7)로부터 T_S 는 다음과 같이 계산된다.

$$T_S = \frac{t_p \cdot T_B}{s \cdot t_i - t_p} \quad (8)$$

T_S 동안 발생하는 추가적인 지연 ΔD_S 는 식 (6)과 유사한 방식을 통해 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta D_S = \frac{s-1}{s} \cdot T_S \quad (9)$$

최대 추가 지연 시간인 ΔD_{max} 는 ΔD_B 와 ΔD_S 의 합에 의해 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta D_{max} = \Delta D_B + \Delta D_S = \frac{s-1}{s} \cdot (T_B + T_S) \quad (10)$$

그림 4에서 T_G 는 다음 연속 패킷 손실이 발생하기 직전까지의 채널 상황이 양호한 시간 구간을 나타낸다.

$T_B + T_S$ 동안 발생하는 지연시간의 평균은 $\frac{\Delta D_{\max}}{2}$ 이며, $T_B + T_G$ 동안 발생하는 평균지연은 다음과 같다.

$$\Delta \bar{D}(T_B, T_G) = \frac{\Delta D_{\max}}{2} \cdot \frac{T_B + T_S}{T_B + T_G} \quad (11)$$

식 (8)을 대입함으로써 식 (11)은 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta \bar{D}(T_B, T_G) = \frac{\Delta D_{\max}}{2} \cdot \frac{s t_i \cdot T_B}{(s t_i - t_p)(T_B + T_G)} \quad (12)$$

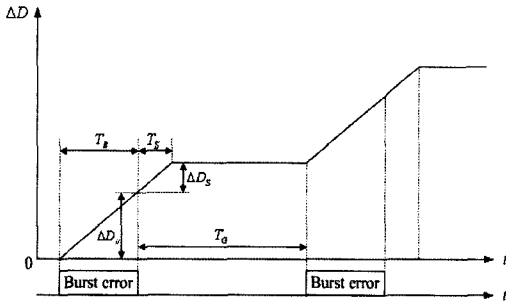


그림 4 적응적 재생에 의한 추가 지연시간 모델링

6. 채널 모델링

본 논문의 목적인 초기 버퍼링 시간을 결정하는데 영향을 미치는 가장 중요한 파라미터는 식 (5)의 버퍼고갈 확률과 식 (2)의 총 서비스 지연시간이다. 이들의 값을 결정하기 위해서 길버트 (Gilbert)가 제안한 길버트 채널 모델을 이용한다[5]. 그림 5는 채널에서의 연속 패킷 손실을 모델링하기 위한 길버트 모델의 상태도이다. 길버트 모델은 G(good state)와 B(bad state)의 2가지 상태가 존재하며 4가지의 천이 확률을 갖고 있다[5]. α 는 G에서 B로 천이할 확률이고 β 는 반대로 B에서 G로 천이할 확률이다. 채널은 전송된 패킷이 성공적으로 도착하게 되는 G상태와 패킷 손실이 발생하게 되는 B상태 중 하나에 머물 수 있다.

B상태에서의 연속길이분포(burst length distribution)는 그림 4에서 T_B 의 길이에 해당이 되며 길버트 모델로부터 다음과 같이 계산된다.

$$P(T_B = m \cdot t_p) = \beta \cdot (1 - \beta)^{(m-1)} \quad (13)$$

이 식에서 m 은 B상태의 연속된 패킷의 개수를 의미한다. G상태에서의 연속길이분포는 T_G 의 길이에 해당이 되며 다음과 같이 계산된다.

$$P(T_G = n \cdot t_p) = \alpha \cdot (1 - \alpha)^{(n-1)} \quad (14)$$

이 식에서 n 은 G 상태의 연속된 패킷의 개수를 의미한다. 연속패킷손실의 길이가 N개의 패킷보다 클 확률

은 다음과 같이 계산된다.

$$P(T_B > N \cdot t_p) = 1 - P(T_B \leq N \cdot t_p) = (1 - \beta)^N \quad (15)$$

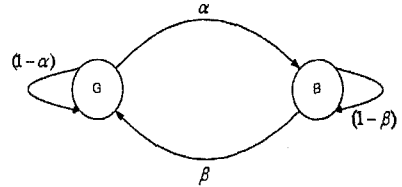


그림 5 길버트 채널 모델

한편, 식 (5)는 정상적인 재생 속도로 미디어를 재생했을 때 발생하는 버퍼고갈의 확률이므로 5절의 슬로우 패터 s 를 적용하여 재생 시간을 조절할 경우에는 식의 형태가 다음과 같이 변하게 된다.

$$P(\text{underflow} | \text{burst}) = P(T_B > s \cdot T_B^{\max}) \quad (16)$$

식 (15)의 결과로부터 식 (16)은 다음과 같이 표현된다.

$$P(\text{underflow} | \text{burst}) = (1 - \beta)^L \quad (17)$$

이 식에서 $L = \left\lfloor \frac{s \cdot T_B^{\max}}{t_p} \right\rfloor$ 이다.

한편의 연속패킷손실에 의한 추가 지연은 식 (12)에 의해 계산되는데, 전체의 연속패킷손실에 의한 평균적인 추가 지연은 다음과 같이 계산이 된다.

$$E[\Delta \bar{D}(T_B, T_G)] = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} \{P(T_B = i \cdot t_p) \cdot P(T_G = j \cdot t_p) \cdot \Delta \bar{D}(T_B, T_G)\} \quad (18)$$

그런데, 식 (18)에서 연속패킷손실의 길이가 L개의 패킷보다 클 경우에는 버퍼고갈이 발생하므로, 식 (18)은 다음과 같이 표현한다.

$$E[\Delta \bar{D}(T_B, T_G)] = \sum_{i=1}^L \left[P(T_B = i \cdot t_p) \cdot \left(\sum_{j=1}^{\infty} \{P(T_G = j \cdot t_p) \cdot \Delta \bar{D}(T_B, T_G)\} \right) \right] \quad (19)$$

7. 성능 평가

제안된 방식의 성능은 s 값의 변화에 따른 초기 서비스 지연시간 대비 버퍼고갈 확률을 비교함으로써 평가한다. s 값은 1.0, 1.2, 1.5 등 세가지로 정하며, 초기 서비스 지연시간은 식 (2)의 D_t 로 구하게 되고, 버퍼고갈 확률은 식 (17)를 이용하여 계산하게 된다. 실험을 위해 필요한 변수 값들은 다음과 같이 지정되었다.

$$t_p = 30ms, t_i = 40ms, t_r = 200ms, t_{RTT} = 500ms, \alpha = 0.1, \beta = 0.05, B_i = 50, 60, 70, \dots, 250.$$

위의 변수값 설정에서 t_i 는 초당 25 frames/s를 가정하여 정하였고, t_{RTT} 값은 500ms가 인터넷에서 측정되는 왕복지연 시간의 대부분의 크기(약 80% 정도)를 포함한다는 연구결과에 바탕을 둔다[6].

그림 6은 각 s 값에 따른 초기 서비스 지연시간에 대한 버퍼고갈 확률을 비교하고 있다. 연속패킷손실 발생 시 재생 속도를 조절하게 되면, 조절하지 않은 경우 ($s=1.0$)에 비하여 버퍼고갈 확률을 확연히 줄일 수 있다. 줄어드는 확률의 비율은 초기 서비스 지연 시간에 영향을 받는데, 초기 버퍼링 시간을 늘임에 따라 줄어드는 확률의 비율도 비례하여 커짐을 관찰할 수 있다. 이 그림의 결과로부터 프로그레시브 스트리밍에서 버퍼고갈 확률을 만족시키는 초기 버퍼링 시간 B_i 를 얻어 낼 수 있다. 그림 6에서 버퍼고갈 확률이 1 PPM(part per million) 이하가 되는 시점이 $s=1.0$ 의 경우 9초 정도의 초기 지연($B_i = 230$ packets)을 적용했을 때이고, $s=1.2$ 일 경우에는 7.4초 정도($B_i = 180$ packets)를 적용했을 때이고, $s=1.5$ 의 경우 6.2초 정도($B_i = 150$ packets)를 적용 했을 때이다. 재생 속도를 최대 50%까지 낮출 경우 3초 정도의 초기 서비스 지연 시간을 줄일 수 있다는 결론이다.

프로그레시브 스트리밍에서는 콘텐츠 파일 전체가 전송이 되기 때문에, 그림 1에서 콘텐츠의 메타 정보를 포함하는 moov 헤더 부분이 먼저 전송 되어야 한다. 따라서, 서비스를 받는 데까지 걸리는 전체 초기 지연시간은 moov 헤더 부분을 수신하는데 걸리는 시간을 그림 6의 D_i 값에 더하면 된다. moov 헤더를 수신하는데 걸리는 추가적인 지연이 3초라고 가정하고, 그림 6의 결과에 의하여 D_i 값을 6초로 적용하면 전체 지연 시간은 9초로서 기존의 실시간 스트리밍의 일반적 지연시간과 큰 차이가 없다.

8. 결론

제안된 초기 버퍼링 시간 결정 기법은 인터넷 환경에서 빈번한 연속 패킷 손실로 인한 재전송에 의해 발생 가능한 버퍼고갈 문제를 고려하는 새로운 방법으로서 실제적으로 모델링이 가능한 유무선 네트워크 환경에 적용이 가능하다. 제안된 방법의 적용으로 매우 낮은 버퍼고갈 확률로 프로그레시브 스트리밍에 의한 초기 서비스 지연시간을 다운로드 방식에 비해 크게 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] B. Wang, and J. Kurose, "Multimedia streaming via TCP: an analytic performance study," *ACM Int. Conf. on Multimedia*, pp. 908-915, New York, USA, Oct. 2004.
- [2] H. Rui, C. Li, and S. Qiu, "Evaluation of packet loss impairment on streaming video," *Journal of Zhejiang Univ.*, Vol.7, No.1, pp. 131-136, Jan. 2006.
- [3] C. Sreenan, J. Chen, P. Agrawal, and B. Narendran, "Delay reduction techniques for playout buffering," *IEEE Trans. on Multimedia*, Vol.2, No.2, June 2000.
- [4] H. Inai, "Effect of timeout retransmissions on end-to-end delay in packet switching networks," *Electron. and Commun. in Japan*, Vol.75, No.7, pp. 13-21, Mar. 2007.
- [5] E. Gilbert, "Capacity of burst noise channels," *Bell Syst. Tech. J.*, Vol.39, pp. 1253-1256, Sep. 1960.
- [6] J. Aikat, J. Kaur, F. Smith, and K. Jeffay, "Variability in TCP round-trip times," *ACM Internet Measurement Conference*, pp. 279-284, Oct. 2003.

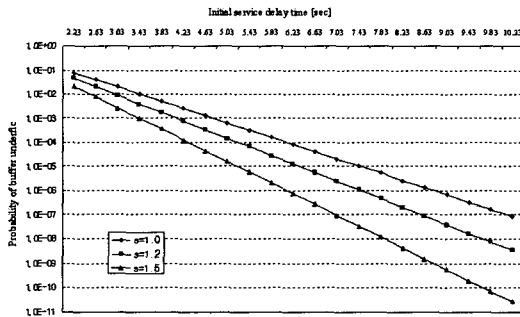


그림 6 초기 서비스 지연시간 대비 버퍼고갈 확률 비교 ($\alpha=0.1, \beta=0.05$)