

ATM 망에서의 호 접속 제어 방식 및 ABR 트래픽 분석

A Study on Call Admission Control and ABR Traffic in ATM Networks

이 수 경, *송 주 석

요 약

ATM 방식을 근간으로 한 광대역 통신망이 확산됨에 따라 멀티미디어 서비스 특히, 인터넷 서비스의 지원이 일반적인 추세이다. 이처럼 다양한 서비스에 의해 발생된 트래픽은 단순히 망 부하의 증가에 그치는 것이 아니라, 다양한 QoS를 요구하고 있다. 다양한 QoS와 높은 대역폭 사용도의 동시만족이란 과제가 ATM 망에서 주요 목표임이 확실시되면서 많은 호 접속 제어 방식이 제안되었고 계속해서 연구되고 있다. 특히, 자원 할당이란 주요 기능을 내재하고 있는 호 접속 제어는 이전의 정적 할당 대신 동적 할당을 주요 방식으로 사용하고 있다. 망 내의 트래픽 형태를 특정 참조 모델로 규정지을 수 없을 경우, 호 접속 제어 시에 동적인 대처는 더욱 효율적이다. 아울러 셀 단위의 전송률 제어가 필수적인 ABR 트래픽에 대해 정적 할당을 채택하는 호 접속 제어는 VC 단위에서만 제어가 가능하므로 대역폭 이용률은 저조해진다. 따라서, 본 논문에서는 적절한 호 접속 제어 메커니즘을 개발하기 위해서 ABR의 전송률 제어의 구조와 아울러 호 접속 제어의 특징과 알고리즘을 분석해본다.

핵심어 : ATM 폭주 제어, 호 접속 제어, ABR 서비스

1. 서 론

망의 관리에 있어서 폭주 제어와 대역폭 할당은 반드시 고려되어야 할 사항이다. ATM 기술은 다양한 서비스와 응용들을 지원하며 사용자의 요구사항과 아울러 망 성능을 동시

에 만족시킬 것이다. 따라서, ATM은 음성, 데이터, 화상 등을 같은 형태의 셀로 전송하는 광대역 종합 통신망(B-ISDN)의 기반을 이루고 있다.

이러한 ATM 망에서 주요 연구 분야의 하나가 바로 폭주 제어(congestion control)이다. 폭주 제어가 망에서 수행하는 주된 역할은 망 성능을 저하시키지 않으면서 자원의 사용을 최대화시키는 것이다. 폭주 제어 방식은 예방

* 연세 대학교 컴퓨터 과학과

형(preventive) 제어와 응답형(reactive) 제어로 분류할 수 있다. 예방형 제어는 폭주의 발생을 사전에 방지하는 방식이고 응답형 제어는 폭주 상태를 조절하기 위해 피드백(feedback) 정보에 의존하는 형태를 취한다. 이 두 가지 방식은 장, 단점이 있으며, ATM 망에서는 효율적인 폭주 제어를 하기 위해 두 가지를 결합하여 사용하고 있다. 예를 들어, CBR, VBR 서비스에 대해서는 예방형 제어를, ABR 서비스에 대해서는 응답형 제어를 적용하고 있다.

응답형 제어는 호 접속 제어(call admission control)와 대역폭 할당으로 구성된다. 호 접속 제어는 연결 설정 시에 이루어지며 새로운 연결 요구를 수락할 것인지를 결정해야 한다. 이때, 새로운 연결이 이미 수락된 연결들의 QoS에 대한 영향과 교환기가 요청된 QoS를 새 연결에 제공할 수 있는지가 고려되어야 한다. ATM 포럼의 연구 사항으로 최근 주목받고 있는 부분은 CBR, VBR, ABR, UBR로 규정된 서비스 클래스에 대한 성능 보장과 통계적 다중화(statistical multiplexing)를 통한 망 이용 효율이란 상반된 요구를 어떻게 만족시키는 것이다. 따라서, 호 접속 제어가 수행하는 역할과 성격을 고려한다면 호 접속 제어 알고리즘의 연구는 망 성능에 상당한 영향을 끼칠 것이다.

그리고, 최근에 분산 컴퓨팅, 영상정보 검색, 고속 파일 전송 및 LAN 간 접속 등의 수요가 증대됨에 따라 이들에 대한 효율적인 서비스 방안이 연구되어왔다. 특히, 고속 LAN 간의 데이터 트래픽은 매우 버스티하며 최대 전송률이 높고 예측할 수 없는 변화 특성 때문에 호 접속 제어나 사용 파라미터 제어 등의 예방적 제어만으로는 효과적인 폭주 제어가 어렵다. 또한, 데이터 트래픽은 셀 지연에는 덜 민감한 대신 하나의 셀 손실이 수많은 셀의 재전송을 초래하는 특징이 있다. 따라서, 이러

한 특징의 고속 데이터를 대역폭 예약형 서비스가 사용하고 남는 링크의 가용 대역폭을 최대한 활용하여 전송하기 위한 ABR(Available Bit Rate) 서비스에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. ABR 서비스는 최소 셀 전송률에 대한 보장만 하고 링크의 상태에 따라 최대 셀 전송률까지 동적으로 가용 대역폭을 활용하여 트래픽을 전송하는 방식이기 때문에, 셀 손실을 줄이기 위해서는 피드백에 의한 폭주 제어가 필수적으로 요구된다.

본 논문에서는 최근 표준으로 채택된 ABR 트래픽 제어 방식들과 기존의 호 접속 제어 방식들을 분석해 본다. 특히, 호 접속 제어기는 자원 할당이란 기능을 가지며, 호 접속기에서 이미 자원을 할당받은 Guaranteed service가 사용하고 남는 대역폭을 ABR이 활용해야 하기 때문에 VC 단위의 자원 할당과 아울러 셀 단위에 이르기까지의 자원 할당에 관한 일반적인 사항을 분석해 본다.

2. 자원 할당

VC 연결에 대한 버퍼와 대역폭의 할당은 호 연결 수락 제어에 의해 수행된다. 일반적으로 셀 혹은 버스트를 포함하는 VC에 버퍼 및 대역폭을 할당함으로써 망 전체의 자원 할당이 셀과 버스트 단위로 수행된다. 연결 수락 제어는 CBR과 VBR에 대해서는 셀과 버스트 측면에서 내재적인 자원 할당을 수행한다. 명확한 자원 할당 메커니즘이 적용되는 다른 ATM 계층 서비스로 ABT(ATM Block Transfer)와 ABR의 두 가지가 있다. ABT의 경우, RM(Resource Management) 셀을 이용해서 각 버스트에 대해서, ABR 흐름 제어는 일련의 셀들에 대해 자원을 할당한다. 이 외에도 ATM 계층 서비스로 UBR(Unavailable Bit Rate)가 있으나 UBR의 연결 수락 제어는 트래픽 제어의 필수 사항은 아니다. 연결 수락

제어가 어떤 자원 할당을 담당하는지는 다음 <표 1>에 분명하게 나타난다.

표 1. 대역폭 및 버퍼 할당

할당대상	할당 메커니즘
셀	소스 전송률 제어(ABR)
버스트	대역폭
VC	호 수락 제어
ATM 계층 서비스	스케줄링 및 큐잉 discipline

2.1 호 접속 제어시 자원 할당

VC 연결에 대한 자원 할당이 주로 호 접속 제어기에 의해 수행된다. 물론 호 접속 제어기는 그 외에도 CBR, VBR, ABR 트래픽에 대해서도 연결 설정 시에 적절하게 자원을 할당해야 한다. 호 접속 제어 방식들은 자원 할당 측면에서 볼 때 비통계적 할당(non-statistical allocation) 즉, 최대 전송률 할당 방식과 통계적 할당(statistical allocation) 방식으로 구분된다. 다음에 설명에서도 알 수 있듯이 통계적 할당을 효율적으로 수행하는 최적의 호 접속 제어 알고리즘은 더 연구되어야 한다.

(1) 최대 전송률 할당

한 소스의 최대 전송률(PCR : Peak Cell Rate)이 45Mbps이고 평균 전송률(SCR : Sustainable Cell Rate)이 20Mbps라 하자. 이 소스가 연결되어있는 기간동안 계속적으로 최대 전송률에 따라 전송하는 지와는 관계없이 출력 포트에서 예약되는 대역폭은 45Mbps가 된다. 최대 전송률 할당은 주로 CBR(Constant Bit Rate) 서비스에 대해 사용되며 PCM-encoded voice, uncoded video, telemetry 등의 응용들이 이러한 CBR 서비스에 속한다.

최대 전송률 할당 방식의 장점은 새로운 호 연결 수락 결정이 용이하다는 것이다. 제어기

에서 새로운 호에 대한 정보로 최대 전송률만 알고 있으면 된다. 따라서, 이미 접속되어 있는 연결들의 최대 전송률 합이 출력 링크(link) 용량을 초과하는 지의 여부가 호 접속 수락에 영향을 미치게 된다. 그러나 최대 전송률 할당 방식의 경우, 호들이 최대 전송률로 데이터를 전송하지 않는다면 대역폭의 낭비를 초래하게 된다.

(2) 통계적 할당

통계적 할당 방식은 자원 할당을 최대 전송률에 따르지 않으며 그보다 더 작은 대역폭을 할당한다. 따라서, 이미 접속된 호들의 최대 전송률 합은 출력 링크 용량보다 커지게 된다. 이 방식은 버스트 성이 강한 소스를 다루는데 적합하다. 하지만 ATM 망내에서 arrival process를 규정하는 데 어려움이 있다. 통계적 할당 구현시, 또 다른 어려움은 실시간에 접속 제어를 수행해야 하며, 단순히 큐잉(queueing) 문제로 간주할 수 없다.

ATM 다중화기(multiplexer)의 기본적인 큐잉 모델은 다음 (그림 1)과 같다.

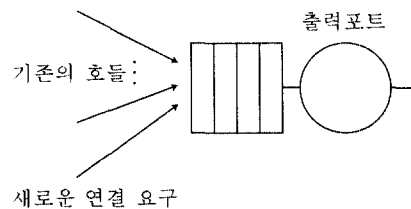


그림 1. ATM 다중화기

(그림 1)에서는 다양한 ATM 소스들이 출력 포트에 나가기 전에 유한 길이 큐에서 대기하고 있다. 이때 이미 접속되어 있는 연결의 QoS가 만족되는 경우, 새로운 호가 접속을 요구한다면 접속을 수락한 후에도 QoS가 만족되어야 한다. 이러한 문제는 복잡한 arrival

process를 쓴다면 해결하기가 더 어려워진다.^[15] 따라서, 다양한 대역폭 할당 알고리즘들이 제안되었으며, 큐의 모델링을 고려하지 않아도 통계적 할당을 가능케 하는 알고리즘들도 제시되었다.

2.2 소스 전송률 제어시 자원 할당

다양한 응용들을 지원하기 위해 ATM은 몇 가지 서비스 클래스로 분류된다. 이들의 기능과 특징은 다음과 같다.

○ CBR(Continuous Bit Rate service)

CBR 서비스는 전화나 비디오 회의 같이 지연 및 지연 변이에 대한 엄격한 제한이 요구되는 실시간 서비스에 해당된다. 항상 고정된 전송 대역폭이 제공되므로 셀 지연과 손실에 대한 QoS가 보장된다. 대표적인 응용 예로는 대화형 혹은 방송형의 비디오 및 오디오 서비스가 있다.

○ VBR(Variable Bit Rate service)

셀 지연 변이에 대한 민감도에 따라 rt(real time)-VBR과 nrt-VBR로 분류된다. rt-VBR은 가변부호화률로 코딩된 동영상이나 오디오 전송에, nrt-VBR은 멀티미디어 전자우편 서비스에 주로 응용된다.

○ ABR(Available Bit Rate service)

최소 셀 전송률을 보장하면서 CBR 및 VBR 트래픽들이 사용하지 않는 가용 대역폭을 최대한 활용한다. 분산 컴퓨팅, 영상 정보검색, 고속파일전송 및 LAN 간 접속 등에 응용된다. 이러한 고속 데이터 서비스는 매우 버스티하며 버스트의 크기 또한 가변적이어서 예측이 불가능한 특징을 갖고 있다. 또한 셀 지연에는 비교적 덜 민감하나 어느 정도의 셀 손실은 보장해주어야 한다.

○ UBR(Unavailable Bit Rate service)

CBR, VBR, ABR이 사용하고 남은 대역폭을 활용한다. 호 접속 제어를 통해 전송 대역폭이 할당되지 않으며 사용 파라미터 제어나 피드백 제어 등의 어떤 트래픽 제어도 적용되지 않는다. 따라서 셀 지연이나 셀 손실에 대한 QoS가 전혀 보장되지 않는다. 대표적인 응용 예로는 전자 우편이나 파일 전송 서비스 등이 있는데 이와 같은 응용들이 ABR 서비스를 이용할 수도 있다.

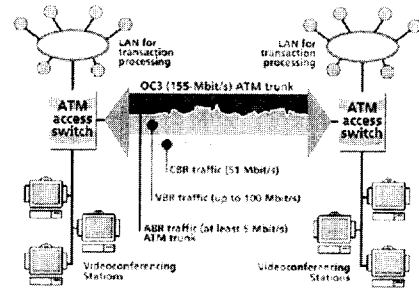


그림 2. 각 서비스 클래스에 대한 대역폭 할당

이들 중에서 ABR은 망의 대역폭에서 CBR, VBR 서비스가 사용하고 남은 대역폭을 활용하므로 ATM 망의 상황에 따라 흐름 제어를 수행하여 소스 트래픽의 사용 대역폭이 동적으로 가변되는 특징이 있다. CBR, VBR 서비스에 대한 대역폭 할당은 호 접속 시에 결정되며 셀, 버스트 단위로 내재적인 할당이 수행된 것으로 간주할 수 있다.

CBR 트래픽에 사용되는 대역폭은 (그림 3)에서 알 수 있듯이, 호 접속 수락과 연결 해제가 있을 때마다 크게 변화한다. rt-VBR도 마찬가지로 변화를 보여준다. 특히, 최근의 MPEG 비디오의 경우 장면의 움직임과 압축 방식에 따라 Mega byte의 단위로 프레임 크기를 변화시키기 때문에 ABR 서비스에게 가용 대역폭을 활용할 기회가 더 많이 주어진다. 하지만 실제 활용할 수 있는 가용 대역폭을 ABR 서비스에게 적절하게 할당하기 위해서는 CBR, VBR 서

비스에 대한 자원 할당이 최적으로 이루어져야 한다. 이러한 할당은 호 접속 제어 시에 이루어지므로, 적합한 호 접속 제어 알고리즘이 필요하다.

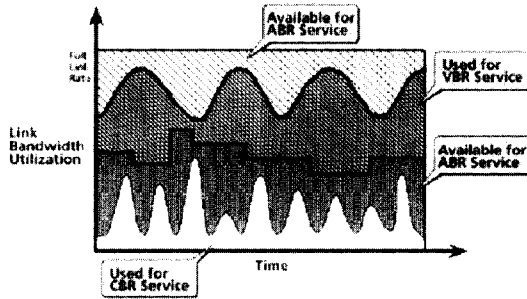


그림 3 ABR에 대한 가용 대역폭

3. 호 접속 제어

3.1 호 접속 제어의 특성

호 접속을 결정할 때, 각 소스(source)로부터 받은 트래픽 기술 인자(traffic descriptor)와 셀 전송 지연, 셀 손실률과 최대 전송률 등의 서비스 요구 사항과 현재 망 부하를 고려하여 이미 연결된 트래픽의 QoS가 특정 수준 이하로 저하되지 않는 범위 내에서 연결을 허락해야 한다. 호 접속 제어의 명확한 제어를 위해서 다음의 사항들이 고려되어야 한다.^[4]

- 적당한 트래픽 기술 인자(Traffic Descriptor)이다. 새 연결 요구시 성능을 일정 수준으로 유지 가능한가를 정확히 예측하기 위해 망은 새 연결의 트래픽 기술 인자를 알 필요가 있다. 망은 새로운 트래픽의 특성을 정확히 알아야 하므로 어떤 트래픽 기술 인자를 사용해야 하는가는 연구 대상이 되고 있다. 가장 일반적인 것으로 평균 전송률, 최대 전송률,

버스트성 요소(Burstiness Factor)등이 있다.

- 호 연결 수락을 결정하는 기준을 어디에 두는 가이다. 셀 전송 지연이나 셀 손실률은 망 폭주 현상을 잘 나타내는 기준이다.
- 트래픽 인자들이 ATM 망의 성능에 미치는 영향력은 또 하나의 중요 요소이며, 현성능 유지 정도를 망이 알아야 하므로 성능 인자를 명확하게 설정해야 한다.
- 새로운 호 접속 요구가 있을 때 호 연결 수락에 대한 결정은 실시간에 수행되어야 한다.
- 우선 순위 제어가 가능해야 한다.

호 접속 제어는 광범위한 대역폭에 걸친 서비스들과 버스트성, 다양한 QoS때문에 복잡해진다. 호 접속의 결정은 실시간 내에 이루어져야 하며, 따라서 알고리즘들이 너무 긴 계산 과정을 거치면 문제가 된다. 이와 아울러, 인터넷이란 새로운 서비스가 확산되면서 BISDN의 트래픽 환경(예를 들어, 멀티미디어 트래픽, 화상 회의, 대화형 TV 등)은 매우 다양화되었다. 이러한 트래픽 특성은 변화가 심하고 그런 변화에 적응할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다. 호 접속 제어는 광대역 서비스의 다양한 QoS를 만족시키면서 합당한 대역폭 사용도를 유지해야 한다는 가장 큰 어려움을 안고 있다. 구체적인 문제점은 다음과 같다.

- 트래픽 특성 규정과 시스템 모델링의 문제이다. 통계적 다중화로 인해서 실시간으로 평가하기 곤란하게 된 트래픽 인자들에 대한 연구가 필요하다.
- VBR 및 ABR등의 트래픽 타입들은 self-similarity란 특성을 갖는다. 일부 트래픽은 non-stationary한 특성을 보이기까지

한다.

- 지금까지 일반적으로 적용되어 온 모델이나 트래픽 파라미터들을 한 형태로 규정짓는 것이 불가능하게 되었다.
- 다중화 성능에 대한 평가가 단순하지 않다는 점이다. Non-Markovian인 이종 트래픽 소스들을 표현하는 큐잉 모델을 설정해야 한다.

트래픽 특성과 시스템 모델링시에, 특히 비디오 소스에 대한 호 접속 제어 방식은 아직도 많은 부분이 연구되어야 한다. 부호화 되지 않은 비디오나 CBR 트래픽에 대해서는 주로 최대 전송률 할당을 적용해왔으나, VBR 부호화된 비디오 트래픽에 대해서는 좀 더 연구되어야 한다. 특히, 부호화기(encoder)의 출력 프로세스에 대한 특성에 대한 적절한 규정이 필요하다.^[16]

3.2 호 접속 제어 관련 파라미터

ATM 망에서 연결 설정 시에 파라미터들이 협상된다.^[4-5] 이러한 파라미터들은 각 연결의 QoS와 ATM 계층에서 end-to-end 측면의 망 성능을 측정하는데 사용된다. 따라서, 망은 이러한 파라미터들의 설정 수치를 보장해야만 한다. QoS 파라미터들은 다음과 같다.

- 셀 지연(CTD: Cell Transfer Delay)
- 셀 지연 변이(CDV: Cell Delay Variation)
- 셀 손실률(CLR: Cell Loss Ratio)

그리고 사용 파라미터는 사용자측을 제어한다. 망은 이 파라미터의 규정을 준수하는 셀들에 대해서만 QoS를 보장한다. 다음과 같은 사용 파라미터들이 있다.

- PCR(Peak Cell Rate) : 사용자에게 허용된 최대 셀 전송률.
- SCR(Sustained Cell Rate) : 어느 정도의 긴 시간 간격동안 측정된 평균 전송률.
- BT(Burst Tolerance) : 최대 전송률로 보낼 수 있는 최대 버스트 크기.
- MBS(Maximum Burst Size) : 최대 전송률로 보내지는 최대 셀 수.
- MCR(Minimum Cell Rate) : 사용자가 요구하는 최소 셀 전송률.

BT와 MBS는 다음의 식에서 보이는 연관 관계를 갖는다.

$$BT = (MBS-1)(1/SCR-1/PCR)$$

3.3 호 접속 제어 알고리즘

호 접속 제어 방식에는 일반적으로 다음에 설명될 기법들이 쓰이고 있다

(1) 등가 대역폭(Equivalent capacity)을 이용한 호 접속 제어

이 방법은 호 접속 제어의 가장 널리 알려진 방식이다. 이미 망에 접속된 호들과 연결을 요구하는 호가 사용하게 될 등가 대역폭을 산술적으로 산출하여 그 값이 망이 지원할 수 있는 대역폭 내에 있을 경우 접속을 수락한다.

[1]의 경우, 다수의 Markov-modulated fluid-flow 소스들을 대상으로 등가 대역폭을 구하며, [2]에서는 GI/G1/1 큐로 확장된다.^[3]에서는 on/off 주기를 갖는 이종 트래픽을 대상으로 등가 대역폭이 계산된다. 이러한 방법들은 주어진 QoS를 만족시킬 수 있는 대역폭을 계산하기 위해 제안되었으나 대부분이 트래픽 소스들의 확률적 표현과 대역폭의 크기

에만 주로 의존하고 있다.

[4]의 경우, 셀 손실 QoS ϵ 와 버퍼 크기 K 가 주어지면, 다음의 식을 등가 대역폭 C 에 대해 풀면 된다.

$$\epsilon = \beta e^{-\frac{K(c-r)}{b(1-r)(R-c)}}$$

$$\beta = \frac{(c-cR) + (\epsilon r(R-c))}{(1-r)c}$$

이 때, R 은 최대 전송률, r 은 소스의 활성화 시간, b 는 활성화 주기의 평균 시간이 된다.

$$C = R \frac{a-K + \sqrt{(a-K)^2 + 4Kb}}{2a}$$

$$a = \ln(1/\epsilon)b(1-r)R$$

또다른 더 간단한 방식으로 Gaussian approximation에 기반한 방식이 있다. N 개의 소스인 경우 [4]는 다음의 식에 따라 각 소스의 등가 대역폭이 결정한다.

$$c = \min \left\{ \rho + a \sigma, \sum_{i=1}^N c_i \right\}$$

위 식에서 각 변수는 다음을 의미한다.

c_i 는 i 번째 소스에 대한 등가 대역폭
 ρ 는 전체 평균 전송률

$$\sigma = \sum_{i=1}^N \sigma_i, \sigma_i \text{은 } i \text{ 번째 소스의 분산}$$

$$a = \sqrt{-2 \ln \epsilon - \ln 2\pi}$$

그러나 [4]의 방식은 모든 소스를 동일하게 취급하고 있으며, statistical gain의 활용성 면에서 그 효율이 떨어진다.

그 외에도 [5]에서 등가 대역폭을 on-line으로 계산하는 방법이 제안되었다. 등가 대역폭 방식은 망의 활용도와 사용자가 제시한 파라미터를 이용하거나 미리 결정된 각 호의 등가 대역폭에 관한 정보를 사용하여 등가 대역폭을 얻을 수 있으므로 다른 방식보다 알고리즘이

간단하다. 그러나 트래픽 소스의 특성이 변한다면 이에 따라 미리 결정된 정보의 수정이 불가피하므로 이에 따른 오버헤드(Overhead)가 발생한다.

(2) 셀 손실률의 상한치 적용

셀 손실률의 상한치를 이용한 방식으로, [6]에서 Saito는 임의의 고정 시간동안 도착하는 평균 셀 수(ANA)와 최대 셀수(MNA)에 기반한 상한치를 제안하였다. 고정된 시간의 길이는 $D/2$ 로 설정된다. (D 는 최대 허용 지연이다.) N 개의 연결을 지원하는 경우, $p_i(j)$ ($i=1,2, \dots, N; j=0,1, \dots$)를 $D/2$ 동안 i 번째 연결에 속하는 j 개의 셀들이 도착할 확률이라고 하면, 셀 손실률은 다음과 같다.

$$CLP \leq B(p_1, \dots, p_N; D/2) = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} [k - D/2] + p_1 \star \dots \star p_N(k)}{\sum_{k=0}^{\infty} k p_1 \star \dots \star p_N(k)}$$

이 때, \star 는 convolution 연산이다. 그리고, $\theta_i(j)$ 함수는 다음과 같다.

$$\theta_i(j) = \begin{cases} ANA_i / MNA_i, & j = MNA_i \\ 1 - ANA_i / MNA_i, & j = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

따라서, CLP 는 다음의 식이 성립된다.

$$CLP \leq B(p_1, \dots, p_N; D/2) \\ \leq B(\theta_1, \dots, \theta_N; D/2) \\ = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} [k - D/2] + \theta_1 \star \dots \star \theta_N(k)}{\sum_{k=0}^{\infty} k \theta_1 \star \dots \star \theta_N(k)}$$

새로운 호 접속 요구는 $B(\theta_1, \theta_N; D/2)$ 가 허용 셀 손실률보다 작으면 수락된다.

결국, 망의 순간 셀 손실률을 어느 일정 값 이하로 유지시키기 위해 트래픽의 통계적 특성을 분석하는 것이다. 트래픽 기술 인자로 최대 전송률과 평균 전송률만을 사용하여 각 트

래픽 소스당 개별 가상 셀 손실률을 계산하여 그 값이 만족되도록 가상 대역폭을 할당한다. 이런 식으로 산출된 기존의 가상 대역폭과 새로운 호의 가상 대역폭의 전체 합이 출력 링크를 초과하지 않으면 호를 연결하는 것이다.

이 외에도 셀 손실률의 상한치를 이용한 방식은 [7, 8]등에서도 사용되고 있다. 셀 손실률 상한치 방식은 대체로 각 트래픽 소스의 QoS를 양호하게 만족시킬 수 있다. 그러나 셀 손실률과 버퍼 크기간의 관계가 규정되지 않는 등 수학적 모델이 정확하지 않아서 셀 손실률의 기준이 명확하지 않다. 트래픽 소스의 수가 아주 많아지는 경우에도 개별 가상 셀 손실률 산출에 필요한 이항분포(binomial distribution)의 계산이 복잡해져서 실제 구현 시에 어려움이 있다. 또한 호 연결 요청마다 가상 대역폭을 재할당하므로 처리 시간이 증가되는 단점이 있다.^[9,10]

(3) Fast buffer/bandwidth allocation

버스트성을 갖는 소스의 전송을 위해 고안된 메카니즘이다.^[6] VC(Virtual Circuit)가 설정될 때, 망 전체 경로도 설정되며 라우팅 테이블도 수정되지만 실제로 아무런 자원도 VC에 할당되지 않는다. 소스가 하나의 버스트를 전송하는 순간에 망은 그 버스트에 필요한 자원을 할당하게 된다. 따라서 각 노드는 모든 VC에 대한 현 상태를 갖고 있어야 하는 단점이 있다. 즉, 각 노드는 현재 VC의 활성화 상태 여부, 활성화 될 때 필요한 자원의 양 등을 알고 있어야만 한다.

(4) 관측에 의한 제어

ATM 망에서 다중화된 트래픽의 통계적 특성이 시간에 따라 변하지 않는다고 할 때, 입력 트래픽의 통계적 특성은 여러 방법으로 파악할 수 있다. 하지만 트래픽의 특성이 매우

복잡하고 수학적으로 기술하는 데는 한계가 있다.

관측에 의한 제어는 임의의 시간 간격 동안 실제 망의 트래픽의 양을 측정하고 새로운 호의 연결 요구 시에 이 호의 QoS를 만족시키는지의 여부를 특정된 통계 자료를 이용하여 결정한다. 따라서 현재 트래픽의 변화에 동적으로 민감한 대처가 용이하며 제어 알고리즘이 간단하다.

기존에 제시된 동적 호 접속 제어 방식은 보통 측정된 트래픽의 양에 의존해서 제어를 수행하는 것으로 다중화된 트래픽 특성을 반영하기에 충분히 긴 시간의 표본 구간(Sample Period)을 잡고, 고정된 시간 간격으로 망의 부하를 주기적으로 측정한다. 따라서 확실히 호 접속 여부 결정을 돕는 가장 최근의 피드백 측정치를 호 접속 제어기에 제공할 수 있다. 이 때, 셀 손실률의 크기는 표본 구간의 길이와 측정 시간 간격에 의존하는데 측정 구간이 작을수록 호 접속 제어기는 아주 짧은 순간의 최대 전송률 상태도 감지해 낼 수 있어서 민감하게 현재의 트래픽에 반응할 수 있다. 그러나 어떤 경우에는 아주 짧은 기간만 폭주가 일어나고 곧 망 부하가 적어진다면 잘못된 정보에 따라 호의 연결을 거부하게 되고 이 경우에, 셀 손실률은 임계치를 넘지 않았지만 사용 가능한 대역폭이 남아 있는데도 새로운 호에 대역폭을 할당해 주지 않게 되는 것이며 이것은 다중화된 트래픽의 특성을 충분히 파악할 수 있을 정도의 길이가 되지 않기 때문이다. 이처럼 측정 구간의 길이를 얼마로 하는가는 동적 호 접속 제어에서 중요한 문제이다. 특히, 잘못 예측된 트래픽 특성이 사용되면 경우에 문제가 발생할 수 있다.

(5) 기타

[10]에서는 string mode 프로토콜이란 다중

경로 방식이 제안되었다. 이 방식에서는 각 버스트를 더 작은 버스트로 나눈 후, 각 나뉘어진 버스트들은 다른 VC로 전송한다. 따라서 최대 전송률이 상당히 큰 버스티한 소스들을 제어하는데 효율적이다.

그리고, Bayesian decision theory 방식이 제안되었다.[11] 이것은 소스의 평균 전송률이 불확실할 때 효율적으로 수행될 수 있는 간단한 구조의 알고리즘이다. 각 소스들은 최대 전송률과 CDV(셀 지연 변이) tolerance로 규정되며, 망 부하에 대해 간단한 임계치를 설정해 호 접속을 수락하는 기준으로 사용한다.

그 외에 VP(Virtual Path)에 대한 호 접속 제어도 제안되었다.^[12]

마지막으로, 호 접속 제어는 최적화 문제로 간주될 수 있다. 즉, 호 접속을 제어하는 특정 함수를 최적화해야 한다는 것이다. 예를 들어, 신경망을 이용한 방식이 있다.^[13, 14]

4. ABR 트래픽 제어

ABR 트래픽 제어의 주요 목표는 CBR, VBR이 사용하고 남은 대역폭을 ABR 소스들에게 공평하게 할당해야 한다는 점이다. 각 ABR 소스들은 전송 속도를 망에서 허락한 속도로 제한한다.

4.1 RM(Resource Management) 셀 및 서비스 파라미터

ABR 서비스에서 소스는 망 상태에 따라 전송률을 제어하며 가용 대역폭, 폭주 정도 등의 정보는 RM(Resource Management) 셀을 통해 소스에게 전달된다. ATM 포럼이 지정한 RM 셀 포맷은 다음의 (그림 4)와 같다.^[17, 18]

ATM header	5 bytes
Protocol ID	1 byte
DIR(Direction)	1 bit
BN(Backward Notivication)	1 bit
CI (Congestion Indication)	1 bit
NI(No Increase)	1 bit
RA(Request/Ack)	1 bit
Reserved	3 bits
ER(Explicit Rate)	2 bytes
CCR(Current Cell Rate)	2 bytes
MCR(Minimum Cell Rate)	2 bytes
QL(Queue Length)	4 bytes
SN(Sequence Number)	4 bytes
Reserved	30.75 bytes
CRC-10	10 bits

그림 4. RM 셀 포맷

주요 필드의 역할을 살펴보면 다음과 같다.

- Header : 모든 RM 셀은 ATM 헤더를 가지며 각 VCC의 PTI(Payload Type Indicator) 필드는 110으로, 각 VPC의 VCI는 6이 된다.
- Protocol ID : ABR 연결들 각각에 할당되고 DIR은 역방향(backward)인지 순방향(forward)인지를 표시한다.
- BN : BECN 셀인지의 여부를 나타낸다.
- CI : 폭주 상태이면 1로 세트된다.
- NI : 전송률 증가 금지이면 1로 세트된다.
- ER : 소스의 전송률을 특정 값으로 제한한다.

ABR 서비스에 대해서, CLP=0인 셀들은 "in-rate" 셀이라 하며, CLP=1인 셀들은 "out-of-rate" 셀이라 한다. Out-of-rate 셀을 사용하여, ACR=0이 연결에 대해 전송률을 증가시킬

표 1. ABR 서비스 파라미터

ABR 서비스 파라미터	비 고
PCR(Peak Cell Rate)	송신원이 망으로 전송할 수 있는 허용된 최대 전송률로 연결 설정시 협상된다.
MCR(Minimum Cell Rate)	송신원에게 망이 보장할 수 있는 최소의 전송률로 연결 설정시 협상된다.
ICR(Initial Cell Rate)	송신원이 연결 설정시 혹은 휴지기간 후에 초기 전송률.
CRM	역방향 RM 셀을 받지 못한 경우 보낼 수 있는 RM 셀들의 수.
ACR(Allowed Cell Rate)	송신원은 ACR 이하로 전송해야 한다.
N_{rm} (Number of cells/RM)	송신원이 순방향 RM 셀당 전송할 수 있는 셀의 개수.
M_{rm}	순방향 RM 셀당 전송되어야 할 최소 셀의 수로, 순방향 및 역방향 RM 셀과 데이터 셀들간의 대역폭 할당을 제어한다.
TBE (Transient Buffer Exposure)	첫 번째 RM셀이 돌아오기 전에 송신원이 보낼 수 있는 셀 수.
ADTF (ACR Decrease Time Factor)	전송률이 ICR로 감소되기 전에 RM 셀들 간에 허용된 시간.
Trm(Inter-RM time interval)	순방향 RM 셀의 전송 간격으로 연결 설정시 협상된다.
FRTT (Fixed Round Trip Time)	송신원과 수신원간의 Round Trip Time.
RDF(Rate Decrease Factor)	송신원의 전송률 감소를 제어한다.
RIF(Rate Increase Factor)	RM 셀을 받았을 때 송신원의 전송률 증가량을 표시한다.
CDF (Cutoff Decrease Factor)	CRM과 관련하여 ACR의 감소치를 제어한다.
TCR(Tagged Cell Rate)	송신원이 Out-of-rate 순방향 RM 셀들을 보낼 때의 전송률

수 있다. 그리고 송신원은 전송률을 증가시킬 때를 알기 위해서 out-of-rate 셀들을 사용한다.

또한, ATM 포럼은 ABR 서비스에 대해 <표 1>과 같은 흐름 제어 파라미터를 설정하고 있다.

망은 스위치들로 구성되며, 각 스위치는 현재 스위치내의 국지적 폭주 정보에 따라 ER(Explicit Rate), ACR(Allowed Cell Rate), CI(Congestion Indication), NI(No Increase)등을 계산한다. 이러한 피드백(feedback)은 RM 셀을 통해 전달된다. 그리고, RM 셀은 소스에 의해 생성되며 수신원에 도착하면 RM 셀 내의 방향 비트 값을 변화시켜 다시 소스에게 되돌려진다. 중간에 거쳐가는 스위치들도 RM 셀의 값을 바꿀 수 있다. 이와 같은 ABR 제어 루프는 (그림 5)와 같다.

망이 방대해질수록(예, 위성 통신망) RM

셀의 round trip 지연 시간이 커진다. 따라서, ATM TM(Traffic Management) 규정에서는 전체 망을 더 작은 루프들로 분리하여, 스위치에 VS/VD(Virtual Source/Virtual Destination : 가상 송신원과 가상 수신원)을 적용한다.

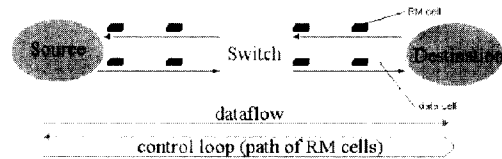


그림 5. ABR control loop

4.2 송신원과 수신원 동작

송신원 측에서 전송 허가를 받으면, ACR의

속도로 셀을 전송한다. ACR의 초기값은 ICR(Initial Cell Rate)이며, 항상 MCR(Minimum Cell Rate)보다 작을 수 없으며 PCR(Peak Cell Rate)보다 클 수 없다. 소스는 Nrm 개의 데이터 셀들 전송될 때마다 한 개의 RM 셀을 전송한다. 그리고 소스는 RM 셀 내의 CCR(Current Cell Rate) 영역에 ACR 값을 적용하며, ER 영역의 값은 소스가 요구하는 전송 속도로 설정된다.(일반적으로 PCR로 설정된다.)

RM 셀들은 수신원에 도착하면 다시 송신원으로 돌아온다. 수신원 노드에서 폭주가 발생했다면, 수신원이 RM 셀의 내용을 변경할 수 있다. RM 셀이 거쳐가는 스위치들도 현재 망에서 채택한 공평 전송률(fair rate) 할당 알고리즘에 따라 RM 셀의 내용을 고칠 수 있다. 일반적으로 CI 혹은 NI의 비트를 고치거나 ER 영역 값을 사용한다.

RM 셀이 돌아오면 소스는 RM 셀의 값을 ACR에 적용한다. CI 비트가 세팅되지 않았다면, 소스는 ACR의 값을 $RIF \cdot PCR$ 만큼씩 증가시킨다. (RIF : Rate Increase Factor로 연결 설정시에 정해진다.) CI가 세팅되었다면 $RDF \cdot ACR$ 만큼 ACR을 줄인다.(RDF : Rate Decrease Factor로 이것도 연결 설정시에 정해진다.) NI가 세팅되었으면, 소스는 CI 영역을 참조하지만 ACR을 증가시킬 수는 없다. ER 영역의 값이 CI나 NI에 따라 계산된 값보다 작다면 ACR을 다시 ER값과 같게 설정한다. 이때, ACR은 MCR보다 작아질 수 없다.

5. 향후 연구 방향

ATM 망의 CBR, VBR 트래픽과 같이 QoS가 보장된 서비스들은 적절한 초 접속 제어 알고리즘을 이용하여 사전에 폭주 상태를 예방하는 방식을 취해왔다. 그러나 best-effort 서비스라 할 수 있는 ABR과 UBR 서비스, 특히

ABR 서비스가 망에서 일으키는 폭주는 초 접속 제어만으로 해결되지 않는다. 따라서, ABR 서비스에 대해서는 별도의 폭주 제어 알고리즘이 제안되었으며,^[17] 계속해서 연구되고 있다. ABR 트래픽은 CBR과 VBR 트래픽이 사용하고 남은 대역폭을 활용하기 때문에 자원 할당의 일부를 담당하는 초 접속 제어가 정확한 망 정보를 유지해야 한다. 망 내의 트래픽 형태가 계속적으로 변화할지라도 제어기는 ABR 응용들이 셀을 폐기하거나 재전송 없이 가용 대역폭을 최대한 활용할 수 있도록 동작해야 한다. 다시 말해서, 대역폭 사용률을 최대화해야 한다. ATM 망에서의 트래픽 제어를 효율적으로 수행하기 위해 다음의 사항들이 앞으로 연구되어야 한다.

○ VBR/ABR 대역폭의 overbooking 및 underbooking

망의 성능을 효율적으로 제어하기 위해서는 현재 망 상태를 파악하여 VBR 및 ABR 서비스가 필요로 하는 대역폭을 명확하게 할당할 수 있어야 한다. 따라서, 자원 할당 알고리즘은 망에 연결되어 있는 VBR 및 ABR 호들의 실시간에 발생한 트래픽을 정확하게 알고 있어야 한다. 그리고 이러한 망 트래픽 정보를 기반으로 한 초 접속 제어 알고리즘^[22]은 VBR 및 ABR 트래픽에 대한 대역폭 할당을 동적으로 수행해야 하며, 대역폭 및 버퍼의 overbooking-underbooking 파라미터 값에 따라 각 연결에 대한 overbooking 및 underbooking 기능이 내재되어야 한다.

○ 동적 버퍼 할당

동적으로 버퍼를 관리한다는 것은 현재 공유하고 버퍼 공간을 각 연결의 요구에 따라서 실시간으로 VC들에게 할당할 수 있음을 의미한다. 즉, 연결이 설정될 때 할당된 버퍼 공간이 연결 해제 시까지 변하지 않는 정적 할당

과는 상반된 방식이다. 동적 방식이 정적 방식보다 1.5-3배에 이르는 버퍼 사용률을 보여준다. 따라서 버퍼에 대한 동적 방식의 채택은 대역폭 사용률을 증가시킬 것이다. 일반적으로 호 접속 제어기는 호 수락 시에 CBR과 VBR 트래픽에게는 고정된 버퍼를 할당해 주는 반면, ABR과 UBR 트래픽에 대해서는 동적으로 버퍼 공간을 관리해 준다. 최근에는 VBR에 대해서도 트래픽 측정치에 따라 동적 버퍼 할당을 수행하는 방식도 제안되었다.^[19] 동적 할당 시 전달되는 신호 메시지는 UNI 3.0과 ATM 포럼 UNI[17]에 기반해야 한다.

○ 다중 서비스 클래스의 지원

ATM 망의 트래픽 제어는 다중 서비스 클래스의 다양한 QoS 및 파라미터를 충족시켜야 한다. 대표적인 예로 CDV(Cell Delay Variation: 셀 지연 변이)를 들 수 있다. 각 출력 포트는 세 종류의 서비스 수준을 유지하며, 각 서비스 수준은 다시 127개의 수준으로 나뉘어져 사용자는 381개에 이르는 서비스 우선 순위를 지정할 수 있다. 세 가지 서비스 수준은 다음에 기초한다.

- low CDV
- medium CDV
- unspecified CDV

CDV에 의한 세 가지 수준은 ATM 포럼이 정의하고 있는 트래픽 종류에 대응한다. 음성, 비디오와 같은 CBR 트래픽은 low CDV에 따라, VBR 트래픽은 medium CDV에 따라, ABR과 UBR 트래픽은 unspecified CDV에 따라 자원이 할당된다.

그리고 각 서비스 내에서 나뉘어진 우선 순위에 따라 weighted round robin 알고리즘을 적용하기도 한다.^[20, 21] 각 연결의 가중치는 호 접속 제어가 계산한 할당 대역폭을 인자로 사용한다.

○ 성능 향상을 위한 전송률 할당 알고리즘

ABR 트래픽의 폭주 제어는 피드백을 이용한 대응적 제어를 통해 이루어지며, ATM 포럼은 전송률 기반 폭주 제어 기법인 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)를 표준으로 채택하였다. 이 EPRCA 기법에서, 트래픽의 경로 중에 위치하는 각 스위치 내에서 구현되어야 할 전송률 할당 알고리즘은, VC 간 공정성을 유지하면서 링크의 높은 효율을 보장해야 한다. ABR 서비스가 CBR과 VBR 트래픽이 사용하고 남은 대역폭을 이용하므로, CBR과 VBR 트래픽을 고려한 전송률 할당 알고리즘에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

○ CBR/VBR v.s ABR

호 접속 제어의 기본 목표인 QoS 보장과 높은 자원 활용도를 동시에 만족시키려면 CBR/VBR과 ABR에 대해 다른 자원 할당을 취해야 한다. CBR 및 VBR에 대해서는 호의 접속이 수락되면, QoS요구치를 충족시키는 일정량의 자원을 반영구적으로 할당해야 한다. 그러나 ABR은 최소 셀 전송률을 보장하는 양의 대역폭이 할당된다. 이후에 남은 대역폭에 따라서 ABR 트래픽이 사용 가능하다. UBR의 경우, 호 접속 시에 아무런 대역폭도 할당되지 않는다.

참고 문헌

- [1] A. I. Elwalid and D. Mitra, "Effective bandwidths of general markovian traffic sources and admission control of high-speed networks," IEEE/ACM trans. Networking, vol.1, no.3, 1993.
- [2] F. Kelly, "Effective bandwidths at multi-

- class queues." *Queueing Sys.*, vol.0, 1991.
- [3] Z. Zhang and A. S. Ascampora, "Equivalent bandwidth for heterogeneous sources in ATM networks," *Proc. ICC'94*.
- [4] R. Guerin and et al. "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks." *IEEE JSAC*.vol.9, 1991.
- [5] G. De. Veciana et al. "Resource management in Wide-Area ATM networks using effective bandwidth," *IEEE JSAC*..vol.13, 1995.
- [6] H. Saito and K. Shiimoto.k "Dynamic call admission control in ATM networks," *IEEE JSAC* vol.9, 1991.
- [7] A. Elwalid et al. "A new approach for allocating buffers and bandwidth to heterogeneous regulated traffic in an ATM node," *IEEE JSAC*, vol.13, 1995.
- [8] E. Rasmussen et al. "Source-independent call acceptance procedures in ATM networks," *IEEE JSAC* vol.9, 1991.
- [9] B. T. Doshi and H. Heffes, "Performance of an in-call buffer-window reservation/allocation scheme for long file transfers," *IEEE JSAC* vol.9, 1991.
- [10] J. H. Dej et al. "String mode-a new concept for performance improvement of ATM networks," *IEEE JSAC* vol.9, 1991.
- [11] R. J. Gibbens et al. "A decision-theoretic approach to call admission control in ATM networks," *IEEE JSAC*, vol.13, 1995.
- [12] K. I. Sato et al. "Broadband ATM network architecture based on virtual paths," *IEEE Trans. Comm.* vol.40, 1992.
- [13] A. Hiramatsu, "Integration of ATM call admission control and link capacity control by distributed neural networks," *IEEE JSAC* vol.9, 1991.
- [14] C. Douligeris and G. Develekos, "Neuro-fuzzy control in ATM networks," *IEEE Comm. Magazine*, May 1997.
- [15] S. Q. Li, "A general solution technique for discrete queueing analysis of multimedia traffic on ATM," *IEEE Transactions on Comm.*, vol.39, 1991.
- [16] D.M.Lucantoni et al. "Methods for performance evaluation of VBR video traffic models," *IEEE Transactions on Networking*, vol.2, 1994.
- [17] ATM Forum "ATM Traffic Management Specification Version 4.0", Apr. 1996. Available through <ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/aftm-0056.000.ps>
- [18] R.Jain et al. "Source Behavior for ATM ABR Traffic Management : An Explanation", *IEEE Communication Magazine*, Nov. 1996.
- [19] R. Bolla and F. Davoli, "Dynamic hierarchical control of resource allocation in an integrated services broadband network," *Comp. Networks and ISDN Sys.*, vol.25, no.10, May, 1993.
- [20] K. Sriram, "Dynamic bandwidth allocation and congestion control schemes for voice and data multiplexing in wideband packet technology," *Pro. ICC'90*.
- [21] Y. Wang et al. "An improved scheduling algorithm for weighted round robin cell

- multiplexing in an ATM swithc." Proc. IEEE ICC'94.
- [22] S.K.Lee, J.S.Song, "A Measurement-based Admission Control Algorithm using Variable-sized Window in ATM networks", Journal of Computer Communications vol.2, no.21 1998

□ 著者紹介



이 수 경

1993년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업 (이학학사)
 1995년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업 (이학석사)
 1996년 3월 - 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정 재학중

※ 주관심분야 : ATM 트래픽 제어, Wireless ATM 등



송 주 석

1976년 2월 서울대학교 전기공학과 학사
 1979년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 석사
 1988년 8월 UNiv. of Callifornia of Berkeley 전산과학과 박사
 1979년 2월 - 1982년 2월 한국전자통신연구소 전임연구원
 1988년 9월 - 1989년 2월 Naval Postgraduate School Information System
 Department 조교수
 1989년 3월 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 교수

※ 주관심분야 : 프로토콜 공학, ATM통신망, 통신망 보안등