

ATM 상에서 실시간 가변비트율 MPEG-2 동영상 서비스를 위한 고속 자원 재할당 프로토콜

정희원 홍승은*, 장경훈*, 김덕진*, 고성제*

A Fast Resource Reallocation Protocol (FRRP) for rt-VBR MPEG-2 video services over ATM Networks

Seung-Eun Hong*, Kyung-hun Jang*, Duck-Jin Kim*, Sung-Jea Ko* *Regular Members*

요 약

ATM과 같은 고속 패킷교환 망의 도입은 일정한 화질을 갖는 동영상 서비스를 가능하게 하였다. 망 자원 사용의 효율성과 화질 사이의 타협이 절실히 요구되는 현 상황에서, ATM Forum과 ITU-T에서 정한 고정된 트래픽 기술자(Traffic Descriptor)로는 이를 만족시킬 수 없다. 따라서 본 논문에서는 동영상 세션을 발생된 트래픽에 따라 시간적으로 분할하여 각 구간에서 발생하는 트래픽을 효율적으로 기술할 수 있는 트래픽 기술자를 설정한 후, 망과의 협상을 통해 망 자원을 재할당하고 재할당된 자원에 트래픽을 적용시키는 고속 자원 재할당 프로토콜(Fast Resource Reallocation Protocol: FRRP)을 제안한다. 또한 FRRP가 효율적으로 운용될 수 있는, MPEG 부호화 알고리즘과 망 제어가 통합된 시스템 모델을 제안하고 실제 동영상 트래픽(Star Wars)을 사용한 시뮬레이션에 의해 셀 손실을 관점에서 FRRP의 성능 평가를 수행한다. 실험 결과는 고정된 트래픽 기술자 사용 시 발생하는 셀 손실율의 5~35% 정도만을 나타내었다.

ABSTRACT

The introduction of fast packet switching networks such as the ATM leads to the possibility of video services with constant quality. However, the fixed traffic descriptor(TD), which is defined by ATM Forum and ITU-T, can not simultaneously satisfy network efficiency and video quality. This paper presents fast resource reallocation protocol (FRRP) which can provide an effective compromise between network efficiency and video quality. This protocol reallocates the network resources and then adapts the traffic to the reallocated resources. In the proposed method, a video session is divided into several time-intervals according to its generated traffic and TD is calculated which well characterizes the traffic during the specific subdivided interval. In addition, a system model, where MPEG coding algorithm and network control are unified, is proposed and the performance of the FRRP in terms of cell loss rate(CLR) is evaluated through the simulation using real video traffic(Star Wars). Simulation results show that the FRRP has only 5~35% CLR of the fixed TD.

I. 서론

오늘날 통신 서비스 사업자들은 유·무선 전화 같은 기존의 협대역 서비스들뿐만 아니라 방송용 동영상, 고속 인터넷 접속, 그리고 화상회의(Video

Conference) 같은 광대역 서비스들을 제공하기 시작했다^[1]. 이러한 새로운 디지털 멀티미디어 서비스들은 POTS(Plain Old Telephone Service)에 비해 상당히 큰 대역폭을 필요로 하기 때문에, ATM 기술에 기반한 B-ISDN 구축의 필요성이 대두되었다.

* 고려대학교 전기전자전파공학부 (seraph@wiselab.korea.ac.kr)
논문번호 : 98476-1028, 접수일자 : 1998년 10월 28일

53 바이트의 고정 길이 셀을 사용하는 ATM 기술은 음성, 동영상, 그리고 데이터를 포함하는 다양한 서비스들을 수용할 수 있으며, 이러한 고속 패킷 교환 망의 도입으로 사용자들의 멀티미디어 정보 욕구를 충족시킬 수 있게 되었다. 멀티미디어 정보 중 광대역을 필요로 하는 동영상의 특성으로 인하여 B-ISDN 상의 트래픽은 동영상이 주류를 이룰 것으로 예상된다. 따라서 동영상 트래픽의 다중화, 전송, 그리고 교환이 어떻게 효율적으로 수행될 수 있는지를 이해하는 것이 중요하다^[2].

ATM 상에서 동영상 서비스를 효율적으로 제공하기 위해서는 MPEG(Moving Pictures Experts Group) 기술이 필수적인데, 이 방식으로 부호화된 트래픽의 '혼잡에 의한 망에서의 셀 손실'은 고효율 압축에 기인하여 심각한 열화를 초래할 수 있고 또한 부호화되는 방식과 장면의 내용에 따른 가변적 트래픽 발생으로 인해 망 자원의 사용에 효율적이면서도 요구 QoS를 보장할 수 있는 자원 할당이 용이하지 않다^[3]. 따라서 망 자원을 효율적으로 사용하면서 가변적으로 발생된 트래픽을 손실 없이 전송하는 계획이 요구된다. 기존 연구는 망에서의 서비스 관리가 용이하다는 장점으로 인해 가변비트율(Variable Bit Rate: VBR) 동영상 트래픽을 상등비트율(Constant Bit Rate: CBR)로 전송하는 방안이 집중되었으나, 지연의 증가와 시간에 따라 변화는 화질, 그리고 복호기에서의 보다 큰 버퍼의 필요성이 그 문제점으로 지적되었다^{[2][3]}. 현재까지 TV와 VoD(Video on Demand) 배포에 관한 표준이 MPEG-2 시스템을 사용하여 ATM이 제공하는 CBR 서비스를 이용한다는 점에서 알 수 있듯이, 제기된 문제의 뚜렷한 해결방안이 마련되지 않고 있다^[4]. 최근 들어 이러한 문제인식이 확산되어 실시간으로 발생하는 VBR MPEG 동영상 트래픽을 ATM 상에서 효율적으로 제공하기 위한 적응적율 제어(Adaptive Rate Control) 기법^{[5][6]}과 동적 대역 할당 방안^{[7][8]}에 관한 넓은 연구가 진행되고 있다. 하지만 제반 연구들은 예방적 혼잡제어(Proactive Congestion Control)와 망에서의 자원할당을 위한 트래픽 기술자(Traffic Descriptor)의 개념을 도입하지 않거나^{[5],[7][8]}, 도입하였다 하더라도 실시간성으로 인한 통계적 트래픽 자료의 부족과 장면 변화로 인한 갑작스런 트래픽 특성 변화는 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있는 단일 트래픽 기술자 설정을 어렵게 한다^[6]. 또한 망 자원의 요청과 자원 할당의 구체적 방안이 제시되고 있지 않다^{[4],[8]}.

본 논문에서는 위에서 언급된 제반 문제점들을 인식하여, 망 상태와 MPEG 부호화 알고리즘을 하나의 제어 기획으로 결합하고 부호기와 망 사이의 강한 상호 작용을 추구함으로써, 소스의 요구 QoS 보장과 망 자원의 보다 효율적 사용을 가능하게 하는 통합된 시스템 모델과 그 위에서 운용될 프로토콜을 제안한다.

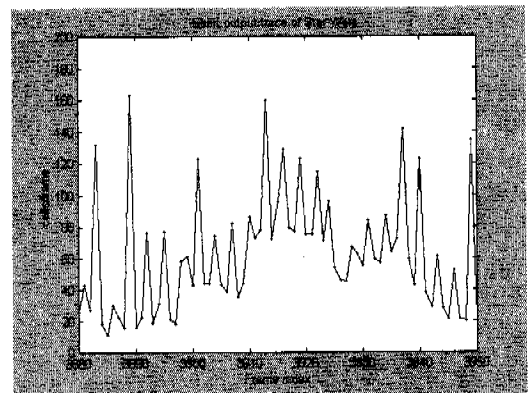
본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 VBR 동영상을 전송하는 데 필요한 기술과 그 문제점을 지적하고 III장에서는 실시간 VBR 동영상 전송에 적합한 시스템 모델을 제안하고 그 시스템에서 효율적으로 운용될 수 있는 프로토콜을 기술한다. IV장에서는 제안한 시스템과 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통해 기존 VBR 서비스 방식과 비교하고, 끝으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. ATM 상에서 VBR MPEG-2 동영상 전송

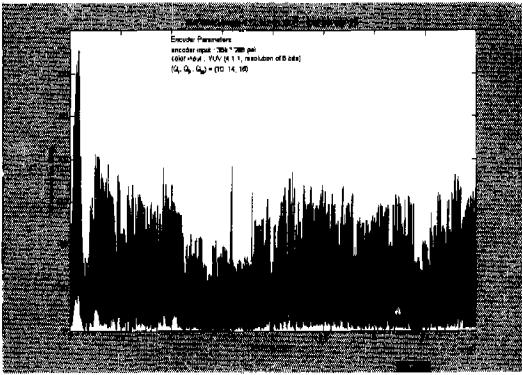
ATM과 같은 고속 패킷 교환 망의 도입으로 동영상 세션의 지속기간 동안 일정한 화질을 유지할 수 있는 VBR MPEG 동영상 전송이 실현 가능하게 되었다. 하지만 망 자원의 효율적 사용과 동영상 화질 사이의 타협에 대한 필요성이 절실히 요구된다. 본 절에서는 VBR 동영상 전송에 사용되는 기술과 그 문제점을 지적함으로써 다음 절에서 제안하는 시스템과 프로토콜의 이해를 돕고자 한다.

1. MPEG 동영상 트래픽 특성

MPEG 부호화 알고리즘에 사용되는 부호화 계층과 부호화 유형은 부호기의 출력 트래픽이 VBR 특성을 띄게 하며, 또한 망으로 전송 시 I나 P 프레임



(a)



(b)

그림 1. MPEG 동영상 트래픽의 특성

- (a) 짧은 관찰 주기에서의 특성,
- (b) 긴 관찰 주기에서의 특성

에 속하는 셀 손실이 이 후의 P와 B 프레임들에 영향을 미치는 오류 전파 특성을 초래한다. 이러한 알고리즘을 사용하는 MPEG 부호기는 세 가지 매개변수 (q , N , M)에 의해 특징지어진다. 그림 1에는 일정한 q 값에 의해 발생된 'Star Wars' MPEG 트래픽 특성이 도시되어 있다. 짧은 관찰(GOP단위) 주기에서는 I, P, B 크기 순의 가변 비트율을, 긴 관찰 주기(장면단위)에서는 장면 복잡도에 따른 출력 트래픽의 량 차이를 알 수 있다. MPEG 부호화 기술에 대한 보다 자세한 설명은 [9]을 참고하기 바란다.

2. CBR 동영상과 VBR 동영상

MPEG으로 부호화된 동영상 트래픽은 VBR 특성을 갖지만 부호화에 의해 발생된 트래픽을 망으로 전송할 때는 ATM이 제공하는 CBR 서비스나 VBR 서비스를 이용할 수 있다. 서비스 선택은 망과 소스 측면에서 각기 다른 장·단점을 갖는다. 먼저 CBR 서비스가 망 관점에서 갖는 장점은 망으로 유입되는 트래픽이 일정하기 때문에 대역폭 할당과 망 사용에 대한 과금이 용이하다는 점과, 망으로 하여금 여러 CBR 채널들을 공통 채널로 다중화 하는 것과 셀 도착 율의 예측 가능성으로 인한 손실 없는 전송 보장을 용이하게 할 수 있다는 것이다^[2]. 하지만 CBR 서비스를 위해서는 부호화에서 가변 화질의 단점을 지닌 CBR 부호화를 사용하거나, VBR 부호화된 데이터를 일정하게 망으로 전송하기 위한 완충버퍼를 사용함으로써 소스 측에서 상당한 시간 지연을 겪게 되고 수신단에서는 그 지연을 보상하기 위한 버퍼를 필요로 한다는 문제점을 갖는다. 이

에 반해 VBR 서비스가 갖는 장점은 통계적 다중화를 통해 망으로 하여금 CBR 서비스를 사용하는 호보다 더 많은 VBR 호를 수용할 수 있게 하고, 소스에게는 같은 평균 비트 율로 전송할 때 CBR보다 좋은 화질을 제공할 수 있다^[3]. 하지만 VBR 서비스를 이용하는 호의 요구 QoS를 만족시키기 위한 망 자원의 최적 할당량을 결정하는 것과 할당된 자원을 효율적으로 사용하기 위한 트래픽 제어가 매우 어렵다. 따라서 VBR 서비스의 장점과 CBR 서비스의 장점을 절충하는 방안이 모색되어야 하는데 그 하나로 MPEG VAS가 제안되었다^[2]. VAS는 동영상의 압축 과정과 다중화 과정을 하나로 통합한 방안으로, 다수의 VBR MPEG 소스들을 망으로 전송하기 전에 응용 층에서 미리 다중화한 후 전송하는 방안이다. 그 결과 개별적인 소스들은 VBR 동영상이지만 다중화 과정을 거친 하나의 소스 묶음은 CBR 동영상이 된다. 이것은 MPEG 표준에서 복수프로그램의 트랜스포트 스트림 다중화 방식과 유사하다. 이 방식의 문제점은 여러 동영상 세션들이 응용 계층에서 다중화 될 수 있어야 하는 통신 시나리오의 제한성으로, 본 논문은 이것을 해결하고자 한다.

3. VBR 동영상 서비스를 위한 트래픽 기술자

현재 ITU-T의 I.371^[10]과 ATM Forum의 TM4.0^[11]에서 '한 ATM 연결의 트래픽 특징을 기술하기 위해서 사용될 수 있는 일반적인 트래픽 파라미터들의 목록'으로 정의된 트래픽 기술자는 실제 호수락제어(Call Admission Control: CAC)를 포함한 예방적인 망 혼잡 제어 방법의 기초와 망에서의 자원 할당 기준을 제공하는데 사용된다. 위의 두 문서에서는 ATM이 제공하는 서비스 영역 중 실시간 VBR 서비스를 위한 트래픽 파라미터 목록으로 PCR(Peak Cell Rate)과 SCR(Sustained Cell Rate)을 규정하고 있다. 따라서 MPEG으로 부호화된 동영상 트래픽을 망으로 전송하기 전에 설정된 트래픽 기술자에 적용시켜야 한다. 하지만 트래픽이 실시간으로 발생된다는 점과 VBR이면서 세션 도중의 갑작스런 장면 변환으로 인하여, 망 사용의 효율성을 보장하면서 요구 화질을 유지할 수 있는 단일 트래픽 기술자를 설정하는 것은 불가능하다.

4. 망 적응 메커니즘

응용을 망에 적응시키는 기법은 일반적으로 지역적 피드백 제어와 망 피드백 제어로 나눌 수 있다.

지역적 피드백 제어는 망 자원을 효율적으로 사용할 수 없다는 단점을 가지며 망 피드백 제어는 혼잡 발생에 대한 반응이 느리고 트래픽 기술자 개념에 적용하지 못하는 단점이 있다. 이러한 두 가지 피드백 제어 기법의 단점들은 본 논문에서 제안하는 두 메커니즘의 결합과 동적 트래픽 기술자 설정 알고리즘으로 해결할 수 있는데 그림 2에 동적 적용 메커니즘이 나타나 있다. 이러한 동적 적용 메커니즘은 전송을 제어 기법이나 계층적 부호화(Hierarchical Encoding) 기법을 사용하는 부호화 전 적용 기법과 데이터 분할^[12]과 같은 부호화 후 적용 기법을 모두 수용할 수 있다.

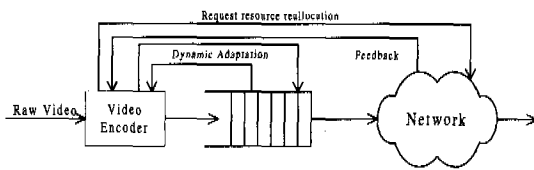


그림 2. 동적 적용 메커니즘

III. 제안한 시스템 모델 및 고속 자원 재할당 프로토콜 (FRRP)

II장에서 언급된 실시간 가변비트율 MPEG 동영상의 트래픽 특성에 기인한 고정된 트래픽 기술자 설정의 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 동영상 세션을 발생된 트래픽에 따라 시간적으로 분할하여 각 구간에서 발생하는 트래픽을 효율적으로 기술할 수 있는 트래픽 기술자를 설정한 후, 망과의 재협상 과정을 통해 망 자원을 재할당하고 재할당된 자원에 트래픽을 적용시키는 ‘고속 자원 재할당 (Fast Resource Reallocation Protocol: FRRP) 프로토콜’을 제안한다. 망과의 재협상 과정은 ATM의 OAM 셀을 통해 이루어진다. OAM 셀을 이용하는 일종의 In-band 시그널링을 통해 동적으로 협상된 트래픽의 정보는 망 자원의 효율적 관리를 가능하게 하고 소스의 망 이용도를 높인다. FRRP는 소스 측면에서의 과정과 망 측면에서의 과정으로 구성된다. 본 절에서는 먼저 제안된 방안이 효율적으로 운용될 수 있는 시스템 모델을 제안한 후, FRRP에 대해 기술한다.

1. 제안하는 시스템 모델

ATM에 기반하는 B-ISDN의 자원 관리 측면에서 가상경로(Virtual Path: VP) 개념의 도입이 갖는 장

점은 가상채널(Virtual Channel: VC)들의 통계적 다중화를 통한 비용효과와 단순한 호수락제어에 있다^{[13][14]}. 또한 서비스 유형에 따라 각기 다른 VP를 운용함으로써 서비스의 품질(QoS)과 등급(Grade of Service: GoS) 보장이 용이하다. 따라서 제안 모델에서도 같은 경로를 갖는 다수의 동영상 호들을 하나의 VP를 통해 전달하며 이것을 가상트렁크라 명명한다. 가상트렁크는 그림 3에 도시되어 있는 동영상 서비스 시나리오와 앞으로 전개될 망 토폴로지에 쉽게 적용될 수 있다.

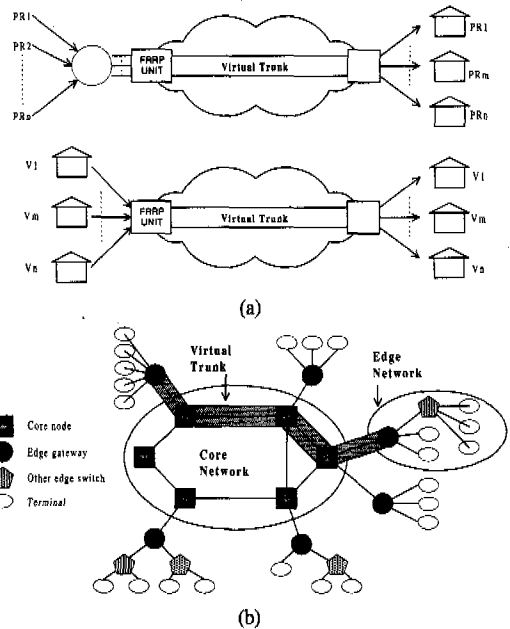


그림 3. 동영상 서비스 유형과 망 토폴로지

(a) 동영상 서비스 유형, (b) 망 토폴로지

그림 4에는 본 논문에서 제안하는 시스템 모델이 도시되어 있다. 제안 모델은 II장에서 언급한 실시간 VBR MPEG-2 동영상 트래픽 전송의 문제점을 해결할 수 있는 다양한 기술이 통합된 구조를 갖는다. 먼저 제안 시스템 모델에서는 MPEG-2 시스템을 사용함으로써 고화질 동영상을 필요로 하는 사용자의 욕구를 충족시킬 수 있다. 제안 모델은 표준 MPEG 동영상 부호기에 본 논문에서 제안한 프로토콜 기능을 수행하는 FRRP 제어가 부착되어 발생 트래픽에 대한 트래픽 기술자를 동적으로 계산(1)하여 필요한 자원을 망에 요청(2)한다. 가상트렁크의 액세스 노드에 있는 FRRP 유닛은 FRRP 제어기로부터의 자원 재할당 요청을 처리(3)하여 가상트렁크로 들어오는 트래픽을 동적으로 제어(3)할

수 있게 한다. FRRP 유닛으로부터의 자원재할당 결과를 통보 받은 FRRP 제어기는 트래픽을 줄여야 할 때 자원재할당을 요청한 트래픽에 해당하는 프레임들을 분할하여 낮은 우선 순위에 있는 부분들을 폐기(4)한다. 그리고 FRRP 유닛으로부터 통보 받은 망 상황에 맞게 KEEPER(leaKy buckEt with cEll sPacER)^[15] 파라미터들을 조정(5)한다. 또한 FRRP 제어기는 KEEPER 버퍼를 감시하여 버퍼의 채워짐 정도가 임계값을 넘으면 울제어를 통해 버퍼의 오버플로우와 언더플로우를 막는다. 이러한 시스템 모델 상에서 운용될 FRRP 세부 메커니즘이 다음 소절에서 기술된다.

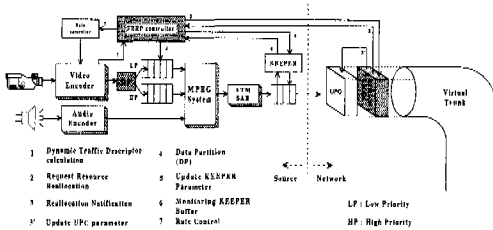


그림 4. 제안하는 시스템 모델

2. FRRP의 소스 측 메커니즘

소스 측면에서의 FRRP 메커니즘은 트래픽 기술자들을 동적으로 계산하는 과정, OAM 셀을 이용하여 트래픽 기술자들을 망과 협상하는 과정, 그리고 협상된 트래픽 기술자들을 바탕으로 트래픽 량을 조정하는 과정으로 세분된다.

먼저 트래픽 기술자, (SCR, PCR, BL)의 동적 계산 과정은 Daniel 방식[4]으로 행해진다. 즉, GOP 크기의 슬라이딩 윈도우(크기는 W) 안에서 부호화된 프레임들 크기를 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$BL = \max [C_Q(n)] \tag{1}$$

$$PCR = \frac{1}{T} \cdot BL \tag{2}$$

$$SCR = ACR + w \cdot (PCR - ACR), \quad 0 \leq w \leq 1 \tag{3}$$

$$ACR = \frac{\sum_{n=1}^W C_Q(n)}{W} \tag{4}$$

여기서 T 는 MPEG 프레임 주기, $C_Q(n)$ 은 셀 개수로 표시되는 프레임 크기이다.

FRRP 메커니즘의 두 번째 부분은 위에서 계산된 (PCR, SCR) 쌍으로 이루어진 트래픽 기술자를 망과 협상하는 부분이다. 우리는 망과의 협상 횟수를 조절하기 위해, 현재 설정된 트래픽 기술자의 SCR 값(SCR_{TP})과 슬라이딩 윈도우 내에서 계산된 SCR 값(SCR_{SW})과의 차이율이 미리 결정된 임계값 (threshold)을 넘는 경우에만 망과의 협상이 이루어지도록 한다.

$$\frac{|SCR_{SW} - SCR_{TP}|}{SCR_{TP}} \times 100 > threshold_i \tag{5}$$

그리고 결정된 트래픽 기술자(PCR(8bits), SCR(8bits))를 OAM 셀에 실기 위해 그림 5에 도시된 ATM OAM 셀 형식의 특별 영역 중 유보된 부분을 사용한다. 세션이 지속되는 가운데 In-band 시그널링을 통한 소스와 망 간의 트래픽 재협상 메커니즘은 현재 설정된 트래픽 기술자에 적용하지 않는 소스 발생 트래픽을 적응시키기 전에, 발생 트래픽에 해당하는 새로운 망 자원을 요청하여 그 결과에 따라 발생 트래픽을 적응시키므로써 현재의 망 상황에 최대로 적응할 수 있는 기회를 부여한다. FRRP의 In-band 시그널링에 필요한 OAM 셀은 자원재할당을 위한 재할당요청(Reallocation reQuest: RQ) 셀과 자원재할당 결과에 따라 적용된 트래픽을 이끄는 트래픽안내(Traffic Pilot: TP) 셀이다. RQ 셀과 TP 셀의 발생 빈도수는 발생한 소스 트래픽의 제어 횟수를 결정하는데, MPEG 트래픽의 특성상 매 프레임 단위로 발생하는 것이 발생 소스 트래픽 제어에 효과적일 것이다. 하지만 발생 트래픽을 위해 할당되는 대역폭에 부가적으로 OAM 셀을 위한 대역폭을 할당해야 한다는 점과 망에서 RQ 셀과 TP 셀의 처리가 빈번해진다는 점에서 그 발생 횟수는 제한되어야 한다. RQ 셀의 발생 시점은 RQ 셀에 실린 트래픽 정보에 해당하는 소스 발생 트래픽이 실제로 망으로 전송되는 시점에서 RQ 셀이 망에서 자원 협상을 마치고 귀환되는 시간을 뺀 시점이 된다. 따라서 소스는 왕복 지연 시간 동안 해당 트래픽을 저장한 후 TP 셀을 선두로 트래픽을 전송한다. 이것은 FRRP를 사용하는 응용의 단대단 지연 조건에 영향을 끼치는데, 일반적으로 멀티미디어 정보의 최대 단대단 지연의 제한은 해당 응용 서비스에 따라 100ms(화상회의의 경우)에서부터 1s(단방향 방송의 경우) 사이에 분포한다^[16]. RQ 셀의 왕복 지연 시간(Round Trip Delay: RTD_{RQ})은 가상트

링크의 액세스 노드까지의 셀 전파 지연(Propagation Delay: PG_{RQ})과 액세스 노드에 있는 FRRP 유닛에서의 처리시간(Processing Time: PC_{RQ})으로 이루어진다.

$$RTD_{RQ} = 2 \times PG_{RQ} + PC_{RQ} \quad (6)$$

소스는 호 설정 시 RQ 셀의 왕복 지연 시간에 대한 정보를 획득할 수 있는 것으로 가정하고, 실제 FRRP를 적용하기 위해 필요한 소스에서의 총 지연 시간($Delay_{tot}$)은 RTD_{RQ} 와 발생 트래픽을 협상된 트래픽 기술자에 적용시키기 위한 지연(Adaptation Delay: AD)의 합으로 계산되고, AD 는 망과 협약된 기술자에 적용하지 못하는 트래픽을 분할하는데 걸리는 지연(Data Partition Delay: DPD)과 트래픽 셰이핑을 위한 지연(Traffic Shaping Delay: TSD)으로 이루어진다.

$$Delay_{tot} = RTD_{RQ} + AD \quad (7)$$

$$AD = DPD + TSD \quad (8)$$

FRRP의 마지막 소스 측 메커니즘은 망 자원의 재할당 결과에 따른 소스 트래픽 적용으로서, 소스가 망 상황에 동적으로 적응할 수 있도록 한다.

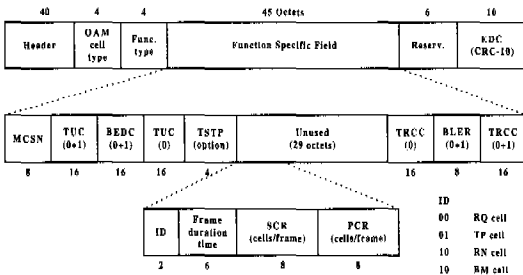


그림 5. ATM OAM 셀 구성

이것은 최근의 망 기술 진화와 멀티미디어 응용들의 개발 확산이 데이터를 망으로 전송할 때 사용자와 응용에게 보다 많은 제어권을 주는 것을 반영한 것이다. 소스로 하여금 망 상황에 능동적으로 적응하게 하는 것은 데이터의 보다 효율적 전송을 가능하게 하고 망에서의 자원 관리를 향상시킬 수 있다. 이러한 망 적응 기술로 MPEG에서는 계층화된 부호화(layered coding)나 데이터 분할(data partition) 방안, 그리고 율제어(rate control) 방안을 사용하는데 이러한 기존 기술들은 FRRP에 쉽게 적용될

수 있다. 즉 망으로부터의 피드백 정보는 현재의 망 상황(자원의 사용 정도)에 대한 것으로, 소스로 하여금 그 혼잡 정도에 따라 여러 계층으로 부호화되거나 분할된 트래픽의 전송 적정 계층을 선택할 수 있게 하고, 계속되는 혼잡 상황으로 인해 소스 버퍼의 채워짐 정도가 어느 수준 이상이 되면 율제어기로 하여금 양자화 인자 값을 증가시켜 트래픽 발생율을 낮추도록 할 것이다.

3. 망 측면에서의 FRRP 메커니즘

망 측면에서의 FRRP 메커니즘은 수신된 RQ 셀과 TP 셀을 통한 각 세션의 트래픽 정보를 바탕으로 망 자원을 공정하게 재분배하는 가상 트렁크 액세스 노드의 FRRP 유닛, 가상 트렁크를 이루는 각 노드에서 망으로 전송되는 실제 트래픽에 의한 내부 버퍼의 채워짐 정도를 감시하는 자원관리자(resource manager), 그리고 두 모듈의 상호작용에 의해 실행된다. 자원 관리자는 망 자원을 가상 채널(VC)별로 관리하는데, 이것은 망 자원 관리 정책의 개별성과 효율성을 높여준다. 여기서 개별성이란 호 설정 시 각각의 호에 할당된 자원이 망 조건의 변동에 관계없이 항상 보장된다는 것이다. 즉 망과 협상된 트래픽 기술자를 초과하는 트래픽을 전송하는 소스에 의해서 다른 소스가 자신의 보장된 자원을 할당받지 못하는 경우를 배제하는 것이다. 또한 효율성이란 망 자원을 부분적으로 공유함으로써 자신에게 보장된 자원 이하로 사용하는 소스의 자원을 다른 소스에게 분배하는 것이다. 결국 FRRP의 망 내부 메커니즘은 자원 관리자로 하여금 RQ 셀과 TP 셀을 통해 정확한 소스 정보를 통보 받게 하여 그 정보를 바탕으로 망 자원의 공정한 공유를 가능하게 하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 위해 각 스위치 내부의 자원관리자는 표 1과 같은 자원 할당표를 관리한다.

표 1. 자원할당표

TD at Call Setup		TD at Current Time		TD at Next Time	
PCR_{CS}	SCR_{CS}	PCR_{CT}	SCR_{CT}	PCR_{NT}	SCR_{NT}
PCR^1_{CS}	SCR^1_{CS}	PCR^1_{CT}	SCR^1_{CT}	PCR^1_{NT}	SCR^1_{NT}
PCR^2_{CS}	SCR^2_{CS}	PCR^2_{CT}	SCR^2_{CT}	PCR^2_{NT}	SCR^2_{NT}
:	:	:	:	:	:
PCR^n_{CS}	SCR^n_{CS}	PCR^n_{CT}	SCR^n_{CT}	PCR^n_{NT}	SCR^n_{NT}

표 1의 첫 번째 트래픽 기술자(TD at Call

Setup)는 호 설정 시 망과 협약된 값들로서 어떠한 경우에도 해당 호에 보장되어야 할 값이다. 두 번째 트래픽 기술자(TD at Current Time)는 현재 각각의 호에 할당된 망 자원을 나타낸다. 마지막 트래픽 기술자(TD at Next Time)는 자원재할당 요청을 시도한 호가 있을 경우, 자원관리자가 망 자원을 임시로 재할당한 결과를 나타낸다. 자원할당표 관리에 대한 자세한 설명은 세부 절에서 기술한다.

1) 가상트렁크 액세스 노드에서의 OAM 셀 처리

가상트렁크의 액세스 노드에 있는 자원관리자(FRRP 유닛)가 소스로부터 RQ 셀을 수신하였을 경우, 셀에 실린 트래픽 정보에 해당하는 자원요구량을 가상트렁크가 수용할 수 있는 지를 조사한다. 자원요구량이 현재 호에 할당된 자원량보다 작은 경우는 당연히 자원재할당되고, 그렇지 않은 경우 다음과 같은 계산과정을 거치게 된다. 자원재할당을 요청한 호의 현재 할당된 대역폭 SCR_{CT} 대신 RQ 셀에 실린 재할당 요구 대역폭 SCR_{RQ} 을 나머지 호들의 할당 대역폭 합에 합산한 결과가 가상트렁크의 총 용량보다 작으면 자원재할당 요청은 성공하고, 그렇지 않으면 자원재분배가 일어난다. 자원재분배가 일어나는 첫 번째 경우로, 재할당 요구 자원이 호 설정 시 망에 의해 보장된 자원보다 적지만 다른 채널들이 호 설정 시 망과 계약된 값 이상으로 망 자원을 사용하고 있을 때 발생할 수 있다. 이 경우 먼저 자원재할당 요청 호에게 요구 자원을 할당하고 그 후 남은 자원을 다른 채널들에게 재분배한다. 자원재분배 발생의 두 번째 경우는 요구 자원이 호 설정 시 망에 의해 보장된 자원보다 크고 현재의 가상트렁크 여유 자원보다 클 때 발생하는데, 이 경우 자원관리자는 호 설정 시 망과 협약된 자원 이상을 할당받은 채널들의 수와 호 설정 시 망과 협약된 자원 이하를 할당받은 채널들의 여유 자원 총량을 계산한 후, 초과할당이 필요한 채널들에게 공정하게 분배한다. 호 설정 시 보장된 자원 이상을 필요로 하는 각 채널들에게 재할당되는 자원량은 $SCR_{CS} + (\text{여유 자원 총량}) / (\text{초과할당 채널 수})$ 이다. 초과할당이 필요한 채널 중 초과할당량이 분배 몫보다 작은 채널의 경우, (분배 몫-초과할당량)에 해당되는 자원이 나머지 초과할당 필요 채널에 더 할당될 수 있다. 보다 자세한 계산 알고리즘은 다음과 같다.

$$\text{if } SCR^i_{RQ} + \sum_{j=1}^n SCR^j_{CT} - SCR^i_{CT} \leq \sum_{j=1}^n SCR^j_{CS}$$

then begin {Reallocation Success}

$$SCR^i_{NT} := SCR^i_{RQ}; PCR^i_{NT} := PCR^i_{RQ};$$

j := 1;

while (j <= n and j != i) do begin

$$SCR^j_{NT} := SCR^j_{CT}; PCR^j_{NT} := PCR^j_{CT};$$

j := j + 1;

end

end

else begin {Reallocation Failure}

$$SCR^i_{CT} := SCR^i_{RQ}; PCR^i_{CT} := PCR^i_{RQ};$$

for j := 1 to n do

if (($SCR^j_{CT} - SCR^j_{CS}$) > 0) then

begin

$$\text{Surplus} := \text{Surplus} + SCR^j_{CS} - SCR^j_{CT};$$

$$SCR^j_{NT} := SCR^j_{CT}; PCR^j_{NT} := PCR^j_{CT};$$

end

else begin

$$\text{Count} := \text{Count} + 1$$

$$\text{Deficit}[\text{Count}, 1] := SCR^j_{CT} - SCR^j_{CS}$$

$$\text{Deficit}[\text{Count}, 2] := j$$

end

end

Reorder Deficit[,] in increasing order of Deficit

[, 1];

for j := 1 to Count do begin

if ($\text{Deficit}[j, 1] \leq \text{Surplus} / (\text{Count} - j + 1)$)

then begin

$$\text{Surplus} := \text{Surplus} -$$

$$(\text{SCR}^{\text{Deficit}[j, 2]}_{CT} - \text{SCR}^{\text{Deficit}[j, 2]}_{CS});$$

$$SCR^{\text{Deficit}[j, 2]}_{NT} := \text{SCR}^{\text{Deficit}[j, 2]}_{CT};$$

$$PCR^{\text{Deficit}[j, 2]}_{NT} := PCR^{\text{Deficit}[j, 2]}_{CT};$$

end

else begin

$$SCR^{\text{Deficit}[j, 2]}_{NT} := \text{SCR}^{\text{Deficit}[j, 2]}_{CS} +$$

$$\text{Surplus} / (\text{Count} - j + 1);$$

$$PCR^{\text{Deficit}[j, 2]}_{NT} := PCR^{\text{Deficit}[j, 2]}_{CT};$$

end

end

end

위의 알고리즘을 사용하여 계산된 자원재할당 결과는 자원할당표의 세 번째 트래픽 기술자 칸에 기입된 후, 그 값이 현재 할당되어 있는 자원량과 차이가

나는 호에 재할당된 자원량을 통보하게 된다. FRRP 유닛이 각각의 호에 자원할당량을 통보할 때 사용하는 OAM 셀을 '재할당 통보(Reallocation Notification: RN) 셀'이라 한다. FRRP 유닛은 가상트렁크 내부의 노드에게도 RN 셀을 통해 재할당된 결과를 통보하고, 셀을 수신한 노드의 자원관리자는 자신이 관리하는 자원할당표의 새 번째 난에 결과 값을 기입한다.

가상트렁크의 액세스 노드에 있는 FRRP 유닛과 다른 내부 노드의 자원관리자가 특정 호에게서 전송된 TP 셀을 수신하면 자신이 관리하는 자원할당표의 새 번째 트래픽 기술자를 현재의 트래픽 기술자 값들로 갱신하고, FRRP 유닛은 갱신된 트래픽 기술자 값들을 각 채널의 UPC 제어에 사용한다.

2) 가상트렁크 내부 노드에서의 버퍼 자원 할당과 버퍼 감시 기능

MPEG으로 부호화된 트래픽의 특성은 프레임 단위로 보았을 때 구분적 항등비트를(piecewise CBR)을 가지며, 프레임보다 큰 단위(예를 들어 GOP 단위, 장면 단위)로 보았을 때 가변비트를 특성을 갖는다. MPEG 트래픽 특성을 분석하는 단위의 크기가 증가함에 따라 보다 단순한 트래픽 제어의 장점을 가지지만, 그에 수반하는 부정확한 트래픽 기술의 단점을 갖는다. FRRP는 설정된 특정 트래픽 기술자의 지속 기간을 트래픽 분석의 관찰 단위로 삼는다고 할 수 있다. (PCR, SCR)로 기술되는 트래픽의 관찰 기간동안, 가상트렁크 내부의 한 노드에서 버퍼 채워짐의 분석은 다음과 같은 큐잉 모델로 수행될 수 있다. 한 프레임 지속 시간 F 동안 발생하는 셀의 개수를 λ 라 할 때, 특정 j 프레임에서 셀 도착 프로세스는 F/λ 로 일정하고 서비스율은 F/SCR 로 또한 일정하다. 따라서 버퍼의 크기가 무한하다고 가정하면, 특정 프레임의 지속 기간동안 최대 버퍼 채워짐의 정도는 $D/D/1$ 큐잉 모델에 따라 다음과 같이 계산된다^[17].

$$\begin{aligned}
 buf_i &= \{ \text{number of arrivals in the interval } (0, F] \} - \\
 &\{ \text{number of services completed in } (0, F] \} \\
 &+ buf_{i-1} \\
 &= \left\lfloor \frac{F}{F/\lambda_i} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{F - F/\lambda_i}{F/SCR} \right\rfloor + buf_{i-1} \quad (9)
 \end{aligned}$$

따라서 특정 트래픽 기술자의 지속 기간동안 최대 버퍼 증가량은 PCR로 트래픽이 발생하는 프레임을 서비스할 때 일어나는데 그 양은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \Delta buf_{max} &= PCR - [SCR - \frac{SCR}{PCR}] \\
 &= PCR - SCR + 1 \quad (10)
 \end{aligned}$$

따라서 특정 TP 셀을 통한 버퍼자원의 재분배는 자원할당표의 TD at Current Time 난에 적힌 각 채널의 트래픽 기술자 정보를 바탕으로 다음과 같이 배분된다.

$$buf_i = BUF \times \frac{(PCR^i_{CT} - SCR^i_{CT})}{\sum_j PCR^j_{CT} - \sum_j SCR^j_{CT}} \quad (11)$$

$$BUF = BW_{VT} \times D_{max} \quad (12)$$

여기서 $BW_{VT} (= \sum_j SCR^j_{CS})$ 는 가상트렁크 용량을 의미하고, D_{max} 는 가상트렁크 내부의 단일 노드에서 발생할 수 있는 최대 지연을 의미한다.

자원관리자는 각 채널 버퍼(buf_i)의 채워짐 정도를 감시하는데, 특정 채널 버퍼의 채워짐 정도가 임계값을 넘으면 앞단 노드의 자원관리자에게 BM (Buffer Management) 셀을 통해 혼잡을 통보하여 출력율을 낮추도록 할 수 있으며, 혼잡의 지속 시 가상트렁크의 액세스 노드가 소스에게 전송율을 낮추도록 요구할 수 있다. 자원관리자는 가상트렁크 내의 모든 채널 버퍼의 채워짐 정도가 총 버퍼량보다 작을 경우 버퍼의 완전 공유를 통해 채널 버퍼의 용량을 초과하는 채널의 트래픽도 수용하지만, 채워짐 정도가 총 버퍼량을 초과할 때 각 채널 버퍼의 용량을 기준으로 셀 손실 처리를 한다. 그림 6에 가상트렁크를 이루는 노드의 내부 모델이 도시되어 있다.

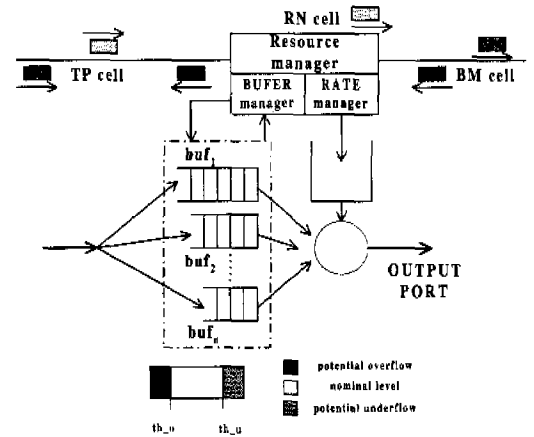


그림 6. 가상 트렁크 노드의 내부 모델

IV. 실험 결과 및 고찰

본 절에서는 실시간으로 발생하는 VBR 동영상 효율적으로 전송하기 위해 제안된 동적 적응성을 가진 고속자원재할당 프로토콜(FRRP)의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 먼저 FRRP 성능 분석을 위해 시뮬레이션에 사용될 동영상 서비스 모델을 설정한 후, 설정된 모델 상에서 얻어진 결과를 분석한다. 사용된 동영상 트래픽은 'Star Wars' MPEG 트래픽으로서 표 2에 트래픽의 통계치가 정리되어 있다. 시뮬레이션은 범용 시뮬레이션 언어인 SLAM II를 사용하였다.

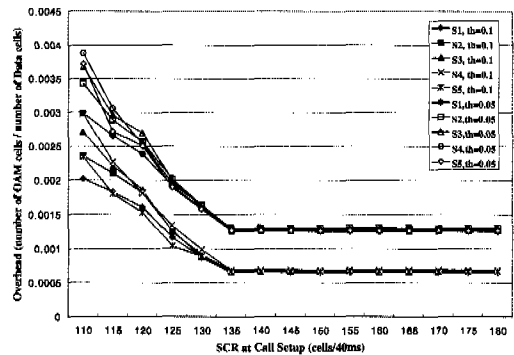
표 2. Star Wars 트래픽의 프레임당 비트 수

프레임	통계			
	최대값	최소값	평균값	표준편차
IBP	124816	272	913.32	12903
I	124816	13728	44012	14138
B	52016	272	4668.7	4266.2
P	52008	720	17000	12722

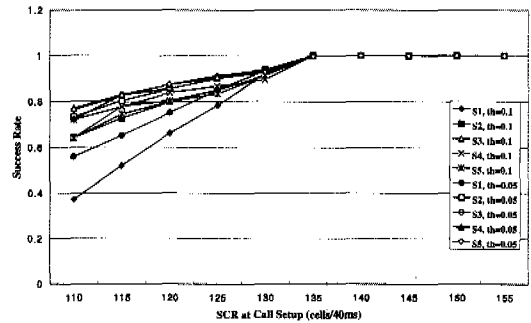
1. 시뮬레이션 모델

본 실험에서는 VBR MPEG 동영상 트래픽을 갖는 소스들을 단일 패킷 스위치이며 비봉쇄(Non-blocking) 스위치로 구성된 망으로 전송하는 경우, 동적으로 트래픽 기술자를 설정하는 FRRP를 사용할 때와 고정된 단일 트래픽 기술자를 사용할 때의 성능 비교를 수행한다. 여기서 비봉쇄 스위치란 어떠한 경쟁도 없이 유입 패킷을 적당한 출력포트로 경로배정 할 수 있는 스위치로서 서로 다른 출력포트로 향하는 패킷들은 방해받지 않으므로 출력포트들에서만 큐잉 지연이 발생한다. 본 시뮬레이션에 사용되는 동영상 소스들은 실제 MPEG 트래픽을 발생하는데, 발생한 트래픽의 평균값과 최대값이 같은 동종(Homogeneous) 트래픽이다. 각각의 소스는 설정된 트래픽 기술자로 발생 트래픽을 제어하기 위해 KEEPER을 사용하는데, 트래픽의 PCR을 조정하는 두 번째 리키 버킷(셀 스페이스)의 토큰 발생율을 FRRP에서 계산되는 PCR로 동일한다. 이렇게 구성된 다수(5개, 10개)의 소스들은 다른 노드를 거치지 않고 바로 가상트렁크의 액세스 노드에 도달한다고 가정함으로써 소스에서 가상트렁크 액세스 노드의 FRRP 유닛까지 걸리는 전파지연을 무시하

고, 또한 FRRP 유닛에서의 OAM 셀 처리가 하드웨어적으로 이루어진다는 가정 하에 그 처리시간을 고려하지 않는다. 사실 FRRP에서 요구되는 지연은 소스에서 트래픽 예측 기법^{[9],[12],[13]}을 사용함으로써 상당히 줄일 수 있다. 그리고 스위치에서 발생할 수 있는 최대 지연은 8ms으로 가정하여, 스위치 내부 버퍼의 크기는 가상트렁크 용량(cells/40ms) × 8ms으로 결정된다.



(a)



(b)

그림 7. FRRP의 오버헤드

- (a) 자원재할당 요청율,
- (b) 자원재할당 요청 성공율

2. 실험 결과와 분석

그림 7은 40ms 당 하나의 MPEG 프레임을 발생하여 12500 프레임 동안 지속되는 동영상 호의 전송된 실제 데이터 셀 수에 대한 자원재할당을 위해 전송한 OAM 셀 수의 비율과 요청된 자원 양을 할당받을 수 있는 성공율로서, FRRP에서 필요한 In-band 시그널링에 사용될 여분의 대역폭 량과 망 적응을 위한 소스에서의 특정 절차 수행 횟수를 각각 결정하므로 제안 프로토콜의 오버헤드를 나타낸다고 할 수 있다. 결과는 호 설정 시 할당받는 자원의 크기가 증가함에 따라 감소하는 것을 알 수 있

으며 또한 재할당 요구를 트리거시키는 임계값을 증가시킴으로서 오버헤드를 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 8은 고정된 단일 트래픽 기술자를 사용하는 기존 방식과 동적 트래픽 기술자를 사용하는 FRRP의 망 버퍼의 채워짐 정도를 비교하기 위해 전자의 큐 길이와 후자의 큐 길이 차이를 도시한 것이다. 결과는 1ms 단위로 20초 동안 큐의 길이를 관찰한 것으로, FRRP의 큐 길이가 단일 트래픽 기술자를 사용할 때보다 아주 짧음을 알 수 있다.

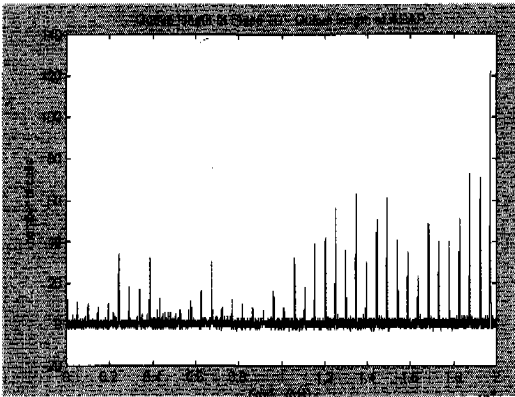


그림 8. 큐 길이 비교

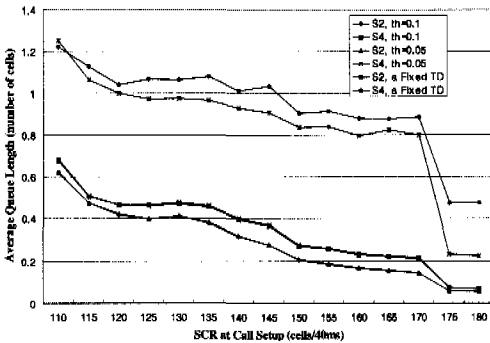
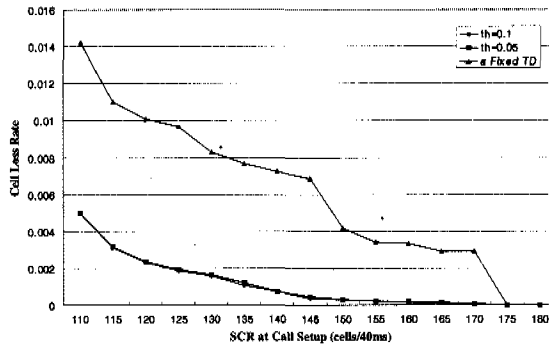


그림 9. 평균 큐 길이 비교

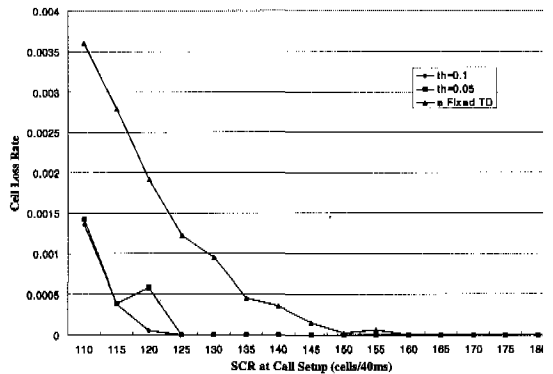
그림 9는 FRRP의 두 임계값(0.1과 0.05)에 대한 샘플 채널의 평균 큐 길이와 고정된 트래픽 기술자 사용 시의 샘플 채널의 평균 큐 길이를 비교한 것으로서 FRRP를 사용했을 때 평균 큐 길이가 상당히 줄어든다는 것을 알 수 있고, 이것은 망에서의 지연 감소를 의미한다는 점에서 채널의 경로가 다중 홉(hop)으로 이루어 질 때 더 큰 차이 효과가 발생함을 짐작할 수 있다.

그림 10은 5개, 10개 소스들을 망으로 전송할 때

발생한 셀 손실율을 비교한 것이다. 호 설정 시 소스와 망이 협약한 SCR이 증가함에 따라 셀 손실율은 감소하는 것을 알 수 있으며, 또한 FRRP는 고정된 단일 트래픽 기술자의 경우에 발생한 셀 손실율의 5 ~ 34.9%에 해당하는 셀 손실율을 갖는 것을 알 수 있다. 이것은 MPEG으로 부호화된 트래픽의 특성을 단일 트래픽 기술자만으로는 효율적으로 나타낼 수 없음을 나타내며, 제안된 프로토콜이 보다 효율적으로 망 자원을 사용하는 것을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 10. 셀 손실율 비교

(a) 5개의 소스, (b) 10개의 소스

V. 결론

본 논문에서는 ATM이 제공하는 VBR 서비스를 이용하여 실시간으로 발생하는 MPEG 동영상 트래픽을 전송할 때, 호 설정 시 망과 협상된 트래픽 기술자에 의해 트래픽을 제어하고 자원을 할당받는 기존 방식에 대한 문제점을 제기하고 그 해결책으

로 동적 적응성을 가진 고속자원재할당 프로토콜(FRRP)을 제안하였다. 제안한 프로토콜은 MPEG 고유의 부호화 방식에 기인한 트래픽 양의 가변적 특성, 세션 지속시간 동안 여러 번의 장면 변화, 트래픽의 실시간성으로 인해 세션의 발생 트래픽을 단일 트래픽 기술자로 특징짓는 어려움을 인식하여 세션을 트래픽 발생 정도에 따라 분할하여 각 구간의 발생 트래픽을 개별 트래픽 기술자로 특징지으며, 이러한 트래픽 기술자들은 해당 세부 세션이 시작될 때 ATM의 OAM 셀을 통해 망과 협상되고 그 결과는 즉시 소스에 귀환되어 소스로 하여금 망 상황에 빨리 적응할 수 있게 한다.

시뮬레이션 결과는 제안 프로토콜을 수행하기 위해 추가되는 오버헤드는 그리 크지 않고(최대 0.4%) 제안 방안이 기존 방안 보다 망에서의 큐잉 지연이 훨씬 적어 다중 홉의 경로를 갖는 호의 경우 단대단 지연의 상당한 감소효과를 얻을 수 있으며 셀 손실 율에 있어서도 기존 방안의 5 ~ 34.9%에 해당하는 손실 율을 갖는다. 따라서 제안 프로토콜은 기존 방안 보다 망 자원을 더 효율적으로 사용하여 셀 손실 율과 평균 지연 면에서 보다 나은 성능을 보인다.

앞으로의 연구 내용으로는 FRRP에서 필요한 지연을 줄일 수 있는 소스에서의 트래픽 예측 기법의 효용성 검증과 데이터 분할 기법이나 계층적 부호화 기법이 FRRP와 갖는 친화성을 검증하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. Gringeri, et. al., "Transmission of MPEG-2 Video Streams over ATM," *IEEE Multimedia*, pp.58-71, Jan.-Mar. 1998.
 [2] S. C. Lie and C.-Y Tse, "Video Aggregation: Adapting Video Traffic for Transport Over Broadband Networks by Integrating Data Compression and Statistical Multiplexing," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, No. 6, pp.1123-1137, Aug. 1996.
 [3] A. R. Reibman and A. W. Berger, "Traffic Descriptors for VBR Video Teleconferencing Over ATM Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 3, pp.329-339, Jun. 1995.
 [4] D. J. Reininger, D. Raychaudhuri, and J. Y.

Hui "Bandwidth Renegotiation for VBR Video Over ATM Networks," *IEEE Journal on Selected Area in Communications*, Vol. 14, No. 6, pp.1076-1085, Aug. 1996.
 [5] H. Kanakia, P. P. Mishra, and A. R. Reibman, "An Adaptive Congestion Control Scheme for Real-Time Packet Video Transport," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, Feb. 1996.
 [6] M. Hamdi, J. W. Roberts, and P. Rolin, "Rate Control for VBR Video Coders in Broad-Band Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15 No. 6, pp.1040-1051, Aug. 1997.
 [7] H. Saito, "Dynamic Resource Allocation in ATM Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp.146-153, May 1997.
 [8] S. Chong, S.-Q Li, and J. Ghosh, "Predictive Dynamic Bandwidth Allocation for Efficient Transport of Real-Time VBR Video over ATM," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 13, No. 1, pp.12-23, Jan. 1995.
 [9] D. Le Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications," *Commun. ACM*, vol. 4, pp.305-313, Apr. 1991.
 [10] Traffic control and congestion control in B-ISDN, *ITU-T Recommendation I.371*, Aug. 1996.
 [11] *ATM Forum*, Traffic Management Specification Version 4.0, April, 1996.
 [12] A. Eleftheriadis and D. Anastassiou, "Optimal Data Partitioning of MPEG-2 Coded Video," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 1998 (to appear).
 [13] J. Burgin and D. Dorman, "Broadband ISDN Resource Management: The Role of Virtual Paths," *IEEE Communications Magazine*, pp. 44-48, Sep. 1991.
 [14] K. Liu, D. W. Petr, and V. S. Frost, "Design and Analysis of a Bandwidth Management Framework for ATM-Based Broadband ISDN," *IEEE Communications Magazine*, pp.138-145, May 1997.
 [15] B. V. Patel and C. C. Bisdikian, "End-Station Performance under Leaky Bucket Traffic

Shaping," *IEEE Network*, pp.40-47, Sep/Oct. 1996.

- [16] I. Dalgic and R. A. Tobagi, "Performance Evaluation of ATM Networks Carrying Constant and Variable Bit-Rate Video Traffic," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 6, pp.1115-1131, Aug. 1997.

- [17] D. Gross, C. M. Harris, "Fundamentals of Queueing Theory 2nd Edition," *John Wiley & Sons*, 1985.

홍 승 은(Seung-Eung Hong)

정회원



1997년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업
1999년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
1999년 3월~현재 : 고려대학교 통신시스템기술학과 박사과정

<주관심 분야> B-ISDN/ATM, Wireless ATM, Wireless TCP/IP, MAC 프로토콜, 멀티미디어 통신

장 경 훈(Kyung-Hun Jang)

정회원



1993년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업
1995년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
1998년 2월 : 고려대학교 전자공학과 박사

1998년 3월~1999년 2월 : 고려대학교 부설 정보·통신기술공동연구소 연구조교수
1999년 3월~현재 : 삼성전자 중앙연구소 선임연구원

<주관심 분야> 개인이동통신, AIN, B-ISDN/ATM IMT-2000,

김 덕 진(Duck-Jin Kim)

정회원

1957년 3월 : 서울대학교 통신공학과 졸업
1962년 1월 : 미국 일리노이 공과대학 (I.I.T.) 전기공학과 석사

1972년 2월 : 고려대학교 공학박사

1971년 3월~1999년 2월 : 고려대학교 전자공학과 교수

1999년 3월~현재 : 고려대학교 전자공학과 명예교수

<주관심 분야> 광대역 통신망, 통신 프로토콜, AIN, 멀티미디어 통신

고 성 제(Sung-Jea Ko)

정회원

1980년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업

1986년 5월 : State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과 석사

1988년 8월 : State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과 박사

1981년 8월~1983년 12월 : 대한전선 중앙연구소 연구원

1988년 8월~1992년 5월 : The Univ. of Michigan Dearbon, 전기 및 컴퓨터공학과 조교수

1992년 3월~현재 : 고려대학교 전자공학과 교수

1997년~현재 : IEEE Senior member, IEE member

1996년 11월 : IEEE APCCAS best paper award

1997년 12월 : 대한전자공학회 해동 논문상

<주관심 분야> 신호 및 영상처리, 영상 압축 및 통신, 멀티미디어 통신 등