

IEEE 802.11e 무선네트워크에서 스케일러블 비디오 스트리밍을 위한 계층기반 패킷 스케줄링 알고리즘

하 호 진*

Layer-based Packet Scheduling Algorithm for Scalable Video Streaming Over IEEE 802.11e Wireless Networks

Hojin Ha*

본 논문은 2019년도 2학기 한양여자대학교 교내연구비에 의하여 연구됨.

요 약

본 논문은 IEEE 802.11e(802.11e) 무선네트워크에서 비트율 왜곡을 최소화하여 스케일러블 비디오를 전송하기 위한 계층기반 패킷 스케줄링 알고리즘(Layer-based packet scheduling, LPS)을 제안한다. 제한된 무선네트워크 시스템 자원에서, 제안된 스케줄링 알고리즘은 스케일러블 계층 간의 강한 의존성 및 네트워크 트래픽의 혼잡도를 고려하여 설계된다. 전송된 비디오의 화질 저하를 최소화하기 위해서, 802.11e EDCA에서 제공하는 4개의 ACs(Access categories)에 계층기반 에러전파 가중치 및 각 AC의 큐 길이를 고려하여 스케일러블 비디오 패킷을 스케줄링한다. 제안된 알고리즘은 계층기반 에러전파 가중치 정보 및 네트워크 혼잡도를 고려하지 않은 기존의 802.11e EDCA와 비교하여 0.8-1.3dB의 성능향상 결과를 나타내었다.

Abstract

This paper proposes a layer-based packet scheduling algorithm (LPS) for transmitting scalable video with minimal bit rate distortion in IEEE 802.11e wireless networks. In limited radio network system resources, the proposed scheduling algorithm is designed considering strong dependency between scalable layers and congestion of network traffic. In order to minimize the degradation of the transmitted video, scalable video packets are classified into four ACs provided by 802.11e EDCA in consideration of the layer-based error propagation weight and the queue length of each AC. The proposed algorithm shows the performance improvement of 0.8-1.3dB compared with the existing 802.11e EDCA which does not consider the layer-based error propagation weight information and network congestion.

Keywords

IEEE 802.11e WLAN, scheduling algorithm, scalable video, bit rate distortion, error propagation

* 한양여자대학교 컴퓨터정보과 교수
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6488-9193>

· Received: Jan. 30, 2020, Revised: Feb. 17, 2020, Accepted: Feb. 20, 2020
· Corresponding Author: Hojin Ha
Dept. Computer Information, Hanyang Woman's University, 200 Salgoji-gil, Sengdong-gu, Seoul, 04763, Korea
Tel.: +82-2-2290-2205, Email: hjha@hywoman.ac.kr

1. 서 론

최근에 랩탑 컴퓨터 및 모바일 디바이스의 증가로 무선네트워크를 이용하는 많은 멀티미디어 서비스들이 생겨나고 있다[1]. 그러나 연속적인 패킷 손실과 급격한 대역폭의 변화를 야기하는 무선네트워크의 시변 특성은 공간적 그리고 시간적으로 높은 의존성을 갖고 있는 비디오 화질의 열화에 많은 영향을 미치고 있다[2][3]. 본 논문에서는 IEEE 802.11e (802.11e) 무선네트워크에서 패킷 손실로 인한 스케일러블 비디오(SVC, Scalable Video Coding)의 화질 왜곡을 최소화하는 계층기반의 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

IEEE 802.11e(802.11e)는 QoS(Quality of Service)를 향상시키기 위해서, EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)를 제안하였다[4]. EDCA는 기존의 분산조정함수(Distributed coordination function)를 확장하여, MAC 계층에 새로운 4개의 ACs(Access Categories)를 정의하고, 트래픽의 특성에 따라 우선적인 처리를 보장함으로써, 멀티미디어 서비스의 QoS를 향상시킨다. EDCA는 제한된 네트워크 자원을 효율적으로 관리하기 위해, 지연에 민감한 비디오 및 VoIP(Voice over IP) 트래픽은 최선형(Best effort) 서비스보다 더 높은 트래픽 처리 우선순위를 갖는 AC 큐(Queue)에 할당하여, 안정된 QoS를 제공하도록 한다. 802.11e EDCA를 이용하여 비디오 서비스의 QoS 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되었다[5]-[9].

스케일러블 비디오의 전송을 위해서 네트워크 계층간의 정보 및 802.11e EDCA의 AC 간의 처리율을 활용하는 스케줄링 알고리즘이 제안되었다[5][6]. 그러나 네트워크 변화와 큐에 남아있는 패킷의 수등을 고려하지 않는 각각의 AC에 고정된 처리율을 할당함으로써, 비디오 화질 열화를 최소화하지 못하였다. [7]과 [8]에서는 802.11e 무선네트워크에서 SVC의 계층적인(Hierarchical) 압축 구조에 기반하여, SVC 전송을 위한 트래픽 우선순위 처리를 제안하였다. 그러나 AC들 간의 처리율등이 고려되지 않아서, 낮은 우선권을 갖는 트래픽은 계속 처리가 지연되어 비트율 왜곡을 최소화하지 못하였다. 802.11e에서 SVC 전송 화질을 향상하기 위해서 수신단의

버퍼 상태와 SVC의 압축구조에 따른 패킷의 우선순위를 이용하여 패킷을 스케줄링하였다[9]. 결과적으로 가장 중요한 프레임인 I 프레임의 전송을 보장하게 된다. 그러나 I 프레임의 전송보장에만 의존하여, 다른 예측 프레임들의 손실로 인한 화질의 열화가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 802.11e EDCA에서 스케일러블 비디오 화질을 향상시키기 위한 계층 기반의 패킷 스케줄링(LPS, Layer-based Packet Scheduling) 알고리즘을 제안한다. 우선적으로, 제안된 알고리즘은 스케일러블 비디오의 계층적 압축 구조에 기반하여, 각 스케일러블 비디오 패킷이 갖고 있는 에러 전파 가중치를 계산한다. 각 패킷이 갖고있는 시각계층과 화질계층의 id를 이용하여 낮은 복잡도의 에러전파 모델이 제시되고, 가중치 정보가 계산된다.

제안된 LPS 알고리즘은 계산된 패킷당 에러전파 가중치와 각 AC 큐의 길이 정보를 이용하여, 스케일러블 비디오 패킷을 각 AC에 할당하기 위해, 계층기반 패킷 스위칭 확률(L-PSP, Layer-based Packet Switching Probability)을 계산한다. L-PSP가 크면, 해당 패킷은 802.11e EDCA에 의해서 할당된 AC 큐보다 낮은 우선순위를 갖는 AC 큐로 스위칭되어 처리될 확률이 높다는 의미이다. 이는 기존의 802.11e EDCA에 의해서, 해당 AC 큐에서 처리될 패킷이 많을 경우, 혼잡제어(Congestion control)를 위해서, 적당한 AC로 스위칭하여 패킷을 처리한다는 의미이다. 이처럼 제안된 알고리즘은 기존의 802.11e EDCA와는 다르게, 패킷의 에러전파의 특성과 네트워크 혼잡을 고려하여 적당한 AC 큐로 해당 패킷을 스케줄링한다. 제안된 패킷 스케줄링 알고리즘은 계층기반 중요도 정보를 고려하지 않은 기존의 802.11e EDCA[4]와 비교하여 0.8-1.3dB의 성능향상 결과를 나타내었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 패킷 스케줄링 알고리즘의 전체 시스템 구조에 대해서 설명한다. 3장에서는 802.11e EDCA에서 화질 왜곡을 최소화하는 스케일러블 비디오 스케줄링 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 구현된 알고리즘의 성능평가를 기술하고 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 제안된 시스템 구성

그림 1은 802.11e EDCA에서 스케일러블 비디오 전송을 위한 제안된 LPS 알고리즘의 개념도 나타낸다. 서버는 시간적 그리고 화질적 스케일러빌리티 특성을 갖는 계층기반의 스케일러블 비디오 패킷을 만든다. H.264/SVC 부호화기를 이용하여 입력되는 비디오 시퀀스를 스케일러블 비트스트림으로 생성한다. 생성된 스케일러블 비트스트림은 계층기반의 압축구조 특성에 따라, 전송 패킷마다 서로 다른 계층정보 및 에러전파의 특성을 갖는다. 생성된 스케일러블 패킷은 AP(Access Point)를 통해서 해당 수신단에 RTP(Real-time Transport Protocol)/UDP(User Datagram Protocol)/IP(Internet Protocol) 프로토콜을 사용해서 전송된다. 제안된 계층기반 패킷 스케줄링 알고리즘은 AP에 구현된다. AP는 802.11e EDCA에 의해서 스케일러블 패킷을 스케줄링한다. EDCA는 4개의 ACs로 구성되며, 각각의 AC들은 서로 다른 처리속도로 여러 종류의 네트워크 트래픽을 처리한다. 즉 AC_VO(AC(3))는 음성 트래픽, AC_VI

(AC(2))는 비디오 트래픽, AC_BE(AC(1))은 최선형 트래픽, 그리고 AC_BK(AC(0))는 백그라운드 트래픽을 처리하도록 설계되며, 본 논문에서는 4개의 AC들을 AC(3), AC(2), AC(1), 그리고 AC(0)으로 표현된다. 각각의 AC들은 서로 다른 트래픽 우선순위를 갖기 위해서, 표 1과 같이 4개의 키 파라미터를 갖으며, 그 구성은 다음과 같다. AIFSN(Arbitration Inter-Frame Space Number), CWmin(Minimum contention window size), CWmax(Maximum contention window size), TXOP(Transmission opportunity limit). AC(3)는 가장 작은 AIFSN, CWmin, CWmax 값과 가장 큰 TXOPlimit을 값으로 설정되어, 무선 네트워크 자원을 사용하면, 가장 높은 우선순위를 갖는다[4].

표 1. 802.11e 프로토콜 파라미터
table 1. 802.11e protocol parameters

Access category	AIFSN	CWmin	CWmax	TXOPlimit
AC_VO (AC(3))	2	7	15	0.003008
AC_VI (AC(2))	2	15	31	0.006016
AC_BE (AC(1))	3	31	1023	0
AC_BK (AC(0))	7	31	3331023	0

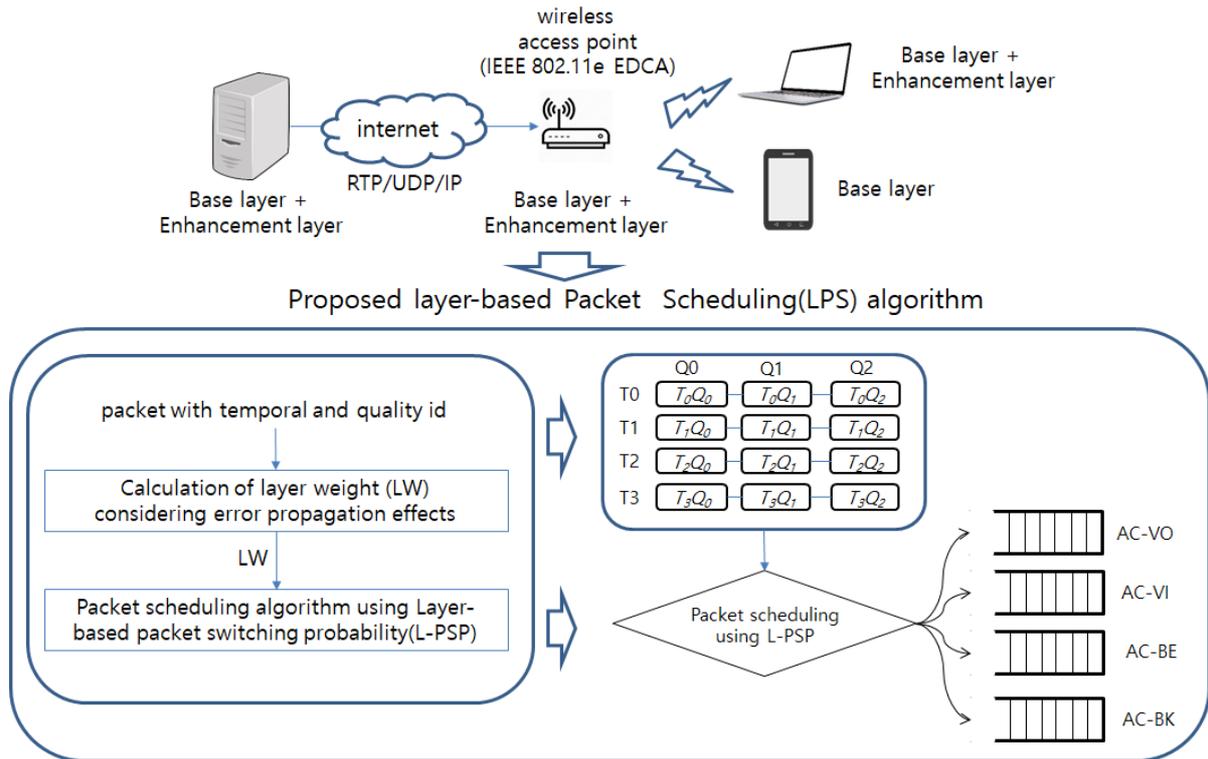


그림 1. 802.11e EDCA에서 스케일러블 비디오 전송을 위한 제안된 계층기반 패킷 스케줄링 개념도
Fig. 1. Schematic illustration of the proposed layer-based packet scheduling (LPS) algorithm for scalable video streaming over 802.11e EDCA

제안된 LPS 알고리즘은 크게 2단계로 구분된다. 첫 번째 단계에서는 전송 패킷의 id를 이용하여 시간계층 및 화질계층 기반의 에러전과 가중치(LW, Layer Weight)를 계산한다. 패킷 손실로 인한 에러전과 양은 낮은 복잡도의 메트릭을 이용하여 예측된다[10]. 높은 화질계층은 낮은 화질계층을 참조해서 생성되며, 이로 인하여 낮은 계층의 패킷 손실은 높은 화질계층보다 화질 왜곡에 더 큰 영향을 미치게 된다. 시간적 스케일러빌리티 측면에서, 낮은 시간계층은 계층적 압축구조(Hierarchical prediction structure)에 의해서 높은 시간 계층의 패킷 손실보다 더 큰 화질열화를 일으키게 된다[2][3].

두 번째 단계에서는 스케일러블 계층의 에러전과 가중치를 이용하여, 비트율 왜곡을 최소화하기 위한 낮은 복잡도의 802.11e EDCA 시스템을 위한 LPS 알고리즘이 제안된다. 제안된 알고리즘은 L-PSP를 계산한다. L-PSP 값이 높으면, EDCA에 의해서 할당된 AC 큐보다 낮은 우선순위를 갖는 AC 큐로 스위칭되어 처리될 확률이 높다는 의미이다. 기존의 AC 큐에서 처리될 패킷이 많을 경우, 혼잡제어를 위해서, AC큐의 길이와 전송패킷의 에러전과 가중치를 이용하여 L-PSP를 계산하고, 해당 패킷을 처리하게 된다.

기존의 802.11e EDCA는 스케일러블 비디오의 계층기반의 에러전과 특성 및 혼잡제어에 대한 고려 없이 단순히 패킷의 서비스 종류에 의해서 패킷 스케줄링을 진행하였기 때문에, 전송 패킷의 지연 및 손실로 인한 화질 왜곡을 최소화하지 못하였다. 제안된 알고리즘은 계층간의 에러전과 특성 및 L-PSP를 이용한 AC간의 혼잡제어를 이용하여 화질 왜곡을 최소화하기 위한 스케줄링 알고리즘을 수행하며, 자세한 내용은 3장에서 다룬다.

III. 제안된 LPS 알고리즘

스케일러블 비디오의 계층적 예측구조(Hierarchical prediction structure)의 특성에 따라, 패킷의 NAL(Network Adaptation Layer) 헤더에 계층정보가 포함된다. 시간계층은 $t_i(n)$ 로 나타낸다. 여기에서 i 는 패킷 인덱스를 나타내며, n 은 시간 계층의 인덱스

를 나타낸다. n 이 1이면, 기저계층을 나타내며, 2,3,4..는 향상계층을 의미한다. 화질 계층도 마찬가지로, $q_i(m)$ 으로 나타내며, $m=1$ 일 때 기저계층을 나타내며, 2,3,4..는 향상계층을 의미한다. 패킷 i 가 시간계층 n 과 화질계층 m 에 위치할 때, 에러전과량($LW(i,m,n)$)은 다음과 같이 유도된다[10].

$$LW(i,m,n) = (T \cdot Q - T \cdot q_i(n) - t_i(m)) \quad (1)$$

여기에서 T 와 Q 는 스케일러블 비디오 압축구조에서 시간계층과 화질계층의 최대 개수를 나타내며, 각 계층에 속한 모든 패킷은 $T \cdot Q$ 개의 계층으로 분류된다. 더 큰 에러전과량을 갖는 비디오 패킷에 대한 전송 우선순위를 조정하기 위해서 L-PSP를 계산하며, L-PSP는 아래와 같이 계산된다.

$$L-PSP(i,m,n) = 1 - \frac{LW(i,m,n)}{T \cdot Q} \quad (2)$$

식 (2)에서 패킷의 계층기반 $LW(i,m,n)$ 작으면, $L-PSP(i,m,n)$ 가 커지게 되며, 이는 패킷의 우선순위가 높은 AC큐에서 낮은 AC 큐로 스위칭될 확률이 높다는 것과 같다. 만약 패킷의 $LW(i,m,n)$ 이 커지게 되면, $L-PSP(i,m,n)$ 가 작아지게 되며, 이는 우선순위가 높은 AC큐에서 해당 비디오 패킷이 처리된 확률이 크다는 의미가 크다는 것과 같다. 패킷 i 에서 $LW(i,m,n)$ 에 따른 $L-PSP(i,m,n)$ 의 크기를 하나의 GOP(Group Of Pictures)에서 내림차순으로 정렬하면 다음과 같다. $L-PSP(i,T,Q) > L-PSP(i,T,Q-1) > \dots > L-PSP(i,l,l)$.

그림 2는 802.11e EDCA에서 비트 왜곡 율을 최소화하기 위한 제안된 LPS 알고리즘의 순서도를 나타내고 있다. 패킷 i 가 입력되면, 전송 패킷의 시간계층(m) 및 화질계층(n)의 계층정보를 이용하여 계층기반의 $LW(i,m,n)$ 가 식 (1)과 같이 계산된다.

패킷 손실로 인한 에러전과 양은 낮은 복잡도의 메트릭을 이용하여 예측된다. 다음 단계에서는 계층기반의 $LW(i,m,n)$ 를 기반으로, 식 (2)를 이용하여 $L-PSP(i,m,n)$ 가 계산된다.

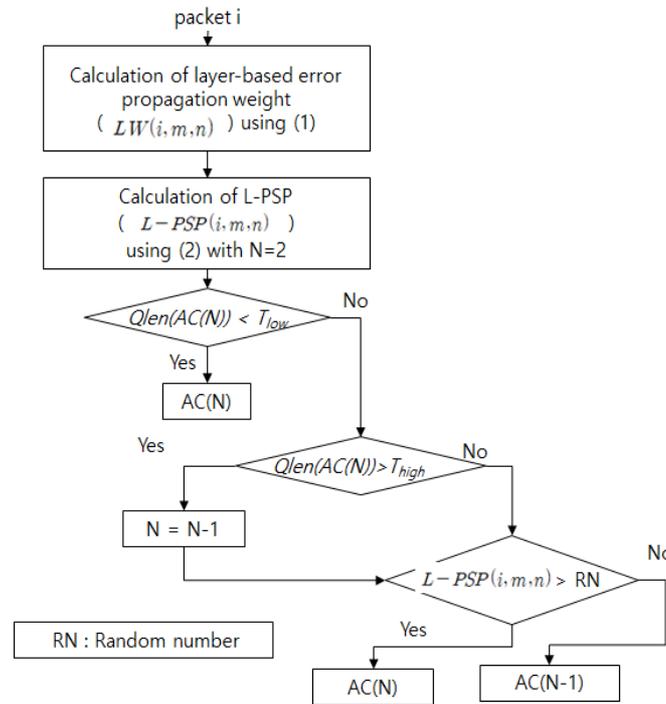


그림 2. 스케일러블 계층 기반의 자원할당 알고리즘
 Fig. 2. Scalable layer based resource allocation algorithm

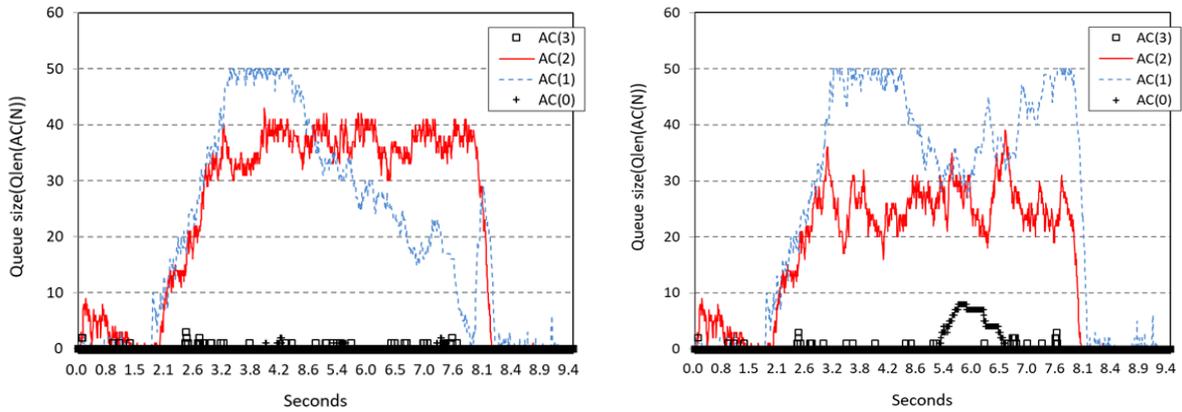
마지막 단계에서는 AC 큐의 대기 패킷의 수를 이용하여 패킷 i 를 처리하기 위한 최종 AC가 결정된다. $Q \leq nAC(n)$ 은 $AC(n)$ 의 큐에 대기하고 있는 패킷의 수를 나타내며, $Q \leq nAC(n)$ 가 현재 T_{low} 보다 작으면, 현재 $AC(n)$ 에는 패킷 처리에 여유가 있기 때문에 현재 $AC(n)$ 에서 해당 비디오 패킷을 처리한다. 만약 $Q \leq nAC(n)$ 가 T_{low} 보다 크고 T_{high} 보다 작으면, L-PSP를 이용하여 $AC(n)$ 이 설정된다.

랜덤 수(RN, Random Number)를 발생하여, 현재의 L-PSP가 RN보다 크면, 현재의 $AC(n)$ 에 할당되고, 만약 RN보다 작으면, $AC(n)$ 보다 낮은 우선순위를 갖는 $AC(n-1)$ 에 할당된다. $Q \leq nAC(n)$ 가 T_{high} 보다 크다면, $n = n-1$ 로 설정되어 우선순위가 한 단계 더 낮은 $AC(n-1)$ 에 할당된다. n 의 $n-1$ 로 조정된 후에는 위의 과정이 같이, RN를 발생하여, 현재의 L-PSP가 RN보다 크면 $AC(n)$ 에 할당하고, RN보다 작으면 $AC(n-1)$ 으로 설정되어 해당 패킷이 처리된다. 이는 기존의 $AC(n)$ 큐에서 처리될 패킷이 많을 경우, 혼잡제어를 위해서, AC큐의 길이와 L-PSP를 이용하여 해당 패킷을 처리하게 된다. 제안된 스케줄링 알고리

즘은 스케일러블 비디오의 계층기반의 에러전과 특성 및 AC간의 혼잡제어를 이용하여 화질 왜곡을 최소화하기 스케줄링 알고리즘을 수행한다.

IV. 구현 결과

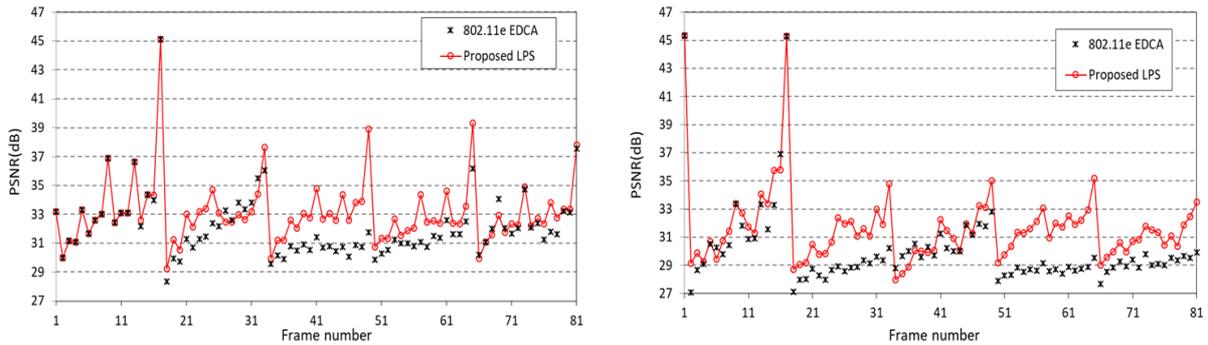
구현 결과에서는 3장에서 LPS 알고리즘의 성능 평가 결과를 보여준다. CIF 크기의 'Foreman'과 'City' 비디오 시퀀스가 실험에 사용되었다. 초당 프레임수는 30fps이고, 전체 프레임 수는 81개로 설정하였다. JSVM(Joint Scalable Video Model)[11]이 비디오 인코더로 사용되었고, GOP 크기는 16으로 설정하였다. 화질계층 및 시간계층의 수는 각각 4(Q)과 5(T)로 설정하였다. 제안된 LPS 알고리즘에서 $T_{high}=40$, $T_{low}=10$ 으로 설정하였다. $AC(n)$ 큐의 최대 길이는 50으로 설정하였다. 802.11e EDCA 무선 네트워크 구현은 NS-3 네트워크 시뮬레이터[12]에서 구현하였으며, 전송 패킷 사이즈는 1024바이트로 구성하였다. 네트워크 혼잡환경을 구성하기 위해서 음성 트래픽, 지수 트래픽(Exponential traffic), FTP 트래픽을 각각 $AC(3)$, $AC(1)$, 그리고 $AC(0)$ 에 할당하였다.



(a) 802.11e EDCA (b) Proposed LPS

그림 3. AC(n) 큐의 길이(Qlen(AC(n))) 변화

Fig. 3. Queue length variation for each AC queue(Qlen(AC(n)))



(a) Foreman (b) City

그림 4. 제안된 LPS와 802.11e EDCA와의 프레임별 PSNR 비교

Fig. 4. Frame-by-frame PSNR comparisons between the proposed LPS and 802.11e EDCA

제안된 LPS 알고리즘의 성능평가를 위해서, 802.11e EDCA[4]를 이용하였으며, 성능평가를 위해서 PSNR를 사용하였다. 802.11e EDCA는 AC 큐의 트랙픽 부하 및 스케일러블 비디오의 계층적 예측구조에 기반한 에러전파의 특성에 대한 고려없이 AC(2)에 스케일러블 비디오 패킷을 할당한다.

그림 3은 제안된 LPS 알고리즘과 802.11e EDCA의 AC(n)의 큐 길이(Q ≤ n AC(n))의 변화를 나타내고 있다. 802.11e EDCA에는 스케일러블 비디오 패킷이 AC(2)에만 지속적으로 할당되어 T_{high} 이상으로 패킷이 할당되는 것을 볼 수 있다. 반면, 제안된 LPS 알고리즘은 비디오 패킷을 계층기반 에러전파 특성과 네트워크 혼잡도를 고려하여 적당한 AC(n)에 할당함으로써 802.11e EDCA와 비교하여 AC(2) 큐의 길이가 30% 정도로 많이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 제안된 LPS 알고리즘과 802.11e EDCA

의 각 프레임당 PSNR의 변화를 ‘Foreman’과 ‘City’ 테스트 시퀀스에서 나타내고 있다. 제안된 알고리즘은 기존의 802.11e EDCA 보다 ‘Foreman’에서 0.8dB 그리고 ‘City’에서 1.3dB PSNR 향상을 보였다. 이러한 PSNR 향상은 식 (2)에서 L-PSP를 이용하여 네트워크 트랙픽 부하를 효과적으로 제어함으로써, 패킷 손실로 인한 에러전파를 효과적으로 제어하였기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 802.11e EDCA 무선네트워크에서 스케일러블 비디오를 전송하기 위한 계층기반 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 제안된 스케줄링 알고리즘은 비트 유효성을 최소화하기 위해서, 스케일러블 비디오의 계층적 예측구조에 존재하는 계층 간의 강한 의존성 및 전송 채널의 다양성을 이용하여, 각 스케일러블 패킷에 존재하는 L-PSP를

계산하였다. 전송된 비디오의 화질 저하를 최소화하기 위해서, 제안된 스케줄링 알고리즘은 L-PSP의 크기를 이용하여 적절한 AC를 선택하여 스케일러블 패킷을 스케줄링 하였다. 제안된 스케줄링 알고리즘은 계층기반 에러전파 가중치 정보를 고려하지 않은 기존의 802.11e EDCA와 비교하여 0.8-1.3dB의 성능향상 결과를 나타내었다.

References

- [1] M. Van Der Schaar and S. N. Sai, "Cross-layer wireless multimedia transmission: Challenges, principles, and new paradigms", IEEE Wireless Commun. Mag., Vol. 12, No. 4, pp. 50-58, Aug. 2005.
- [2] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard", IEEE Trans. Circuits System Video Technology, Vol. 17, No. 9, pp. 1103-1120, Sep. 2007.
- [3] C. Lin, Y. Wang, C. Shieh, and W. Hwang, "An unequal error protection mechanism for video streaming over IEEE 802.11e WLANs", Computer Networks, Vol. 56, No. 11, pp. 2590-2599, Jul. 2012.
- [4] IEEE Standard 802.11e: Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specification amendment 8: medium access control (MAC) quality of service enhancements, 2005.
- [5] Sun-Min Choi and Sunmyeng Kim, "Hybrid Slot Scheme for Improving the Performance in IEEE 802.11e EDCA", Proceedings of KIIT Conference, Chungju, South Korea, pp. 352-353, Jun. 2015.
- [6] C. H. Foh, Y. Zhang, Z. Ni, J. Cai, and K. N. Ngan, "Optimized cross-layer design for scalable video transmission over the IEEE 802.11e networks", IEEE Trans. Circuits System Video Technology, Vol. 17, No. 12, pp. 1665-1678, Nov. 2007.
- [7] Y. P. Fallah, H. Mansour, S. Khan, P. Nasiopoulos, and H. M. Alnuweiri, "A link adaptation scheme

for efficient transmission of H.264 scalable video over multirate WLANs", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 18, No. 7, pp. 875-887, Jul. 2008.

- [8] H. Mansour, Y. P. Fallah, P. Nasiopoulos, and V. Krishnamurthy, "Dynamic resource allocation for MGS H.264/AVC video transmission over link-adaptive networks", IEEE Transactions Multimedia, Vol. 11, No. 8, pp. 1478-1491, Dec. 2009.
- [9] C. Ke, C. Yang, J. Chen, K. Ghafoor, and J. Lloret, "Frame-based mapping mechanism for energy-efficient MPEG-4 video transmission over IEEE 802.11e networks with better quality of delivery", Journal of Networks and Computer Applications, Vol. 58, pp. 280-286, Dec. 2015.
- [10] H. Ha and C. Yim, "Layer-based RED-FEC (L-RED-FEC) method for wireless scalable video streaming", IET Electronics Letters, Vol. 50, No. 20, pp. 1438-1440, Oct. 2014.
- [11] J. Reichel, H. Schwarz, M. Wien, and J. Vieron, "Joint Scalable Video Model 9 of ISO/IEC 14496-10:2005/AMC3 Scalable Video Coding", 2007.
- [12] NS-3 Network Simulator. [Online]. Available: <http://www.nsnam.org/>. [accessed: Oct. 12, 2020]

저자소개

하 호 진 (Hojin Ha)



1999년 2월 : 명지대학교
제어계측공학과(공학사)
2000년 2월 : 한양대학교
제어계측공학과(공학석사)
2009년 2월 : 연세대학교
전기전자공학부(공학박사)
2000년 2월 ~ 2011년 8월 :

삼성전자 DMC 연구소 책임연구원

2011년 9월 ~ 2018년 8월 : 한라대학교 정보통신방송
공학과 교수

2018년 9월 ~ 현재 : 한양여자대학교 컴퓨터정보과 교수
관심분야 : 멀티미디어 신호처리 및 네트워크