

무선 LAN에서 MPEG-4 비디오 전송을 위한 대역폭 할당과 실시간 통신 스케줄링 기법

김 진 환[†]

요 약

통신망 대역폭은 비디오 서비스 비용에 영향을 미치는 주요 요인 중의 하나이다. 무선 LAN에서 MPEG-4 비디오의 서비스 품질 요건을 보장하면서 전송에 필요한 대역폭 크기를 감소시킬 수 있는 방법이 본 논문에서 제시된다. 고품질의 비디오 재생을 위해서 비디오 프레임들은 재생 시간 전까지 클라이언트에 전송되어야 한다. 이를 위한 본 논문의 실시간 통신 스케줄링 기법은 프레임의 중요도에 따라 우선순위가 설정된 프레임을 전송한다. 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 최소화하는 것이다. 제시된 스케줄링 기법의 성능은 시뮬레이션을 통하여 다른 기법과 비교 분석된다.

키워드 : 대역폭, 실시간 스케줄링, MPEG-4 비디오, 서비스 품질, 종료시한

Bandwidth Allocation and Real-time Transmission Scheduling Methods for Transporting MPEG-4 Video in Wireless LANs

Jinhwan Kim[†]

ABSTRACT

Network bandwidth is one of the major factors that impact the cost of a video service. In this paper we propose approaches to reducing the bandwidth requirement for transporting MPEG-4 video traffic over wireless LANs while guaranteeing a required level of quality of service(QoS). To support high quality video playbacks, video frames must be transported to the client prior to their playback times. A real-time transmission scheduling is used for this purpose, which transmits each frame assigned with a priority according to its importance. It addresses the challenge for a scheduling algorithm that efficiently handles the changing workloads of MPEG-4 video traffic. The goal of our research is to maximize the number of frames that are transported within their deadlines while minimizing the tardiness of frames that missed their deadlines. The performance of the proposed method is compared with that of similar service mechanisms through extensive simulation experiments.

Keywords : bandwidth, real-time scheduling, MPEG-4 video, QoS, deadline

1. 서 론

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]. 802.11의 상업적 성공은 다양한 응용 요건들이 이 통신 프로토콜로 충분히 이행될 수 있다는 사실에 기반하고 있다. 현재도 무선 통신은 점진적으로 전화망이나 데이터 통신망을 대체하고 있으며 무선 LAN은 AP(Access Point)를 이용하여 기존 Ethernet과 WAN(Wide Area

Network)에 연동되어 사용되고 있다[2]. MPEG 비디오 스트림과 같은 멀티미디어 응용도 많은 응용 영역에서 이미 큰 비중을 차지하고 있으며 실제로 휴대폰, PDA, 셋탑 박스 등의 임베디드 전자제품에서 활용되는 비중이 점차 커지고 있다. 최근 MPEG-4[3]를 기반으로 하는 영상 회의(video conferencing) 또는 VOD(video on demand) 등의 멀티미디어 응용은 무선 통신망 기반의 클라이언트-서버 시스템을 활용하여 구축되고 있다[4,5]. 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[6]. 일반적으로 응

※ 본 연구는 2008년도 한성대학교 교내연구비 지원과제임.

† 정 회 원 : 한성대학교 멀티미디어공학과 교수

논문접수 : 2008년 5월 2일

심사완료 : 2008년 6월 4일

용 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. 또한 통신망을 통하여 전송되는 프레임의 수를 일정하게 유지하기 위해서는 평균 수준 또는 그 이상의 비트율이 확보된 상태에서 실시간 통신 스케줄링 기법이 서버에 구성되어야 한다. 이때 CBR(Constant Bandwidth Rate)로 코딩된 비디오와는 달리 VBR(Variable Bandwidth Rate)로 코딩된 비디오는 프레임의 크기에 따라 비트율의 변동이 크기 때문에 설정된 비트율을 초과하는 통신 대역폭을 요구하게 되고 이를 해결하기 위한 과정이 필요하다. 실제 MPEG 비디오 응용에서 장면을 구성하는 복잡도(complexity)에 따라 프레임의 압축률이 상당히 달라질 수 있으므로 이 프레임을 전송하거나 디코딩하는 시간도 역시 변동이 심하게 된다[7]. 결과적으로 해당 비디오의 fps가 감소됨은 물론 지연시간과 손실되는 패킷의 수가 증가함으로써 응용 단계의 QoS가 저하되는 문제가 발생할 수 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 스트림 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[8]. 본 논문에서는 연성 실시간 특성을 감안하여 종료시한 내에 전송된 프레임의 수를 최대화함과 동시에 종료시한 이후에 전송이 완료되는 프레임들의 지연시간을 최소화함으로써 실시간 성능과 QoS를 향상시키고자 하였다. 또한 우선순위가 높은 프레임이 우선순위가 낮은 프레임보다 먼저 전송되어 클라이언트의 단말기에서 먼저 디코딩되도록 하였다.

본 논문은 2장에서 무선 LAN과 MPEG-4 표준안이 기술되며 3장에서 MPEG-4 비디오의 프레임을 패킷으로 구성하고 우선순위를 설정하여 실시간으로 전송하는 스케줄링 알고리즘을 기술한다. 그리고 4장에서 다른 스케줄링 기법들과 비교된 성능이 분석되며 5장에서는 결론이 기술된다.

2. 무선 LAN과 MPEG-4 표준

2.1 무선 LAN

무선 통신이 전화망과 데이터 통신망 부분에서 유선 통신을 대체하고 있지만 아직 무선 통신망의 대역폭은 유선 통신망에 비하면 크지 않다[7]. 여러 유형의 이동 통신망을 통합하는 UMTS(UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM) 이외에도 LAN보다 유효 반경이 훨씬 큰 무선 데이터 통신망의 표준을 확정하기 위한 작업이 진행 중이다. 국내에서도 최근 무선광대역 인터넷을 의미하는 WiBro(Wireless Broadband)[8]의 상용화가 시작되었으며 이를 국제 표준안으로 추진하기 위한 노력이 진행되고 있다. 무선 LAN은 NIC(Network Interface Card)가 장착된 노트북 여러 대를 AP(access point)없이 상호 연결하여 통신하는 ad-hoc 모드와 한 개 이상의 AP를 설치하고 이를 이용하는 통신하는 managed 모드로 구성될 수 있다[2]. AP를 이용하는 경우 호스트 간의 모든 통신은 반드시 AP를 거쳐야 하며 기존의 Ethernet과 연동되어 외부 통신망과 연동될 수 있다.

IEEE 802.11은 무선 LAN의 물리적 계층에서 작동하며 매체 액세스를 제어하는 표준안이다. 기본적인 매체 액세스 제어 기능은 CSMA(Carrier Sense Multiple Access)/CA(Collision Avoidance)를 정의하는 DCF(Distributed Coordination Function)로 각 호스트는 경쟁 시간 내에서 독자적으로 매체를 액세스할 수 있다[2]. 실시간 전송에는 PCF(Point Coordination Function)가 더 적합한 것으로 평가되나 DCF 만큼 널리 사용되지 않고 있다. 동축 케이블이나 전화선을 이용하는 LAN이 Ethernet으로 널리 구현된 것처럼 무선 LAN의 표준안인 IEEE 802.11b는 2.4GHz 주파수 영역을 사용하며 최고 11Mbps의 무선 데이터 통신 대역폭과 100m의 유효 반경(안테나에 따라서 반경이 커질 수 있음)을 제공하고 있다. 이외에도 새로운 표준안 802.11a와 802.11g를 사용하면 최대 54Mbps의 대역폭을 무선 LAN에서 사용할 수 있다[9].

2.2 MPEG-4 표준

MPEG-4는 64Kbps 저속 통신망부터 고품질의 비디오 스트리밍 응용을 위한 4Mbps 이상의 고속 통신망에 이르기까지 다양한 통신 속도에 적용될 수 있다[3]. 또한 MPEG-4는 비디오 장면을 개별적인 오디오-비디오 객체로 분할할 수 있으며 기본 ES(Elementary Stream)에서 최소한의 QoS를 유지하기 위한 오디오-비디오 객체의 기본 정보를 전송할 수 있고 ES를 추가하여 스트림의 해상도나 초당 재생률을 향상시키는 정보도 제공할 수 있다[11, 12]. 객체는 한 개 혹은 여러 개의 ES에서 연속적인 프레임으로 분리되어 부호화되며 전송될 수 있다. ES는 SL(Sync Layer)를 지나서 RTP/IP 또는 TCP/IP 등의 일반적인 통신 프로토콜로 변환 처리하는 DMIF(Delivery Multimedia Integration Framework)를 통하여 전송된다[3]. 실제 DMIF는 일반적인 전송 기술상에서 멀티미디어 스트리밍을 관리하기 위한 세션 수준의 프로토콜을 정의하고 있으며 또한 응용 프로그램에서 요구하는 양단간 QoS가 유지되도록 한다.

흥미 위주의 오락 이외에도 과학적 환경이나 교육적 목적으로 모바일 멀티미디어 응용의 중요성이 점차 커지고 있으며 휴대폰을 비롯하여 다양한 무선 통신 기술이 발전하고 있다. 본 논문에서는 아직 반경이 작고 저속인 IEEE 802.11b 무선 LAN을 기반으로 MPEG-4 비디오 스트림을 전송하는 실시간 스케줄링 기법을 제시하며 향후 고속 통신인 802.11a나 802.11g에 적용될 수 있도록 한다.

3. 대역폭 할당과 실시간 통신 스케줄링

3.1 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. I-VOP와 P-VOP는 B-VOP에 대하여 기준 VOP 역할을 수행한다. B-VOP는 이전 또는 이후에 있는 기준 VOP에서 부호화된 중복 정보를 이용하여 순방향 또는 역방향으로 예측될 수 있다[13].

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. 한 I-VOP에서 다음번 GOV의 I-VOP 사이에 있는 VOP들의 수를 N으로 기술하며 연속적인 기준 VOP들 간의 간격 즉 I-VOP와 P-VOP 사이 또는 P-VOP와 P-VOP 사이에 있는 VOP 수를 M 변수로 기술할 수 있다. I-VOP는 GOV 전체에 대한 기준 VOP 역할을 수행하므로 I-VOP를 먼저 디코딩하지 않고서는 GOV내 다른 VOP들을 디코딩할 수 없게 된다. 즉 B-VOP를 디코딩하기 위해서는 관련 I-VOP 또는 P-VOP가 반드시 먼저 디코딩되어야 한다. 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[9] 본 논문에서는 IP 패킷의 크기를 512바이트로 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 헤

더에 설정하여 패킷이 전송될 때마다 나머지 패킷들의 계수가 1씩 감소되도록 하며 계수가 0이자가 되면 해당 VOP의 패킷들의 전송이 종료되는 메카니즘이 서버의 통신 스케줄링 기법에 적용된다.

3.2 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.

$$B_{sum} \leq B_{avail} \leq B_{max} \tag{1}$$

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

B_1, B_2, \dots, B_n 등은 각각 n개의 비디오 스트림의 평균 대역폭을 의미한다. 새로운 클라이언트가 요청한 n+1번째 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. 그리고 거부된 비디오 스트림은 나중에 서버가 재수용할 수 있으나 이에 관한 구체적인 과정은 본 논문에서 기술하지 않는다.

$i(0 < i \leq n)$ 번째 비디오 스트림의 평균 대역폭 B_i 는 해당 클라이언트의 fps_i (frames per second)와 프레임에 해당하는 VOP의 실제 크기를 고려하여 산정된 기준값 M_i 에 의해 결정된다. 예를 들어 fps_i 가 25이고 M_i 가 VOP의 평균 크기인 1000 바이트로 설정된 경우 B_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$B_i = fps_i \times M_i$$

$$= 25 \text{ 프레임/초} \times 1000 \text{ 바이트/초} \times 8 \text{ 비트/바이트}$$

$$= 200,000 \text{ 비트/초}$$

$$\approx 0.2 \text{ Mbps}$$

이때 각 비디오 스트림의 VOP의 평균 크기를 고려하는 대신 최대 크기를 사용하게 되면 동일한 대역폭에서 동시에 수용할 수 있는 스트림의 수가 작아지게 된다. 예를 들어 B_{avail} 이 1Mbps일때 VOP의 평균 크기인 1000바이트를 M_i 로 설정하면 대역폭 B_i 가 0.2Mbps가 되어 동시에 5개의 동일한 스트림이 전송될 수 있다. 그러나 VOP의 최대 크기가 2500 바이트이고 이를 M_i 로 설정하여 대역폭을 계산하게 되면 0.5Mbps가 되므로 동시에 전송할 수 있는 스트림의 수는 2로 감소된다. 즉 VOP의 최대 크기를 사용하는 경우와 평균 크기를 사용하는 경우 동시에 전송할 수 있는 스트림의 수가 달라지게 된다. 실제로 MPEG-4 비디오 스트림의 모든 VOP 크기를 파악하면 대부분 I-VOP가 최대 크기를 갖게 되며 이를 기준으로 전송할 경우 통신망 대역폭과 디코딩시 CPU 대역폭의 낭비가 심하게 발생될 수 있다. 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[14]. 그러나 연성 실시간 시스템인 멀티미디어 시스템의 경우에는 자원의 낭비를 방지하기 위해서 WCET보다 평균값을 이용하는 방법이 필요하고 또한 종료시한이 경과된 이후에 종료되는 지연시간을 최대한 감소시킴으로써 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 효율적인 스케줄링 방법이 필요하다.

3.3 실시간 통신 스케줄링 방법

3.3.1 우선순위 기반(priority-based) 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)[14] 원칙에 따라 종료시한이 가장 빠른 패킷이 선택된다. 각 패킷의 종료시한은 자신이 속한 VOP의 생성 시간에 해당 스트림의 주기가 더해져서 생성된다.

선택된 패킷은 (그림 1)에서 Pack_i로 표기되며 서버는 Pack_i의 종료시한이 이미 경과된 경우에는 스케줄링 정책에 따라 패킷을 전송하지 않을 수도 있으나 본 논문에서는 이러한 경우를 배제하였다. 실제로 I-VOP나 P-VOP 기반 패킷은 대부분 전송되나 중요도가 낮은 B-VOP 기반 패킷은 통신망 대역폭 상황에 따라 전송되지 않는 스케줄링 알고리즘들이 발표된 바 있다[4,15]. 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 매 초마다 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) 우선순위 기반 스케줄링 알고리즘

3.3.2 최소 잔여시간 우선(least laxity first-based) 기반 스케줄링

각 VOP에 해당하는 패킷들은 우선순위와 종료시한이 설정된다. 실제 종료시한은 각 VOP가 패킷으로 생성된 시간에 주기를 더해서 산정된다. i번째 스트림의 주기 P_i가 40 msec이고 이 스트림의 j번째 VOP_{ij}가 패킷으로 생성된 시간이 100msec이면 패킷들의 종료시한 D_{ij}는 140msec가 되는 것이다. VOP_{ij}의 k번째 패킷은 Pack_{ij,k}로 표기된다. 최소 잔여시간 우선(LLF; Least Laxity First) 알고리즘[1]에 따라 Pack_{ij,k}의 잔여시간 L_{ij,k}는 종료시한 D_{ij}에서 전송에 필요한 시간 Trans_{ij,k}를 차감한 것으로 산정된다(수식 2 참조).

$$L_{ij,k} = D_{ij} - Trans_{ij,k} \tag{2}$$

이 알고리즘에서는 큐가 1개만 필요하며 (그림 2)에서 Queue로 기술된다. Queue에 있는 m 개의 패킷들 중 잔여시간이 가장 작은 패킷 Pack_i을 선정하게 되며 이 과정은 (그림 2)에서 LLF로 기술된다. 이때 동일한 최소 잔여시간을 갖는 패킷들의 수가 2개 이상이면 우선순위가 가장 높은 패킷을 선정하여 통신망으로 전송하게 된다. 각 패킷의 우선순위는 (그림 1)의 우선순위 기반 스케줄링 알고리즘과 마찬가지로 해당 VOP의 우선순위를 가지게 된다. 남은 대역폭 B_{sum}이 필요한 대역폭 B(Pack_i)보다 큰 경우에만 패킷 Pack_i이 전송된다. 그리고 전송이 완료되면 전체 대역폭 B_{sum}은 B(Pack_i)만큼 차감되며 B_{sum}은 매 초마다 초기값으로 설정된다.

```

while ( Bsum > 0 )
begin
  for l = 1 to m in Queue
  Select(Packi) by LLF;
  if (number of Packi > 1)
  Select(Packi) by Highest Priority;
  if (B(Packi) < Bsum)
  begin
    Transfer(Packi);
    Bsum=Bsum-B(Packi);
  end
end
    
```

(그림 2) 최소 잔여시간 우선 기반 스케줄링 알고리즘

3.2.3 고정 대역폭 기반(fixed bandwidth-based) 스케줄링

(그림 1)과 (그림 2)에서 기술된 우선순위 기반 스케줄링과 최소 잔여시간 우선 기반 스케줄링 알고리즘에서는 각 스트림이 사용할 수 있는 대역폭이 설정되어 있긴 하나 수락 제어 과정에서만 확인할 뿐 실제 전송 과정에서는 우선순위 또는 최소잔여 시간에 따라 대역폭을 사용하기 때문에 매 초마다 각 스트림이 사용한 대역폭이 달라질 수 있다. 각

스트림은 설정된 대역폭을 초과하여 사용하거나 대역폭을 다 사용하지 못 하는 경우가 자주 발생할 수 있다. 그러나 고정 대역폭 기반 스케줄링 알고리즘에서는 n개의 비디오 스트림들이 매초마다 자신에 할당된 대역폭만을 사용하도록 하고 있다[15]. 각 스트림의 VOP를 패킷으로 구성한 후 패킷의 우선순위에 최소잔여 시간을 이용하지 않고 생성된 순서대로 자신의 큐에 유입된다. (그림 1)과 (그림 2)와는 달리 (그림 3)에 기술된 Queue(l)은 우선순위와 상관없이 첫번째 스트림의 패킷들이 유입된 큐를 의미한다. 스트림의 수가 n이면 실제 큐의 수도 n이 된다. 첫번째 스트림의 고정 대역폭 B_1 이 0보다 크면 해당 큐의 패킷 Pack_l을 FIFO(First In First Out) 원칙에 따라 통신망에 전송하게 된다. 이때 전송시 사용된 대역폭 B(Pack)은 B_1 과 B_{sum} 에서 각각 차감된다. 매초마다 B_1 과 B_{sum} 은 초기값으로 다시 설정되며 고정 대역폭 기반 스케줄링 알고리즘에서는 매초마다 각 스트림이 자신에 할당된 대역폭 범위 내에서만 패킷들을 전송하게 된다.

```

while ( Bsum > 0 )
  begin
    for l =1 to n in Queue(l)
      begin
        if (Queue(l) is not empty and Bl > 0)
          begin
            Select(Packl) by FIFO;
            if (B(Packl) < Bl)
              begin
                Transfer(Packl);
                Bl=Bl-B(Packl);
                Bsum=Bsum-B(Packl);
              end
            end
          end
        end
      end
    end
  end

```

(그림 3) 고정 대역폭 기반 스케줄링 알고리즘

4. 성능 분석 및 평가

4.1 통신 대역폭과 스트림 수

MPEG-4 스트림은 CBR(Constant Bit-Rate)이나 VBR(Variable Bit-Rate)을 이용하여 다양한 비트율로 부호화될 수 있다. VBR은 비트율을 변경시킴으로써 부호화하기 어려운 장면인 경우에도 동일하게 안정적인 화질을 보장할 수 있다. VBR의 압축률이 더 우수하기 때문에 본 논문에서도 VBR 방식으로 부호화된 MPEG-4 비디오 스트림 "Mission Impossible"을 대상으로 실험을 수행하였다. 비디오 스트림을 구성하는 GOV내 VOP의 수를 나타내는 변수 N은 15이고 I-VOP 또는 P-VOP의 간격을 나타내는 변수 M은 3이

므로 VOP 패턴은 IBBPBBPBBPBBPBB이 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 스트림 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 들은 기준값 VOP_m 을 이용하여 각 스트림의 대역폭 $B_i(1 \leq i \leq 6)$ 를 계산할 경우 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 B_i &= 1/30\text{msec} \times VOP_m \times 8\text{비트/바이트} \\
 &= 33.33\text{프레임/초} \times 6256.74\text{바이트} \times 8\text{비트/바이트} \\
 &= 1668297.15\text{비트/초} \\
 &\approx 1.67\text{Mbps}
 \end{aligned}$$

6개 스트림의 대역폭 합 B_{sum} 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 B_{sum} &= \sum_{i=1}^6 B_i \\
 &\approx 1.67\text{Mbps} \times 6 \\
 &\approx 10\text{Mbps}
 \end{aligned}$$

무선 LAN의 표준 IEEE 802.11b의 최대 대역폭이 11Mbps이며 본 논문에서 이를 B_{max} 로 설정하고 B_{avail} 은 10.5Mbps로 설정한다. 이때 3.2절서 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 주기가 30msec인 스트림은 다음과 같은 대역폭을 필요로 하게 된다.

$$\begin{aligned}
 B_i &= 1/30\text{msec} \times I_{max} \times 8\text{비트/바이트} \\
 &= 33.33\text{프레임/초} \times 23916\text{바이트} \times 8\text{비트/바이트} \\
 &= 6376962.24\text{비트/초} \\
 &\approx 6.38\text{Mbps}
 \end{aligned}$$

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[16] 주기가 30msec인 스트림은 다음과 같은 대역폭을 필요로 하게 된다.

$$\begin{aligned}
 B_i &= 1/30\text{msec} \times (I_{max} + B_{max})/2 \times 8\text{비트/바이트} \\
 &= 33.33\text{프레임/초} \times 16662\text{바이트} \times 8\text{비트/바이트} \\
 &= 4442755.68\text{비트/초} \\
 &\approx 4.44\text{Mbps}
 \end{aligned}$$

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. <표 1>과 같이 사용할 수 있는 B_{avail} 이 10.5Mbps일 경우 대역폭을 결정하는 기준값이 커질수록 서버가 수용할 수 있는 스트림의 수는 작아지게 된다.

<표 1> 기준값에 따라 서버가 수용하는 스트림 수

기준값	VOP_m	$VOP_m*1.1$	$VOP_m*1.5$	$(I_{max}+B_{max})/2$	I_{max}
실제 크기 (바이트수)	6256.74	6882.41	9385.11	16662	23916
전송가능한 스트림 수	6.29	5.72	4.19	2.36	1.65

<표 1>에서 VOP의 평균 크기 VOP_m 을 10% 증가시킨 경우와 50% 증가시킨 경우를 기준값으로 설정했을 때 스트림 수는 이에 반비례하여 감소되며 $VOP_m*1.5$ 은 $(I_{max}+B_{max})/2$ 의 약56%의 크기를 갖는다. 실제 대역폭 산정시 I_{max} 나 $(I_{max}+B_{max})/2$ 를 기준값으로 설정하는 경우 해당 스트림의 VOP를 종료시킨 내에 모두 전송할 수 있기 때문에 약속된 QoS를 보장할 수 있다. 그러나 설정된 대역폭을 항상 100% 활용하는 것이 아니기 때문에 대역폭의 낭비가 유발되며 서버가 동시에 수용할 수 있는 스트림의 수가 감소되는 문제가 발생한다. 한편 VOP_m 을 기준값으로 설정하면 서버가 동시에 수용할 수 있는 스트림의 수는 증가시킬 수 있으나 종료시킨 내에 전송되는 VOP의 수가 감소되며 종료시킨 이후에 전송되는 VOP의 지연시간이 증가되어 QoS가 저하되는 문제가 예상된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 VOP_m 과 I_{max} 사이의 적절한 값을 기준값으로 설정함으로써 종료시킨 내에 전송되는 VOP의 수를 최대화함과 동시에 VOP들의 지연시간을 최소화하고자 하였다.

4.2 기준값과 종료시킨 충족율

<표 2>는 <표 1>과 달리 기준값에 따라 실제 전송된 정수개의 스트림 수와 해당 대역폭의 합 B_{sum} 을 Mbps 단위로 기술한 것이다. 그리고 세 가지 스케줄링 알고리즘에서 나타난 대역폭 B_{sum} 의 실제 활용율이 기술되어 있다. 우선순위 기반(PB; priority-based), 최소 잔여시간 우선 기반(LLFB; least laxity first-based), 고정 대역폭 기반(FBB; fixed bandwidth-based) 스케줄링 알고리즘들은 모두 기준값이 커질 수록 대역폭의 실제 활용율은 급격히 저하됨으로써 통신망 대역폭이 낭비됨을 알 수 있다.

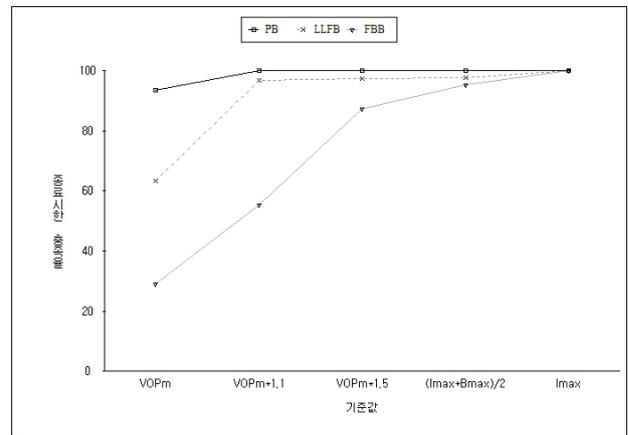
(그림 4)는 동일한 스트림이 5분간 전송된 후 세 가지 알고리즘들의 종료시킨 충족율을 나타내고 있다. 이 실험에서

<표 2> 기준값과 실제 전송되는 스트림 수

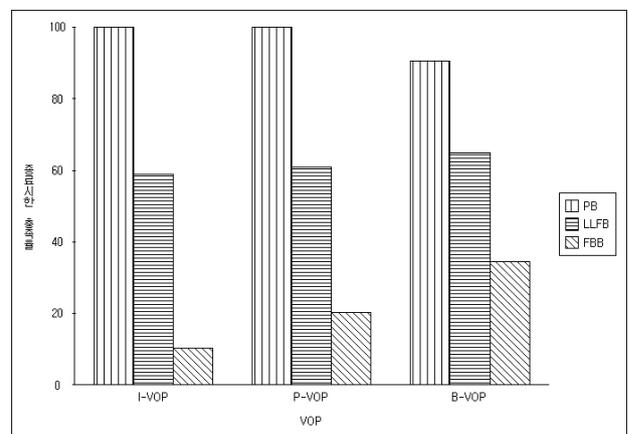
기준값	VOP_m	$VOP_m*1.1$	$VOP_m*1.5$	$(I_{max}+B_{max})/2$	I_{max}
전송된 스트림 수	6	5	4	2	1
B_{sum}	10.0Mbps	9.18Mbps	10.0Mbps	8.88Mbps	6.38Mbps
활용율	99.2%	90.0%	65.9%	37.2%	25.9%

스트림들은 <표 2>의 B_{sum} 보다 작거나 같은 범위 내에서만 통신망 대역폭을 활용한다. 예를 들어 기준값이 $VOP_m*1.1$ 인 경우 5개의 스트림은 9.18Mbps 대역폭만을 활용하고 B_{avail} 에서 B_{sum} 을 차감한 나머지 대역폭은 실험에서 실제로 사용되지 않는 것을 의미한다. VOP_m 이 기준값인 경우 PB 알고리즘의 종료시킨 충족율(이하 충족율로 기술함)은 93.6%이며 LLFB 알고리즘과 FBB 알고리즘은 이보다 낮은 63.36%와 29.1%의 충족율이 나타났다. 기준값을 10% 증가시킨 $VOP_m*1.1$ 에서 PB, LLFB, FBB 알고리즘들은 각각 100%, 96.9%, 55.4%의 충족율을 보여주고 있다. 기준값을 10% 증가시킨 것에 비하여 LLFB와 FBB 알고리즘은 각각 30%와 20%가 증가된 충족율이 나타났다. 그리고 기준값이 $VOP_m*1.5$ 인 경우 LLFB 알고리즘은 97.44%의 충족율로 $VOP_m*1.1$ 에 비하여 거의 차이가 없는 반면 FBB 알고리즘은 87.3%로 약 32%가 증가되었다. $(I_{max}+B_{max})/2$ 가 기준값인 경우 LLFB 알고리즘은 97.67%, FBB 알고리즘은 95.14%의 충족율을 보여주고 있다. VOP_m 보다 2배 이상 큰 I_{max} 가 기준값인 경우 세 스케줄링 알고리즘들의 종료시킨 충족율은 모두 100%로 나타났다.

본 실험에서 우선순위와 EDF를 이용하는 PB 알고리즘이 최소 잔여시간을 이용하는 LLFB 알고리즘보다 충족율이 항



(그림 4) 기준값에 따른 알고리즘의 종료시킨 충족율(%)



(그림 5) 각 VOP의 종료시킨 충족율(%)

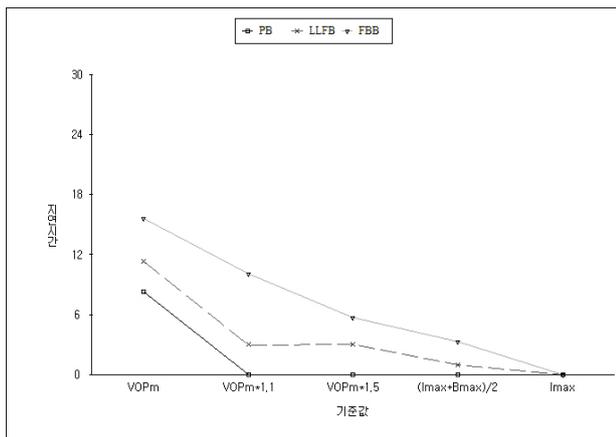
상 높은 것으로 나타났다. 설정된 대역폭만을 사용하는 FBB 기법은 세 알고리즘 중 가장 낮은 충족율이 나타났다. 스트림마다 설정된 통신망 대역폭만을 사용하는 것 보다는 대역폭의 합을 효율적으로 활용하는 것이 종료시한 충족율을 증가시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

그리고 기준값 VOP_m 에서 I-VOP, P-VOP, B-VOP 들의 종료시한 충족율을 비교한 결과가 (그림 5)에 있다. PB 알고리즘은 B-VOP만 90.6%의 충족율이 나타났으며 I-VOP와 P-VOP들은 모두 100%로 나타났다. LLFB 알고리즘은 이보다 낮은 59.0%, 60.8%, 64.9%의 충족율이 I-VOP, P-VOP, B-VOP에서 각각 나타났다. FBB 알고리즘은 세 가지 VOP 모두 가장 낮은 충족율이 확인되었다. 기준값이 $VOP_m * 1.1$ 이후부터는 PB 알고리즘에서 모든 VOP들이 100%의 충족율이 나타나기 때문에 다른 알고리즘들과의 비교는 생략한다.

4.3 기준값과 지연시간

(그림 6)은 기준값에 따른 세 가지 알고리즘들의 평균 지연시간을 비교한 결과이다. 종료시한이 경과된 이후 전송이 완료된 시간을 지연시간이라 정의하며 기준값 VOP_m 에서 PB 알고리즘은 8.3msec, LLFB 알고리즘은 11.3msec, FBB 알고리즘은 15.6msec의 평균 지연시간이 나타났다. PB 알고리즘은 $VOP_m * 1.1$ 의 기준값부터 지연시간은 0msec로 확인되었다.

LLFB 알고리즘은 기준값 $VOP_m * 1.1$ 부터 3.0msec 이하의 지연시간이 나타난 반면 FBB 알고리즘은 10.1msec 이하의 지연시간이 나타났다. 스트림에 설정된 고정 대역폭을 사용하는 FBB 알고리즘보다는 B_{sum} 이하의 대역폭을 효과적으로 활용하는 LLFB와 PB 알고리즘의 평균 지연시간이 감소되는 것을 알 수 있다.



(그림 6) 기준값에 따른 알고리즘의 지연시간(msec)

5. 결론

MPEG-4 비디오 스트림의 VOP의 평균 크기를 고려하여 기준값을 정한 후 무선 LAN의 통신망 대역폭 범위 내에서 동시에 전송될 수 있는 스트림 수가 확정되는 수락 제어 과

정이 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 PB 스케줄링 알고리즘은 스트림의 주기 내에 할당된 대역폭만을 사용하여 패킷을 전송하는 FBB 알고리즘과 최소 잔여시간 우선에 기반한 LLFB 알고리즘보다 멀티미디어 시스템의 실시간 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 그리고 종료시한이 경과된 이후에 패킷의 전송이 완료되는 지연 시간을 최소화함으로써 무선 LAN 환경에서 전송되는 비디오 스트림의 jitter 현상을 줄이고 시스템의 서비스 품질을 향상시키고자 하였다. 본 논문에서 제시된 우선순위 기반 실시간 스케줄링 기법은 전송되는 프레임의 종료시한 성공률을 최대화하고 평균 지연시간을 최소화함으로써 무선 LAN 기반의 분산 멀티미디어 시스템의 실시간 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] M. Ditzte, 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] Bob O'Hara and Al Petrick, *802.11 Handbook - A Designer's Companion*, Standards Information Network, IEEE Press, 1999.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] E. W. Knightly, "M-BIND: A new approach to providing statistical performance guarantees to VBR traffic", *Proc. INFOCOM '96*, Mar. 1996.
- [7] Jim Geier. *Wireless LANs - Implementing Interoperable Networks*. Macmillan Network Architecture and Development Series. MTP Macmillan Technical Publishing, 1st edition, 1999.
- [8] 문정모외 2인, 와이브로(WiBro) 이동성 기술, 인터넷 정보학회지, 제6권 제4호, pp.45-51, 2005.
- [9] 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.

- [10] H. Liu and M. E. Zarki, "A synchronization Control Scheme for Real-time Streaming Multimedia Applications," *Packet Video*, France, 2003.
- [11] L. Cheng, A. Bhushan, R. and M. E. Zarki, "Real-Time 3D Graphics Streaming using MPEG-4," *BroadWise*, San Jose, CA, USA, 2004.
- [12] M. Burza, J. Kang and P. Stok, "Adaptive streaming of MPEG based audio/video content over wireless networks," *Journal of Multimedia*, Vol.2, No.2, pp.17-27, April, 2007.
- [13] M. Ditzel, P. Altenbernd, C. Loeser, "Improving resource utilization for MPEG decoding in embedded end-devices," *Proc. of 27th Australasian Computer Science Conference (ACSC)*, pp.133-142, 2004.
- [14] C. L. Liu and J. Layland, "Scheduling algorithms for multi-programming in a hard real-time environment," *Journal of the ACM*, Vol.2, No.4, 1973.
- [15] J. Yuen, K. Lam and E. Chan, "A Fair and Adaptive scheduling Protocol for Video Stream Transmission in Mobile Environment," *Proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, August 2002.
- [16] M. Krantz, "Bandwidth Allocation Strategies for Transporting Variable-Bit-Rate Video Traffic," *IEEE Communications Magazine*, Jan. 1999.



김진환

e-mail : kimjh@hansung.ac.kr

1982년 서울대학교 공과대학 컴퓨터공학과 졸업(학사)

1986년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사)

1994년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사)

1994년~1995년 서울대학교 컴퓨터신기술공동연구소 특별연구원

1995년~현재 한성대학교 멀티미디어공학과 교수

관심분야 : 멀티미디어 시스템, 분산실시간 시스템