

# 영상 스트리밍 서비스 트래픽의 안정적인 전달 지연변이 보장을 위한 스케줄링 방안

김 현 종<sup>†</sup> · 최 원 석<sup>\*\*</sup> · 최 성 곤<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문은 IPTV, VoD와 같은 비디오 스트리밍 트래픽에 대해 큐 길이 변동을 최소화하여 안정적인 지연변이를 보장할 수 있는 스케줄링 방안을 제안한다. MPEG-4 및 H.264와 같은 코덱은 가변 비트율(VBR)로 영상 프레임 전송하기 때문에 일정 시간 내에 전송되어야 하는 트래픽의 양이 매우 유동적이다. 기존 스케줄링 방안을 이용하여 영상 프레임을 전송할 경우 VBR 특성으로 인해 중단간 패킷 전달 지연변이의 증가를 초래한다. 이에 우리는 대량으로 유입되는 스트리밍 트래픽에 대하여 패킷의 대량 유입 크기와 도착률을 고려하여 서비스율을 적응적으로 제어함으로써 큐 길이 변화율을 최소화할 수 있는 스케줄링 방안을 제안한다. 제안 방안을 이용할 경우 큐 길이 변동의 최소화를 통해 보다 안정적으로 영상 서비스 패킷을 전달할 수 있다. 제안 방안의 유효성을 확인하기 위해 우리는 큐잉 모델을 이용하였으며, 또한 OPNET 시뮬레이션 실험을 수행하였다.

키워드 : IPTV, QoS, 영상 스트리밍, 지연변이, 스케줄링

## A Scheduling Method to Ensure a Stable Delay Variation of Video Streaming Service Traffic

Hyun Jong Kim<sup>†</sup> · Won Seok Choi<sup>\*\*</sup> · Seong Gon Choi<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new scheduling method that can guarantee reliable jitter by minimizing the queue length variation in the streaming service provisioning such as IPTV and VoD. The amount of traffic to be delivered within a certain time is very fluid because MPEG-4 and H.264 encoders use VBR(Variable Bit Rate) for delivering video streaming traffic. This VBR characteristic increases the end-to-end propagation delay variation when existing scheduling methods are used for delivering video frames. Therefore, we propose the new scheduling method that can minimize change rate of queue length by adaptively controlling service rate taking into account the size of bulk incoming packets and arrival rate for bulk streaming traffic. Video frames can be more reliably transmitted through the minimization of the queue length variation using the proposed method. We use the queueing model and also carry out OPNET simulation to validate the proposed method.

Keywords : IPTV, QoS, Video Streaming, Delay Variance, Scheduling

### 1. 서 론

IPTV, VoD와 같은 영상 스트리밍 서비스의 이용 및 제 공하면서 안정적인 영상 스트리밍 전송에 대한 중요성이 강조되고 있다. 영상 스트리밍 트래픽은 대량 유입 특성으로 인해 단위 시간 동안 처리해야 하는 트래픽의 양이 매우 유

동적이기 때문에 트래픽간 도착 시간을 안정적으로 유지시킬 수 있는 패킷 스케줄링 방안이 요구된다.

IPTV 서비스 패킷의 분석 결과[1]에 따르면, 연속적인 서비스 패킷들은 대량 유입 특성을 갖고 큐에 유입되며 이는 급격한 큐 길이 변화를 유발한다. 이런 특성을 갖는 패킷은 큐에서의 패킷 처리 시간을 증가시키며 영상 스트림의 지연 변이의 증가를 초래한다. 이런 지연변이의 증가는 IPTV와 같은 영상 서비스의 형태 왜곡, 영상 끊김, 색상 왜곡과 같이 영상 서비스의 품질 저하를 유발한다[2]. 영상 스트리밍 서비스에서 패킷 전달 지연변이의 증가는 중단에서 패킷 손실과 같은 영향으로 나타날 수 있기 때문에 큐 길이 변화율을 안정적으로 유지하는 것은 매우 중요하다.

\* 이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 LED통신연구팀

\*\* 정 회 원 : 충북대학교 전자공학과 석·박사통합과정

\*\*\* 총신회원 : 충북대학교 전자정보대학 부교수(교신일자)

논문접수 : 2011년 8월 17일

수정일 : 1차 2011년 11월 14일

심사완료 : 2011년 11월 14일

IPTV 및 VoD와 같은 영상 스트리밍 서비스 품질은 네트워크 QoS 파라미터인 패킷 전달지연, 패킷 손실률 및 패킷 전달지연변이 등에 의해 많은 영향을 받는다. ITU-T, IETF(Internet Engineering Task Force) 와 같은 국제 표준 기구에서는 IP 패킷 통신망에서 멀티미디어 서비스의 품질 보장을 위한 최소 요구수준을 명시하고 이를 권고하고 있다 [3][4].

IP 네트워크에서 IPTV, VoD와 같은 영상 스트리밍 서비스를 제공하기 위해 MPEG-2 및 H.264/AVC와 같은 영상 코덱이 고려되고 있다. 압축 효율 및 패킷 네트워크로의 영상 트래픽 전송 효율을 향상시키기 위하여 패킷 크기가 다른 I, B, P 프레임이 전송하게 되는데 이들 프레임은 서비스 사용자 단말의 버퍼에서 QoS 보장을 위해서는 언더/오버 플로우가 발생되지 않도록 일정시간 내에 도착을 해야 한다.

<표 1> 소스의 영상 패킷 생성에 관한 속성[5]

서비스 종류	DSCP	Ethernet CoS	ATM Class	ATM Priority
Multicast Video	AF41(34) (Assured Forwarding)	4	VBR-rt (variable bit rate, real time)	5
Unicast Video	AF42(36) AF43(38)	2 1		5 5
VoIP	EF(46) (Expedited Forwarding)	5	CBR (constant bit rate)	6
Signal	CS3(24) (Class Selector)	3	VBR-rt	5
HSD (High Speed Data)	Default(0)	0	UBR (unspecified bit rate)	0

IP 기반의 패킷 네트워크에서 제공될 수 있는 서비스 종류 및 유형이 다양해짐에 따라 서비스의 품질을 보장하기 위해 AQM(Active Queue Management), DiffServ(Differentiated Service) 및 속도 제어 기반 스트리밍 서비스 제공 방안들이 연구되어왔다. 시스코는 영상 서비스 제공을 위하여 DSCP(Differentiated Service Code Point) 기반 큐잉 구조와 스케줄링 방안을 네트워크 장비에 고려하고 있다. 다음 <표 1>은 IP 패킷 네트워크에서 제공되는 서비스 유형과 DiffServ 네트워크 구조에서 사용 가능한 DSCP, Ethernet CoS(Class of Service), 그리고 ATM 서비스 등급 정보를 보여준다[5].

그러나 DiffServ는 네트워크가 서비스 등급이 요구하는 QoS 수준을 명확히 인지하지 못하며, 또한 기존 AQM 방안들과 속도 제어 방안들은 영상 스트림의 특성을 고려하지 못하는 단점이 있다. 기존 AQM에 적용되는 WRR(Weighted Round Robin) 방식은 영상 스트림의 대량 유입 특성을 고려하지 못하기 때문에 큐 내에서 패킷의 대기 시간의 변화율을 증가시킨다. 즉, WRR 스케줄링 방안은 영상

스트리밍 서비스의 낮은 지연변이 요구 사항 및 안정적인 전송을 만족시키지 못한다.

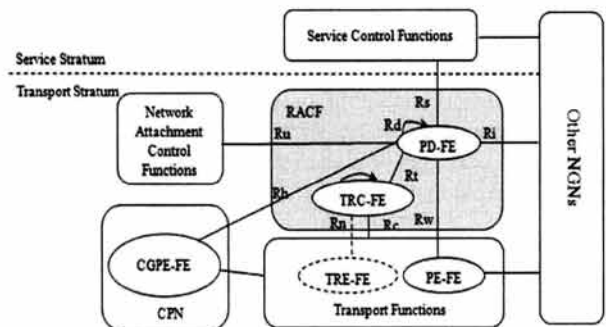
이에 우리는 영상 스트림 트래픽 전달에 있어 해당 패킷들의 대량 유입 특성을 고려하여 스케줄링함으로써 큐 길이 변화율을 안정적으로 유지할 수 있는 스케줄링 방안을 제안한다. 이 방안을 각 라우터에 적용할 경우 종단간 영상 스트리밍 서비스 패킷의 전달 지연변이는 안정적으로 유지시킬 수 있다.

본 논문은 2장에서 QoS 제공을 위한 차세대 네트워크 구조, AQM(Active Queue Management) 방안 및 스트리밍 서비스를 위한 전송 속도 제어 방안들에 대해 살펴본다. 3장에서는 영상 스트리밍 서비스의 안정적인 지연변이 보장을 위한 스케줄링 방안을 제안하고 4장에서 제안 방안에 대한 큐잉 모델 분석 및 OPNET 시뮬레이션 결과를 분석한다. 끝으로 5장에서 결론 및 향후 연구 계획에 대해 서술한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 QoS 제공을 위한 차세대 네트워크 구조

차세대 네트워크 환경에서 QoS 제공을 위해 고려되고 네트워크 구조로는 ITU-T의 RACF (Resource and Admission Control Function)가 있으며, 이는 전송 평면과 서비스 평면으로 분리된 구조를 갖는 것이 큰 특징이다[6]. 전송 평면은 데이터 및 패킷 전달을 처리하기 위한 네트워크 자원 관리 기능을 포함하며, 서비스 평면은 서비스 유형별로 패킷 처리 정책을 적용할 수 있는 서비스 제어 및 관리 기능을 포함한다. (그림 1)은 ITU-T의 RACF 기능 구조와 기능 블록간 인터페이스를 보여준다.



(그림 1) RACF의 기능 구조[6]

서비스 평면과 인접한 전송 평면 내에는 전송 제어 기능이 위치한다. 이것은 네트워크 정책 및 자원 가용 여부를 기반으로 요청된 서비스의 수락 여부를 결정하며 수락된 서비스에 대해 자원 할당을 위한 네트워크 기능 요소를 제어한다. 이에 RACF는 전송 기능의 자원 제어 및 서비스 수락 제어가 주요 기능이다.

그러나 이런 자원 관리를 통한 QoS 제어 구조는 네트워크 계층에서 단지 대역폭 기반의 서비스 수락 제어 기능만을 제공할 뿐이기 때문에 종단간 발생하는 패킷 전달 지연

및 전달 지연변이에 민감한 영상 스트리밍 서비스의 QoS 제공에는 한계가 있다.

또 다른 QoS 제공을 위한 네트워크 구조로 DiffServ 구조가 있다. 차세대 네트워크(NGN) 환경에서 다양한 응용 서비스들이 제공됨에 따라 다양한 수준의 서비스 품질이 요구되고 있다. 이런 환경에서 서비스의 QoS를 제공하기 위해 DiffServ (Differentiated Services) 방안에 대해 많은 연구가 진행되고 있다[7][8]. DiffServ 구조는 액세스 네트워크에서 서비스 특성에 따라 패킷 처리에 있어 우선순위를 부여 패킷을 처리함으로써 서비스의 QoS를 지원할 수 있는 확장성 있는 구조이다. 하지만, 액세스 네트워크에서의 패킷 분류에 의한 차별화 처리만으로 종단간 패킷 전달지연 및 전달지연 변이를 보장할 수 없기 때문에 DiffServ에서 분류된 서브 큐의 상태에 따라 스케줄링 정책을 적용할 수 있는 방안이 필요하다.

### 2.2 영상 서비스의 QoS 제공을 위한 AQM

이 절에서는 다양한 AQM(Active Queue Management) 방안에 대한 연구 동향을 살펴본다. 네트워크의 혼잡 회피를 위해 제안된 많은 AQM 메커니즘은 RED(Random Early Detection) 메커니즘을 기반으로 하고 있다. 이들 방안의 차이점은 주로 파라미터 조절 방법에 있으며, 네트워크 상황에 따라 패킷 drop 확률을 적응적으로 결정하여 적용하는 차이가 있다. 대표적인 메커니즘은 Drop\_tail, RED, DRED 및 WRED가 있다[9].

특히 영상 스트리밍 서비스의 QoS를 제공하기 위해 BLUE, AVQ(Adaptive Virtual Queue) 방안들이 제안되었다. 이들 방안의 기존 AQM 방안과의 주요 차이점은 가까운 미래에 유입될 트래픽을 예상하고 이를 기반으로 능동적으로 큐 상태를 안정적으로 유지시킨다는 것이다. 하지만, 이들 방안은 종단간 발생하는 RTT값을 기반으로 패킷 drop/marketing을 결정하기 때문에 네트워크 상태 변화에 실시간으로 대응하기 힘들다는 단점이 있다[10][11].

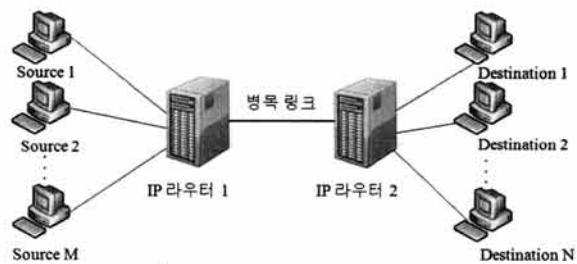
영상 서비스의 스트리밍 특성으로 인해 종단 단말에서 끊임 없이 영상을 재생하기 위해서는 패킷 간 도착 시각이 안정적으로 유지되어야 한다. 이를 위해 [12]에서는 네트워크 상태 정보를 미디어 서버로 feedback하여 전송 속도를 제어하는 방안을 제안하였다. 하지만, 이런 방안은 feedback 정보를 기반으로 하기 때문에 네트워크 상태 변화에 즉각적인 대처가 불가능하다. 이는 실시간으로 변화되는 네트워크 환경에서 안정적인 패킷 간 도착 시간을 제공하면서 영상 스트리밍 서비스 패킷 전달하기에 부적합하다[14]. 이에 우리는 영상 스트리밍 서비스의 특성을 고려하여 서브 큐별 서비스율을 능동적으로 제어할 수 있는 방안을 제안한다.

## 3. 영상 서비스 패킷의 지연변이 최소화 스케줄링 방안

### 3.1 제안 스케줄링 방안의 구성

영상 스트리밍 트래픽의 특성으로 인하여 IPTV 서비스 패킷은 앞서 설명한 바와 같이 대량으로 라우터 및 스위치 큐에 유입되는 특성을 갖는다. 이는 라우터 큐 길이의 변화를 심하게 유도시키는 원인이 되며, 큐 내에서 패킷의 대기 시간의 변화폭을 증가시킨다. 이에 우리는 패킷 처리 시간 간격을 줄여 영상 스트리밍 서비스 품질에 대한 지연변이의 영향을 최소화할 수 있는 새로운 스케줄링 방안을 제안한다.

(그림 2)는 IP 기반 패킷 통신망에서 영상 스트리밍 서비스를 제공하기 위해 고려할 수 있는 참조 네트워크 구성도를 보여준다. 네트워크 장비인 라우터는 여러 노드들로부터 유입되는 패킷들에 대하여 해당 목적지까지 패킷 전달을 위한 경로 설정(라우팅) 기능을 수행하게 되며 실제 네트워크 환경에서 다수의 라우터들이 연동된 환경에서는 병목지점이 발생하며 이 지점을 사이에 둔 라우터에서는 패킷 처리를 위해 프로세싱 및 큐잉 지연이 발생하게 된다.



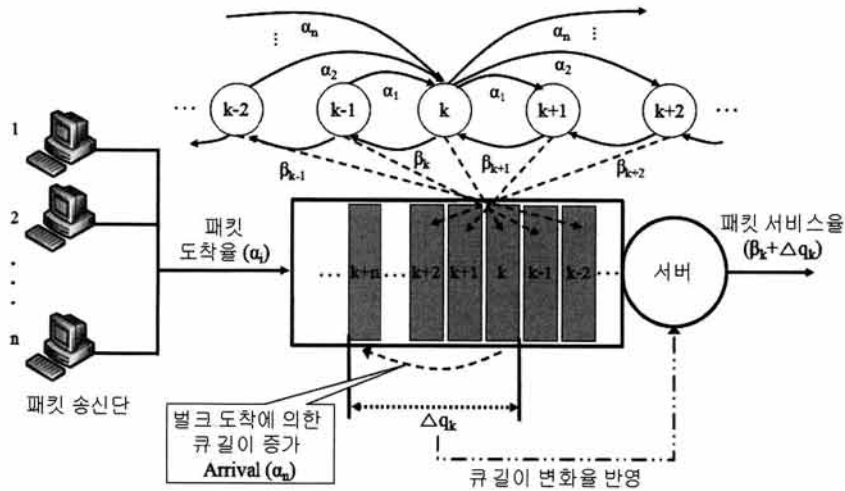
(그림 2) 영상 스트리밍 서비스 제공을 위한 참조 네트워크 구성도

특히 연속적으로 대량으로 전송되는 영상 스트리밍 서비스 패킷의 경우 기존의 고정된 처리율 스케줄러를 사용할 경우 패킷 처리 및 큐잉 지연시간의 변동이 증가하게 되며, 이렇게 증가된 패킷 처리 시간 간격은 종단간 패킷 전달지연 즉, 지연변이로 영향을 미치게 된다. 증가된 지연변이는 서비스 단말의 Play-out 버퍼의 언더/오버 플로우를 유발하게 되며 결국 영상 서비스 품질에 있어서 패킷 손실과 같은 품질 저하를 야기한다.

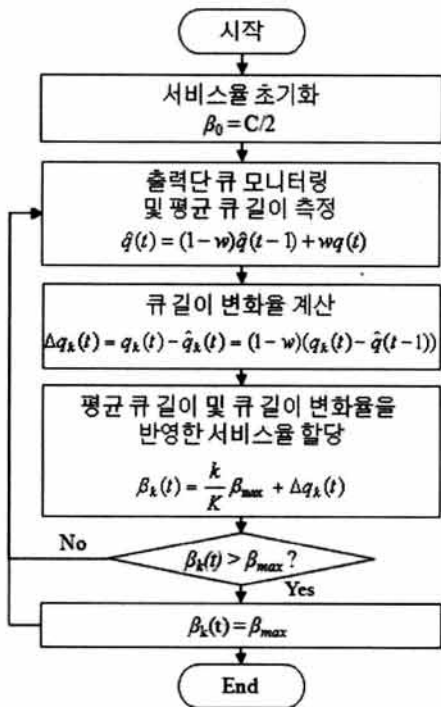
(그림 3)은 네트워크 노드에서 다수의 미디어 서버로부터 영상 스트리밍 패킷이 대량으로 유입됨에 따라 변화되는 큐 길이와 이에 대응하는 큐 상태 천이도를 보여준다. 기존 스케줄링 방안과 달리 서버의 패킷 서비스율은 단위 시간동안 대량으로 유입된 패킷에 의해 증가된 큐 길이 변화를 반영하여 결정하게 된다. 따라 큐 길이 상태 천이도에서 각 상태의 서비스율은 어떤 이전 상태에서 천이가 되었는지에 따라 달라진다. 예를 들어 현재 서비스율  $\beta_k$ 는 그 이전 시점에서 유입되는 패킷의 크기에 비례하여 결정된다.

### 3.2 제안 방안의 세부 동작 절차

제안 방안의 세부 동작 절차는 (그림 4)와 같다. 초기 네트워크 트래픽 분포 특성을 합리적으로 수용하기 위해 전체 처리용량의 1/2 수준으로 서비스율을 할당한다. 대량으로 유입되는 영상 스트리밍 패킷에 의한 네트워크 장비 내의 큐



(그림 3) 영상 스트리밍 패킷에 의한 큐 길이 변화 및 그에 따른 큐 상태 천이도



(그림 4) 제안된 스케줄러의 동작 절차도

길이 변화율을 최소화하기 위해서 우선적으로 큐 길이를 감시하여 평균 큐 길이와 큐 길이 변화율에 의하여 적응적인 서비스율 할당이 요구된다.

지속적인 패킷 유입에 의해 시간대별로 수시로 변화되는 라우터의 내의 큐 길이에 대한 평균을 측정하기 위해 수식 (1)과 같이 우리는 변동성 측정을 위한 대표적인 방법 중 하나인 EWMA(Exponential Weighted Moving Average) 방안을 이용한다.

주기적으로 평균 큐 길이를 측정함과 동시에 우리는 대량 유입 특성을 갖고 도착 패킷에 의한 큐 길이 변화율을 계산하기 위하여 수식 (2)를 이용한다. 수식 (2)는 큐 감시 샘플링 주기에 대하여 큐 길이 변화의 증감율을 표현한다. 여기

서, 큐 내에서 패킷 대기 시간 변화는 수식 (3)을 통해 계산될 수 있다. 이와 같이 큐 길이 변화율은 패킷 처리 시간에 영향을 미치게 된다.

이 때, 서비스율이 평균 큐 길이와 큐 길이 변화율을 고려하여 수식 (4)와 같이 적응적으로 할당된다면 대량으로 유입되는 스트리밍 패킷에 의한 급격한 큐 길이 변화를 완화할 수 있으며 안정적인 패킷 처리가 가능하게 된다. 여기서 서브 큐의 최대 서비스율( $\beta_{max}$ )은 다른 서브 큐들의 HOL(Head Of Line) 문제를 회피하기 위해 링크의 최대 수용량(C)에 대하여 0.8의 가중치를 갖는다.

$$\hat{q}(t) = (1-w)\hat{q}(t-1) + wq(t) \tag{1}$$

$$\Delta q_k(t) = q_k(t) - \hat{q}(t) = (1-w)(q_k(t) - \hat{q}(t-1)) \tag{2}$$

$$J(t) = \frac{\Delta q(t)}{\beta(t)} \tag{3}$$

$$\beta_k(t) = \frac{k}{K}\beta_{max} + \Delta q_k(t) \tag{4}$$

이렇게 할당된 서브 큐의 서비스율이 최대 서비스율( $\beta_{max}$ )을 넘지 않는다면 주기적으로 평균 큐 길이와 큐 길이 변화율을 감시하여 서브 큐의 서비스율을 적응적으로 할당하는 과정을 반복하게 된다. 하지만, 수식 (4)를 통해 계산된 서비스율이 최대 서비스율을 초과하게 될 경우 서브 큐의 서비스율은 정적으로 최대 서비스율만큼 할당받게 된다.

#### 4. 제안 방안의 성능 분석

##### 4.1 큐잉 모델을 통한 제안 방안의 성능 비교/분석

이 장에서 우리는 이산시간 큐잉 모델을 이용하여 제안된 스케줄링 방안의 성능 분석 결과를 제시하였다.

이산시간 큐잉 시스템에서 우리는 단위 시간 내에서 큐로 패킷이 유입되기 전에 항상 패킷이 서비스된다는 사실을 가정한다. 큐는 유한(K) 크기를 갖으며, 패킷의 대량 유입 패



킷 크기는 Markove 프로세서에 따라 단위 시간 내에 Lognormal 분포를 따른다[13]. 또한 유입된 패킷은 FCFS (First Come First Service) 방식에 따라 서비스된다. 평균 큐 길이와 큐 길이 변화율은 샘플링되는 단위시간마다 계산이 되며, 이를 기반으로 능동적으로 최적의 서비스율을 선택하게 된다. 우리는 (그림 2)와 같이 대량 유입 특성 패킷의 도착율과 적응적 서비스율을 고려한 상태천이도를 사용하여 제안된 스케줄링 방안의 성능을 분석하였다.

우리는 시스코 라우터의 명세서 상의 규격과 IPTV 서비스 패킷의 특성 분석 자료[5]를 토대로 큐잉 모델의 파라미터를 할당하였으며, 네트워크의 링크 용량 및 큐 크기 ( $K=30$ ), 대량 유입 패킷의 크기는 전체 큐 길이의 20%를 고려하였다. 또한, 큐 구조는 시스코 라우터의 명세서와 국제 표준 기구에서 권고하는 IPTV 서비스 품질 기준[3][4]을 준수하도록 설계하였다.

시스템의 평형 상태 성능 분석을 위해 우리는 수식 (9)와 같은 상태 천이 확률 행렬  $P$ 를 이용하였다. 우리는 이 행렬을 통해 상태 확률을 계산할 수 있으며,  $P_k$ 는 평형 상태  $k$ 의 확률을,  $\alpha_{ij}$ 는 패킷 도착 특성을 갖는 패킷 도착률,  $\beta_k$ 는 상태  $k$ 에서의 서비스율을 의미한다.

평균 큐 길이는 수식 (5)을 이용하여 각 상태와 그 상태에 있을 확률의 결합으로 계산할 수 있으며, 평균 큐잉 지연시간은 Little 이론에 의해 수식 (6)을 통해 계산된다. 수식 (7)은 시스템 처리율(throughput)을 계산하기 위한 수식이다. 제안된 스케줄링 방안에 대한 패킷 손실률은 이용률 ( $\rho$ )이 1보다 작은 경우에 대량으로 유입되는 패킷에 의하여 큐의 오버플로우가 발생하는 경우를 고려할 수 있다. 이에 제안 방안에 대한 패킷 손실률( $P_d$ )은 수식 (8)에 의해 계산될 수 있다.

$$MQL = \sum_{i=0}^K i P_i \tag{5}$$

$$W = \frac{MQL}{S} \tag{6}$$

$$S = (1 - P_0) \times \beta_k \tag{7}$$

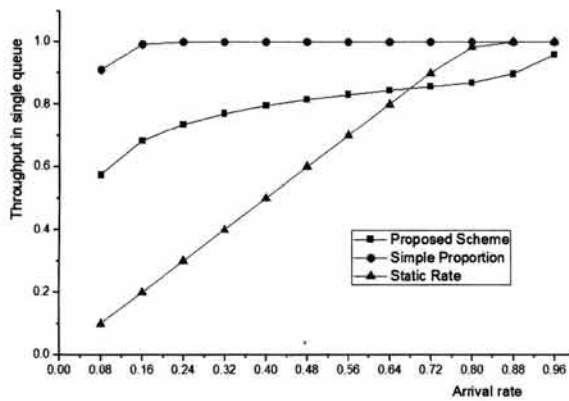
$$p_d = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_{K-i+1} \tag{8}$$

$$P = \begin{bmatrix} \alpha_{00} & \alpha_{01} & \alpha_{02} & \alpha_{03} & \alpha_{04} & \dots & 0 \\ \alpha_{10}\beta_1 & \alpha_{11}\beta_2 + \alpha_{10}(1-\beta_1) & \alpha_{12}\beta_3 + \alpha_{11}(1-\beta_2) & \alpha_{13}\beta_4 + \alpha_{12}(1-\beta_3) & \alpha_{14}\beta_5 + \alpha_{13}(1-\beta_4) & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_{20}\beta_2 & \alpha_{21}\beta_3 + \alpha_{20}(1-\beta_2) & \alpha_{22}\beta_4 + \alpha_{21}(1-\beta_3) & \alpha_{23}\beta_5 + \alpha_{22}(1-\beta_4) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{30}\beta_3 & \alpha_{31}\beta_4 + \alpha_{30}(1-\beta_3) & \alpha_{32}\beta_5 + \alpha_{31}(1-\beta_4) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{40}\beta_4 & \alpha_{41}\beta_5 + \alpha_{40}(1-\beta_4) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 - \alpha_{K0}\beta_K \end{bmatrix} \tag{9}$$

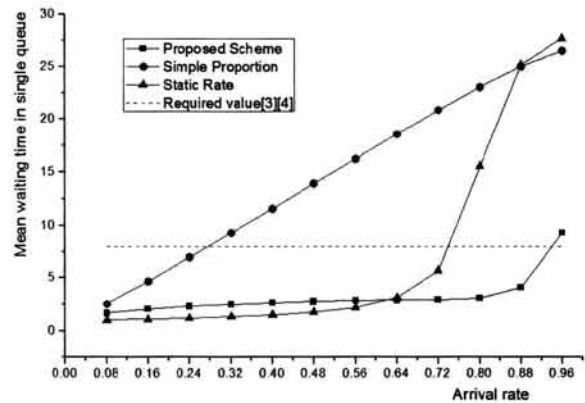
우리는 지연변이에 대한 성능 비교를 하기 위해 큐 길이의 분산을 이용한다. 지연변이는 큐 길이의 파동에 의해 발생하는 패킷 처리 시간 간격으로 정의될 수 있기 때문에 큐 길이의 분산을 이용할 수 있다.

(그림 5)는 제안된 방안과 스트리밍 서비스를 위한 기존 QoS 제공 방안과의 비교 결과를 보여준다. (그림 5)-(a)은 각 방안별 큐 서버의 자원 활용에 대한 효율을 보여준다. 단순 비례의 경우 서비스율이 큐의 버퍼된 패킷 양에 비례하여 할당되기 때문에 서버 용량에 대하여 효율이 높은 상태로 유지되지만, 유입되는 패킷이 적을 경우 서버 큐에 할당된 서비스율이 작아 큐잉 지연 및 지연변이가 크게 발생된다. 또한 고정된 서비스율을 사용하는 방안의 경우 과도한 성능 때문에 낮은 자원 효율성을 갖는 단점이 있다. 하지만, 제안된 방안은 다른 방안들에 비해 극단적으로 높은 서비스율이나 낮은 자원 활용률을 보이지 않고 큐 상태에 따라 적응적으로 서버의 자원을 활용한다는 것을 알 수 있다.

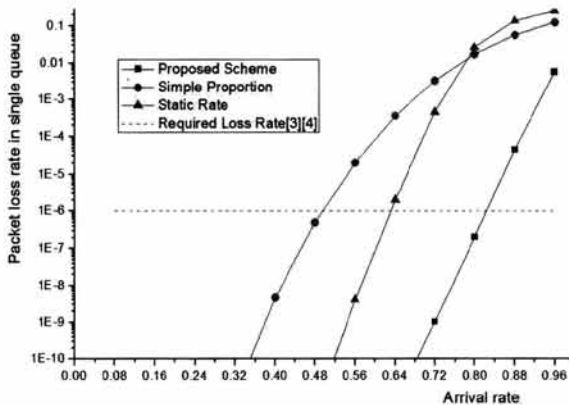
(그림 5)-(b)에서 우리는 단순 비례 방안의 경우 큐에 버퍼된 패킷 양에 따라 서비스율이 할당되기 때문에 대량 유입 특성을 갖는 스트리밍 패킷의 크기 및 도착률에 비례하여 큐잉 지연 시간이 증가하는 것을 알 수 있다. 고정된 서비스율의 경우 낮은 패킷 도착률에서는 제안 방안과 유사한 큐잉 지연시간이 발생되지만, 도착률이 서비스율의 60% 수준을 초과할 경우 큐잉 지연시간이 급격히 증가하는 특성을 볼 수 있다. 이것은 영상 스트리밍 패킷이 대량으로 유입될 경우 급격한 큐잉 지연시간 증가를 초래하고 이는 종단에서 패킷 전송 지연변이의 증가로 나타날 수 있음을 의미한다. (그림 5)-(c)는 패킷 손실률을 비교한 것으로 여기서 우리는 제안 방안의 경우 급격한 큐 길이의 변화를 완화시킬 수 있기 때문에 대량으로 유입되는 스트리밍 패킷에 대하여 가장 낮은 수준의 패킷 손실률을 제공할 수 있음을 확인 할 수 있다. (그림 5)-(d)는 큐 길이의 분산을 보여주며, 우리는 고정 서비스율의 방안이 서비스율의 60%이하 수준으로 패킷이 유입될 경우 가장 낮은 큐 길이 변화율을 보이지만, 그 이상의 패킷이 유입될 경우 큐 길이의 변화율이 급격히 증가하게 되고 80% 이상으로 증가할 경우 많은 패킷 손실로 인해 큐 길이의 변화가 급감하는 특성을 볼 수 있다. 하지만, 제안 방안의 경우 패킷 도착률이 서버 서비스율에 대하여 88%까지 증가할 때까지 큐 길이 변화율을 안정적으로 유지할 수 있음을 확인하였다.



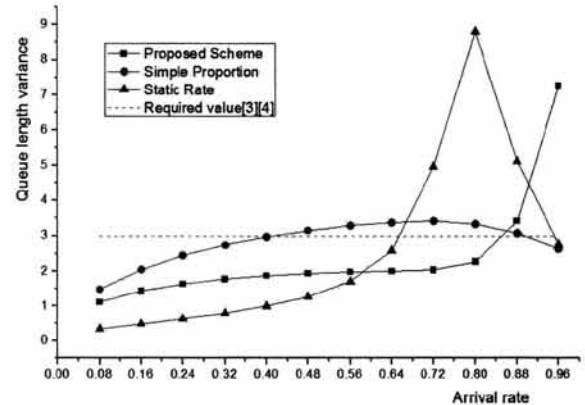
(a) 패킷 도착률에 따른 Throughput 비교



(b) 패킷 도착률에 따른 평균 큐잉 지연시간 비교



(c) 패킷 도착률에 따른 패킷 손실을 비교



(d) 패킷 도착률에 따른 큐 길이 분산 비교

(그림 5) 제안 방안과 기존 방안들 간의 성능 비교 분석

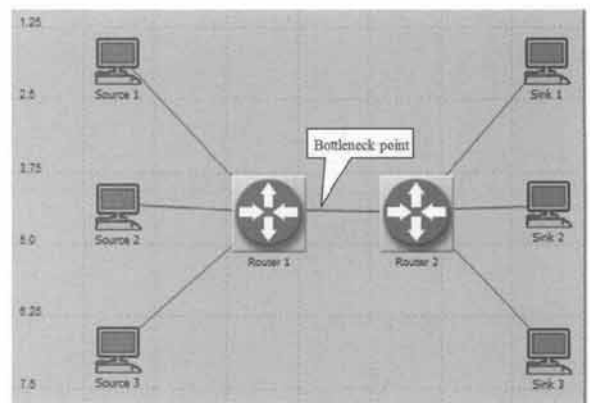
이상과 같이 기존의 고정된 서비스율 방안 및 큐 길이에 비례한 서비스율 제어 방안은 IPTV와 같은 스트리밍 서비스의 QoS를 제공하기에 부적합하다는 것을 알 수 있다. 하지만, 제안 방안의 경우 대량으로 유입되는 패킷에 대하여 큐 길이 변화율을 완화함으로써 중단에서 발생하는 지연변이를 최소화할 수 있다.

#### 4.2 OPNET 시뮬레이션 결과 분석

제안 방안의 중단간 지연변이에 대한 특성을 비교/분석하기 위해 OPNET 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 (그림 6)과 같이 간단한 실험망을 구성하였다. 중계 라우터와 각 노드들은 병목현상에 의한 시뮬레이션 결과를 고려하여 DS0 링크로 연결하였으며, 소스는 <표 2>에 정리된 내용과 같이 속성을 설정하여 영상 스트리밍 트래픽을 생성하여 각 싱크로 패킷을 전송하게 된다.

<표 2> 소스의 영상 패킷 생성에 관한 속성[13]

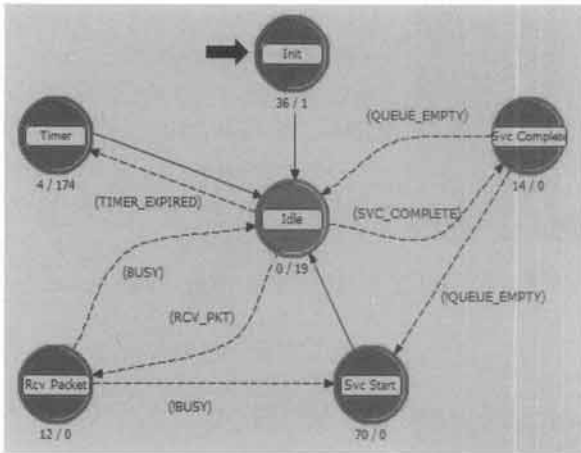
속성(Attribute)	값(Value)
Packet Format	video streaming
Packet Interarrival Time Distribution	weibull
Packet Size Distribution	lognormal



(그림 6) OPNET 시뮬레이션 구성도

우리는 기존 스케줄링 방안 및 제안 방안에 대한 중단간 지연변이를 비교 분석하기 위해 FCFS(First Come First Service), RR(Round Robin) 및 제안 방안 프로세서 모델을 설계하여 라우터에 적용하였다. 이는 고정된 서비스율 방안과 단순 비례 방안이 각각 FCFS와 RR에 대응될 수 있기 때문이다.

(그림 7)은 제안 방안의 OPNET 프로세서 모델을 보여준다. 패킷이 유입되면 라우터는 주기적인 서브 큐 감시를 수행하기 위해 타이머를 구동시키며 이 과정에서 주기적으로



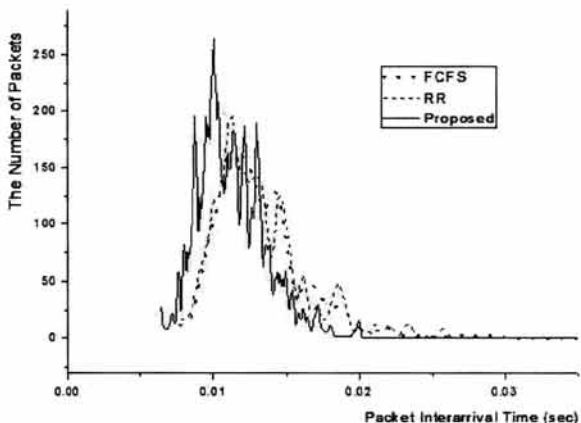
(그림 7) 제안 방안을 위한 OPNET 프로세서 모델

큐 길이 및 큐 길이 변화율을 계산한다. 이렇게 계산된 큐 길이와 큐 길이 변화율의 측정 결과에 따라 각 서브 큐의 서비스 시간을 할당하는 과정을 주기적으로 반복하게 된다.

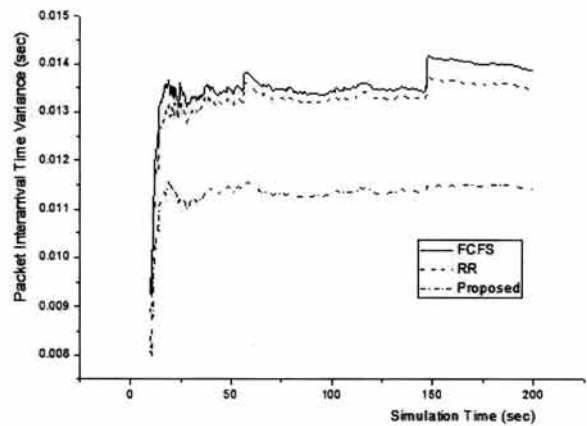
영상 스트리밍의 소스에 대한 속성은 영상 트래픽의 특성 분석 결과에 따라 패킷간 도착 시간은 Weibull 분포를 적용하고 패킷 크기는 Lognormal 분포를 적용하였다. 소스에 대한 속성은 다음 표와 같다[13].

(그림 8)은 패킷의 대량 유입 크기가 Lognormal 분포를 갖고 VBR의 데이터율을 갖는 소스들의 패킷 전달 지연변이의 PDF(Probability Density Function)에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그래프에서 알 수 있듯이 기존의 FCFS나 RR 스케줄링 방안보다 제안된 방안의 지연변이 시간이 낮은 수준에 분포하는 것을 볼 수 있다.

(그림 9)는 소스 1에 대한 종단간 평균 지연변이에 대한 그래프이다. 스트리밍 패킷을 전송하는 초반에는 패킷 전달에 대한 지연변이의 증가 양상이 비슷하게 전개되지만, 각 방안들은 시뮬레이션 시작 후 10초 이내에 네트워크에서 발생하는 지연변이는 안정화를 이룬다. 기존의 FCFS나 RR 방식은 스트리밍 패킷 처리 및 전송에 있어서 거의 유사한 패턴을 보이는 반면 제안 방안은 대량으로 유입되는 스트리



(그림 8) Lognormal 분포를 갖는 VBR 소스에 대한 종단간 지연변이의 PDF 비교



(그림 9) Lognormal 분포를 갖는 VBR 소스에 대한 종단간 지연변이 비교

밍 패킷을 처리할 때 급격히 증가하는 서브 큐에 대해 서비스 시간을 적응적으로 할당하기 때문에 큐 길이의 변동을 완화시켜 기존 방안보다 약 2ms 정도 더 낮은 수준의 패킷 전달 지연변이로 패킷을 전달할 수 있다.

### 5. 결 론

우리는 본 논문에서 IPTV, VoD와 같은 대용량의 비디오 스트리밍 트래픽을 처리함에 있어 큐 길이 변화를 최소화할 수 있는 스케줄링 방안을 제안하였다. 제안된 방안은 대량으로 유입되는 스트리밍 트래픽에 대해 유입되는 패킷 양, 속도 및 평균 큐 길이를 고려하여 서비스율을 적응적으로 선택함으로써 큐 길이 변화율을 최소화할 수 있었다. 대량으로 유입되는 특성을 갖는 스트리밍 서비스의 전달에 있어 종단간 낮은 지연변이를 유지할 수 있으며 제안 방안을 이용할 경우 보다 안정적으로 서비스를 제공할 수 있다. 제안 방안의 유효성을 확인하기 위해 우리는 큐잉 모델을 이용하였으며, 그 결과 기존 평균 큐 길이 기반 스케줄링 방안보다 낮은 큐길이 변화율을 보임을 확인하였다. 향후 영상 스트리밍 패킷을 종단간 전달함에 있어 각 홉(라우터)에서 보장해야 하는 지연시간, 지연변이 및 패킷 손실률 정보를 전달할 수 있는 방안에 대한 연구가 요구된다.

### 참 고 문 헌

- [1] EC-GIN Consortium, "Ns2 code for Grid network simulation Deliverable D2.1," Nov., 2008.
- [2] Kwang-Jae Kim, Wan-Seon Shin, Dae-Kee Min, Hyun-Jin Kim, Jin-Sung Yoo, Hyun-Min Lim, Sook-Ran Lee, and Yong-Kee Jeong, "Service Quality Model for IPTV Service: Identification of Key Features and Their Relationship," INFORMS2008-Service Science, Washington D.C, Oct., 2008.
- [3] DSL Forum Technical Report TR-126, "Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements," Dec., 2006.

- [4] ITU-T Std. Recommendation Y.1541, "Network performance objectives for IP-based services," Feb., 2006.
- [5] Cisco System, "Cisco Gigabit-Ethernet Optimized IPTV/Video over Broadband Solution Design and Implementation Guide, Release 1.0," 2005.
- [6] ITU-T Recommendation Y.2111, "Resource and Admission Control Functions in Next Generation Networks," Nov., 2008.
- [7] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An architecture for differentiated services," IETF Network Working Group RFC 2475, Dec., 1998.
- [8] Amed E. Kamal, Samyukta Sankaran, "A combined delay and throughput proportional scheduling scheme for differentiated services," Computer communications, Vol.29, Issue 10, pp.1754-1771, Jul., 2006.
- [9] 김현중, 김중찬, 최성곤, "멀티클래스 서비스 환경에서 Active-WRED 기반의 혼잡 제어 메커니즘 및 성능 분석," 대한전자공학회 논문지 제 45권 CI편 제 5호, 2008년 8월.
- [10] R. Fortuna, L. A. Grieco, G. Boggia, and P. Camarda, "Quality adaptive end-to-end packet scheduling to avoid playout interruptions in Internet video streaming systems," The Journal of Systems and Software, Vol.83, Issue 8, pp.1489-1499, Aug., 2010.
- [11] Jong-hwan Kim and Ikjun Yeom, "Reducing Queue Oscillation at a Congested Link," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.19, No.3, pp.394-407, Mar., 2008.
- [12] Yang Xiao, Moon Ho Lee, "Nonlinear Control of Active Queue Management for Multiple Bottleneck Network," IEICE Trans. Commun., Vol.E89-B, No.11, pp.3108-3113, Nov., 2006.
- [13] M. Krunz, R. Sass, and H. Hughes, "Statistical characteristics and multiplexing of MPEG streams," INFOCOM'95, pp.455-462, 1995.
- [14] 김현중, 최성곤, "스트리밍 서비스를 위한 큐 길이 변화 최소화 스케줄링 방안 연구," 한국정보처리학회 춘계학술대회 논문집 제 18권 1호, pp.615-618, 2011년 5월.



**김 현 중**

e-mail : hjkim23@etri.re.kr  
 2006년 충북대학교 정보통신공학과(학사)  
 2010년 충북대학교 전파공학과 석·박사  
 통합과정수료  
 2011년 9월~현 재 한국전자통신연구원  
 LED통신연구팀

관심분야: QoS/QoE 상관관계, 이동성, traffic measurement



**최 원 석**

e-mail : wschoi@chungbuk.ac.kr  
 2008년 충북대학교 정보통신공학과(학사)  
 2008년 3월~현 재 충북대학교 전파공학과  
 석·박사통합과정

관심분야: NGN, 다자간 서비스 연동,  
 QoS 등



**최 성 곤**

e-mail : sgchoi@chungbuk.ac.kr  
 1999년 한국정보통신대학 네트워크  
 (공학석사)  
 2004년 한국정보통신대학 네트워크  
 (공학박사)  
 2004년 3월~8월 한국전자통신연구원

2004년 9월~현 재 충북대학교 전자정보대학 부교수  
 관심분야: NGN, mobility, MPLS, QoS 등