

802.11 무선 LAN에서 MPEG-4 비디오 스트림 전송을 위한 실시간 스케줄링 기법

김진환*

*한성대학교 멀티미디어공학과
e-mail:kimjh@hansung.ac.kr

Real-Time Scheduling Schemes for MPEG-4 Video Stream Transmission over 802.11 WLAN

Jinhwan Kim*

*Dept of Multimedia Engineering, Hansung University

요 약

802.11 무선 LAN에서 MPEG-4 비디오 프레임들을 실시간으로 전송하기 위한 통신 스케줄링 기법이 제시된다. 제시된 기법은 MPEG-4 비디오 전송시 프레임 크기에 따라 변동되는 작업부하를 효율적으로 처리할 수 있다. 본 연구의 목적은 종료시한 내에 전송되는 프레임의 수를 최대화하면서 종료시한 이후 전송이 완료된 프레임의 지연 시간을 최소화함으로써 실시간적 성능과 서비스 품질을 향상시키는 것이다.

1. 서론

무선 LAN(Local Area Network)으로 언급되는 무선 802.11 표준안은 홈 네트워킹을 포함한 많은 응용 영역에서 장치와 서비스를 상호 작동하게 하는 무선 통신 프로토콜로 널리 사용되고 있다[1]. 최근 MPEG-4[2]를 기반으로 하는 영상 회의(video conferencing) 또는 VOD(video on demand) 등의 멀티미디어 응용은 무선 통신망 기반의 클라이언트-서버 시스템을 활용하여 구축되고 있다[3, 4]. MPEG-4 비디오 응용처럼 시간에 민감한 비디오 데이터가 서버에서 클라이언트로 전달되는 것을 보장하기 위해서는 양단에 있는 장치와 통신망에 대한 QoS(Quality of Service) 지원이 반드시 필요하다.

응용 단계의 QoS는 시각에 관련되는 민감한 사항으로 사실상 객관적인 방법으로 측정하기가 쉽지 않다[5]. 일반적으로 응용 단계의 QoS는 처리량, 지연시간, 패킷 손실 등 통신망 단계의 QoS로 변환된다. 특히 비디오의 재생률은 초당 처리되는 프레임의 수 fps(frames per second)로 결정되며 이를 충족하기 위한 실시간 스케줄링 기법이 클라이언트의 단말기와 서버 내에 구성될 필요가 있다.

최상의 QoS를 보장하기 위해 MPEG-4 비디오 스트림에서 가장 큰 프레임의 크기를 기준으로 비트율을 결정할 수 있으나 통신망 대역폭을 충분히 활용하지 못할 경우 소중한 자원인 대역폭의 낭비가 초래될 수 있다. 본 논문에서는 무선 LAN의 대역폭을 효율적으로 활용하기 위해 각 비디오 스트림마다 적절한 수준의 비트율을 설정하는 수락 제어(admission control) 과정을 서버의 비디오 스트

림 통신 스케줄링 방법에 포함한다. 한정된 대역폭 내에서 수용할 수 있는 비디오 스트림의 수를 결정한 이후 서버에서 MPEG-4 비디오 스트림의 각 프레임이 패킷으로 구성된다. 그리고 프레임의 중요도와 종료시한을 고려하여 우선순위가 설정된 이후 패킷이 무선 LAN으로 전송되는 실시간 스케줄링 기법이 제시된다. 멀티미디어 시스템은 종료시한이 경과되면 시스템에 치명적인 손상이 발생하는 경성 실시간(hard real-time) 시스템이 아니라 종료시한이 경과되면 서비스 품질이 저하되는 연성 실시간(soft real-time) 시스템이다. 본 논문에서는 연성 실시간 특성을 감안하여 종료시한 내에 전송된 프레임의 수를 최대화와 동시에 종료시한 이후에 전송이 완료되는 프레임들의 지연시간을 최소화함으로써 실시간적 성능과 QoS를 향상시키고자 하였다.

2. MPEG-4 스트림을 위한 실시간 스케줄링

2.1 MPEG-4 비디오 객체와 우선순위

비디오 스트림의 중복성을 이용하기 위하여 MPEG-4는 오디오-비디오 객체의 시간적 인스턴스인 세가지 유형의 VOP(Video Object Plane)를 정의하고 있다. 이 VOP들은 I(ntrapicture)-VOP, P(redicted)-VOP, B(idirectional predicted)-VOP 들로 기술되며 각각 다른 압축률이 나타난다. I-VOP는 P-VOP와 B-VOP에 대한 기준 VOP 역할을 수행하며 P-VOP는 기준 I-VOP에서 부호화된 관련 정보를 수집한 예측 상태를 포함하고 있다.

GOV(Group of VOP)는 하나의 I-VOP부터 다음번 I-VOP 사이에 있는 VOP들의 순서를 의미한다. 실제로 MPEG-2의 GOP(Group of Pictures)와 동일한 의미를 갖는다. 즉 MPEG-2의 GOP에서 I 프레임과 P 프레임 간의 간격을 나타내는 N과 M 변수가 MPEG-4의 GOV에도 적용될 수 있다. I-VOP는 GOV 전체에 대한 기준 VOP 역할을 수행하므로 I-VOP를 먼저 디코딩하지 않고서는 GOV내 다른 VOP들을 디코딩할 수 없게 된다. 본 논문에서는 VOP의 중요도에 따라 I-VOP의 우선순위가 가장 높게 설정되고 P-VOP가 다음 우선순위를 가지며 B-VOP가 가장 낮은 우선순위를 갖게 된다.

우선순위가 설정된 각 VOP는 크기에 따라 여러 개의 IP(Internet Protocol) 패킷으로 구성될 수 있다. 이론상 IP 패킷의 최대 크기인 MTU(Maximum Transfer Unit)는 1500 바이트이며[6] 본 논문에서는 IP 패킷의 크기를 512 바이트로 가정한다. 그리고 각 VOP의 종류를 나타내는 정보가 VOP 헤더에 포함되는 것을 가정한다. 특정 VOP가 두 개 이상의 UDP(User Datagram Protocol)/IP 패킷으로 구성되는 경우 첫 번째 패킷은 해당 VOP 헤더 정보가 존재하지만 두 번째 패킷부터는 헤더 정보가 인식되지 않을 수 있는 점을 감안하여 해당 VOP의 패킷 수를 계수로 설정하는 방법을 가정한다. 즉 패킷마다 해당 VOP의 계수를 패킷의 헤더에 설정하여 패킷이 전송될 때마다 나머지 패킷들의 계수가 1씩 감소되도록 하며 계수가 0이 하가 되면 해당 VOP의 패킷들의 전송이 종료되는 메커니즘이 서버의 통신 스케줄링 기법에 적용된다.

2.2 통신망 대역폭 할당

서버는 클라이언트가 요청한 MPEG-4 비디오 스트림을 전송하기 전 수락 제어(admission control) 절차를 수행한다. 무선 LAN의 최대 대역폭 B_{max} 중 사용 가능한 대역폭을 B_{avail} 이라 하고 클라이언트들이 요청한 비디오 스트림 n 개의 대역폭 합을 B_{sum} 이라 할때 수식 1의 관계가 성립된다.

$$(수식 1) B_{sum} \leq B_{avail} \leq B_{max}$$

$$B_{sum} = B_1 + B_2 + \dots + B_n \quad (n > 0)$$

B_1, B_2, \dots, B_n 등은 각각 n 개의 비디오 스트림의 평균 대역폭을 의미한다. 새로운 클라이언트가 요청한 $n+1$ 번째 비디오 스트림의 평균 대역폭 B_{n+1} 과 B_{sum} 의 합이 B_{avail} 보다 작거나 같으면 서버가 이를 수용하지만 그렇지 않은 경우에는 이를 거부할 수 있다.

$i(0 < i \leq n)$ 번째 비디오 스트림의 평균 대역폭 B_i 는 해당 클라이언트의 fps(frames per second)와 프레임에 해당하는 VOP의 실제 크기를 고려하여 산정된 기준값 M_i 에 의해 결정된다. 실제로 VOP의 최대 크기를 사용하는 경우와 평균 크기를 사용하는 경우 동시에 전송할 수 있는 스트림의 수가 달라지게 된다. 경성 실시간 시스템의 경우에는 종료시한이 경과되기 전에 해당 작업을 정확히 종료해야 하므로 WCET(Worst Case Execution Time)가 통신

스케줄링 및 CPU 스케줄링 기법에 반드시 필요하다[7]. 그러나 연성 실시간 시스템인 멀티미디어 시스템의 경우에는 자원의 낭비를 방지하기 위해서 WCET보다 평균값을 이용하는 방법이 필요하다.

2.3 실시간 통신 스케줄링 방법

2.3.1 Priority 기반 스케줄링

우선순위가 가장 높은 I-VOP를 구성하는 패킷들은 Queue(1)에 있고 다음 우선순위를 갖는 P-VOP 패킷들은 Queue(2)에 그리고 우선순위가 가장 낮은 B-VOP 패킷들은 Queue(3)에 있음을 가정한다. 서버는 먼저 우선순위가 가장 높은 Queue(1)에서 I-VOP 패킷들을 전송하게 되며 Queue(1)에 패킷이 없는 경우 우선순위 순서대로 Queue(2)와 Queue(3)의 패킷을 전송하게 된다. 우선순위가 동일한 큐에서는 EDF(Earliest Deadline First)[7] 원칙에 따라 종료시한이 가장 빠른 패킷이 선택된다. 각 패킷의 종료시한은 자신이 속한 VOP의 생성 시간에 해당 스트림의 주기가 더해져서 생성된다.

선택된 패킷은 그림 1에서 Pack_i로 표기된다. Pack_i의 전송시 필요한 대역폭을 B(Pack_i)이라 할 때 남은 대역폭 B_{sum} 보다 작으면 Pack_i은 통신망으로 전송된다. Pack_i이 전송되는 경우는 Transfer(Pack_i)로 표기되었다. 그리고 비디오 스트림들이 사용할 수 있는 전체 대역폭 B_{sum} 은 B(Pack_i)만큼 감소된다. B_{sum} 은 매초마다 초기값으로 설정된다.

```

while ( Bsum > 0 )
begin
  for l = 1 to 3 in Queue(l)
  begin
    if (Queue(l) is not empty)
    begin
      Select(Packi) by EDF;
      if (B(Packi) < Bsum)
      begin
        Transfer(Packi);
        Bsum = Bsum - B(Packi);
      end
    end
  end
end
end

```

(그림 1) Priority 기반 스케줄링 알고리즘

2.3.2 Least Laxity First 기반 스케줄링

각 VOP에 해당하는 패킷들은 우선순위와 종료시한이 설정된다. 실제 종료시한은 각 VOP가 패킷으로 생성된 시간에 주기를 더해서 산정된다. VOP_{i,j}의 k번째 패킷은 Pack_{i,j,k}로 표기된다. 최소 잔여시간 우선(LLF; Least Laxity First) 알고리즘[1]에 따라 Pack_{i,j,k}의 잔여시간 $L_{i,j,k}$

는 종료시한 D_{ij} 에서 전송에 필요한 시간 $Trans_{i,j,k}$ 를 차감한 것으로 선정된다(수식 2 참조).

$$L_{i,j,k} = D_{ij} - Trans_{i,j,k} \quad (\text{수식 2})$$

이 알고리즘에서는 큐가 1개만 필요하며 그림 2에서 Queue로 기술된다. Queue에 있는 m 개의 패킷들 중 잔여 시간이 가장 작은 패킷 $Packet_i$ 을 선정하게 되며 이 과정은 그림 2에서 LLF로 기술된다. 이때 동일한 최소 잔여 시간을 갖는 패킷들의 수가 2개 이상이면 우선순위 가장 높은 패킷을 선정하여 통신망으로 전송하게 된다. 각 패킷의 우선순위는 그림 1의 Priority 기반 스케줄링 알고리즘과 마찬가지로 해당 VOP의 우선순위를 가지게 된다. 남은 대역폭 B_{sum} 이 필요한 대역폭 $B(Packet_i)$ 보다 큰 경우에만 패킷 $Packet_i$ 이 전송된다. 그리고 전송이 완료되면 전체 대역폭 B_{sum} 은 $B(Packet_i)$ 만큼 차감되며 B_{sum} 은 매초마다 초기 값으로 설정된다.

```

while (  $B_{sum} > 0$  )
begin
  for  $l = 1$  to  $m$  in Queue
    Select( $Packet_l$ ) by LLF;
    if (number of  $Packet_l > 1$ )
      Select( $Packet_l$ ) by Highest Priority;
    if ( $B(Packet_l) < B_{sum}$ )
      begin
        Transfer( $Packet_l$ );
         $B_{sum} = B_{sum} - B(Packet_l)$ ;
      end
end

```

(그림 2) Least Laxity First 기반 스케줄링 알고리즘

3. 성능 분석 및 평가

3.1 통신 대역폭과 스트림 수

본 논문에서도 VBR 방식으로 부호화된 MPEG-4 비디오 스트림 "Mission Impossible"을 대상으로 실험을 수행하였다. 비디오 스트림을 구성하는 GOV내 VOP 패턴은 IBBPBBPBBPBBPBB가 된다. 총 15872 VOP개의 실제 크기를 분석한 결과 I-VOP, P-VOP, B-VOP의 최대 크기는 각각 23916, 10560, 9408 바이트이고 VOP의 평균 크기 VOP_m 은 6256.74 바이트로 파악되었다.

서버는 동일한 비디오 스트림을 동일한 주기 30msec로 구성하여 6개의 클라이언트에게 전송한다. 6개의 비디오 스트림들은 기준값 VOP_m 을 이용하여 각 스트림의 대역폭 $B_i(1 \leq i \leq 6)$ 를 계산할 경우 결과는 다음과 같다.

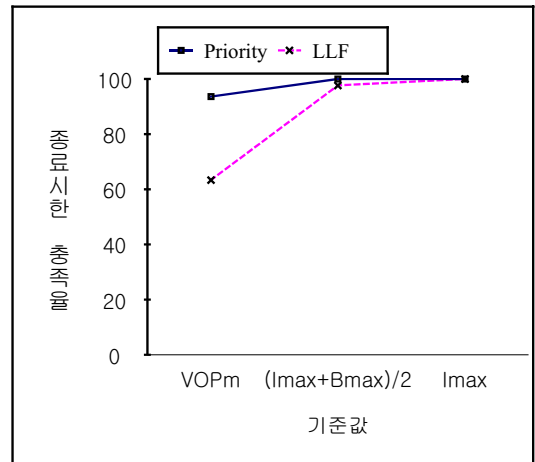
$$B_i = 1/30\text{msec} \times VOP_m (=6256.74\text{바이트}) \times 8\text{비트/바이트} \approx 1.67\text{Mbps}$$

6개 스트림의 대역폭 합 B_{sum} 은 다음과 같다.

$$B_{sum} = \sum_{i=1}^6 B_i \approx 10\text{Mbps}$$

무선 LAN의 표준 IEEE 802.11b의 최대 대역폭이 11Mbps이며 본 논문에서 이를 B_{max} 로 설정하고 B_{avail} 은 10.5Mbps로 설정한다. 이때 2.2절서 기술된 수식 1의 $B_{sum} \leq B_{avail} \leq B_{max}$ 관계가 성립된다. VOP의 평균 크기 VOP_m 을 사용하면 B_{avail} 대역폭내에서 6개의 스트림을 수용할 수 있다. 그러나 VOP_m 대신 I_{max} (I-VOP의 최대 크기인 23916바이트)를 사용하는 경우 동일한 주기의 스트림은 약 6.38Mbps 대역폭이 필요하게 된다. 따라서 B_{avail} 이 10.5Mbps인 경우 I_{max} 를 이용하면 1.65개의 스트림만을 서버가 수용할 수 있다. I_{max} 를 사용하는 대신 I_{max} 와 B_{max} (B-VOP의 최대 크기인 9408바이트)를 합한 후 2로 나눈 값을 이용할 경우[8] 약 4.44Mbps 대역폭이 필요하다. 이 경우 동일한 B_{avail} 에서 대역폭이 4.44Mbps인 스트림은 2.36개를 수용할 수 있다. 동일한 주기를 갖는 스트림에서 대역폭을 산정하는 기준값에 따라 필요한 대역폭이 달라지므로 동시에 수용할 수 있는 스트림의 수가 달라지는 것이다. 그리고 기준값이 VOP_m , I_{max} , $(I_{max}+B_{max})/2$ 일때 대역폭의 실제 활용율은 99.2%, 37.2%, 25.9%로 급격히 저하되는 것으로 실험에서 확인되었다.

3.2 기준값과 종료시한 충족율



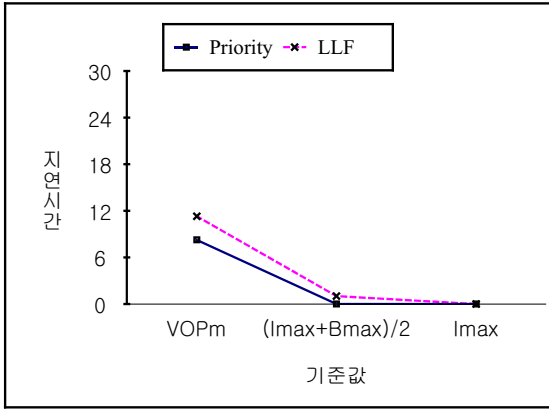
(그림 3) 기준값에 따른 알고리즘의 종료시한 충족율(%)

그림 3은 동일한 스트림이 5분간 전송된 후 Priority 기반 알고리즘과 LLF(Least Laxity First) 기반 알고리즘들의 종료시한 충족율을 나타내고 있다. 이 실험에서 스트림들은 B_{sum} 보다 작거나 같은 범위 내에서만 통신망 대역폭을 활용한다. VOP_m 이 기준값인 경우 Priority 알고리즘의 종료시한 충족율(이하 충족율로 기술함)은 93.6%이며 LLF 알고리즘은 이보다 낮은 63.36%의 충족율이 나타났다. $(I_{max}+B_{max})/2$ 가 기준값인 경우 Priority 알고리즘과 LLF 알고리즘은 각각 100%와 97.67%의 충족율을 보여주

고 있다. VOP_m 보다 2배 이상 큰 I_{max} 가 기준값인 경우 두 스케줄링 알고리즘들의 종료시한 충족율은 모두 100%로 나타났다.

3.3 기준값과 지연시간

그림 4는 기준값에 따른 두 가지 알고리즘들의 평균 지연시간을 비교한 결과이다. 종료시한이 경과된 이후 전송이 완료된 시간을 지연시간이라 정의하며 기준값 VOP_m 에서 Priority 기반 스케줄링 알고리즘은 8.3msec, LLF 기반 스케줄링 알고리즘은 11.3msec의 평균 지연시간이 나타났다. Priority 알고리즘은 기준값 $(I_{max}+B_{max})/2$ 보다 크거나 같은 경우부터 지연시간은 0msec로 확인되었다.



(그림 4) 기준값에 따른 알고리즘의 지연시간(msec)

LLF 알고리즘은 기준값 $(I_{max}+B_{max})/2$ 에서 1.02msec 이하의 지연시간이 나타났다. Priority 알고리즘이 LLF 알고리즘에 비하여 통신망 대역폭을 효과적으로 활용함으로써 평균 지연시간이 감소되는 것을 알 수 있다.

4. 결론

MPEG-4 비디오 스트림의 VOP의 평균 크기를 고려하여 기준값을 정한 후 IEEE 802.11 무선 LAN의 통신망 대역폭 범위 내에서 동시에 전송될 수 있는 스트림 수가 확정되는 수락 제어 과정이 본 논문에서 기술되었다. 필요한 대역폭이 산정된 각 스트림의 VOP는 패킷으로 구성되며 각 패킷은 VOP의 중요도에 따라 우선순위가 설정되어 스케줄링되는 방법이 본 논문에서 제시되었다. 사용가능한 범위 내에서 통신망의 대역폭을 효율적으로 활용하여 우선순위화된 패킷을 전송함으로써 종료시한 내에 전송이 완료되는 비율을 증가시켰다.

제시된 Priority 기반 스케줄링 알고리즘은 최소 잔여 시간 우선에 기반한 LLF 기반 알고리즘보다 멀티미디어 시스템의 실시간적 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 그리고 종료시한이 경과된 이후에 패킷의 전

송이 완료되는 지연 시간을 최소화함으로써 무선 LAN 환경에서 전송되는 비디오 스트림의 jitter 현상을 줄이고 시스템의 서비스 품질을 향상시키고자 하였다. 본 논문에서 제시된 Priority 기반 실시간 스케줄링 기법은 전송되는 프레임의 종료시한 성공률을 최대화하고 평균 지연시간을 최소화함으로써 무선 LAN 기반의 분산 멀티미디어 시스템의 실시간적 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] M. Ditzel, K. Klobedanz, G. Kamper and P. Altenbernd, "Scheduling MPEG-4 Video Streams through the 802.11e Enhanced Distributed Channel Access", *Proc. of 4th International Conference on Networking(ICN)*, 2005.
- [2] International Organization for Standardization, "Information technology-Coding of audio-visual objects(MPEG-4) Part 2: Video, international standard," ISO/IEC JTC 1/SC 29 14496-2, 2002.
- [3] M. Burza, J. Kang, P. van der Stok, "Adaptive Streaming of MPEG-based Audio/Video Content over Wireless Networks", *Journal of Multimedia, Vol. 2, No. 2*, 17-27, 2007.
- [4] O. Lotfallah, M. Reisslein and S. Panchanathan, "Adaptive Video Transmission Schemes Using MPEG-7 Motion Intensity Descriptor", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 16, No. 8*, 929-946, 2006.
- [5] E. W. Knightly, "M-BIND: A new approach to providing statistical performance guarantees to VBR traffic," *Proc. INFOCOM '96*, Mar. 1996.
- [6] S. Park, S. Lee and J. Kim, "Adaptive High Definition MPEG-2 Streaming using Frame-based Prioritization over IEEE 802.11a WLAN", *Proc. of SPIE*, 1880-1890, 2005.
- [7] C. L. Liu and J. Layland, "Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard real-time environment", *Journal of the ACM, Vol. 2, No.4*, 1973.
- [8] M. Krunz, "Bandwidth Allocation Strategies for Transporting Variable-Bit-Rate Video Traffic", *IEEE Communications Magazine*, Jan. 1999.