

# 스트리밍 서비스를 위한 큐 길이 변화 최소화 스케줄링 방안 연구

김현중, 최성곤\*

충북대학교 전자통신공학과

e-mail: {hjkim78, sgchoi}@chungbuk.ac.kr

## A Study on Scheduling Scheme to Reduce Queue Length Change Rate for Streaming Services

Hyun Jong Kim, Seong Gon Choi\*

College of Electrical & Computer Engineering,  
Chungbuk National University

### 요 약

본 논문은 IPTV, VoD와 같은 대용량의 비디오 스트리밍 트래픽을 처리함에 있어 큐 길이 변화를 최소화할 수 있는 SCQ(Smoothly Changing Queue) 스케줄링 방안을 제안한다. SCQ는 벌크하게 유입되는 스트리밍 트래픽에 대해 유입되는 패킷 양 및 속도를 고려하여 서비스율을 제어함으로써 큐 길이 변화율을 최소화할 수 있다. 벌크 특성을 갖는 스트리밍 서비스 전달에 있어 중단간 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 큐길이 기반 스케줄링 방안보다 낮은 큐길이 변화율을 보임을 확인하였다.

### 1. 서론

IPTV, VoD와 같은 영상 스트리밍 서비스의 이용 및 제공하면서 안정적인 영상 스트리밍 전송에 대한 중요성이 강조되고 있다. 영상 스트리밍 트래픽은 벌크 특성을 갖기 때문에 이를 안정적으로 처리하기 위한 방안이 요구된다.

IPTV 서비스 패킷의 분석 결과[1]에 따르면, 연속적인 서비스 패킷들은 벌크 특성을 갖고 큐에 유입되며 이는 급격히 큐 길이를 증가시킨다. 이런 특성을 갖는 패킷은 큐에서의 패킷 처리 시간을 증가시키며 영상 스트림의 지연변이의 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 큐길이 변화율을 안정적으로 유지하는 것은 매우 중요하다.

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.[3-7] 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) 그리

고 ATM 클래스 정보를 보여준다.[8]

<표 1> 멀티미디어 서비스에 대한 DSCP-CoS 매핑 관계[8]

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

그러나 DiffServ는 네트워크가 서비스 클래스가 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 벌크 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 벌크 특성을 고려하여 스케줄링을 함으로써 큐 길

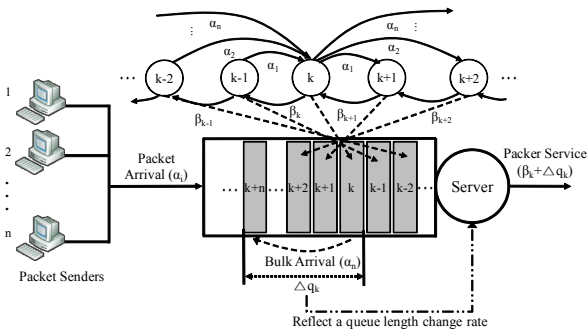
이 변화율을 안정적으로 유지할 수 있는 SCQ 스케줄링 방안을 제안한다. 이 방안을 각 라우터에 적용할 경우 중단간 영상 스트리밍 서비스 패킷의 전달 지연변이는 안정적으로 유지시킬 수 있다.

본 논문은 2장에서 제안 방안에 대하여 설명을 하고 3장에서 제안 방안의 성능 분석을 위한 큐잉 모델 분석 결과를 제시하였으며, 마지막으로 4장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 명기하였다.

## 2. 제안된 SCQ 스케줄링 방안

영상 스트리밍 트래픽의 특성으로 인하여 IPTV 서비스 패킷은 벌크하게 큐에 유입되는 특성을 갖는다. 이는 큐 길이의 변화를 심하게 유도시키는 원인이 되며, 큐 내에서 패킷의 대기시간을 증가시킨다. 이에 우리는 패킷 처리 시간 인터벌을 줄일 수 있는 SCQ 스케줄링 방안을 제안한다.

(그림 1)은 벌크 도착 특성을 갖는 패킷에 대하여 상태전이도와 적응적인 서비스율 결정 구조를 보여준다. 많은 수의 채널 또는 다수의 VoD 서비스들이 멀티캐스트 라우터 내로 유입될 경우 벌크 도착 특성을 갖는 패킷들의 영향으로 서비스 큐 길이의 변화가 극심하게 된다. 이 경우 큐 길이 과동은 중단으로 갈수록 패킷 전달 지연변이로 나타나게 되고 이는 영상 끊김이나 형태 왜곡으로 표현된다.



(그림 1) 벌크 도착 특성을 갖는 큐 구조 및 패킷의 상태전이도

벌크 도착 패킷에 의한 큐 길이 변화율을 최소화하기 위해 우선적으로 큐 길이를 모니터링하여 평균 큐 길이와 큐 길이 변화율을 측정한다. 우리는 지속적으로 평균 큐 길이를 계산하기 위해 수식 (1)과 같이 EWMA (Exponential Weighted Moving Average) 방안을 이용하여 평균 큐 길이를 계산한다.

수식 (2)를 이용하여 우리는 벌크 도착 패킷에 의한 큐 길이 변화율을 계산할 수 있으며, 샘플링 시간에 대해 큐 길이의 증감을 표현한다. 여기서, 큐 내에서 패킷 대기 시간 변화는 수식 (3)을 통해 계산될 수 있다. 이와 같이 큐 길이 변화율은 패킷 처리 시간에 영향을 미치게 된다.

이때, 서비스율이 평균 큐 길이와 이의 변화율을 고려하여 수식 (4)와 같이 적응적으로 선택이 된다면 급격한 큐 길이 변화를 최소화할 수 있으며 안정적인 패킷 처리가 가능하게 된다.

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

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

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

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

## 3. 제안 방안 성능 분석

이 장에서 우리는 이산시간 큐잉 모델을 이용하여 제안된 SCQ 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 벌크 유입은 Markove 프로세스에 따라 단위 시간 내에 프아송 분포를 따른다. 또한 유입된 패킷은 FIFO(First In First Out) 방식에 따라 서비스된다.

평균 큐 길이와 큐 길이 변화율은 샘플링되는 단위 시간마다 계산이 되며, 이를 기반으로 능동적으로 최적의 서비스율을 선택하게 된다. 우리는 그림 1과 같이 벌크 도착율과 적응적 서비스율을 고려한 상태전이도를 사용하여 제안된 SCQ 스케줄링 방안의 성능을 분석하였다.

우리는 시스코 라우터의 명세서 상의 규격과 IPTV 서비스 패킷의 특성 분석 자료를 토대로 큐잉 모델의 파라미터를 할당하였으며, 네트워크의 링크 용량은 1Gbps, 큐 크기 K=30, 벌크 크기는 전체 큐 길이의 20%를 고려하였다.

시스템의 평형 상태 성능 분석을 위해 우리는 수식 (8)와 같은 상태 전이 확률 행렬 **P**를 이용하였다. 우리는 이 행렬을 통해 상태 확률을 계산할 수 있으며, p<sub>k</sub>는 평형 상태 k의 확률을, a<sub>ij</sub>는 벌크 도착 특성을 갖는 패킷 도착률, β<sub>k</sub>는 상태 k에서의 서비스율을 의미한다.

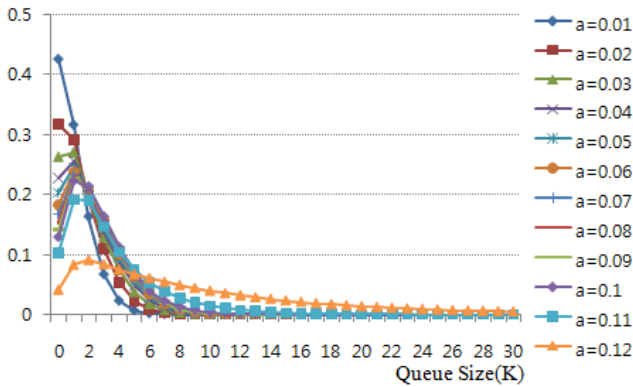
평균 큐 길이는 수식 (5)를 이용하여 각 상태와 그 상태에 있을 확률의 곱합으로 계산할 수 있으며, 평균 큐잉 지연시간은 Little 이론에 의해 수식 (6)을 통해 계산된다. 수식 (7)은 시스템 처리율(throughput)을 계산하기 위한 수식이다.

$$MQL = \sum_{i=0}^K i P_i \quad (5)$$

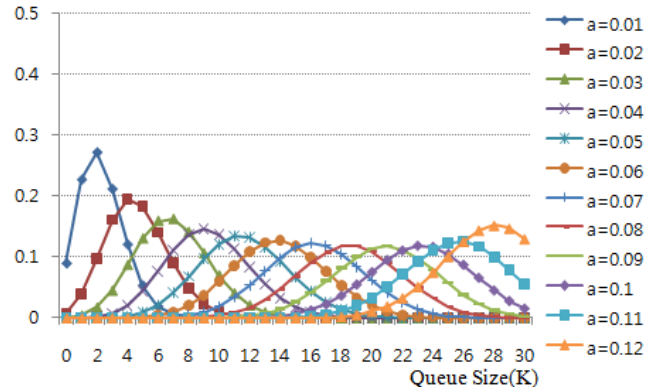
$$W = \frac{MQL}{S} \quad (6)$$

$$S = (1 - P_0) \times \beta_k \quad (7)$$

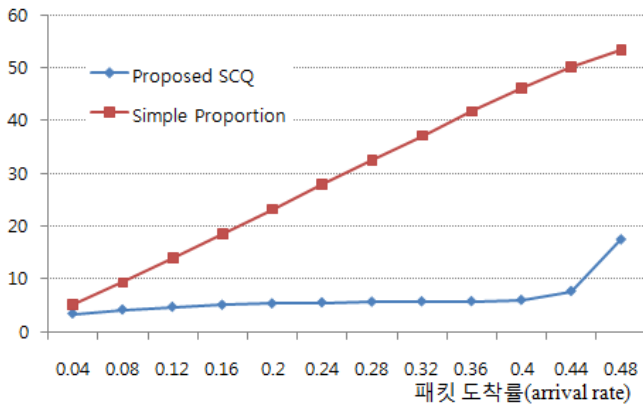
$$P = \begin{bmatrix} \alpha_{00} & \alpha_{01} & \alpha_{02} & \alpha_{03} & \alpha_{04} & \dots & 0 \\ \alpha_{10}\beta_1 & \alpha_{11}\beta_2 + \alpha_{10}(1-\beta_1) & \alpha_{12}\beta_3 + \alpha_{11}(1-\beta_2) & \alpha_{13}\beta_4 + \alpha_{12}(1-\beta_3) & \alpha_{14}\beta_5 + \alpha_{13}(1-\beta_4) & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_{20}\beta_2 & \alpha_{21}\beta_3 + \alpha_{20}(1-\beta_2) & \alpha_{22}\beta_4 + \alpha_{21}(1-\beta_3) & \alpha_{23}\beta_5 + \alpha_{22}(1-\beta_4) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{30}\beta_3 & \alpha_{31}\beta_4 + \alpha_{30}(1-\beta_3) & \alpha_{32}\beta_5 + \alpha_{31}(1-\beta_4) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{40}\beta_4 & \alpha_{41}\beta_5 + \alpha_{40}(1-\beta_4) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 - \alpha_{k0}\beta_k \end{bmatrix} \quad (8)$$



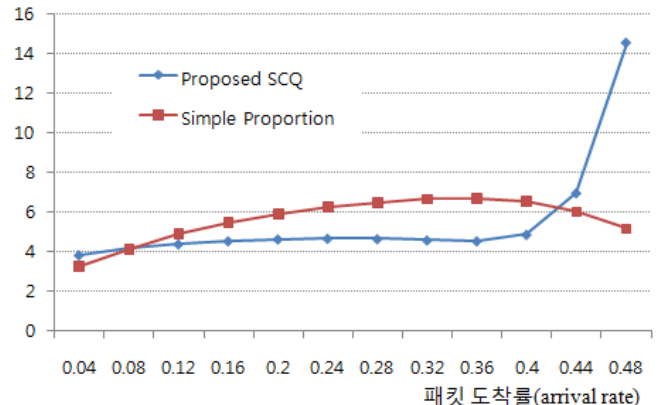
(a) 제안 방안의 패킷 도착률(a)별 큐 상태 확률 분포도



(b) 단순 비례 방안의 패킷 도착률(a)별 큐 상태 확률 분포도



(c) 패킷 도착률에 따른 평균 큐잉 지연시간 비교 (Bulk size = 4)



(d) 패킷 도착률에 따른 큐잉 큐 길이 변화율 비교 (Bulk size = 4)

(그림 2) 제안된 SCQ 방안과 기존 QoS 제공 방안에 대한 성능 분석 결과

(그림 2)는 제안된 SCQ 방안과 고정된 서비스율을 이용하는 기존의 QoS 제공 방안의 성능에 대한 분석 결과를 보여준다. (a)와 (b)는 패킷 도착률(arrival rate)에 따라 큐 상태(패킷에 의해 점유된 큐 공간)의 변화를 제안 방안과 기존 단순 비례에 의한 속도 제어 방안의 결과를 각각 보여준다. 그림에서와 같이 제안 방안의 경우 벌크하게 유입되는 패킷에 대해 보다 빨리 패킷을 서비스해 주기 때문에 패킷 도착률이 증가하더라도 큐 길이의 분산이 기존 방안보다 낮게 유지되는 것을 볼 수 있다. 또 한 이 결과는 (그림 2)-(c)와 같이 평균 큐잉 지연 시간이 기존 방안보다 낮게 유지시킬 수 있음을 보여준다. (d)의 그래프와 같은 결과 원인은 (b)의 결과에서 유추할 수 있는데 기존 방안의 경우 단순 평균 큐 길이에 비례하여 패킷을 서비스할 경우 일정 수준으로 큐 길이 변화를 유지시킬

수 있지만, (d)의 결과처럼 제안 방안보다는 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 높은 패킷 도착률에 대해 기존 방안의 큐 길이 변화율이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있지만, 이것은 큐의 overflow로 인해 패킷이 손실되기 때문에 큐의 변화가 낮게 나타나게 되는 것이다. 이는 QoS 측면에서 매우 중요하게 여겨지는 패킷 손실률이라는 지표에 안좋은 결과를 초래한다.

기존 평균 큐 길이에 비례한 서비스율 적용 방안의 경우 패킷 처리율에 있어서는 양호한 결과를 보여주지만, 평균 큐 길이에 기반하여 서비스율이 결정되기 때문에 다른 비교 방안들에 비해 큐잉 지연시간이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 영상 스트림 서비스 전달지 중단까지의 서비스 전달 지연 증가를 초래하게 된다.

또한 고정된 서비스율을 적용할 경우 패킷 처리율에

있어 다소 저하된 성능을 확인할 수 있으며, 특히 큐 길이 변화율에 있어 패킷 도착율이 0.6을 넘어설 경우 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 시간 동기가 요구되는 영상 스트리밍 서비스에 대해서 패킷 손실과 같은 품질 저하를 유발하게 된다.

반면 제안된 SCQ 방안은 처리율에 있어 낮은 패킷 도착율에도 고정된 서비스를 적용 방안보다 높은 일정 수준을 유지하는 것을 확인하였으며, 평균 큐잉 지연시간도 요구되는 QoS 수준보다 낮게 유지되는 것을 확인하였다. 특히 패킷의 벌크 도착율을 고려하여 패킷 서비스율을 적응적으로 선택한 결과 높은 패킷 도착율의 조건에도 큐 길이가 변화율에 있어 다른 비교 대상들보다 안정적인 것을 알 있다. 이처럼 제안 스케줄링 방안을 영상 스트리밍 서비스 환경에서 사용할 경우 벌크 도착 특성을 갖는 스트리밍 서비스 패킷에 대하여 급격한 큐 길이 변화를 안정화시킬 수 있다. 그러므로 제안 방안을 이용할 경우 일정 시간 내에 도착되어야 하는 영상 패킷을 안정적으로 전달할 수 있다.

#### 4. 결론

우리는 본 논문에서 IPTV, VoD와 같은 대용량의 비디오 스트리밍 트래픽을 처리함에 있어 큐 길이가 변화를 최소화할 수 있는 SCQ(Smoothly Changing Queue) 스케줄링 방안을 제안하였다. SCQ는 벌크하게 유입되는 스트리밍 트래픽에 대해 유입되는 패킷 양, 속도 및 평균 큐 길이를 고려하여 서비스율을 적응적으로 선택함으로써 큐 길이가 변화율을 최소화할 수 있었다. 벌크 특성을 갖는 스트리밍 서비스 전달에 있어 중단간 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 큐길이 기반 스케줄링 방안보다 낮은 큐길이 변화율을 보임을 확인하였다. 향후 영상 스트리밍 패킷을 중단간 전달함에 있어 각 홉(라우터)에서 보장해야 하는 지연 시간, 지연변이 및 패킷 손실을 정보를 전달할 수 있는 방안에 대한 연구가 요구된다.

\* 교신저자: 최성곤(sgchoi@chungbuk.ac.kr)

#### 참고문헌

- [1] EG-GIN Consortium, "Ns2 codefor 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] 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, Jun. 2006.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Y. Zheng, M. Lu, Z. Feng, "Performance Evaluation of Adaptive AQM Algorithms in a Variable Bandwidth Network," IEICE Trans. Commun., Vol.E86-B, No.6, pp.2060-2067, Jun. 2003.
- [7] Sonia. A, Ghassane A. "Queueing Models for Dimensioning Interactive and Streaming Services in High-Speed Downlink Packet Access Networks," IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.53, No.3, pp.619-627, Sep. 2007.
- [8] Cisco System, "Cisco Gigabit-Ethernet Optimized IPTV/Video over Broadband Solution Design and Implementation Guide, Release 1.0," 2005.
- [9] ITU-T Std. Recommendation Y.1541, "Network performance objectives for IP-based services," Feb. 2006.
- [10] DSL Forum Technical Report TR-126, "Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements," Dec. 2006.