

인터넷 프로토콜의 성능향상을 위한 패킷 폐기 정책

김명희* · 박승섭**

1. 서론

B-ISDN는 인터넷에서 제공하는 모든 서비스를 수용할 수 있을 뿐만 아니라 광대역 및 대용량의 대역폭을 필요로 하는 서비스인 멀티미디어 서비스, 동화상 회의, 그리고 CATV 등의 서비스까지 제공한다. 이를 가능하게 하기 위해 B-ISDN은 ATM (Asynchronous Transfer Mode)을 채택하였다. 이 방식은 멀티미디어 서비스의 다양한 QoS를 제공한다. ATM Forum TM (Traffic Management) 4.0[1]에서는 ATM 트래픽을 CBR (Constant Bit Rate), rt-VBR (real time Variable Bit Rate), nrt-VBR (non real time Variable Bit Rate), ABR (Avaliable Bit Rate), UBR (Unspecified Bit Rate)의 5가지 종류의 서비스로 정의하고 있다. 먼저 CBR 서비스의 예로 64Kbps PCM 음성신호를 들 수 있으며, 영상신호나 데이터 신호도 CBR 서비스 형태로 제공될 수 있다. VBR 서비스의 예로는 영상이나 음성신호 등이 있다. 또한 비 실시간 서비스의 예로는 데이터 전송이 있는데, UBR 서비스가 여기에 속한다. (그림 1)에서는 향후 인터넷 서비스 트래픽이 실시간성 서비스를 요구하는 음성보다는 비실시간성 서비스의 데이터 트래픽이 증가 할 것임을 보여주고 있다 [14].

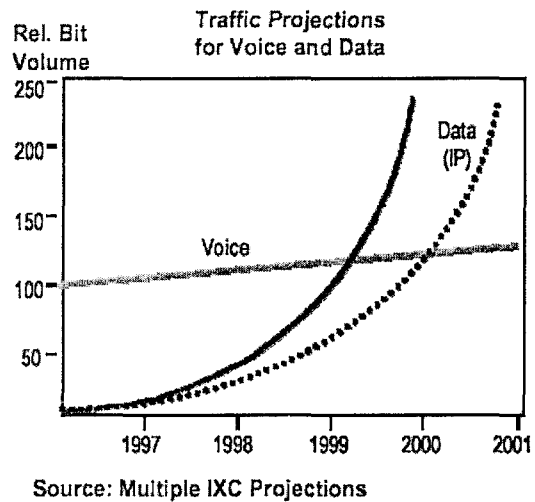


그림 1. 인터넷 트래픽의 패러다임 변화

UBR 서비스는 CBR, VBR 서비스가 사용하고 남은 대역폭을 사용하는 셀 지연에 민감하지 않는 트래픽을 전송하는데 유리하며, 특히 ATM 망에서 제공하는 UBR 서비스는 명백한 혼잡 제어 메커니즘이 없다.

TCP (Transport Control Protocol)는 현재 데이터를 전송하기 위한 인터넷 전송 프로토콜로 가장 많이 사용된다. 기본적으로 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위하여 윈도우를 이용한다[2]. 위의 (그림 2)는 TCP와 ATM의 프로토콜 스택을 보여주고 있는데, UBR상에서 하나의 셀 손실은 전체 패킷 손실을 초래하여 TCP의 성능을 저하시킨다.

*준회원, 부경대학교 대학원 전자계산학전공
 **중신회원, 부경대학교 컴퓨터멀티미디어공학부

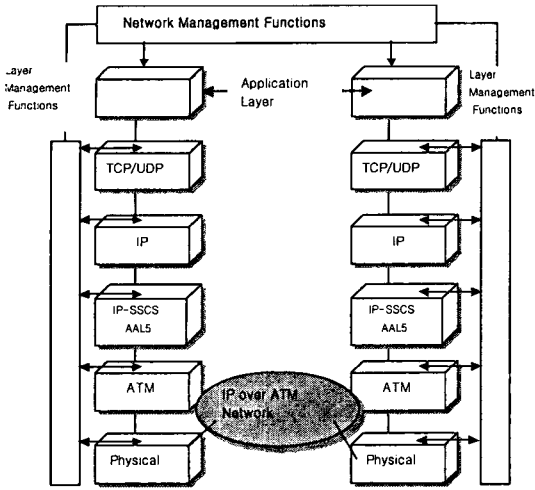


그림 2. ATM상의 TCP 프로토콜 스택

본 논문에서는 UBR상에서의 TCP 성능을 향상시키기 위한 여러 가지 정책들을 소개한다.

(그림 3)에서처럼 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, TCP 종단 시스템 정책과 ATM 스위치 폐기 정책이 그것이다.

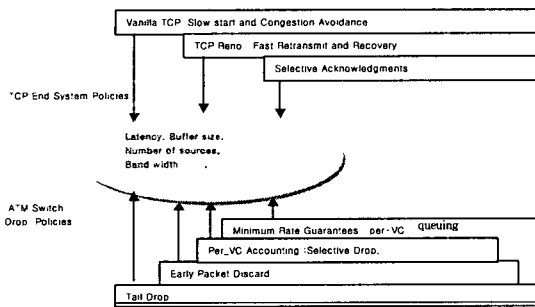


그림 3. TCP over UBR의 설계

2. TCP 프로토콜의 발전

TCP는 연결지향 프로토콜로서 현재 데이터를 전송하기 위한 전송 프로토콜로 많이 사용되고 있으며 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위하여 윈도우를 이용하여 폭주 제어와 오류제어를 수행

한다. 또한 TCP는 점 대 점 통신이 가능하며 전이 중 데이터 전송 기능을 제공한다. 또한 오류제어와 흐름제어를 위하여 go-back-N ARQ (Automatic repeat request)와 슬라이딩 윈도우 방식을 이용한다.

현재의 TCP는 1981년에 RFC 793에서 공식적으로 정의되었으면 수많은 TCP의 성능개선과 구현규격이 계속 추가되었고, 이는 1989년 RFC 1122에서 문서화되었으며 이의 확장인 RFC 1323이 1992년에 정의되었으며, <표 1>은 구현과 표준화 상태에서 TCP 흐름 제어의 발전을 보여준다. 제1세대 TCP는 신뢰성 없는 네트워크 상에서 바이트 스트림의 효율적이고 신뢰성 있는 전송을 위해 타임아웃에 기반을 둔 재전송과 윈도우 흐름 제어가 도입되었고, 제2세대 TCP는 혼잡을 완화시키기 위해서 Slow start와 혼잡 회피를 이용하였으며, 제3세대 TCP는 빠르게 에러를 복구하기 위해 빠른 재전송과 회복 (FRR :Fast Retransmit and Recovery)이 이용되었고, 제4세대 TCP는 고속 네트워크를 겨냥하여 길고 짧은 파이프를 다루기 위해 윈도우 크기 옵션과 타임스탬프 옵션이 추가되었다[13]. 또 SACK (Selective acknowledgments)가 제안되었는데[12], SACK를 이용하는 수신측은 세그먼트에 대한 송신측 정보를 얻을 수 있다. 이러한 기능들은 <표 1>에서처럼 BSD로 구현되었다.

3. 패킷 폐기 정책(PDP)

여기에서 소개될 패킷 폐기 정책(PDP : packet dropping policies)들은 UBR 서비스를 이용한 컨텍션에 적용한다. 여러 PDP들의 변형은 애플리케이션의 QoS를 보충하기 위해 제공되는데, 쓸모 없는 셀을 전송하지 않고 대역폭 낭비를 피하기 위해 사용되어 진다.

표 1. TCP 흐름 제어의 발전

Objectives	Implementation	Standardization
-Connectivity -Reliability	4.2 BSD (1983) -Window flow control -Time-out based retransmission	RFC 793 (1981)
-Connectivity mitigation	4.3 BSD (1989) -Slow start -Congestion avoidance -Fast retransmit	RFC 1122 (1982)
-Fast error recovery	4.3 BSD Reno (1990) -Fast recovery	RFC 2001(1997)
-Long fat pipe	4.4 BSD (1993) -Window scale option -Time stamp option	RFC1323 (1992)
-Effective error recovery	Selective Ack	RFC 2018 (1996)

<표 2>는 PDP의 분류와 특성들을 보여주고 있다. 많은 PDP들은 PPD (Partial Packet Discard)

와 EPD (Early Packet Discard)의 변형이기 때문에, PPD 기반과 EPD 기반으로 나눌 수 있고, 이들은 임계값을 사용하는 정책과 그렇지 않은 정책으로 구별된다. PDP는 단일 버퍼 점유에 관한 정보를 유지하는 정책, 또는 다중 버퍼 점유에 관한 정보와 다중이나 단일 버퍼 임계값을 기초로 분류된다.

분류 레벨에서는 첫 번째 칼럼, PDP가 동작하기 위해 디자인 된 네트워킹 환경을 기반으로 하였고, 여기서는 ATM과 IP 네트워크를 다루었다. 두 번째 칼럼, 혼잡회피 또는 혼잡 제어와 복구처럼 실행되는 충돌 조작 메커니즘의 종류에 따라 분류되었으며, 세 번째 칼럼, 전역 (global) 특성을 가지는 한 개 또는 그 이상의 임계값과 각각의 컨넥션에 대해서 독립적으로 사용되는 다중 임계값을 가지지 않는 특성들의 분류이다. 네 번째, 상태정보는 큐에서 이미 가지고 있는 패킷의 컨넥션 수인데, 전역과 각각의 컨넥션 정보로 나뉜다. 다섯 번째, 정적 또는 동적인 동작을 하는가에 의해 분류되었다. 여러 가지 PDP들은 결합할 수 있는데 이때 각각의 PDP들의 모든 특성을 물려받는다는 것에 주의해야 한다. 다음은 각 PDP에 대해 상세하게 설명한다.

표 2. 패킷 폐기 정책의 분류

Criteria	Environment		Congestion		Threshold			State info		Behavior	
	ATM	IP	Avoidance	Control	None	Global	per-conn	Global	pre-conn	Static	Dynamic
DT	○	○		○	○			○		○	
PPD	○			○	○			○		○	
EPD	○		○			○		○		○	
SD	○		○			○			○	○	
EPDFBA	○		○			○		○	○		○
ESPD	○		○			○		○		○	
RED		○	○			○		○			○

3.1 DT (Drop Tail)

DT는 가장 간단한 구조이며, 모든 PDP에 있어 기본이 된다. DT는 선택적으로 패킷을 폐기하지 않고 버퍼에 여유 공간이 없으면 폐기하는 정책으로, 컨넥션 정보와 같은 상태정보를 유지하지 않는다. 그래서 불필요한 셀을 전송할 가능성이 커져서 공평성 (fairness) 문제와 전역 동기화 (global synchronization) 문제를 가지고 있다. 많은 트래픽을 보내는 컨넥션 일수록 시스템 자원을 많이 가지게 되고, 긴 메시지가 짧은 메시지에 비해 큐에 들어갈 가능성이 낮기 때문에 DT는 긴 메시지가 더 불리하다[9]. 또 버스티한 컨넥션에서는 버퍼가 오버플로우 될 가능성이 크므로 성능이 더 낮다. 이러한 이유로 DT를 가지는 ATM 기반의 TCP/IP 트래픽 성능은 매우 낮으며, 이는 패킷이 클수록 그리고 버퍼 크기가 작을수록 최악의 상태가 된다.

3.2 PPD (Partial Packet Discard)

PPD와 EPD는 ATM 네트워크 상에서 TCP 세그먼트를 효율적으로 전송하기 위해 초창기에 제안되었다[9]. PPD는 DT를 개선한 형태로, 셀을 폐기할 때마다 동일한 패킷에 속하는 셀 중 마지막 셀을 제외한 모든 셀들을 폐기한다. 이러한 패킷은 TCP같은 상위계층 프로토콜에 의해 재전송된다. PPD에서 손상된 패킷에 속하는 셀은 더 이상 전송하지 않으므로, 네트워크 사용효율이 개선된다. 하지만 평균적으로 손상된 패킷의 반 정도만을 폐기시키므로 개선될 여지가 있다.

PPD는 패킷의 경계 정보와 폐기 리스트를 작성하고 적절한 셀을 폐기시키기 위한 컨넥션 정보를 가진다. 이 리스트는 하나의 패킷에서 최소한 하나 이상의 셀이 폐기된 VC들의 집합이다. VC

당 상태 정보는 셀을 제대로 전송하기 위해서 모든 스위치가 가지고 있기 때문에 PPD에게 이러한 정보를 제공할 수 있다. PPD는 계산결과 $O(N)$ 의 복잡도를 가지고 있다. 여기서, N 은 버퍼에서 셀을 가지는 컨넥션의 수가된다. PPD는 DT보다 애플리케이션 메시지 손실율을 개선하긴 하지만, 공평성과 전역 동기화 문제는 여전히 해결하지 못한다.

3.3 EPD (Early Packet Discard)

EPD는 혼잡의 시작을 알리는 버퍼 임계치를 사용한다. 일단 임계치를 넘어서기 전에 수신된 패킷의 일부분이라면 즉, 첫 번째 셀이 아니라면 버퍼에 여유가 있을 때 큐에 삽입된다. EPD는 더 나은 성능을 위해 일반적으로 PPD와 결합하여 사용된다. (그림 4)에서는 EPD가 하나의 노드를 가진 네트워크에서 과부하 상태에 있을 때, PPD와 DT에 비해서 성능이 나은 반면에 낮은 부하에서 성능이 떨어진다[10]. 이것은 임계치가 낮은 부하에서 버퍼 크기를 작게 만든다는 사실에 기인한다. 또한, EPD는 조정 가능한 파라미터를 가지고

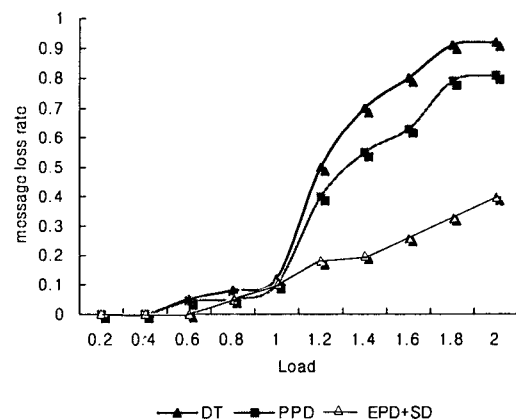


그림 4. 메시지 손실률에 대한 부하 (buffer size = 32 cells)

있다는 단점이 있다. EPD의 공정성 문제는 짧은 패킷을 구별한다는 것이다. 이는 임계치에 도달할 때 짧은 패킷일수록 도착할 가능성과 폐기될 가능성이 더 크기 때문이다. 상태 정보에서 EPD는 PPD에서와 같이 “폐기 리스트”를 작성하고 유지해야 한다. EPD는 매커니즘을 작동시키기 위해서 임계치-교차 사건 (threshold - crossing event)정보를 가지고 있어야 하며, 이것으로 메시지의 시작임을 알 수 있다. 또한 PPD처럼 $O(N)$ 의 복잡성을 갖지만, TCP의 전체적인 동기화 문제를 다루지는 않는다[15].

3.4 SD (Selective Drop)

선택적 폐기(SD) 정책은 EPD의 공정성을 개선하기 위해서 제안되었다[7]. EPD는 다중 TCP 컨넥션을 포함하는 패킷들을 구별하지 않는다. 즉 EPD는 하나의 TCP 컨넥션이 한 개의 패킷 전송을 끝내고 윈도우 크기를 증가시키는데 이런 상황은 버퍼 오버플로우에 의해 또 다른 TCP 컨넥션에서 셀이 폐기될 수 있음을 의미한다. 타임아웃 되었을 때, TCP의 두 번째 컨넥션은 자신의 CWND (congestion window size)를 줄임으로써 처음 TCP 컨넥션이 불공평한 대역폭을 할당받게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 SD는 버퍼에서 각각의 VC당 셀 수를 유지하도록 한다. 만일 N 개의 VC를 가진 버퍼에서 C 개의 셀이 있다면 공정한 할당은 C/N 가 될 것이다.

임의의 VC x 에 대해, 가중치 $W(x)$ 는 아래와 같이 계산 될 수 있는데, 가중치는 버퍼에 저장된 실제 셀 수 ($C(x)$)와 공정하게 할당받은 셀 수 사이의 비율이다.

$$W(x) = \frac{C(x)}{C/N}$$

여기서, $W(x) > 1$ 이면, $C(x)$ 는 공정한 몫(Fair share) 보다 많은 자원을 사용하고, $W(x) < 1$ 이면, $C(x)$ 는 공정한 몫보다 자원을 적게 사용하게 된다. 만일 큐 길이가 임계값을 넘으면, 컨넥션 x 로부터 들어오는 다음의 새로운 패킷은 폐기된다. 따라서 셀이 폐기되는 조건은 ($C > Threshold$)와 ($W(x) > z$)이다. 이때 z 는 공정성을 나타내는 SD 파라미터이다.

SD는 다른 컨넥션들 보다 더 많은 자원을 사용하거나 허용되지 않은 송신측에게 먼저 송신측의 윈도우 크기를 줄일 것을 알려줌으로서 전역 동기화 문제를 경감시킬 수 있다.

3.5 EPD with FBA (Fair Buffer Allocation)

EPDFBA는 SD와 매우 유사하다. 다음의 조건에서

$$C > Threshold, \\ W(x) > Z \frac{B - Threshold}{C - Threshold}$$

셀이 폐기된다. 여기서 B 는 버퍼의 크기이고 C 는 현재 버퍼에 저장된 셀의 합이다. 여기서, 가중치는 큐 이용률을 변화시키기 때문에 RED와 같은 동적 요소(dynamic factor)와 비교된다.

공정성은 아래 공식을 사용해서 계산 될 수 있다.

$$Fairness = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

여기서, x_i 는 i 번째 TCP 송신측의 효과적인 처리율이고 n 은 컨넥션의 수를 나타낸다. 임계치가 0.9이고, Z 가 0.8이면 최상의 성능을 가진다[8].

3.6 ESPD (Early Selective Packet Discard)

ESPD는 EPD의 개선책으로 TCP 동기화 문제

를 제거하기 위해서 개발되었다. 그 목적을 이루기 위해, ESPD는 패킷을 폐기할 부분의 나머지 공간에서 특정한 송신측의 소스를 선택한다. 이 방식은 낮은 임계값과 높은 임계값을 사용하며, 높은 임계값에 도달하자마자 새로운 패킷을 전달하는 모든 컨넥션에 표시(red mark)되고, 뒤따르는 모든 패킷은 표시가 없어질 때까지 계속 폐기된다. 이 표시는 일단 큐 길이가 낮은 임계값에 도달하면 없어진다. 따라서 혼잡 상황에서 ESPD는 확실한 컨넥션 수에서의 폐기에 초점을 둔다. 이 방식은 임계값을 설정하는 것이 중요한데, 높은 임계값인 버퍼 크기의 약 60퍼센트에서 설정되었을 때 최상의 처리율을 나타낸다. 그러나 임계값 사이의 간격이 약 10퍼센트 이내일 때 가장 좋은 처리율을 가진다. ESPD는 EPD보다 훨씬 긍정하나 처리율은 낮다[11].

3.7 RED (Random Early Discard)

RED 알고리즘은 혼잡 회피와 하위 레벨에서의 평균 큐 크기를 관리할 목적으로 제안되었다[4]. 다른 PDP들과의 차이점은 연결에 대한 어떠한 상태 정보도 라우터가 유지할 필요가 없다는 것과 TCP와 같은 상위 계층의 혼잡 제어와 함께 동작하도록 설계되었다는 점이다. RED는 아래의 목적을 수행한다.

- 혼잡 회피 - RED는 낮은 지연과 높은 처리율의 영역에서 폭주를 검출하고 평균 큐 길이를 보장하는 혼잡 회피 알고리즘이다. 이를 위해 두 개의 임계치를 사용한다.
- 전역 동기화 회피 - 폭주 동안에 라우터에서 패킷이 폐기될 때, 다른 많은 컨넥션들에 속한 패킷이 폐기 될 가능성이 매우 높다.

TCP/IP 환경에서, TCP 송신측은 Slow Start

구간에 진입함으로써 폐기된 패킷에 반응하고, 다른 많은 송신측에서 동시에 Slow Start 구간에 진입하게 되면 네트워크 애플리케이션에서는 극심한 패킷 폐기를 경험하게 된다. 혼잡의 검출과 랜덤하게 사용자들의 단편 선출하는 것으로 RED는 폭주와 전역 동기화 문제를 해결한다.

- 다른 트래픽 타입간의 공정성 - RED는 버스티한 컨넥션의 집중을 회피한다. 버스티 소스는 폭주의 원인이 될 가능성이 높으므로 특히 중요하지만, 그렇다고 해서 더 많은 대역폭을 소모하는 것을 의미하지는 않는다[6].

RED는 버퍼에서의 평균 큐 길이(Q_{avg})를 이용하여 혼잡 제어를 수행한다. RED는 매 패킷이 도착할 때마다 Q_{avg} 를 구하고, 이것을 미리 정해놓은 파라미터인 최소 큐 임계치(minimum threshold, min_{th})과 최대 큐 임계치(maximum threshold, max_{th})과 비교한다. Q_{avg} 가 min_{th} 보다 작을 때 망의 링크의 사용이 낮은 수준에 머물러 있다고 판단할 수 있으므로 모든 패킷은 정상적으로 처리된다. 하지만 Q_{avg} 가 min_{th} 와 max_{th} 사이에 있을 때 도착하는 패킷은 확률, p_a 에 의해 랜덤하게 폐기되든지 혼잡 통보(congestion notification)를 의한 비트(ECN bit)를 마크한다. 이 확률은 1에서부터 RED 내에 정의된 상수인 최대 확률(maximum probability, max_p)까지의 범위 내에 존재한다. Q_{avg} 가 max_{th} 보다 클 때 Q_{avg} 는 max_{th} 밑으로 떨어질 때까지 도착하는 모든 패킷을 폐기하거나 ECN 비트를 마크한다.

또한 EWMA(Exponential Weighted Moving Average)를 통해 low pass 필터를 사용하여 다음과 같이 계산한다.

$$Q_{avg} \leftarrow (1 - w_q) * Q_{avg} + w_q * q$$

Q_{avg} 를 구할 때 현재의 큐 길이가 Q_{avg} 에 미치

는 영향은 큐 가중치(w_q)로 결정된다. RED에서는 w_q 를 이용하여 일시적인 버스트 트래픽의 영향으로 인해 실제 큐의 길이가 짧은 시간 동안 증가하더라도 Q_{avg} 가 곧 바로 영향을 받지 않도록 하고 있다[5].

(그림 5)는 RED 알고리즘이 어떻게 동작하는지, 패킷 폐기 확률과 운용상 세 가지 범위(정상 운영 영역, 혼잡회피 영역, 혼잡제어영역)를 어떻게 지시하는지를 보여준다. 만약 평균 큐 길이가 하위 임계치 보다 낮으면, 알고리즘은 정상 운영 영역에 속하고 모든 패킷을 수용한다. 반면에, 상위 임계치 보다 높으면, RED는 폭주 제어 영역에 속하게 되고 들어오는 모든 패킷을 폐기한다. 또한 평균 큐 길이가 두 임계영역사이에 존재하게 되면, RED는 혼잡 회피 영역에 속하고 패킷은 일정한 확률 p_a 를 사용하여 폐기된다.

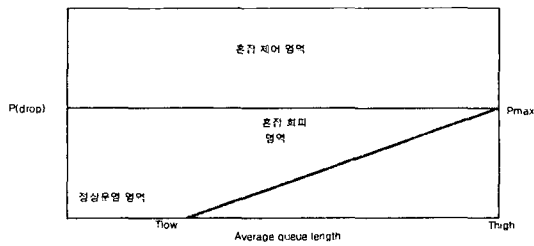


그림 5. RED 알고리즘

4. 요약 및 결론

(그림 6)에서, 혼잡 회피와 하위 레벨에서의 평균 큐 크기를 관리할 목적으로 제안된 RED 정책은 최고의 goodput을 가지며, EPD의 공정성을 개선한 EPDFBA 정책이 최고의 공정성을 제공하는 것으로 나타났다[3]. 비록 여기서 보여지지 않았지만, 보다 큰 패킷 크기를 사용하였을 때 이 결과는 변할 수 있다.

EPDFBA는 LAN 환경에서 처리율과 공정성 모두가 최고의 성능을 보였고, RED는 WAN 환경에서 최고의 정책이다. 또한 (그림 6)은 모든 방법이 거의 동일한 성능을 가짐에 따라 LAN 환경의 goodput에 있어 최소의 효율을 가지는 패킷 폐기 정책을 제안되었다[3].

본 논문에서, PDP는 시간이 지남에 따라 점차적으로 발전되고 있음을 소개하였다. 지금까지 ATM과 IP 네트워크 환경에서 PDP에 관한 설계의 쟁점들이 논의되어 왔다. 패킷의 단편화 문제에 의해 ATM상의 IP에서의 PDP는 낮은 성능 결과를 나타냈다.

초기의 PDP는 상위 계층(TCP/IP)에 의해 재전송 될 셀들을 식별하고, 선택적으로 폐기시킴으로써 혼잡을 피하고 네트워크 사용효율을 증가시

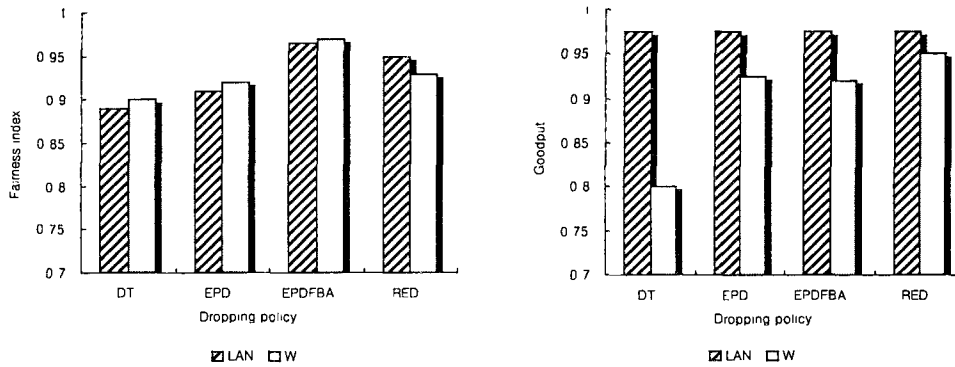


그림 6. 패킷 폐기 정책들의 Goodput 과 공정성

키도록 설계되었다. 현재의 PDP들은 더욱 향상된 애플리케이션 성능을 위해, 손실된 셀들을 한 패킷으로 모아서 폐기해 더 나은 메시지 손실율을 얻음으로써 네트워크 사용효율 뿐만 아니라 애플리케이션 처리율까지도 향상시킬 수 있다.

끝으로 본 논문에서는 UBR 서비스에 적용시킬 수 있는 여러 PDP들을 분석하였는데, 크게 DT, PPD, EPD로 나눌 수 있고, 나머지 PDP는 이들의 변형이다. IP 네트워크에서 PDP는 패킷 단편화 문제가 초점이 아니라 큐 길이를 작게 유지하고 패킷 전송지연을 줄이고, TCP 동기화 문제를 피하는데 있다.

최근에는 라우터에서 능동적인 큐 관리를 통해 인터넷의 혼잡을 회피하는 방식으로 RED가 사용되고있고, 이 방식의 변형인 FRED (Flow Random Early Detection)와 RIO (RED with In/Ot) 등이 있다.

참 고 문 헌

- [1] ATM Forum, ATM Traffic Management Specification Version 4.0, Apr.1996.
- [2] W. Stevens, "TCP Slow Start, Congestion Avoidance, fast Retransmit, and Fast Recover Algorithms." RFC 2001, January 1997.
- [3] V. Rosolen, O. Bonaventure, and G. Leduc, "Impact of Cell Discard Strategies on TCP/IP in ATM UBR Networks", Proc. of the 6th. workshop on performance Modelling and Evaluation of ATM Network (IFIP ATM'98), UK, July 1998.
- [4] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance", IEEE/ACM Transactions on Networking, pp. 397-413, 1993.
- [5] D. Lim and R. Morris, "Dynamics of Random Early Detection", Proc. of SIGCOMM, pp. 127-137, 1997.
- [6] H. Chiou and Z. Tsai, "Performance of ATM switches with Age Priority Packet Discarding under the ON-OFF source Model", Proc. of IEEE INFOCOMM, pp. 931-938, 1998.
- [7] Y. Kim and San-qi Li, "Performance Analysis of Data Packet discarding in ATM Networks", Proc. of the 15th International Teletraffic Congress, vol. 1, pp. 89-100, 1997.
- [8] R. Gyal, R. Jain, S. Kalyanaraman, S. Fahmy, and S. Kim, "UBR+ :Improving Performance of TCP over ATM-UBR Service", Proc. of IEEE ICC, pp. 1042-1048, 1997.
- [9] S. Floyd and A. Romanow, "Dynamics of TCP Traffic over ATM Networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 13, no. 4, pp. 633-641, 1995.
- [10] M. Labrador and S. Banerjee, "Enhancing Application Throughput by Selective Packet Dropping", Proc. of IEEE ICC, pp. 1217-1222, 1999.
- [11] K. Cheon and S. Panwar, "On the Performance of ATM-UBR with Early Selective Packet Discard", Proc. of IEEE ICC, pp. 221-227, 1998.
- [12] M. Mathis et al., "TCP Acknowledgment Options", RFC 2018, October 1996.
- [13] J. Hoe, "Improving the Start-up Behavior of a Congestion Control Scheme for TCP", Proc. of SIGCOMM, 1996.
- [14] 강선무, "IP 서비스를 위한 차세대 개방형 시스템 구조", 제 2회 정보통신표준화 기술, B-ISDN 워크샵. July 1999.
- [15] 오정순, 김명희, 박승섭, "UBR 서비스 상에서의 TCP 트래픽 성능평가", 한국 멀티미디어학회 춘계 학술대회, pp. 3-6, 2000년 5월



김 명 희

- 1999년 동서대학교 정보통신공학전공(공학사).
- 1999년~현재 부경대학교 대학원 전자계산학전공.
- 관심분야 : 초고속통신망, 멀티미디어통신, ATM교환시스템, 무선ATM.
- e-mail : mh02@unicorn.pknu.ac.kr



박 승 섭

- 1975년~1982년 경북대학교 공과대학 전자계산전공(공학사).
- 1984년 일본 일본대학 이공학연구과(공학석사).
- 1993년 일본 동북대학(Tohoku Univ.)(공학박사).
- 1984년~1986년 한국통신 연구원.
- 1989년~1990년 일본동북대학 객원 교수.
- 1988년 Philippine Ateneo de davao university, visiting prof.
- 1986년~현재 부경대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부 교수.
- 1999년~2000년 2월 부경대학교 컴퓨터멀티미디어 공학부장.
- 관심분야 : 초고속통신망, 멀티미디어통신, ATM교환시스템, 무선 ATM망.
- e-mail : parkss@dolphin.pknu.ac.kr