

동영상 재생 품질 향상을 위한 최적 버퍼 수준 결정

Estimating the Optimal Buffer Size on Mobile Devices for Increasing the Quality of Video Streaming Services

박현민
배재대학교 경영학과

Hyun Min Park(hmpark12@pcu.ac.kr)

요약

본 연구에서는 모바일 단말에서 재생되는 동영상 서비스의 끊김 현상을 방지할 수 있는 최적의 버퍼 크기를 산정하고자 한다. 버퍼는 VOD 서비스를 위해 수신 단말에 도착한 멀티미디어 패킷의 저장 공간을 의미한다. 만약 버퍼 크기가 너무 크면, 재생 서비스 시작 전의 지연시간이 길어지게 된다. 반대로 버퍼 크기가 너무 작은 경우, 수신 단말에 도착한 패킷의 부족으로 재생 서비스가 중간에 멈출 수 있다. 그러므로 적정 버퍼 크기는 모바일 단말에서의 재생 서비스 품질 척도가 될 수 있다. 본 연구에서는 재생 서비스의 버퍼링 과정을 이산시간 대기행렬로 모델링한다. N정책을 갖는 Geo/G/1 대기행렬에서 바쁜기간의 평균길이와 평균 대기시간을 분석한다. 또한 도출된 성능척도를 이용하여 모바일 단말에서의 최적의 버퍼 크기를 결정하는 수치예제를 제시한다. 본 연구 결과를 이용하여 재생 도중의 끊김 현상 방지와 재생 시작 초기의 지연시간 최소화를 달성하여 이용자 만족도를 높일 수 있을 것이다.

■ 중심어 : | 멀티미디어 스트리밍 서비스 | 지연시간 | 버퍼 관리 | Geo/G/1 대기행렬 |

Abstract

In this study, the optimal buffer size is calculated for seamless video playback on a mobile device. Buffer means the memory space for multimedia packet which arrives in mobile device for video play such as VOD service. If the buffer size is too large, latency time before video playback can be longer. However, if it is too short, playback service can be paused because of shortage of packets arrived. Hence, the optimal buffer size insures QoS of video playback on mobile devices. We model the process of buffering into a discret-time queueing model. Mean busy period length and mean waiting time of Geo/G/1 queue with N-policy is analyzed. After then, we uses the main performance measures to present numerical examples to decide the optimal buffer size on mobile devices. Our results enhance the user satisfaction by insuring the seamless playback and minimizing the initial delay time in VOD streaming process.

■ keyword : | Multimedia Streaming Service | Latency Time | Buffer Management | Geo/G/1 Queue |

I. 서론

인터넷이나 무선통신망을 이용한 영화, TV 드라마의

원격 재생 서비스 사용이 지속적으로 증가하고 있다. 더불어 영상통화와 화상회의 서비스가 일반화되면서 대용량 멀티미디어 패킷의 실시간 전송 기술 개발도 꾸준히

* 이 논문 또는 저서는 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015S1A5A8018367)

접수일자 : 2018년 01월 15일
수정일자 : 2018년 03월 05일

심사완료일 : 2018년 03월 05일
교신저자 : 박현민, e-mail : hmpark12@pcu.ac.kr

준히 이루어지고 있다. PC 또는 스마트폰 등의 모바일 단말에서 다양한 재생 도구를 통한 VOD(Video on Demand), 화상회의, 원격의료 등은 이용자의 기대 수준을 충족하는 고품질 서비스 제공을 요구한다. 특히, 실시간(real-time) 멀티미디어 재생 서비스는 동영상의 끊김 현상이 최대한 억제되어야 한다. 끊김 현상 방지는 원격 재생 서비스 품질(QoS; Quality of Service)의 중요한 평가 척도라고 할 수 있다[1][2]. 패킷 전송 지연을 고려한 적정 버퍼의 작동은 동영상 재생 직전 버퍼링 중이라는 메시지 등으로 확인할 수 있다. 버퍼란 한 곳에서 다른 곳으로 데이터를 이동할 때 임시적으로 그 데이터를 저장하기 위해 사용되는 물리적인 메모리 저장소의 영역을 의미한다.

최근 PC 및 스마트폰을 이용하여 영화, 영상통화, 화상회의 등의 실시간 동영상 재생 서비스가 활발히 이루어지고 있는데 서비스 이용자가 어떤 영화에 대한 VOD 서비스를 요청하는 상황을 가정해보자. 서비스 제공 측은 이런 요청이 접수되면 영화 데이터를 일정 단위의 패킷으로 나눈 다음, 이들을 유·무선 통신망을 통하여 순차적으로 전송하게 된다. 패킷은 유·무선 통신망을 경유하여 서비스 단말에 도착하고 단말에 내장된 player의 작동으로 미디어 데이터를 재생하게 된다. 재생할 미디어 데이터가 모바일 단말의 큐에서 미리 대기 중이면 제일 이상적이지만, VOD 서비스 중간에 필요한 패킷들이 네트워크의 불확실한 체증 현상으로 인해 도착하지 않는 경우에는 재생이 중단되는 상황이 발생할 수 있다. 이를 버퍼 언더플로우(buffer underflow)라고 한다[3]. 이런 상황을 미연에 방지하기 위해 자료 재생의 시작 전에 일정 양의 데이터를 먼저 버퍼에 저장하는 것이 중요하다. 그러나 너무 많은 버퍼를 보관하게 되면, 정해진 버퍼 수준을 채우기 위해 불필요한 대기시간이 길어져 VOD 서비스 이용의 불편을 야기할 수 있다. 반대로 버퍼 수준을 너무 적게 하면, 재생품질이 나빠지거나 재생 도중 끊김 현상이 발생할 수 있다. 송신서버는 데이터를 지속적으로 전송하게 되고, 수신 단말은 이 데이터를 메모리의 버퍼에 저장하는데 만일 이 버퍼가 모두 비워진 상태에서 미디어 데이터가 없어 다시 버퍼가 채워질 때까지 일시정지 상태에서 머무는

현상을 버퍼링이라고 한다.

버퍼링은 동영상을 재생하기 전 일정량의 스트리밍 데이터를 미리 저장해 두는 것이므로, 만약 실시간 방송을 위한 버퍼 설정 수준에 따라 초기 재생 지연 시간(initial playout delay)이 필요할 것이다. 그런데 초기 재생 시작 전 버퍼링 시간 감소를 위해 버퍼의 수준을 너무 작게 설정한다면 중간에 버퍼에 저장되는 데이터 부족현상으로 재생 중단이 발생할 가능성이 높아진다. 따라서 이러한 데이터 부족 사태를 방지하면서 초기 버퍼링 시간을 최소화할 수 있는 버퍼링 수준을 결정하는 것이 실시간 스트리밍 서비스 품질의 중요한 결정 사항이 될 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 멀티미디어 스트리밍 서비스 제공 환경에서 수신 단말의 버퍼 크기 결정과 관련된 선행 연구를 고찰한다. 3장에서는 수신 단말의 멀티미디어 패킷 수신과 재생 프로세서의 동작 과정을 대기행렬로 모형화하고, 성능척도인 바쁜 기간의 길이와 평균 대기시간을 분석한다. 4장에서는 도출된 성능척도를 이용하여 버퍼 크기 설정에 대한 수치 예제를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 내용 및 의의를 간략하게 정리한다.

II. 선행 연구

고품질의 멀티미디어 스트리밍 서비스 제공 방법에 대한 선행 연구 중에는 수신 단말의 버퍼 큐 크기를 제어할 수 있는 송신 서버의 패킷 전송 스케줄링 방법에 대한 분석이 수행되었다. 실시간 멀티미디어 패킷에 대한 전송 스케줄링 관련 연구[4][5]는 다양한 멀티미디어 패킷을 프레임별로 순위화하여 최소 지연시간의 QoS를 충족시키는 서버 측면의 전송 알고리즘을 분석하였다. 비디오 프레임 전송 순서 결정에 의한 수신 단말의 실시간 버퍼 수준, 네트워크 전송 상황, 초기 시작 전 대기시간의 상관관계를 분석하였다.

또한 김지원 외 연구[6]는 멀티미디어 재생 시작 시간이 촉박한 경우, 동화상 프레임의 유형에 따라 우선 순위가 높은 프레임을 먼저 전송하는 스케줄링 알고리

음을 제시하였다.

TCP 전송 환경에서의 프로그레시브 스트리밍 서비스를 대상으로 수신 단말의 버퍼 고갈 확률을 고려하여 초기 버퍼링 시간을 결정하는 연구도 수행되었다. 서광덕과 정순홍[7]은 초기 대기시간의 지연 현상을 고려하고, 패킷 전송 도중의 유실로 인한 재전송 발생상황까지 감안하였다. 서광덕 외 연구[8]는 수신 클라이언트에 도착하는 패킷의 도착 시간 지연 변이(jitter)를 고려하여 de-jitter 버퍼링 시간의 크기를 결정하였다.

그리고 송신 서버의 동적 버퍼 관리(active buffer management)에 대한 연구로써 Tong & Lee[9]는 송신 서버와 수신 클라이언트를 잇는 네트워크 흐름 제어를 통해 양쪽의 큐 버퍼 사이즈와 네트워크 채널의 대역폭을 최소화하는 흐름 제어에 대해 분석하였다. 또한 김현종과 최성근[10]은 스트리밍 서비스의 안정적인 품질 수준 유지를 위해 집단으로 유입되는 스트리밍 트래픽의 패킷 양과 전송 속도를 고려하여 큐 길이의 변동을 최소화하는 SCQ(Smoothly Changing Queue) 스케줄링 방안을 제안하였다.

최근 제희광 외 연구[11]에서는 모바일 스마트 기기 간의 멀티미디어 스트리밍 중계 시에 중계 기기와 멤버 기기의 스트림 데이터 버퍼링 제어 방법을 제시하고 재생 화면 정지 횟수, 화면 정지 시간을 측정하는 실험을 수행하였다. 김인기와 강민구(2016)는 스마트 OTT(Over The Top)서비스 환경에서 동적 버퍼링 프레임워크 설계를 통해 채널의 빠른 전환과 네트워크 대역폭의 효율적 운용 방안을 제시하였다[12]. 나광민 등(2016)은 비디오 재생 버퍼 관리 과정을 Knapsack Problem 으로 모델링하여 비디오 정보 손실의 최소화를 제시하였다[13].

이러한 선행 연구들은 수신 단말의 큐 버퍼 사이즈의 최소화 또는 큐 길이의 변동을 최소화하는 송신 서버의 패킷 전송 스케줄링에 집중되어 있다. 패킷의 발생 간격과 재생 시간이 일정한 값이 아닌 확률분포의 성질을 갖는다고 고려한다면 미디어 데이터 송신 서버 측면에서 이루어지는 스케줄링 기법에 의한 버퍼 관리 보다는 수신 단말 측면에서 수신된 데이터에 대한 버퍼 내의 대기행렬 분석 방식이 보다 QoS 향상의 효과를 높일

수 있다.

III. 성능 척도 분석

1. 모형의 정의

모바일 단말에서 동영상 재생 과정을 멀티미디어 패킷 전송, 단말 수신, 내부 스트리밍 제공 프로세서의 재생 알고리즘 가동, 동영상 재생으로 나누어 살펴보면 [표 1]과 같은 대기행렬시스템 모델링이 가능하다.

본 연구에서는 선행연구와의 차별화를 위해 시간 축이 슬롯 단위로 구분되어 트래픽 전송이 수행되는 디지털통신 및 전산 네트워크 운영 상황을 이산시간 대기행렬로 묘사한다. 이산시간 대기행렬은 패킷 등이 등간격의 시간 축으로 정의되는 슬롯(slot)단위로 전송이 이루어진다. 따라서 연속시간상에서 고객 도착과 서비스 제공이 이루어지는 M/G/1 등의 연속시간 대기행렬과 다르게, 이산시간 대기행렬은 정해진 길이의 슬롯을 시간의 단위로 하여 고객 도착간격과 서비스 수행시간이 표현되어진다[14]. 그리고 수신 단말에서의 재생 실패를 적정 버퍼의 확보 미비로 인해 중간의 끊김 또는 재생 중지 현상 발생으로 정의한다. 패킷 전송 및 원거리 방송 등에 적용되는 이산시간 대기행렬 관련 선행연구의 가정을 따라 패킷의 발생은 기하분포, 패킷의 처리는 일반분포를 따른다고 가정한다[15][16]. 버퍼는 수신 데이터를 바로 재생 프로세서에 보내기 전까지의 보관 공간으로 대기열(queue)로 표현된다.

표 1. 동영상 스트리밍 재생 과정

과정	대기행렬	가정 및 정의
멀티미디어 패킷 전송	고객의 형성과 발생	기하분포의 패킷 도착 간격
단말의 패킷 수신	고객의 도착	고객의 도착 형태 (개별 고객, 집단 고객 여부)
버퍼 확보 등의 재생 프로세스	재생 서비스 수행	<ul style="list-style-type: none"> 버퍼(재생 데이터의 부분 기억 공간으로 대기열)확보: N 정책 설계 버퍼 확보에 따른 스트리밍 제공 시간은 패킷 크기에 따라 상이함

2. 성능 척도 분석

N정책을 고려한 이산시간 대기행렬의 재생 사이클(regeneration cycle)을 바쁜기간(busy period)과 휴무기간(idle period)로 나누어 각각의 평균치, 재생 프로세서의 서버이용률(server utilization) 등을 성능척도로써 유도한다. 버퍼 크기에 따른 바쁜기간의 평균길이를 서비스 품질의 메인 지표로 설정하고, 평균 대기시간을 보조 지표로 사용한다. 버퍼 언더플로우를 방지하기 위해서는 대기행렬의 바쁜기간 평균 길이를 동영상의 러닝타임(running time) 평균값 보다 길게 되도록 버퍼 크기(N)를 설정한다. 그런데 N 값이 크게 되면 서비스 재생에 필요한 초기 지연시간이 길어지므로 메인 지표를 충족하는 상황에서 평균 대기시간을 최소화 하는 버퍼 크기를 설정하도록 한다.

재생 사이클(C)는 N개의 패킷을 제공(재생)하는 서비스 시간(S), 그리고 유입된 기존의 패킷을 모두 재생 완료하고 나서, 다음의 동영상 구간 재생을 위해 유입된 패킷이 N개 미만일 경우에 N개 버퍼를 채울 때까지의 휴무기간(I)로 구분된다. 바쁜기간의 길이를 B 로 정의하면 $E[B]$ 는 지연 사이클 정리에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다[17].

$$E[T] = \frac{N \cdot E[S]}{1 - \rho} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 제공로드(offered load) 또는 재생 프로세서의 이용률을 의미한다.

패킷의 도착은 기하분포를 따른다고 가정하고 (Geo/G/1 대기행렬), λ 를 평균 도착률로 정의한다. 휴무기간의 평균 길이는 버퍼 크기 N 이 채워질 때까지이며 다음 식과 같다[17].

$$E[I] = \frac{N}{\lambda} \quad (2)$$

따라서 재생 프로세서의 서버이용률 ρ 은 전체 사이클 중에서 바쁜기간이 구성하는 비율이 된다. 즉 임의 시점에 서버가 바쁠 확률로써 식(1)와 (2)를 이용하여 결과를 얻게 된다.

$$E[C] = \frac{E[B]}{E[B] + E[I]} = \frac{N \cdot E[S]}{1 - \rho} + \frac{N}{\lambda} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{E[B]}{E[C]}$$

계산을 통해 일반적인 대기행렬의 임의시점에 바쁠 확률인 $\rho = \lambda E(S)$ 와 같음을 확인할 수 있다.

이번에는 평균 대기시간에 대한 성능척도 관계식을 살펴보자. 미디어 데이터를 담은 패킷의 수신 단말 도착률과 패킷사이즈, 그리고 각 서비스에 대한 허용 지연시간 정보를 이용하여 무변환(transform-free) 형태의 평균 대기시간을 유도할 수 있다[18][19].

① 모형 구성 및 기호

멀티미디어 패킷의 도착 간격은 기하분포를 가정한다. 또한 패킷 처리(재생)의 시간 분포는 도착 과정과 독립이며 패킷 재생 시간 확률분포는 iid(identically independent distributed)임을 가정한다. 평균 대기시간 분석에 필요한 기호를 다음과 같이 정의한다.

- $E[S]$: 멀티미디어 패킷의 평균 재생 서비스 시간
- W_q : 평균 서비스 대기시간
- L_q : 재생 처리 전 대기 중인 평균 패킷 수
- $P(B)$: 재생 처리 서버(프로세서)가 바쁠 확률
- $P(I)$: 재생 처리 서버(프로세서)가 휴무기간(idle period)일 확률

little's 공식을 적용할 수 있으므로, $L_q = \lambda W_q$ 이다. 또한, 패킷 처리 서비스에 대한 평균 잔여 서비스 시간은 다음과 같다[9].

$$E[S^M] = \frac{E[S(S-1)]}{2E[S]} \quad (4)$$

② 평균 대기시간의 유도

N정책을 고려한 이산시간 대기행렬 모형에서의 휴리스틱 방법을 적용하여 임의 패킷의 평균 대기시간을 유도한다. 수신 패킷의 재생이 이루어지기까지 버퍼 공간

에서 기다려야 하는 시간을 대기시간으로 정의한다. 멀티미디어 패킷의 도착률(기하분포의 평균 파라미터) λ 인 상황에서 임의 패킷은 재생 프로세서의 서비스 처리 까지 다음의 두 시간만큼을 대기해야 한다.

- (i) 버퍼 공간에 머물고 있는 데이터들 중, 앞 순서의 미디어 데이터 예상 처리시간 (평균 서비스 시간)
- (ii) 만약 바쁜 기간에 임의 패킷이 수신 단말에 도착 되었다면, 진행 중인 미디어 데이터 재생 처리 서비스의 잔여 시간

우선 (i)+(ii) 만큼의 임의의 패킷 재생이 지연되어 버퍼 공간에 머물러야 한다. 그런데 만약 버퍼 크기 N 이 채워지지 않아 재생 서비스가 개시되지 않은 상황에서 수신 단말에 도착했다면 버퍼 크기를 모두 채울 때까지 추가로 대기해야 한다.

$$W_q = L_q E[S] + P[B]P[S_R] + P[A]P[N_R] \quad (5)$$

N_R 을 버퍼 크기를 모두 채우기 위해 추가로 도착해야 하는 고객 수이므로 평균 값은 $(N+1)/2$ 이 되며, (5)식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$W_q = \lambda W_q E[S] + \rho \frac{E[S(S-1)]}{2E[S]} + \frac{(1-\rho)(N+1)}{2} \quad (6)$$

우변의 첫 항이 $\lambda W_q E[S] = \rho W_q$ 이고, 이를 좌변으로 이항하여 (6)식을 정리하면 다음과 같은 평균 서비스 대기시간

$$W_q = \frac{\rho}{1-\rho} \frac{E[S(S-1)]}{2E[S]} + \frac{N+1}{2} \quad (7)$$

을 도출한다.

IV. 수치예제

3장에서 평균 서비스 대기시간과 바쁜기간의 평균 길이에 대한 수치 예제를 제시한다. 서버이용률(ρ)이

큰 경우와 작은 경우로 나누어 버퍼 크기 N 값에 따른 바쁜기간 평균 길이와 평균 대기시간의 변화를 예시한다. 수신된 패킷의 재생 처리시간이 기하분포를 따른다고 가정한다.

첫 번째 예시 상황으로 서버이용률(제공로드)이 높은 경우이다. $E[S]$ 를 3으로 가정하고, 패킷의 도착률(λ)은 0.25로 한다. 이때의 제공로드(ρ)는 0.75 이다. 또 다른 경우로 $E[S]$ 를 1.5로 하되, ρ 는 동일한 값을 유지하도록 λ , $E[S]$ 를 조정한다. 버퍼의 크기 N 값에 따른 바쁜기간의 평균 길이와 평균 대기시간의 결과는 다음 [표 2]와 같다.

표 2. N값에 따른 성능 척도의 변화 ($\rho=0.75$)

N	$\lambda = 0.25, E[S] = 3$		$\lambda = 0.5, E[S] = 1.5$	
	$E[B]$	W_q	$E[B]$	W_q
3	36	8	18	15.5
4	48	8.5	24	16
5	60	9	30	16.5
6	72	9.5	36	17
7	84	10	42	17.5
8	96	10.5	48	18
9	108	11	54	18.5
10	120	11.5	60	19
11	132	12	66	19.5
12	144	12.5	72	20
13	156	13	78	20.5

만약 첫 번째 상황($\lambda = 0.25, E[S] = 3$)에서 동영상의 전체 재생시간(running time) 평균길이가 100 으로 가정할 때, 초기 버퍼의 크기(N)를 9 미만으로 설정하면, 버퍼 언더플로우의 발생으로 동영상 재생이 중간에 멈출 수 있다. 이러한 재생 끊김 현상을 방지하기 위해 버퍼의 크기는 9이상으로 설정해야 한다. 그런데 평균대기시간이 커질 수 있어, 동영상 재생이 시작되기까지의 초기 지연시간이 늘어남에 따라 버퍼 크기를 9에서 설정함이 서비스 품질 측면에서 유리하다.

표의 결과에서 제공로드가 0.75로 똑같지만 도착률(λ)이 큰 경우가 바쁜기간의 평균 길이와 N 값에 따른 증가폭이 작음을 알 수 있다. 반대로 평균 대기시간은 도착률이 큰 경우가 보다 큼을 확인할 수 있다.

표 3. N값에 따른 성능 척도의 변화 ($\rho=0.4$)

N	$\lambda = 0.2, E[S] = 2$		$\lambda = 0.4, E[S] = 1$	
	$E[B]$	W_q	$E[B]$	W_q
3	10,000	4,167	5,000	6,667
4	13,333	4,667	6,667	7,167
5	16,667	5,167	8,333	7,667
6	20,000	5,667	10,000	8,167
7	23,333	6,167	11,667	8,667
8	26,667	6,667	13,333	9,167
9	30,000	7,167	15,000	9,667
10	33,333	7,667	16,667	10,167
11	36,667	8,167	18,333	10,667
12	40,000	8,667	20,000	11,167
13	43,333	9,167	21,667	11,667

[표 3]은 제공로드(ρ)가 작은 경우의 수치예제이다. ρ 를 0.4로 하여, 패킷의 도착률이 0.2 인 경우, 0.4 인 경우를 비교하여 ($E[S]$ 는 각각 2 와 1 이 됨) 초기 버퍼 크기 (N)에 따른 평균대기시간과 바쁜기간의 평균 길이는 [표 3]의 결과와 같다. 재생할 동영상의 평균 재생 시간이 40 이라고 하면 [표 3]의 첫 번째 상황에서는 버퍼의 크기를 12로 설정하는 것이 적합하다.

V. 결론

본 연구에서는 모바일 단말에서 재생되는 동영상 서비스의 끊김 현상을 방지할 수 있는 최적의 버퍼 크기를 산정하기 위해 N정책을 고려한 Geo/G/1 대기행렬을 모델링하여 주요 성능척도를 분석하였다. 특히 이산 시간 대기행렬의 모델링을 통해 멀티미디어 스트리밍 서비스 과정에 대한 현실 근사를 높이려 하였다. 또한 유무선 네트워크를 통해 전송되는 미디어 데이터에 대한 수신 단말에서의 버퍼 관리를 통해 동영상 재생 품질을 높일 수 있는 방안을 제시하였다. 만약 버퍼 크기가 너무 크면, 재생 서비스 시작 전의 초기 지연시간이 길어지고, 반대로 버퍼 크기가 너무 작은 경우 수신 단말에 도착한 패킷의 부족으로 재생 서비스가 중간에 멈출 수 있다. 버퍼 언더플로우를 방지하고 재생 서비스의 초기 지연시간을 최소화할 수 있는 적정 버퍼 크기의 산정을 위해 바쁜기간 평균 길이와 평균 대기시간을 도출하였다. 또한 버퍼 크기에 따른 바쁜기간 평균 길

이와 평균 대기시간의 변화를 나타내는 수치예제를 제시하여 적정 버퍼 크기의 설정 과정을 설명하였다.

동영상 재생 서비스 단말의 최적 버퍼 수준 산정 결과는 끊김 없는 멀티미디어 스트리밍 수행과 초기 지연 시간 최소화를 달성하여 사용자 만족도를 높일 수 있다. 통신 네트워크의 불확실한 체증 현상에 대비하고, 서비스 이용자의 불편함을 최소화함으로써 대용량의 멀티미디어 스트리밍 서비스 기술 발전에 기여할 수 있다. 또한 화상회의, 원격진료 분야의 실시간 동영상 전송에 있어 고품질의 재생 기술과 원거리 통신 서비스 방안 설계에 많은 도움이 될 것으로 기대한다.

추후 연구로는 멀티미디어 패킷이 집단(batch)으로 수신 단말에 도착하는 상황을 N정책을 갖는 Geo^x/G/1 대기행렬로 모델링하여 관련 성능척도를 유도할 수 있다. 이 경우에는 집단 내 같이 도착한 패킷 내에서 임의 패킷의 순서를 고려하여 재생 서비스 순서가 도래할 때까지의 추가 대기시간이 발생한다. 또한 멀티미디어 패킷의 도착 간격을 기하분포로 가정하지 않고, 버스트성을 고려한 DBMAP 등의 마코비안 도착과정으로 묘사함으로써 현실 근사의 정도를 더욱 높일 수 있다. 이러한 경우를 포함하여 다양한 서비스 제공 환경에서의 주요 성능척도와 서비스 품질의 지표를 비교 분석할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 정연일, 이정찬, 이승룡, “클라이언트/서버 기반 스트리밍 시스템에서의 네트워크 적응형 QoS 기법,” 정보처리학회논문지, 제10A권, 제6호, pp.691-700, 2003.
- [2] 이좌형, 정인범, “끊김없는 미디어 스트리밍을 위한 프리페칭 기반 적응적 미디어 재생 기법,” 정보처리학회논문지, 제16A권, 제5호, pp.327-338, 2009.
- [3] 이현노, 김동희, “무선통신 환경에서 비디오 스트리밍의 버퍼 언더플로우와 오버플로우를 해결하기 위한 토큰버킷과 AMP 기법의 결합,” 한국통신학회논문지, 제40권, 제7호, pp.1330-1338, 2015.

[4] J. McManus and K. Ross, "Video-on-Demand over ATM: Constant-rate transmission on transport," *IEEE Journal on Selection Areas in Communications*, Vol.14, No.6, pp.1087-1098, 1996.

[5] W. Feng, F. Jahanian, and S. Sechrest, "An optimal bandwidth allocation strategy for delivery of prerecorded video," *Multimedia Systems*, Vol.5, pp.297-309, 1997.

[6] 김지원, 신광식, 윤완오, 최상방, "QoS 보장을 위한 멀티미디어 데이터 스케줄링 연구," *전자공학 논문지*, 제46권, 제5호, pp.44-56, 2009.

[7] 서광덕, 정순홍, "프로그래시브 멀티미디어 스트리밍 서비스를 위한 초기 버퍼링 시간 결정 기법," *정보과학회논문지*, 제14권, 제2호, pp.206-210, 2008.

[8] 서광덕, 김현정, 김진수, 정순홍, 유정주, 정영호, "IP망을 통한 MPEG-2 TS 기반의 프로그래시브 스트리밍을 위한 de-jitter 버퍼링 시간 추정," *방송공학회논문지*, 제16권, 제5호, pp.722-735, 2011.

[9] S. Tong and S. Lee, "An efficient flow control plan for end-to-end delivery of pre-stored compressed videos," *IEEE International Conference on 1999*, Vol.2, 1999.

[10] 김현중, 최성곤, "스트리밍 서비스를 위한 큐 길이 변화 최소화 스케줄링 방안 연구," *제35회 한국정보처리학회 춘계학술대회 논문집*, 제18권, 제1호, pp.615-618, 2001.

[11] 제회광, 김동우, 김현우, 안동혁, 주홍택, "미디어 버퍼 제어를 이용한 효율적인 무선 네트워크 스트리밍 중계 엔진 개발," *한국통신학회논문지*, 제41권, 제11호, pp.1580-1588, 2016.

[12] 김인기, 강민구, "적응 버퍼링 성능분석 기반의 스마트 OTT 플랫폼 설계," *인터넷정보학회논문지*, 제17권, 제4호, pp.19-26, 2016.

[13] 나광민, 이태영, 김헌희, 박광현, 최용훈, "실감오류를 위한 비디오 재생 버퍼 관리 방안," *정보과학회논문지*, 제43권, 제3호, pp.327-335, 2016.

[14] 이호우, *대기행렬이론*, 제3판, 시그마프레스, 2006.

[15] M. McKinnon, H. Perros, and G. Rouskas,

"Performance analysis of broadcast WDM networks under IP traffic," *Performance Evaluation*, pp.333-358, 1999.

[16] L. Hoflack, S. De Vuyst, S. Wittvrongel, and H. Bruneel, "Discrete-time buffer systems with session-based arrivals," *Performance Evaluation*, Vol.67, No.6, pp.432-450, 2010.

[17] H. Takagi, *Queueing Analysis. Volume 3: Discrete-Time Systems*, Elsevier Science Publishers B. V., 1993.

[18] K. C. Chae and H. W. Lee, "M^X/G/1 Vacation models with N-policy: Heuristic interpretation of the mean waiting time," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.46, No.2, pp.258-264, 1995.

[19] Medhi, *Stochastic Models in Queueing Theory*, 2nd edition, Academic Press, 2003.

저 자 소 개

박 현 민(Hyun Min Park)

정회원



- 1996년 2월 : 연세대학교 경영학과(경영학사)
- 1998년 8월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)
- 2009년 8월 : 한국과학기술원 산업및시스템공학과(공학박사)
- 2010년 8월 ~ 현재 : 배재대학교 경영학과 부교수
<관심분야> : 확률모형, 생산운영관리, 통신경영