通信情報保護學會誌
第8卷 第1號, 1998. 3

ATM 환경에서의 ABR 트래픽 제어 분석

A Study on ABR Traffic Management in ATM Networks

이 수 경*, 정 상 준*, 송 주 석**

요 약

ATM 방식을 근간으로 한 광대역 통신망의 급속한 발전에 따라 점차로 그 수요가 증가할 데이터 응용들을 위한 ABR 서비스는, 우선 순위가 높은 다른 서비스들이 이용하고 남는 가용 대역폭을 최대한 활용해야 한다. 따라서 최근까지도 피드백을 이용한 대응적 제어를 이용한 폭주 제어 방식들에 대한 연구가 진행되어왔고 여러 알고리즘들이 제안되었다. 본 논문에서는 ATM 망에서의 ABR(Available Bit-Rate) 트래픽의 특성과 ATM 포럼과 ITU-T등에서 표준화되었거나 현재 연구 중인 다양한 제어 기법들에 대한 개괄적인 분석이 수행되었다. 그와 아울러 각 알고리즘들의 장, 단점을 살펴보고 개선되어야 할 사항들을 제시하였으며 좀 더 효율적인 제어를 위해 고려되어야 할 트래픽 특성들을 설명하고 있다.

핵심어 : ATM 폭주 제어, ABR 서비스, 전송률 제어

1. 서 론

미래에 다가올 정보화 사회의 서비스에서 대부분을 차지하는 음성, 데이터, 화상 등 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 등장한 B-ISDN(Eroadband Integrated Services Digital Network)은 다양한 종류의 서비스를 제공하기 위해 수 Kbps에서 수백 Mbps의 대역폭을 할당할 수 있어야 하며 이것이 수용해야 할 트래픽은 간헐성(Burstiness)을 갖는 트래픽을 포함한다. 이와 같은 특성과 서비스 클래스에 따른 다양한 QoS(Quality of Sevice)를 만족시키기 위해 B-ISDN의 교환 및 전송 기법인 ATM (Asynchronous Transfer Mode : 비동기식 전송 모드) 방식이 정착되었으며, 멀티미디어 정보가 다양한 종류의 트래픽 특성을 지니고 있기 때문에 멀티미디어 서비스 이용자가 요구하는 수준의 품질 및 서비스 기능을 제공하기 위해서는 별도의 제어가 요구된다. 그러나 ATM 망에서의 폭주 제어(Congestion Control)는 처리해야 할 트래픽의 다양한 성질과 서비스 요구 및 망이 제공하는 빠른 전송 속도, 셀 크기로 인하여 그 구현이 힘들다. 또 간단하고 빠른 알고리즘을 사용해 실시간 내

* 연세대학교 컴퓨터과학과 대학원 재학중
** 연세대학교 컴퓨터과학과 교수

에 제어를 수행할 것과 다중화된 트래픽 부하의 근사치 및 그 트래픽의 정확한 모델을 요구한다.

따라서, ATM 환경에서의 트래픽 제어는 여러 방식이 제안되어 왔으며, 최근에도 멀티미디어 서비스의 원활한 수용을 위해 계속적으로 연구되고 있다. 1996년에 ITU-T는 간단한 메커니즘으로도 망성능을 저하시키지 않는 측면에서, 트래픽과 폭주 제어 Capability Set(I.371)을 정의하였다.[1,2] 그리고 ATM Forum은 I.371에 덧붙여서 Traffic Management Specification Version 4.0을 발표했다.[3]

트래픽 제어는 폭주를 미연에 방지하기 위한 예방적 제어와 폭주의 영향을 최대한 줄이면서 신속하게 해소하기 위한 대응적 제어로 분류할 수 있다. 최근 고속 LAN 간의 데이터 트래픽은 매우 버스티하며 최대 전송률이 높고 예측할 수 없는 변화 특성 때문에 연결 수락 제어나 사용 파라미터 제어 등의 예방적인 트래픽 제어만으로는 효과적인 폭주 제어가 어렵다. 또한, 데이터 트래픽은 셀 지연에는 덜 민감한 대신 하나의 셀 손실이 수많은 셀의 재전송을 초래하는 특징이 있다. 따라서, 이러한 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.[4]

본 논문에서는 표준으로 채택된 ABR 트래픽 제어 방식들과 현재 계속해서 연구 중인 ABR 서비스 관련 사항들을 분석해본다.

2. ATM 서비스 구조

2.1 연결 파라미터 (Connection Parameters)

① QoS 파라미터

ATM 망에서 연결 설정 시에 파라미터들이 협상된다.[3-5] 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)

② 사용 파라미터(Usage Parameter)

사용 파라미터는 사용자 측을 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 연관관계를 갖는다.

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

2.2 서비스 종류 및 특성

ATM 계층에서 제공되는 멀티미디어 서비스에 대해 다양한 QoS를 제공해야 한다. 예를 들어, 음성은 손실보다는 지연에 민감한 특성을 지니지만, 데이터는 지연보다는 손실에 민감하다. 그 외에도 지연과 손실, 둘 다에 영향을 받는 트래픽도 있다. 이러한 다양한 트래픽을 효율적으로 관리하기 위해 ATM의 트래픽은 다음의 다섯 가지 서비스 클래스로 구성된다. [3-5]

- CBR(Constant Bit Rate)
- rt-VBR(Variable Bit Rate)
- nrt-VBR(Non-Real-Time Variable Bit Rate)
- UBR(Unspecified Bit Rate)
- ABR(Available Bit Rate)

이러한 서비스들은 트래픽의 특성과 QoS 요구사항들과 관련되며, 라우팅, 호 접속 제어(Call Admission Control), 자원 할당 등의 제어 방식도 이들 서비스에 따라서 결정된다. 트래픽의 종류는 실시간과 비실시간으로 구분된다. 실시간 트래픽은 CBR과 rt-VBR, 비실시간 트래픽은 nrt-VBR, UBR, ABR등이 있으며, 이 서비스들의 구체적인 사항들은 다음과 같다.

① CBR 서비스

연결 시간 동안 Constant Cell Rate를 요구되며, 따라서 셀 지연과 지연변이가 엄격히 제한된다. 음성, 화상, circuit emulation등이 속한다.

② rt-VBR 서비스

엄격하게 제한된 지연과 지연변이를 요구하는 실시간 응용 서비스를 위한 것으로, Variable Cell Rate로 전송된다. 통계적 다중화(Statistical Multiplexing)의 결과로 망 자원의 효율적인 이용을 도모할 수 있다. 압축 화상 등이 이에 속한다.

③ nrt-VBR 서비스

버스티(Bursty)한 트래픽 특성을 가지며, Variable Cell Rate로 전송된다. 지연 특성에 큰 영향을 받지 않아 셀 지연만이 제한되고 낮은 셀 손실률을 요구한다. 통계적 다중화와 버스티한 특성으로 망 자원의 효율적 이용이 가능하다.

④ UBR 서비스

셀 지연, 지연변이 및 셀 손실의 어느 것도 제한되지 않으며, 남은 대역폭을 사용한다. 비실시간 응용 서비스인 파일 전송, 전자우편(email) 등이 속한다.

⑤ ABR 서비스

ABR은 연결 설정 후에 일어나는 변화로서, 셀 지연, 지연 변이 및 셀 손실을 최소화하기 위해 피드백(feedback)을 사용해 소스의 셀률을 제어한다. 이 피드백 제어를 위한 정보들은 RM 셀이라 불리는 특정 제어 셀을 통해 소스에 전달된다. ABR 서비스는 주어진 접속에서 지연이나 지연변이의 제한을 요구하지 않으므로 실시간 응용 서비스는 지원하지 않는다. 데이터 전송, remote procedure call, 분산 파일 서비스 등이 이에 해당한다. 이러한 서비스 클래스들의 QoS와 파라미터들은 〈표 1〉과 같다.

3. ABR 트래픽 제어

2 장에서 설명한 서비스 클래스들 중에서 ABR은 최소한의 대역폭 제한만을 요구하는 서비스 응용들을 위해 정의된 서비스 등급이다. 셀 손실 및 에러에 대해 QoS 보장을 요구하는 데이터 전송 등에 해당하며, 시간에 따른 대역폭 변화와 셀 지연을 수용할 수 있어야 한다.

〈표 1〉 ATM 계층 서비스

속성 파라미터	ATM 계층 서비스 클래스				
	CBR	VBR		ABR	UBR
		Real-time VBR	Nonreal-time VBR		
CLR	specified	specified		specified	unspecified
CTD	specified	specified		unspecified	unspecified
CDV	specified	specified	unspecified	unspecified	unspecified
PCR, CDVT	specified	specified		specified	specified
SCR, BT	not applicable	specified		not applicable	
MCR	unspecified	unspecified		specified	not applicable
제어정보	no			yes	no

ABR 서비스를 이용하는 트래픽들은 망의 수용력에 자신의 순간 전송률을 계속 맞추어 가면서 가용 대역폭을 최대한 사용하게 된다. 따라서 ABR 트래픽이 폭주 상태를 초래하지 않으면서 망의 가용 대역폭을 최대한 활용하도록 하고, 또 링크를 공유하는 연결들이 가용 대역폭을 공평하게 분배받을 수 있도록 하기 위해서는 ABR 서비스를 위한 효과적인 폭주 제어 기법이 필수적이다.ATM 포럼의 트래픽 관리 위원회(Traffic Management Committe) WG(Working Group)에 의하면, 모든 트래픽의 전송원들은 정기적으로 RM(Resource Management) 셀을 전송하여 해당 연결의 현재 전송률과 요구 전송률을 표시한다. 이 RM 셀이 통과하는 경로 위에 있는 모든 스위치들은, 자신이 그 연결에 할당해 줄 수 있는 대역폭을 계산하여 이에 근거하여 RM 셀의 요구 전송률 필드를 수정할 수 있다. 수신지에 도달한 RM 셀은 바로 전송원에게 반환되며, 전송원은 RM 셀에 포함된 정보를 근거로 새로운 전송률을 설정하게 된다.

최근까지 ATM 포럼의 트래픽 관리 위원회 WG는 ABR 트래픽 제어 분야의 다양한 기법들을 연구해왔고 많은 사항들이 표준화됨과 아울러 여전히 연구중이다.

① Open-loop vs. Closed-loop

Open-loop 방식은 종단간(end-to-end) 피드백을 지원하지 않는다. Closed-loop 방식은 소스가 망이 제공한 피드백 정보를 이용하여 셀 전송률을 제어한다. 따라서, Closed-loop 방식은 고속의 망에서는 적합하지 않지만, 비실시간 데이터 응용들은 종단간 지연에는 민감하지 않으므로 이러한 응용들에 대해 ABR 서비스가 정의된다.[6]

② 크레딧 기반(Credit-based) vs. 전송률 기반(Rate-based)

ABR 폭주 제어는 크레딧 기반과 전송률 기반 방식들로 분류된다. 크레딧 기반 방식은 링크 단위로 폭주 제어가 수행되며 수신측은 각 VC로 전송 가능한 셀들의 수, 크레딧을 결정한다. 전송률 기반 방식은 일반적으로 종단간 폭주 제어가 수행되며 망 내에서의 폭주 상황에 따라 송신원의 전송률을 직접 제어한

다. ATM 포럼에서는 전송률 기반 방식을 채택하고 있다. [7,8]

③ Binary 피드백 vs. Explicit 피드백

Binary 피드백은 셀 내에 한 비트를 이용해 폭주 상태인지를 나타내며[9], Explicit 피드백은 소스에게 전송 속도를 지정해준다.

④ 폭주 감지 : 큐 길이(Queue length) vs. 큐 확장률(Queue Growth Rate)

이전 방식은 큐의 길이가 커지면 폭주로써 간주되었으나, 불공정성(unfairness)등 문제점들이 제시되어 큐 확장률 방식이, 특히 전송률 기반 방식에서 더 적합하다.

3.1 RM 셀 구조 및 서비스 파라미터

ABR 서비스에서 소스는 망 상태에 따라 전송률을 제어한다. 가용 대역폭, 폭주 정도 등의 정보는 RM(Resource Management) 셀을 통해 소스에게 전달된다. ATM 포럼이 지정한 RM 셀 포맷은 다음의 (그림 1)과 같다. [3, 10]

ATM header	5 bytes
Protocol ID	1 byte
DIR(Direction)	1 bit
BN(Backward Notivication)	1 bit
CI(Cogestion Indication)	1 bit
NI(No Increase)	1 bit
RA(Request/Ack)	1 bit
Reserved	3 bits
ER(Explicit Rate)	2 bytes
CCR(Curent 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 bytes

(그림 1) RM 셀 포맷

각 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 증가 시킬 수 있다. 그리고 송신원은 전송률을 증가시킬 때를 알기위해서 out-of-rate 셀들을 사용한다.

또한, ATM 포럼은 ABR 서비스에 대해 〈표 2〉와 같은 흐름 제어 파라미터를 설정하고 있다.

3.2. 망 요소의 동작

망 요소들인 송신원, 수신원, 스위치들의 동작에 관련된 기본적인 사항들은 다음과 같다.

① 송신원 동작[10]

전송률 조정에 관련된 동작들은 다음과 같다.

- 송신원은 ICR의 전송률로 전송을 시작하며, 순방향 RM 셀을 먼저 전송하고 최초의 데이터 셀을 전송한다.
- ACR의 값은 min(PCR, ACR)보다 클 수 없고,max(MCR, ACR)보다 작지 않다.

〈표 2〉 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 휴지 기간 후에 초기 전송률.
CRM	역방향 RM 셀을 받지 못한 경우 보낸 수 있는 RM 셀들의 수.
ACR(Allowed Cell Rate)	송신원은 ACR 이하로 전송해야 한다.
Nrm(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.
T_{rm}(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 연관하여 ACR의 감소치를 제어한다.
TCR(Tagged Cell Rate)	송신원이 Out-of-rate 순방향 RM 셀들을 보낼 때의 전송률

- 송신원이 마지막 in-rate 순방향 RM 셀을 보낸 후로 지난 시간 T가 ADTF보다 크고 ACR이 ICR보다 크다면 ACR은 ICR로 감소된다.
- CI=1이고 역방향 RM 셀을 받았다면, 적어도 ACR×RDF만큼 ACR을 줄인다. CI=0, NI=0 인 역방향 RM셀을 받았다면, ACR은 RIF*PCR만큼 증가된다. NI=1이면 ACR은 증가되지 않는다.
- 역방향 RM 셀을 받으면, 앞서 계산된 ACR과 ER 필드 중 최소값으로 ACR을 설정한다.
- 순방향 RM 셀을 보내기 전에, ADTF 만큼의 시간이 지났다면 ACR은 ICR로 설정된다.
- BN=0인 역방향 RM 셀을 마지막으로 받은 이후로 CRM개의 순방향 in-rate RM 셀들을 보냈다면, ACR을 적어도

ACR×CDF 만큼 줄인다.

순방향 RM셀을 보내는 동작은 다음과 같다.

- Nrm개의 데이터 셀마다 순방향 RM 셀 한 개를 전송한다.
- Mrm개 이상의 셀들이 전송되었고 마지막 순방향 RM 셀이 전송된 후로 Trm의 시간이 지났다면 다음 셀로 순방향 RM 셀을 보내야 한다.
- ACR의 값은 순방향 RM 셀의 CCR 필드 값이 된다.
- Our-of-rate 순방향 RM 셀의 전송률은 TCR보다 클 수 없다.

② 수신원 동작[10]

순방향 RM 셀을 되돌려 보내는 동작은 다음과 같다.

- 수신원은 데이터 셀을 받을 때 현재 연결의 EFCI 상태로써 EFCI를 저장한다.
- RM 셀을 돌려줄때, EFCI=1이라면 DIR을 0에서 1로 바꾸고 BN은 0으로 설정한다. 이전의 사용자 셀이 EFCI=1을 포함한다면 CI는 1로 설정된다. ER 필드를 감소시킬 수 있으며 CI 혹은 NI를 1로 설정할 수 있다.
- 같은 VC로 다음 순방향 RM 셀이 도착하기전에, RM 셀을 되돌려 보내지 못하면 이전 RM 셀을 새로운 RM 셀로 대치하는 것이 권고된다.

역방향 RM 셀을 만드는 동작은 다음과 같다.

- 수신원은 순방향 RM 셀을 받지 못해도 역방향 RM 셀을 만들 수 있다.
- 역방향 RM 셀을 만들 때, 10cells/sec로 한정되며 BN 및 DIR과 CI 혹은 NI가 1로 설정된다.

② 스위치 동작

- 스위치는 폭주가 발생하면 EFCI marking, Relative Rate Marking, Explicit Rate Marking, VS/VD Control중의 한가지 방법을 취한다.
- 스위치는 각 VC에 대해 CI 혹은 NI =1이고 BN=1, DIR=1인 역방향 RM 셀을 만들 수 있다.

3.3. ABR 트래픽 제어 알고리즘

ABR 서비스를 지원하기 위해서 ATM 스위치는 폭주 제어를 수행함과 동시에 모든 연결에 공정하게 자원을 할당해야 한다. 이 들 두가지 기능을 수행하는 알고리즘들은 크게, EFCI (Explicit Forward Congestion Indication), CI, NI 비트들을 사용하는 Binary 피드백 방식과 ER 필드를 사용하는 Explicit Rate 피드백 방식으로 분류된다.

ATM 포럼에서 다양한 트래픽 제어 알고리즘들이 제안되었고, 이들은 폭주 감시 기준 및 채택된 피드백 메커니즘에 따라서 분류될 수 있다. 본 절에서는 표준으로 채택된 전송률을 기반으로 한 대표적인 ABR 트래픽 제어 알고리즘들을 설명한다.

(1) EFCI(Explicit Forward Congestion Indication) 방식

초기 스위치들은 모든 ABR 연결들이 공유하는 선입선출 큐에 기반한 Binary 방식 구현했었다. 그러한 스위치의 가장 간단한 예는, 폭주가 발생하면 데이터 셀 헤더에 있는 EFCI 비트를 표시하는 것이다. EFCI 메커니즘은 VBR 데이터에 관련 연결에서 사용되는 종단간의 흐름 제어 중 하나로 선택해서 사용되어지는 방법인데 ABR 서비스에 유용하게 사용되는 것을 볼 수 있다.[5,10] 이 방식은 ITU-

T에 의해 권고된 방식으로[2], 이미 망내의 ATM 스위치에서 구현되었다. 이러한 종류의 피드백 메커니즘은 셀 헤더에 있는 EFCI 비트를 세팅하는 이진 피드백을 사용한다. 이진 피드백 메커니즘은 오래 전부터 사용되어오던 방법인 DECbit 방법을 기본으로 한다.[7,9] 이 알고리즘에서는 스위치에 있는 모든 가상 채널은 공동의 선입선출 큐를 공유하고 큐의 길이는 감시된다. 만약 큐의 길이가 폭주(congestion)라고 설정된 임계치를 능가하면 그 스위치를 지나는 셀들은 셀 헤더에 있는 EFCI 비트를 세팅한다. 만약 큐의 길이가 임계점 이하로 떨어지면 스위치를 지나는 셀들은 EFCI 비트를 세팅하지 않는다. 트래픽 송신원은 피드백 셀(수신원에서 송신원으로 돌아오는 셀)과 셀 헤더에 있는 EFCI 비트가 세팅이 되어 있는지를 확인해서 자신의 전송 속도를 조절한다. 송신원은 자신의 전송 속도를 순차적으로(addictive) 증가시키고 급격하게(multiplicative) 감소시킨다.

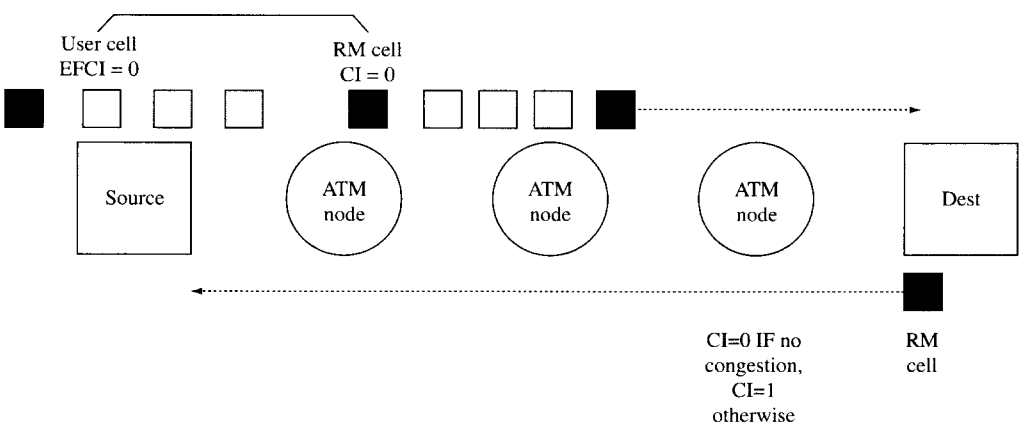
이진 피드백 메커니즘에서는 가상 채널 노드와 노드 사이의 길이가 길 경우에 셀들이 보내지면 그 셀들은 자신의 EFCI 비트가 세팅될 확률이 높고 자신의 전송률을 높일 기회는 줄어든다. 이 문제를 "beat down problem"이라고 부른다. 이러한 문제는 각 가상 채널마다 서로 다른 큐를 제공함으로써 어느 정도 해결될 수 있다. 그러나 이진 피드백 메커니즘의 전형적인 문제점은 고속 망에서 전송률 기반 제어를 하는데 매우 느리다는 점이다.

(2) Explicit Rate Feedback Schemes

Explicit Rate Feedback방식은 EFCI 제어 방식에 비해 더 빠를 뿐 아니라 스위치에 적용하여 구현하기도 용이하다. 모든 Explicit Rate Feedback 방식은 다음의 기본적인 기능을 수행해야 한다.

- VC 당 할당할 수 있는 공정한 대역폭 크기를 계산한다.
- 현재 망의 트래픽 양 혹은 폭주 정도를 결정한다.
- 각 연결에 대해 ER을 계산하고 송신원에게 계산된 ER을 보낸다.

ATM 포럼에 다음과 같은 대표적인 알고리즘들이 제시되고있다. [3]



(그림 2) EPRCA에서 셀의 흐름

① EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm)

EPRCA 방식은, PRCA 방식[11]과 Explicit Rate 방식[7]을 합한 것으로, 1994년에 ATM 포럼에 의해 확정되었다.[12] 알고리즘에서 송신원은 매 Nrm개의 사용자 셀마다 하나의 RM 셀을 만들어서 순방향으로 보낸다. 이렇게 보내어진 RM 셀은 수신단말을 통해서 송신원에게로 피드백 루프(feedback loop)를 형성한다. RM 셀에는 DIR과 CI 필드를 두어서 종점간의 폭주 정보를 가진다.

RM 셀 페이로드(payload)의 중요한 두 부분은 다음과 같다.

- DIR : RM 셀이 순방향으로 보내어질 것인지 역방향으로 보내어 질 것인지를 결정.
- CI : 폭주가 발생했는지 아닌지를 알려줌. CI=0이면 폭주가 아닌 것을 나타내고 CI=1이면 폭주가 발생한 것을 나타낸다.

모든 RM 셀은 송신원에서 CI 필드의 값이 0으로 설정되어서 순방향으로 보내어진다. 수신원은 만약 이전에 받은 사용자 셀이 EFCI=1이라고 세팅되어 있으면 CI=1로 설정하고 되돌려 보낸다. 또한 중간 노드들도 CI=0 인 RM 셀을 역방향으로 돌려보낼 때 순방향 쪽에 폭주가 발생했을 경우에는 CI=1 로 바꿀 수 있는 권한을 가진다. 송신원은 RM 셀이 CI=0 일 때만 전송률을 증가시킬 수 있다. 그 이전에 송신원은 지속적으로 급격하게 전송률을 감소시킨다.

ABR 접속에서 적당한 전송률을 계산할 수 있도록 RM 셀에 다음의 두 필드가 있다.

- ER : 명확한 전송률(초기에는 PCR로 세팅되어 있다)
- ACR : Allowed Cell Rate, 또는 송신원 전송률의 최대값.

ER 값은 송신원의 트래픽 양이 빨리 감소하기를 원하는 중간 노드에 의해 값이 감소될 수 있다. ACR 필드는 정보를 제공할 목적으로 사용되고 망에 의해서는 변경되지 않지만 송신원이 RM 셀을 받으면 ER과 ACR 필드를 검사해서 ER이 ACR보다 적으면 송신원은 ACR을 ER까지 감소시킨다.[13] EPRCA 방법에서 스위치는 공정성을 계산하고 필요하다면 되돌아오는 RM 셀의 ER 필드를 감소시킨다.

스위치는 exponential weighted average를 사용해서 mean allowed cell rate(MACR)을 계산한다. 다음에 보이는 식은 MACR을 계산한 식이다.[14]

$$MACR = (1 - \alpha) \cdot MACR + \alpha \cdot CCR$$

$$Fair\ Share = SWDPF \times MACR$$

(여기서 α는 exponential average factor, SW_DPF는 1보다 적은 multiplier, CCR (Current Cell Rate), α = 1/16, SW_DPF = 7/8)

스위치는 큐의 길이가 임계점 이상을 넘어가면 되돌아오는 RM 셀의 CI bit을 세팅한다. 이 때 송신원은 계속해서 자신의 전송률을 매 셀마다 감소시킨다.

$$ACR = ACR \times RDF$$

(RDF는 reduction factor)

송신원이 되돌아오는 RM 셀을 받을 때 전송률 증가가 허락되어진다면 AIR(Additive Increase Rate) 양만큼 전송률을 증가시킨다. 만약 CI=0 이면 새로운 ACR은

$$ACR = MIN(ACR + AIR, ER, PCR)$$

로 값이 바뀌고 CI = 1이면 ACR의 값은 변화하지 않는다. 하지만 이러한 방법에는 다음

과 같은 문제점이 발생할 수 있다. 스위치는 폭주를 감지할 때 큐의 길이에 의존한다. 큐의 길이가 일정한 범위(QT)를 넘어가면 폭주 상태라고 정의하고 큐의 길이가 이보다 더 높은 임계점(DQT)을 넘어가면 심한 폭주 상태로 간주하게된다.[14] 이러한 방법은 모든 송신원에게 자원을 공정하게 분배하는데 문제점을 가지게 된다. 뒤늦게 자원을 할당받는 송신원은 더 빨리 자원을 할당받는 송신원에 비해서 매우 낮은 처리율(throughput)을 낸다. 하지만 이러한 문제는 망부하 척도(load indicator)를 큐의 길이가 아니라 큐의 증가 비율로 사용하면 해결 될 수 있다.

② CAPC(Congestion Avoidance Using Proportional Control)

폭주 회피 기법(congestion avoidance)으로 사용되는 CAPC 알고리즘에서는[15] 큐 길이의 변화가 망부하 척도로 사용된다. 이 알고리즘에서 스위치는 목표 이용률(target utilization)을 1보다 약간 적게 설정하고 망부하 척도를 계산하기 위해서 입력 비율을 측정한다. 망부하 척도는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$Load\ Factor\ z = \frac{Input\ Rate}{Target\ Rate}$$

입력 비율은 고정 평균 간격(fixed averaging interval)으로 측정하고 목표율(target rate)은 링크 대역폭(link bandwidth)보다 약간 적게 85 ~ 90%정도로 둔다.

망부하 척도는 fair share를 수정하는데 사용된다. 그리고 fair share는 망부하 척도의 값에 따라 다르게 계산된다. 작업량 척도가 1 보다 적으면 큐가 미 적재(underload) 되어 있다는 것을 나타내는 것이고 1보다 크면 큐가 과잉 적재(overload)되어 있다는 것을 나타낸다.

큐가 미 적재되어 있다면 fair share를 증가시켜야 한다. 다음에 보이는 식은 미 적재 되어있을 경우 fair share를 증가시키는 식이다.[14]

$$Fair\ share = Min(ERU,\ 1 + (1 - LF)RUP) \times fair\ share$$

RUP는 slope 변수로 0.025와 0.1 사이의 값을 가진다. ERU는 fair share를 증가 시킬 수 있는 최대한의 허용 값으로 1.5로 설정되어 있다. 큐가 과잉 적재되어 있을 경우에는 fair share를 감소시켜야 한다. 다음에 보이는 식을 과잉 적재되어 있을 경우 fair share를 감소시키는 식이다.[Amba96]

$$Fair\ share = Max(ERF,\ 1 - (LF - 1)Rdn) \times fair\ share$$

Rdn은 slope 변수로 0.2와 0.8 사이의 매개변수이고 ERF는 허용되어지는 최대한의 감소치로, 0.5로 설정되어 있다. 만약 계산된 fair share가 RM 셀의 ER 값보다 적으면 RM 셀의 ER 필드는 fair share로 설정된다.

이 방법은 EPRCA 방법처럼 각 연결마다 변수가 유지될 것을 요구하지 않는다. 하지만 이러한 변수들은 엄격한 수렴을 요구하기 때문에 신중히 설정되어야 한다. 만약 변수가 설정에 오류가 있다면 전송률의 매우 심한 진동을 유발하고 각 송신원에게는 불공평하게 동작할 것이다. 다른 접근 알고리즘처럼 CAPC 방식도 RIF와 RDF의 값에 매우 민감하게 반응한다.

③ ERICA(Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance)

이 알고리즘은 효율성과 공정성을 보장하는 동시에 부하가 적은 가상채널은 망의 상태와 상관없이 fair share 비율만큼 송신원의 전송률을 증가시킨다. 그리고 송신원의 전송률이 fair share 비율까지 접근하거나 이를 능가한 송신원은 링크가 전부 사용 중이 아니면 자신의 전송률을 증가시킨다. 그리고 스위치의 목표 용량

(target capacity)은 전체 대역폭의 90 ~ 95% 정도로 높게 설정한다. 스위치가 계산하는 fair share는 다음 식과 같다.

$$Fareshare = \frac{Target\ capaity}{Number\ of\ active\ VCs}$$

송신원이 사용할 수 있는 여분의 용량은 다음 식과 같다.

$$VCshare = \frac{CCR}{Load\ Factor\ z}$$

ERICA 알고리즘은 폭주 회피 단계에서 사용된다. 이 알고리즘은 파라미터의 변화에 민감하지 않은 것으로 입증되어 있다. 전송률의 수렴속도가 매우 빠르고 진동이 거의 없다. 하지만 모든 연결과 버퍼가 요구하는 이상적인 공정성 확보는 어렵다. 늦게 접속한 송신원이 동등한 링크 소스를 공유해서 사용할 수 있다. 하지만 max-min fair rate를 만족시키지는 못한다.[7,14] 그리고 만약 원하는 목표 이용률이 전체 링크 전송률(full link rate)을 요구한다면 큐는 급속히 증가하고 매우 많은 셀의 손실을 발생시키는 문제점을 가지고 있다.

3.4. 최근 연구 동향

ABR 서비스는 지금까지 많은 부분이 표준화되었고 다양한 ABR 서비스 폭주 제어 알고리즘들이 제안되었다.[1-3] 그러나 아직도 해결되지 않은 사항들이 남아있으며, ATM 포럼과 ITU-T에 의해 이러한 의문 사항들이 논의되고 있는 중이다. 첫째, 지금까지는 주로 점대점(point-to-point) ABR 연결에 관해서만 다루어졌다. 하지만 점대다중(point-to-multipoint) ABR 연결의 기본적인 부분에 대해서도 연구되어야 한다.[16] 점대다중 연결은 하나의 루트(root : 송신원의 역할을 함)와 종단 노드(leaf : 수신원의 역할을 함)로 이루어져 있다. 점대점 ABR 연결에서처럼 전송률 기반 트래픽 제어가 각 연결에 대해 시험적으로 적용되고 있다. 사용자 셀은 단지 루트에서 종단 노드들로 전달된다. 그러나 RM 셀은 양방향으로 순환한다. 순방향 RM 셀들은 분기점에서 복사되어 전송되고, 역방향 RM 셀들은 서로 조합되어 하나의 RM 셀로 만들어진다. 정보 조합의 한 방법으로는, 각 ER 필드들의 최소값으로 새 ER 필드를 취하고, CI 비트와 NI 비트는 논리합 연산으로 취하는 것이 있다. 이런 식으로 ABR 서비스는 일대다의 멀티캐스트 연결로 확장될 수 있다. 그러나 만약 점대다중 연결에서 가장 느린 연결의 전송률로 전체 속도를 낮춘다면 문제가 발생한다. 이 경우에는 전체 망 연결의 폐쇄를 막기 위해서 응답이 없는 연결을 인지하여 트래픽 제어 대상에서 제외되어야 한다.

둘째, 성능 평가에 관한 사항이다. 많은 시뮬레이션(simulation) 연구들이 전송률 기반 트래픽 제어 연구와 함께 이루어져왔으나 ATM 포럼에 의해 채택된 트래픽 제어 알고리즘에 대해 명확한 성능평가 규정이 이루어지지 않았다. 특히, 공정성(fairness)은 가장 큰 연구 대상으로, EFCI 스위치로 구성된 망에서 공정성이 이루어져야 한다. 공정성은 ABR 서비스의 목표이기도 한데, 아직까지 그 정의나 시험이 정확히 규정되지 않고 있다. 그 외에도 CBR과 VBR 트래픽을 함께 고려할 경우의 트래픽 제어 성능 평가 및 앞으로 망의 속도, 크기, 스위치 수등이 현재보다 커질 경우에 알고리즘이 확장가능한지도 고려되어야 한다.[17]

셋째, 가상 송신원과 수신원(Virtual Source and Destination)에 대한 사항이다. 종단간 전송률 제어의 단점인 긴 왕복 지연 시간은, 망을 여러 개의 세그먼트로 분할하여 스위치들에 가상 송신원/가상 수신원의 역할을 맡기어

동작시킴으로써 해결할 수 있다.[Hluc94] 피드백 루프의 크기는 줄어들고, 경우에 따라서는 중간 부분에서는 적당한 폭주 제어 방법을 사용하는 것도 가능하다. 그러나 인접한 두 ABR 세그먼트간의 결합은 구현에 따라 달라질 수 있으며, 가상 송신원과 가상수신원에서 일부 파라미터들은 망에 따라 달리 설정 되야 한다. 그리고 가상 송신원과 수신원은 VC 단위의 큐를 가져야 하므로 일반 스위치에 비해 구현 비용이 증가한다.

넷째, TCP over ABR에 대한 사항이다. ABR 서비스는 트랜스포트 계층에서 널리 사용되고 있는 TCP 프로토콜의 데이터 응용 일부를(셀 지연과 시간에 따른 대역폭 변화에 둔감한 데이터) 지원하기 위해서 제안되었다. 따라서 TCP over ABR의 망 성능을 측정하기 위해서 많은 시뮬레이션이 실행되어졌다.[3, Saito96] 그러나 대부분의 연구는 ABR 서비스보다는 UBR 서비스와 비슷한 best-effort ATM 서비스를 가정하고 있다. 이 경우, TCP 패킷들을 ATM 셀로 단편화(fragmentation)하는 과정에서 TCP 연결들의 성능 저하가 일어난다. 따라서 이러한 성능 저하를 개선하기 위해서 여러 가지 방법들이 제안되었다. 초기에 제안된 패킷 폐기(packet discard) 방법에 의하면 모든 TCP 패킷들은 큐가 일정 임계치에 도달하면 ATM 버퍼에서 폐기된다.[18] 두 번째 방식으로, 송신원이 일정 전송률을 초과하면 이러한 셀들은 UPC(CLP bit가 세트된다.)에 의해 표시된다. 그리고 CLP=1인 셀들은 ATM 버퍼가 과잉 적재(overflow)된 경우에 우선적으로 버려진다. 그 결과 서로 다른 TCP 연결에서 폭주 윈도우(congestion windows)의 비동기화(desynchronization)를 통해서 성능을 향상시킬 수 있다.[19] 세 번째 제안된 방법으로는 TCP 폭주 윈도우를 CLP=1인 셀에 인캡슐레이션 되어있는 하나의 시험(probe) 패킷을 통해서 늘리는 방법이다. 만약 큐의 임계치가 시험 패킷만이 버려질 정도로 적당하게 설정되어 있다면 TCP는 폭주에서 좀더 빨리 회복 될 수 있게 된다. [19]

많은 수의 매개변수가 관여되어 있기 때문에 TCP over ABR의 시뮬레이션은 매우 한정되어 있다. 시뮬레이션을 통해서, EFCI 스위치에서처럼, TCP 성능은 어떤 매개변수(ICR)에 의해서는 민감하지 않은 반면에 다른 매개변수(RDF,RIF)에 의해서는 매우 민감하게 반응한다는 정도는 알려져 있다. 따라서 매개변수의 적절한 선택은 성능에 영향을 미칠 것이다. 그러나 적당한 매개변수 선택의 기준은 아직 구체적으로 설정되지 않았으며, 앞으로 좀더 연구되어야 한다.

4. 결론

ABR 서비스는 시간에 따른 대역폭 변화와 종단간 셀 지연에 적응할 수 있는 데이터 응용들을 포함하므로 CBR과 VBR 트래픽이 사용하고 남는 대역폭을 이용한다. 따라서 망 효율을 상당히 증가시킨다. 본 논문에서는 ATM 망 성능에 큰 영향을 끼치는 트래픽 제어 중에서 ABR 서비스에 관한 폭주 제어의 기본 개념들과 대표적인 알고리즘 및 ATM 포럼이 제안한 규정 사항들을 분석하고 살펴보았다.

ATM 포럼 및 ITU-T에 의해 ABR 서비스의 표준이 나왔고 현재도 표준화가 진행중이지만 ABR 서비스의 구현과 관련된 많은 새로운 사항들이 연구되어야 한다. 특히, 점대다중 연결, 공정성 및 ABR에서의 TCP 성능에 대한 연구가 필수적이다. 또한, CBR과 VBR 트래픽을 고려한 전송률 할당 알고리즘에 관한 연구가 계속되어야 할 것이며, 고속의 ATM 망에 실제로 적용되기 위해서는, 버스티한 성질을 갖는 VBR 트래픽의 영향을 충분히 고려한 폭주 제어 기법이 고려되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] ITU SG13, Rec. I.371, "Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN", Nov. 1995.

[2] ITU SG13, Rec. I.371, "Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN", Mar. 1993.

[3] ATM Forum " ATM Traffic Management Specification Version 4.0", Apr. 1996. Available through ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/aftm-0056.000.ps

[4] 조유제, "ABR 서비스를 위한 폭주제어 동향", 제 11권 1호, 텔레콤 1995. 6.

[5] R. Jain, "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and A Survey", Compter Networks and ISDN Systems, Oct. 1996; also ATM Forum/95-0017, Feb.1995. Available through http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/papers/cnis.ps.

[6] M.Hluchyi and N.Yin,, "On closed-loop rate control for ATM networks," Proc. INFOCOM 94, 1994, pp. 99-108

[7] A. Charny, D.clark, and R.Jain, "Congestion Control with Explicit Rate Indication ," Proc. ICC' 95, June 1995

[8] L.Roberts, "The Benefits of Rate-Based Flow Control for ABR Service", ATM Forum/94-0796, Sep. 1994.

[9] K.Ramakrishnan and R.Jain, "A Binary Feedback Scheme for Congestion Avoidance in Couputer Networks", ACM Trans. Comp. Sys., May 1990.

[10] R.Jain et al, "Source Behavior for ATM ABR Traffic Management : An Explanation", IEEE Communication Magazine, Nov. 1996.

[11] A.W.Barnhart, "Baseline Performance Using PRCA Rate-Control", ATM Forum/94-0597, July 1994.

[12] L.Roberts, "Enhanced PRCA (Proportional Rate-Control Algorithm)," ATM Forum/94-0735R1, Aug. 1994.

[13] Thomas M, "The Available Bit Rate Service for Data in ATM Networks", IEEE Communication Magazine May. 1996.

[14] Ambalavanar Arulambalam, "Allocating Fair Rates for Available Bit Rate Service in ATM Networks", IEEE Communication Magazine Nov. 1996.

[15] A.W.Barnhart, "Use of the Extended PRCA with Various Switch Mechanisms", ATM Forum/94-0898, Sep. 1994.

[16] K-Y.Siu and H-Y.Tzeng, "Congestion Control for Multicast Service in ATM Networks", Proc. IEEE Globecom' 95, 1995.

[17] H.Saito et al, "Performance Issues in Public ABR Service", IEEE Communications Magazine, Nov. 1996.

[18] A. Romanow and S. Floyd, "Dynamics of TCP Traffic over ATM Networks", Proc. ACM Sigcomm' 94.

[19] M.Perloff and K. Reiss, "Improvements to TCP Performance", Commun. ACM, Feb. 1995.

□ 著者紹介

이 수 경

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

※ 주관심분야 : ATM 트래픽 제어, Wireless ATM 등

정 상 준

1997년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업
1997년 3월 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정 재학중

※ 관심연구분야 : ATM congestion cotrol, Wireless ATM

송 주 석

1976년 2월 서울대학교 전기공학과 학사
1979년 2월 한국과학원 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

※ 관심연구분야 : 프로토콜 공학, ATM 통신망, 통신망 보안등